

# 이동로봇을 위한 고정밀 도킹센서 개발

## Development of High Precision Docking Sensor for Mobile Robot

윤남일\*, 최종갑\*, 변경석\*\*

Nam-II Yoon\*, Jong Kap Choi\*, Kyung-Seok Byun\*\*

### 요약

다양한 환경에서 작업을 수행하고 있는 이동 로봇이 작업을 수행하며 목표지점으로 정확하게 이동하기 위해서는 정밀한 위치 측정 시스템이 필요하다. 본 논문에서 특정 위치에서 이동로봇의 정밀한 위치 측정을 위한 새로운 고정밀 도킹센서를 제안하였다. 제안된 도킹 센서는 Linear CCD와 2개의 초음파 센서로 구성되어 있다. 도킹 센서는 단순한 마크가 있는 평면과 센서 사이의 횡방향 위치( $x$ )와 종방향 위치( $y$ ), 각도( $\theta$ )를 측정한다. 2개의 초음파 센서는 각센서의 거리정보를 이용하여 종방향 위치와 각도를 측정하고, Linear CCD는 횡방향 위치를 측정한다. 전방향 이동로봇에 적용하여 제안된 센서의 성능을 확인하였다. 실험 결과로부터 종횡 1mm 이내, 각도 0.2° 이내의 반복정밀도를 갖는 고정밀의 도킹 센서 성능을 확인할 수 있었다. 제안된 도킹 센서는 이동로봇의 정밀한 도킹에 활용될 수 있다.

### Abstract

Mobile robots performed various missions in various environments. In order to move to target precisely, the mobile robots need a precise position sensing system. In this paper, a new high precision docking sensor is proposed. Proposed docking sensor consists of linear CCD(charge coupled device) sensor and ultrasonic sensors. The docking sensor system can measure lateral position( $x$ ), longitudinal position( $y$ ) and angle( $\theta$ ) between the sensor and flat target with simple mark. Two ultrasonic sensors measure two distances which can be converted to longitudinal position and angle. Linear CCD sensor measures lateral position using center mark of the target. To verify performance of the sensor, the sensor is applied to an omnidirectional mobile robot. Several experimental results show highly precise performance of the sensor. Repeatability of the docking sensor is less than 1mm and 0.2°. Proposed docking sensor can be applied for precise docking of mobile robot.

**Keywords** : docking, ultrasonic sensor, Linear CCD sensor, mobile robot

### I. 서론

이동로봇에서의 도킹(혹은 호밍(homing))은 현재의 임의 위치 및 자세에서 필요한 로봇의 자세를 유지하면서 원하는 위치로 이동하는 동작을 뜻한다. 예를 들면 이동로봇이 작업 중에 전원 충전 공간(battery charge station)으로의 이동, 반도체 이송라인에서 이송로봇이 반도체 작업 공간의 이동, 산업용 지게차(fork lift)가 작업 공간으로의 이동 등에 필요한 동작이다.[1] 도킹의 방법으로는 홈 스테이션의 적외선, 초음파, RF 통신 등의 물리적 신호를 이용하거나, 인공표식을 이용한 방법 등 다양한 연구가 진행 되었다.

선행 연구를 살펴보면, Mandel[2]은 비전 시스템을 이용하여 목표의 표면에 있는 특징을 인식하여 도킹하는 알고리즘을 개발하였으며, Santos-Victor[3]는 도킹동작을 위한 능동적인 비전 시스템을 이용한 연구를 수행하였다. Vaughn,

Arkin[4]은 비전 센서를 이용해 물체의 edge를 찾아 주변을 인식하는 연구를, 손영동[5]은 비전시스템을 사용하는 대신 저가의 초음파 센서로 환경지도를 구성하여 호밍을 구현하는 방법에 관한 연구를 했다. 그의 연구는 초음파 센서를 이용하여 정적 환경에 대해 그리드 기반 모델로 지도를 작성하고, 홈 스테이션의 발광 다이오드에서 검출되는 신호를 통해 도킹 하는 연구를 하였다. 이경운[6]은 공리설계를 이용한 도킹 스테이션은 저성능의 센서를 사용하더라도 로봇이 정확히 스테이션에 도킹할 수 있으며, 도킹 후에 로봇과 스테이션 간에 강인한 결합이 이뤄지고 또 유지될 수 있도록 하였다. 권우영[7]은 적외선 카메라를 이용하여 이동로봇의 자동 충전 시스템을 연구하였다. 그의 연구는 적외선 필터가 장착된 카메라와 무선기지국을 포함하는 충전스테이션에서 최소 2개 이상의 적외선 센서를 장착한 로봇의 영상을 획득하여 로봇의 위치와 자세를 계산하며, 그 계산 결과를 이용하여 로봇의 충전스테이션에 도킹하는 시스템이다. 기존의 연구들은 정밀한 도킹 센서의 경우는 고가라는 단점이 있고, 스테이션의 신호를 추종하는 경우는 거리 정보가 없어서 위치 파악이 어렵다는 단점이 있다. 이에 본 논문에서는 경제성을 고려하여 정확도와 반복 정밀도가 높으며 위치 측정이 가능한 고정밀 도킹 센서 개발을 목표로 하며, 2장에서는 도킹 센서의

\* 목포대학교    \*\* 목포대학교(교신저자)

투고 일자 : 2011. 8. 1    수정완료일자 : 2011. 10. 25

계재확정일자 : 2011. 11. 1

개발을 다루며, 3장에서는 실험 준비, 4장은 실험, 5장에서 결론을 맺는다.

## II. 도킹 센서 개발

### 2.1 초음파 센서

초음파 센서는 SensComp 사의 Mini-A 시리즈 #616010을 사용하였다. #616010의 측정 범위는 0.15 ~ 6.1m이고, 전 측정 범위에 대한 정확도(accuracy)가 ±0.1%로 매우 높고, 측정 폭이 15°로 좁아 직진성이 좋기 때문에 도킹 센서의 초음파 센서로 선정하였다.

초음파 센서의 거리 측정은 TOF(Time Of Flight) 원리를 이용하며, 초음파 센서의 측정거리를 구하면 식 (1), (2)와 같다.

$$V = 331.5 + 0.6 \times T \quad (1)$$

$$u = t/2 \times V \quad (2)$$

여기서,  $V$ [m/sec]는 음파의 속도,  $T$ [°C]는 실온이다. 실온을 25°C로 하면,  $V$ 는 340m/sec가 된다.  $u$ [m]는 초음파 센서가 측정한 거리,  $t$ 는 초음파 센서가 측정하는데 걸린 왕복 시간이다. 예를 들어 식 (3)은 1mm를 측정하는데 걸리는 시간을 나타낸다. 소요시간은 약 5.88μsec이다.

$$t = 0.001 \div 340 \times 2 = 5.88\mu\text{sec} \quad (3)$$

초음파 센서의 정확도와 정밀도 측정을 위해 일정거리에서 10회 반복하여 측정하여 보았다. 그 결과 그래프의 기울기가 0.9975로 1에 근접 했으며, 오프셋이 0.1454로 오차가 매우 작음을 볼 수 있다. 그림 1은 초음파 센서의 위치 측정 오차를 나타내고 있다.

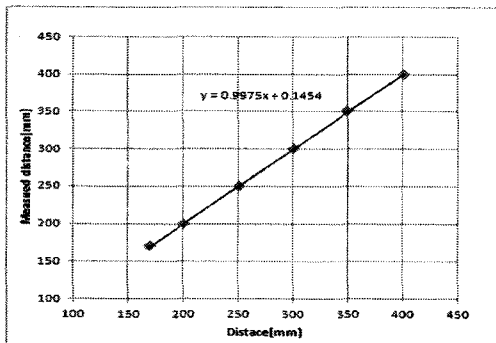


그림 1. 초음파 센서의 측정 오차  
Fig. 1 Measurement error of ultrasonic sensors

### 2.2 Linear CCD 센서

Linear CCD 센서는 Toshiba 사의 TCD1205D를 사용하였다. TCD1205D는 선형 영상을 측정하는 센서이다. 주변에서 흔하게 볼 수 있는 바코드 인식기에서 사용된다. TCD1205D는 렌즈와 적색 LED 등과 함께 사용되며 권장 스캔 거리는 40~280mm이다. 그림 2는 Linear CCD 센서의 구조를 나타내고 있다.

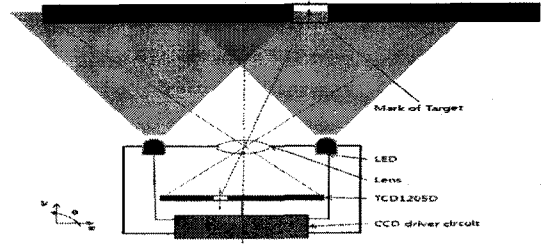


그림 2. CCD 센서의 구조

Fig. 2. Structure of Linear CCD sensor

Linear CCD 센서가 측정한 Raw 데이터는 FPGA에서 A/D 컨버팅 된다. 리얼타임 제어는 데이터 1차 미분의 결과에서 최대값과 최소값을 보유한 index를 찾아서 예지를 검출한다. 그림 3은 CCD 센서의 데이터 처리 과정을 보여주고 있다.

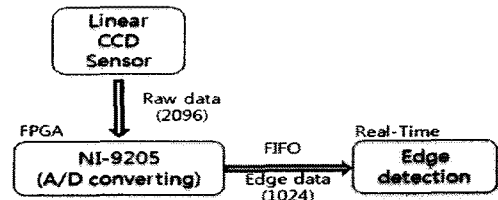


그림 3. CCD 센서의 데이터 처리

Fig. 3. Data processing of Linear CCD sensor

### 2.3 도킹 센서

도킹 센서의 구조는 그림 4와 같다. Linear CCD 센서를 기준으로 양 옆에 각각의 초음파 센서가 위치한다. 제어는 각각의 센서를 제어하며 Raw 데이터를 입력 받는다.

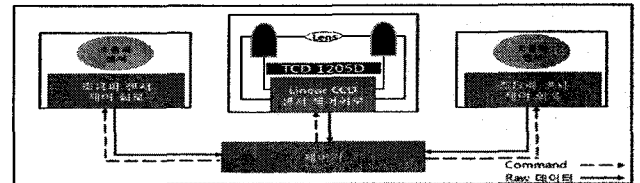
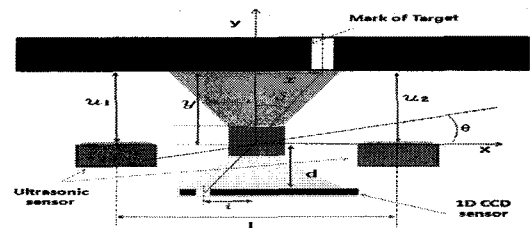


그림 4. 도킹 센서의 구조

Fig. 4. Structure of the docking sensor

그림 5는 도킹 센서의 측정 원리를 나타낸다. 여기서, L-xy는 도킹 센서를 기준으로 로컬 좌표계이다.  $x$ ,  $y$ ,  $\theta$ 는 목표물로부터 측정 할 거리이며,  $u_1$ 과  $u_2$ 는 각각의 초음파 센서가 측정한 거리이다.  $D$ 는 두 초음파 센서의 거리이고,  $\delta$ 는 Linear CCD 센서의 렌즈와 목표물의 마크와의 각도이다.  $d$ 는 렌즈와 TCD 1205D와의 거리이며,  $i$ 는 CCD 어레이의 인덱스 값을 의미한다.



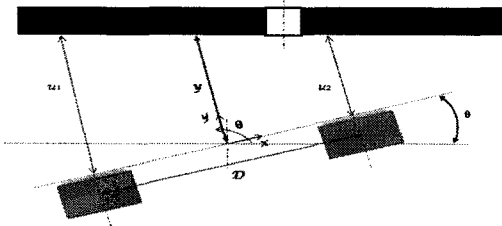


그림 5. 도킹 센서의 측정 원리  
Fig. 5. Measuring principle of the docking sensor

$y$ 는 두 초음파 센서가 각각 측정한 거리의 평균으로 구하였고,  $\theta$ 는 밑변( $D$ )과 높이( $(u_1 - u_2)$ )를  $\arctan2$  함수를 사용하여 각도로 계산하며,  $x$ 는 인덱스( $i$ )값과  $d$ , 그리고 위에서 구한  $y$ 를 통해 그 거리비로 얻었다. 이를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$y[\text{mm}] = (u_1 + u_2)/2 \quad (4)$$

$$\theta[^\circ] = \text{atan2}(u_1 - u_2, D) \times 180/\pi \quad (5)$$

$$x[\text{mm}] = i/d \times y \quad (6)$$

식을 바탕으로 도킹 센서의 측정 영역을 구해보면 그림 6과 같다. 우선  $y$  방향의 측정 영역은 초음파 센서의 최소 측정 거리부터 Linear CCD 센서의 최대 측정 거리까지로 정의하였다. 초음파 센서의 데이터시트에는 최소 150mm부터 측정 가능하다고 하였지만, 170mm부터 거리 측정이 가능하였으며, Linear CCD 센서의 데이터시트에는 최대 280mm 까지 측정 가능하다 하였지만, 400mm 까지 신호 검출이 되었다. 이에  $y$  방향의 측정 영역은 170~400mm 이다.  $x$  방향은 Linear CCD 센서가  $y$  축으로 170mm 위치에 있을 때와 400mm 위치에 있을 때를 경계로 측정 영역을 정의 하였다.  $y$ 축에서 170mm 일 때는 -65~70mm (135mm) 이었고, 400mm 일 때는 -145~165mm (310mm)에서 측정이 가능하였다.  $x-y$  평면상에서의 측정 영역은 그림 6과 같이 나타났다.  $\theta$ 는  $x$  축을 기준으로 정의하였다. 초음파 센서는  $10^\circ$  이상의 각도에서는 수신이 되지 않아서  $\theta$ 의 측정 영역은 전 구간에서  $-10^\circ \sim 10^\circ$  이다.

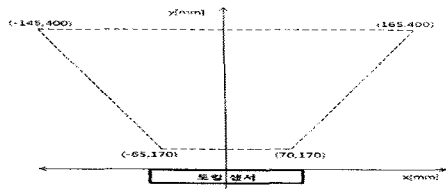


그림 6. 도킹 센서의 측정 범위  
Fig. 6. Measuring range of the docking sensor

### III. 실험

#### 3.1 전방향 이동로봇

도킹 실험에 사용한 이동로봇은 전방향 이동로봇이다. 전방향 바퀴를 3개 사용하여 3륜 구조를 이루며, 유연한 이동이 가능하기 때문에 정밀한 도킹을 하는데 적합하다. 본 절에서는 실험에 사용한 전방향 이동로봇의 시스템 구성, 전방향 이동원리 등에 대해 알아본다.

#### 3.1.1 전방향 이동로봇의 시스템 구성

그림 7은 전방향 이동로봇의 시스템 구성을 나타낸다. RT 제어기는 도킹 센서를 통해 받은 local position을 연산하여 각각의 모터를 속도 제어함으로써 도킹하게 된다.

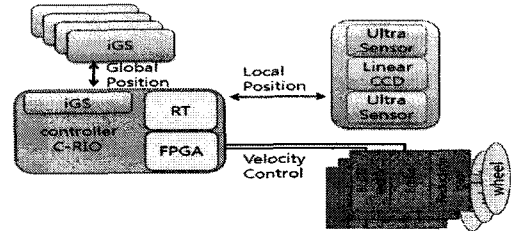


그림 7. 전방향 이동로봇의 시스템 구성  
Fig. 7. System configuration of omnidirectional mobile robot

구동부의 바퀴는 본 연구실에서 개발한 전방향 바퀴 CAW5(Continuous Alternate Wheel with 5sets rollers)[8]이다. CAW5는 크게 내측롤러(Inner Roller)와 외측롤러(Outer Roller)로 구성되며, 세부 부품으로는 내측 서포트(Inner Support), 샤프트(Shaft), 스티어링(Steering), Y-스포커(Y-Spoker)로 이루어진다. 기존 이동로봇의 단점을 보완하기 위해 능동롤링(Active rolling)과 수동롤링(Passive rolling)을 갖는 구조이며, 모터의 회전 방향과 그에 직각인 방향, 그리고 회전 이렇게 세 방향으로 이동이 가능한 바퀴로 이를 이동로봇에  $120^\circ$  간격으로 배치하면 X, Y, 회전 전 방향으로 이동할 수 있는 이동로봇이 된다. 그림 8은 CAW5의 구조를 나타내고 있다.

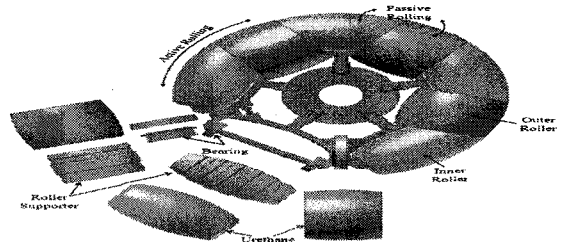


그림 8. CAW5의 구조  
Fig. 8. Structure of CAW5 (Continuous Alternate Wheel with 5sets rollers with 5sets rollers)

#### 3.1.2 전방향 이동로봇의 운동 방정식

전방향 이동로봇의 운동은 바퀴와 로봇의 속도 관계로 풀이하였다. 그림 9는 전방향 이동로봇의 좌표계를 나타낸다.

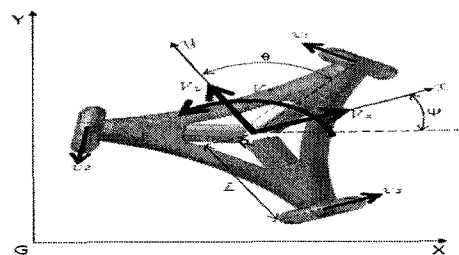


그림 9. 전방향 이동로봇의 좌표계  
Fig. 9. Coordinates of omnidirectional mobile robot

그림 9와 같이 전방향 이동로봇은 전역좌표계 G-XY와 로봇좌표계 R-xy를 갖는다. 로봇좌표계 y축과 바퀴가 이루는 각  $\theta$ 는 몸체의 모양에 따라 결정이 되며 그림과 같은 3륜 구조의 전방향 이동로봇은  $\theta = 60^\circ$ 를 이룬다.

각 바퀴의 속도는 이동로봇의 속도로부터 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{Bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} -C & -S & L \\ -C & S & L \\ 1 & 0 & L \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_\theta \end{Bmatrix} \quad (7)$$

여기서,  $v_1, v_2, v_3$ 는 바퀴속도,  $V_x, V_y, V_\theta$ 는 로봇의 x축, y축,  $\theta$ 축의 회전속도,  $C=\cos\theta, S=\sin\theta, L$ 은 로봇의 중심에서 바퀴까지의 거리이다. 즉, 바퀴의 속도를 다시 정의하면, 다음과 같이 표현된다.

$$v_1 = -CV_x - SV_y + LV_\theta \quad (8)$$

$$v_2 = -CV_x + SV_y + LV_\theta \quad (9)$$

$$v_3 = V_x + LV_\theta \quad (10)$$

로봇은 속도  $V_x, V_y, V_\theta$ 는 식(8)~(10)와 같이 바퀴의 속도로 변환되며, 이 과정을 통해 로봇이 이동이 가능하게 된다.

### 3.2 실내용 GPS 센서

서대근[1]은 iGS를 이용하여 모바일 로봇의 실내위치추정 알고리즘을 연구한 바 있으며, 초음파 특성의 단점을 보완하기 위해 block 확장 기법, auto calibration 알고리즘, RNF 알고리즘 등을 통해 noise를 제거하는 실험을 한 바 있다. 본 실험에서 iGS의 사용은 로봇의 도킹을 위해 도킹 전의 위치까지 이동하기 위해 전역좌표 획득 용도로 사용하였다.

본 실험에서는 6600x6000[mm]로 비컨을 설치하였다. SCAN\_Time은 110msec로 설정하였고, 로봇의 최대 속도는 1000mm/sec로 하였다. 그림 10은 iGS의 설치구조를 나타내며, 그림 11은 본 실험실에 설치한 iGS를 나타내고 있다.

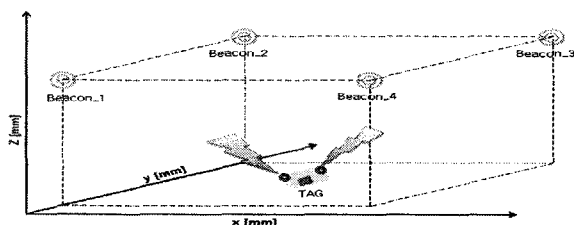


그림 10. 비컨과 태그의 설치

Fig. 10. Installation structure of beacon and tag

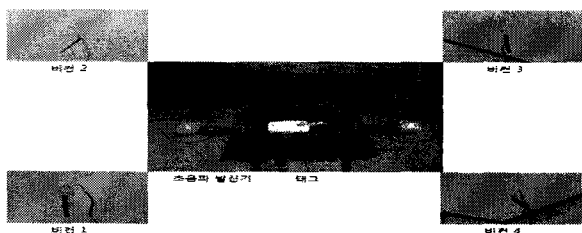


그림 11. 비컨과 태그

Fig. 11. Beacon and tag

### 3.3 도킹 제어 알고리즘

본 절에서는 개발한 도킹 센서를 전방향 이동로봇에 적용하기 위한 도킹 알고리즘에 대해 논한다. 도킹을 시도할 때 로봇의 속도는 도킹 센서에 의해 제어된다. 도킹 목표 좌표 값과 로봇의 현재 로컬 좌표 값의 오차를 제어 변수로 하였다. 목표 좌표 값은 기준점(Mark of target)으로부터 도킹이 완료되는 지점까지의 좌표를 말하며, 사용자(혹은 실험자)가 임의로 지정할 수 있는 좌표 값이며, 로컬 좌표 값은 도킹 센서가 기준점으로부터 측정된 로봇의 좌표 값이다.

제어 기법은 구조가 간단하고 제어 성능이 우수한 PI 제어를 사용하였다. 제어신호를 시간 영역에서 나타내면 다음과 같다.

$$u(t) = Kp e(t) + Ki \int_0^t e(\tau) d\tau \quad (11)$$

여기서,  $Kp, Ki$ 는 비례, 적분이득이다. 위 식을 바탕으로 로봇이 도킹 할 때 목표 좌표값과 로컬 좌표값의 오차를 통해 얻어진 변수를 PI 제어 후 로봇의 속도 값에 반영함으로써 도킹을 하였다. 비례 계수( $Kp$ )는 0.1, 적분 계수( $Ki$ )는 0.01로 설정하여 로봇의 도킹 실험에 적용하였다.

## IV. 도킹 실험 및 결과

실험은 iGS가 설치된 일정 공간 안에서 하였다. 일정 공간 안에서 이동을 하며 도킹을 반복하여 실험을 하였다. 도킹 완료 점에 대한 위치 측정은 2D Laser Scanner를 이용하여 반복 정밀도를 구했다. 본 장에서는 실험한 내용과 그 결과에 대하여 논한다.

### 4.1 도킹 실험

실험은 전방향 이동로봇의 도킹 정밀도에 대해 실험 하였다. 앞서 3장에서 설명한 전방향 이동로봇과 iGS를 사용하였다. 그림 12는 도킹 실험 시나리오를 나타내는 그림이다. 임의의 두 점에 대하여 iGS를 이용하여 1차적으로 이동을 한 후, 도킹을 하여 정밀한 위치로 이동을 하는 실험을 나타낸다. 도킹의 완료는 목표 좌표 값과 로컬 좌표 값의 오차가  $x, y = \pm 1mm$  이내,  $\theta = 0.2^\circ$  이내에 들어오면 완료가 되며 실험 순서는 다음과 같다.

- ① iGS로부터 로봇은 현재 자신의 전역 좌표를 받는다.
- ② 현재 위치와 이동할 위치(A점)가 파악이 되면, A점으로 이동을 한다.
- ③ A점에서 도킹을 한다.
- ④ 도킹 완료 후 거리를 측정하고 다시 A점으로 이동한다.
- ⑤ A점에서의 이동 후 B점으로 이동하고 B점에서 도킹을 한다.
- ⑥ 다시 B점으로 이동하고 A점으로 이동한다.
- ⑦ ① 번부터 ⑥ 번까지의 과정을 20회 반복한다.

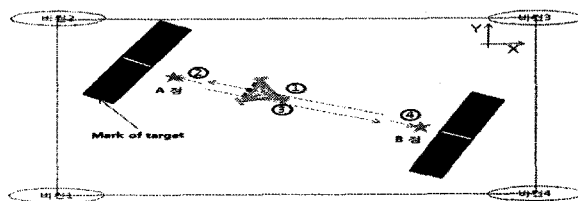


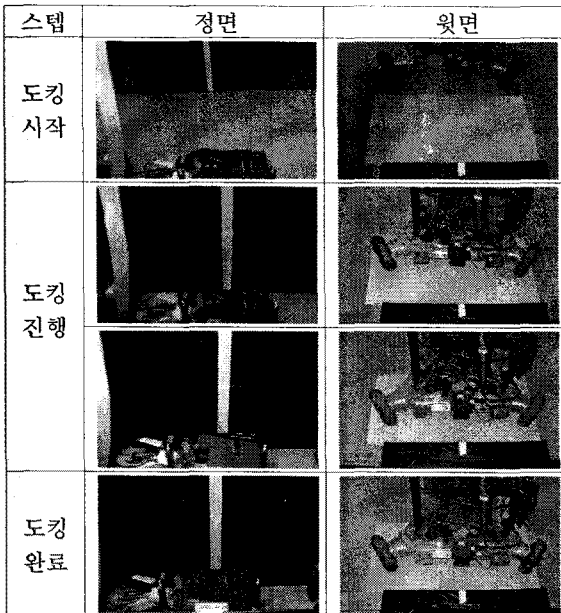
그림 12. 전방향 이동로봇의 경로  
Fig. 12 Route of Omnidirectional mobile robot

표 1. 은 로봇이 이동할 경로의 좌표를, 표 2. 는 도킹 과정을 촬영한 사진으로 로봇의 정면과 뒷면에서 도킹 하는 과정을 보여주고 있다.

표 1. 이동 경로의 위치  
Table 1. Position of movement section

스텝	이동 경로	목표 좌표			
		x[mm]	y[mm]	θ[°]	좌표
①	A 점 이동	3200	4500	0	전역
②	A점 도킹	0	180	0	로컬
③	B점 이동	4200	180	270	전역
④	B점 도킹	0	180	0	로컬

표 2. 전방향 이동로봇의 도킹 과정  
Table 2. Docking process of Omnidirectional mobile robot



4.2 위치 측정

도킹 완료 위치를 측정하기 위한 방법으로 Laser Scanner를 사용 하였다. Laser Scanner는 타겟에 고정하였으며, 로봇에는 Scanner가 스캔 할 수 있는 75x50mm의 블록을 고정해 두었다. 도킹이 완료되면 타겟에 고정된 스캐너가 로봇의 블록을 읽음으로써 실험 결과를 측정 하였다.

Laser Scanner가 읽은 직사각형 블록의 모서리 값은 원점 설정을 위하여 좌표 변환 및 데이터 offset 조정이 필요하다. Laser Scanner가 읽은 각각의 좌표 값을 통해  $x, y, \theta$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$x = (A_x + B_x)/2 + offset_x \tag{12}$$

$$y = (A_z + B_z + 2offset_y)/2 \tag{13}$$

$$\theta = (B_z - A_z)/(B_x - A_x) \times 180/\pi \tag{14}$$

여기서,  $offset_x = 12.5, offset_z = -282.5$  이다. 식 (12)~(14)를 바탕으로 센서 좌표로 변환하면, 로컬 좌표를 얻을 수 있다.

4.2 실험 결과

로컬 좌표를 바탕으로 다시 X-Y, Y-θ, θ-X 축별로 위치 오차와 X-Y-θ축의 위치오차를 보면 그림 13~16과 같이 표현 된다. 그림 13은 X-Y 축의 위치오차, 그림 14는 Y-θ 축의 위치오차, 그림 15는 θ-X 축의 위치오차, 그림 16은 X-Y-θ 축의 위치오차를 각각 나타낸 것이다. X축이 ±0.8mm 정도의 오차를 보이고 있으며, Y축은 ±0.6mm, θ축은 ±0.15° 정도의 위치오차를 나타내고 있다.

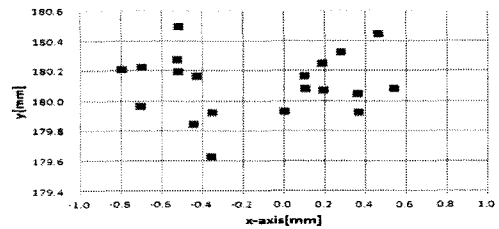


그림 13. X-Y 축의 위치 오차  
Fig. 13. X-Y axis position Error

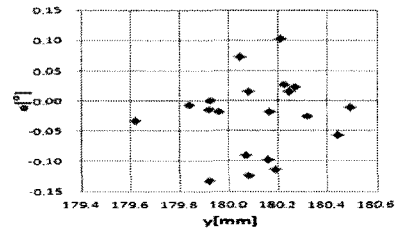


그림 14. Y-θ 축의 위치 오차  
Fig. 14. Y-θ axis position Error

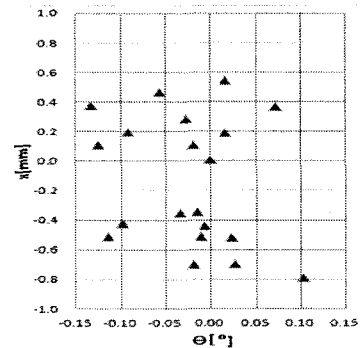


그림 15. θ-X 축의 위치 오차  
Fig. 15. θ-X axis position Error

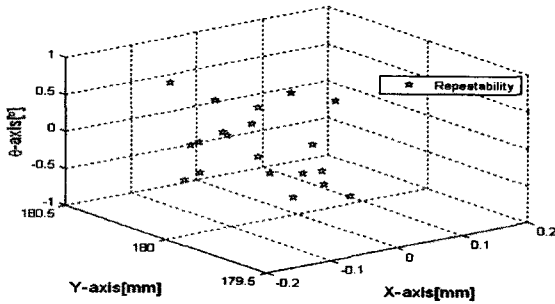


그림 16. X-Y-θ 축의 위치 오차  
Fig. 16. X-Y-θ axis position Error

위치 반복 정밀도에서 높이에 해당하는 z는 일정하다고 가정한다. 방향각 θ는 센서좌표의 x축 기준이므로, y축과 z축에 해당되는 방향각은 무시된다. X-Y-θ의 위치 반복 정밀도와 방향 반복 정밀도를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\bar{l} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n l_j = 0.448814 \quad (15)$$

$$S_l = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (l_j - \bar{l})^2}{n-1}} = 0.150111 \quad (16)$$

$$RP_l = \bar{l} + 3S_l = 0.899145 \quad (17)$$

$$RP_a = \pm 3 \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (a_j - \bar{a})^2}{n-1}} = 0.188975 \quad (18)$$

위 식을 통해 얻은 전방향 이동로봇의 도킹 실험 결과로부터 계산한 위치 반복 정밀도와 방향 반복 정밀도는 표 3.에서 나타내고 있으며, 각각 0.899mm, 0.189°이다

표 3. 실험 결과  
Table 3. Experimental results

위치 반복 정밀도	방향 반복 정밀도
0.899mm	0.189°

### V. 결론

본 논문에서는 이동로봇의 정밀한 위치 이동을 위한 도킹 시스템에 사용될 수 있는 고정밀 도킹 센서를 개발하였다. 제안한 도킹 센서는 초음파 센서 두 개와 Linear CCD 센서의 조합으로 구성되며, 흑색 바탕의 흰색 라인이 존재하는 평평한 벽면에 대해 수평거리(x), 수직거리(y), 방향각(θ)를 측정할 수 있는 시스템이다. 전방향 이동로봇에 적용하여 도킹 실험을 한 결과 위치 1mm, 각도 0.2° 내의 우수한 반복 정밀도와 정확도를 보임을 입증하였다. 고가의 비전센서나 레이저 센서를 사용하지 않고, 저렴한 두 종류의 센서를 조합하여 정확도와 반복 정밀도가 우수한 도킹 센서를 개발하였다. 흑과 백이 존재하는 간단한 목표물을 인식하여 위치를 계산하는 도킹 센서 방법은 도킹 스테이션에서 발신하는 신호를 추종하여 도킹하는 방식에 비해 도킹 성공률이 높고, 안정적임을 보였다. 또한 도킹 스테이션과 같은 별도의 장치

가 필요하지 않음으로 간결하고, 경제적이었다. 또한 조합된 센서의 특성상 조명이나 주변 환경에 영향을 받지 않았다.

높은 정확도와 우수한 반복 정밀도를 갖는 도킹 센서는 산업용 이동로봇의 정밀 도킹에 적용이 가능 할 것으로 보이며, 청소 로봇이나 서비스용 로봇의 충전 스테이션 복귀도 효율적으로 할 수 있게 할 것이다. 본 연구를 통해 개발한 센서는 이동로봇의 정밀한 도킹 연구에 많은 도움이 되리라 생각된다.

### 참고문헌

- [1] 서대근, 조성호, 이장명, "iGS를 이용한 모바일 로봇의 실내위치추정 알고리즘," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, Vol. 14, No. 3, 2008
- [2] K. Mandel and N. A. Duffie, "On-line compensation of mobile robot docking errors," *IEEE Int. Journal of Robotics and Automation*, Vol. RA-3, NO. 6, pp. 591-598, 1987.
- [3] J. Santos-Victor and G. Sandini, "Visual behaviors for docking," *Computer Vision and Image Understanding*, Vol. 67, No. 3, pp. 223-238, 1997.
- [4] D. L. Vaughn and R. C. Arkin, "Workstation recognition using a constrained edge-based hough transform for mobile robot navigation," *Proc. of the Int. Society for Optical Engineering*, pp. 1383, 1991, pp. 503 - -514.
- [5] 손영동, 김영배, "이동로봇의 호밍 제어에 관한 연구," 한국자동차공학회 추계학술대회논문집, pp. 1200~ 1205, 2005.
- [6] 이경운, 최현도, 박윤근, "공리 설계를 이용한 모바일 로봇을 위한 도킹 스테이션 개발," *대한기계학회 춘추학술대회 논문집*, 제1권 1호, pp.2143~2146, 2005
- [7] 권우영, 김성훈, "적외선 센서와 카메라를 이용한 이동로봇의 자동충전시스템 및 그 방법" *대한민국 특허*, 출원 10-2007-0083478, 2007.
- [8] 박용균, 변경석, "CAW(Continuous Alternate Wheel)의 진동특성 시뮬레이션," *제어·로봇·시스템학회·한국로봇학회 합동학술발표대회*, 2009



윤 남 일 (Nam Il Yoon)

2009년 2월 목포대 기계공학과(공학사)  
2011년 2월 목포대 기계공학과(공학석사)  
2011년 1월 ~ 현재 (주)SMEC 로봇팀 연구원



최 종 갑 (Jong Kap Choi )

2002년 경남대학교 정보통신공학(공학석사)  
2003년 10월 ~현재 (주) SMEC ROBOT 팀장



변 경 식 (Kyung Seok Byun)

正會員

1996년 2월 고려대 기계공학과(공학사)  
1998년 2월 고려대 기계공학과(공학석사)  
2002년 8월 고려대 기계공학과(공학박사)  
2002년 9월 ~ 2006년 2월 삼성전자 메카트로닉스  
연구소 책임연구원

2006년 3월 ~ 현재 국립목포대학교 기계공학과 조교수

※주관심분야 : 메카트로닉스시스템, 제어응용, 로봇설계