Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers 27:3 (2018) 286~292

https://doi.org/10.7735/ksmte.2018.27.3.286

J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng.
ISSN 2508-5107(Online)

Special Issue : Seoul Tech Capstone Design

헤드리스 조종을 이용한 구형 바퀴로봇의 설계

변재우[a], 최용건[a], 권준영[a], 윤지훈[a], 김정한[a*]

Design of Sphere Wheel Robot with Headless Control

Jae-Woo Byun[a], Yong-Gun Choi[a], Jun-Yung Kwan[a], Ji-Hoon Yoon[a], Jung-Han Kim[a*]

[a] *Dept. of Mechanical System Design Engineering, Seoul National University of Science and Technology, 232, Gongneung-ro, Nowon-gu, Seoul 01811, Korea.*

ARTICLE INFO

Article history:
Received 18 April 2018
Accepted 7 June 2018

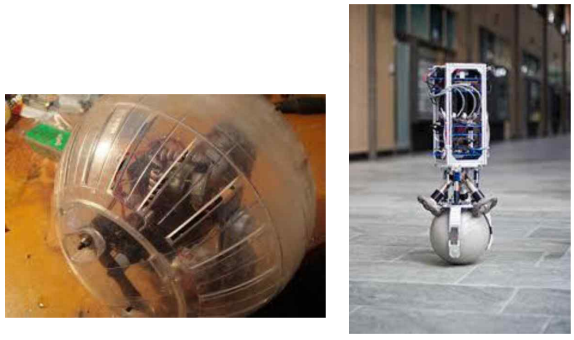
Keywords:
Headless control
Sphere wheel
Omnidirectional mobility
Terrestrial magnetism

ABSTRACT

In the places where are so many crowded people such as an airport and a large market, it is hard to move a heavy conventional cart. In this case, an omnidirectional robot carrying the baggage can be a convenient solution. however, the user should control the robot with the consideration of the orientation of the robot at all times. When the orientation of the robot and the user are different, it is hard to control the carrier robot. In this research, we developed a novel control method of an omnidirectional carrier robot, which compensates the orientation inconsistency between the robot and user automatically by two magnetic sensors. This configuration allows the user to control it much easily and instinctively. In this research, a special kind of omnidirectional robot for a baggage carrier was designed, and the wireless headless controller was developed. Finally the system was evaluated.

1. 서 론

구형의 구동용 바퀴를 갖는 로봇을 통상적으로 볼봇(Ball Bot)이라고 한다. 이러한 볼봇은 지면과 점접촉을 하고 있으며 마찰이 적어, 접촉면에서 발생하는 마찰이 적으며, 전방향성이기 때문에 뛰어난 이동성을 보유하고 있다. 그렇기 때문에 다양한 분야에서 활용이 가능하며 관련 연구 또한 많이 이루어지고 있다[1]. 볼봇은 일반적으로 2가지의 타입으로 나눌 수 있다. Fig. 1의 (a)와 같이 구동부가 공 내부에 있는 타입과 (b)와 같이 구동부가 공 외부에 있는 타입이다. 전자에 경우 기구의 안정성이 높고 이동제어가 상대적으로 쉽다는 장점을 가지고 있지만, 공 자체의 부피가 커져 전방향성을 많이 살리기는 힘들 수도 있다. 후자의 경우 기본적으로 자세가 불안정하고 이동제어가 상대적으로 어렵다는 단점을 가지고 있지만, 구형 바퀴가 가지고 있는 장점을 많은 부분 살릴 수 있



(a) Inner drive type (b) Outer drive type

Fig. 1 Two types of ball bot

* Corresponding author. Tel.: +82-2-970-6397
Fax: +82-2-974-8270
E-mail address: hankim@seoultech.ac.kr (Jung-Han Kim).

다는 장점을 가지고 있다.

Fig. 1(a)와 같은 타입의 경우 균형 추 구동방식, Fig. 1(b)는 바퀴 구동방식이라고 한다. 본 연구에서는 사용자의 무거운 짐을 옮겨 주는 용도의 로봇을 설계 하여야 하게 때문에 바퀴 구동방식을 채택하고 최대한 많은 짐을 나를 수 있도록 설계하였다.

바퀴구동방식의 경우 볼을 하나만 사용하여 스스로 균형을 잡는 형식으로 사용할 수도 있으나, 본 연구에서는 짐을 수송하는 로봇을 목적으로 하므로 중심 볼 바퀴를 구동용으로만 사용하고 3개의 볼캐스터를 설치하여 기계식으로 균형을 유지하는 방식을 채택했다. 따라서 바퀴구동방식의 볼봇의 특징 중 밸런싱을 제외하고 구동의 전방향성을 기구학적 해석을 통하여 운송수단을 설계하였다.

헤드리스 제어(Headless Control)이라는 기술은 드론의 조종등에 최근 응용되는 것으로, 만약 드론이 조종자와 마주보는 방향으로 위치하게 되면 조정자가 왼쪽(좌회전)과 오른쪽(우회전)이 드론의 방향과는 반대가 되어 상당히 위험한 상황에 놓이게 된다. 이는 RC로 제어되는 헬기나 비행기도 마찬가지가 되어 실제 운용시 사고의 직접적인 원인이 된다.

헤드리스 제어란 조종자의 정면 방향이 기구의 정면 방향과 항상 일치하도록 하드웨어와 소프트웨어를 설계하여 제어를 보다 쉽고 안전하게 하는 기술을 말한다. 조종자가 어떤 방향으로 서있더라도 전진 방향의 신호를 보내면 기구는 조종자의 정면 방향을 기준으로 전진 이동하는 것이다. 이러한 기술을 사용하면 보행인구가 많은 마트나 공항 등에서 어린아이가 전동 카트에 부딪혀 다치는 안전사고를 크게 감소시킬 수 있다.

이러한 제어방식을 개발하기 위해서는 첫째, 전방향으로 구동이 가능한 구조의 카트가 필요하며 둘째, 사용자의 방향과 카트의 항법 좌표계를 무선으로 자동으로 보정해주는 기술이 필요하다. 본 연구에서는 이러한 기능을 구현하는 데 필요한 기술을 순차적으로 개발하여 적용하였다. 다음의 2절에서는 무거운 짐을 지고 전방향으로 구동할 수 있는 바퀴구동방식의 볼봇 캐리어 로봇의 설계와 볼봇의 전방향 구동을 위한 역기구학 방정식, 기구설계와 응력해석, 자기센서를 활용한 방향감지 및 제어장치등의 설계를 순차적으로 설명한다.

2. 본 론

2.1 볼바퀴 구동방식의 모델링

볼봇은 3개의 옴니휠(Omni wheel)을 통해 모터에 동력을 볼 타이어(Ball tire)에 전달하는 방식으로 구동한다[2]. 이 둘 사이에 기구학을 알기 위해서 시스템을 모델링 하면 아래와 같이 요소들을 정의 내릴 수 있다. Fig. 2와 같이, 옴니휠 3개의 반지름을 r, 볼 타이어의 반지름을 R, 볼 타이어의 각속도를 ω_k (k = x, y, z), 옴니휠의 각각의 각속도를 ω_i (i = 1, 2, 3), 볼 타이어와 옴니휠의 접촉점은 P_i, 볼 타이어의 z축과 옴니휠 사이에 천정각을 φ로 정의한다. 여기서 옴니휠이 볼 타이어와 접하는 접촉점에서의 좌표계를 C_i라고 정의하고 볼 타이어의 좌표계를 B라고 하면 Fig. 3과 같이 표현할 수 있다.

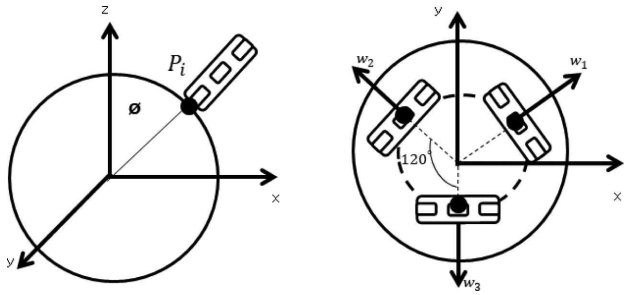


Fig. 2 Kinematic Modeling

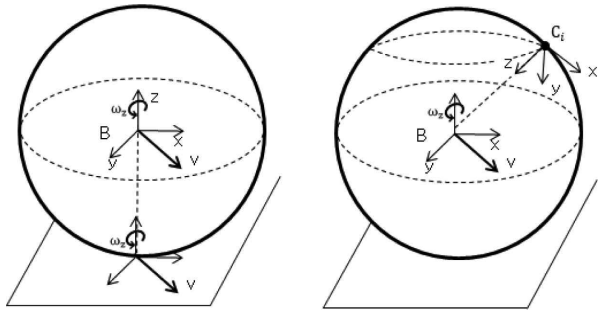


Fig. 3 System of coordinates

볼봇의 운동이 준 정적이고 슬립이 없다고 가정할 때, 볼 타이어와 지면과의 접점이 지면에 대해서 갖는 수평 이동 속도 v_{xy}와 수직축에 대한 각속도 ω_z는 Fig. 3에 표현된 전 방향 이동플랫폼에 설치된 좌표계의 수평운동 v_{xy}^B, ω_z^B와 같게 된다. 따라서 최종적으로 여기서의 기구학 방정식은 볼 타이어의 좌표계 B와 옴니휠 각각의 좌표계 C_i 운동 사이의 관계식이 된다. Fig. 3에 도시된 볼 타이어의 좌표계 B와 옴니휠의 좌표계 C_i 사이의 좌표변환은 다음과 같이 구할 수 있다[3].

$$T_B^{C_1} = Rot\left(z,\frac{\pi}{6}\right)\cdot Rot(y,-\emptyset)\cdot Trans(z,-R) \quad (1)$$

$$T_B^{C_2} = Rot(z,\frac{5\pi}{6})\cdot Rot(y,-\emptyset)\cdot Trans(z,-R) \quad (2)$$

$$T_B^{C_3} = Rot(z,\frac{3\pi}{2})\cdot Rot(y,-\emptyset)\cdot Trans(z,-R) \quad (3)$$

위 변환식들은 다음과 같은 열벡터들로 나타내면 식 (4)와 같다.

$$T_B^{C_i} = [n_i\ o_i\ a_i\ p_i]\ , i = 1,2,3 \quad (4)$$

이제 B좌표계와 C_i 좌표계에서의 미소운동 사이의 관계식과 Δ^{C_i}, Δ^B를 나타내면 식 (5-7)과 같다.

$$\Delta^{C_i} = (T_B^{C_i})^{-1} \cdot \Delta^B \cdot (T_B^{C_i}) \tag{5}$$

$$\Delta^B = \begin{bmatrix} 0 & -\delta_z^B & \delta_y^B & d_x^B \\ \delta_z^B & 0 & -\delta_z^B & d_y^B \\ -\delta_y^B & \delta_x^B & 0 & d_z^B \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \tag{6}$$

$$\Delta^{C_i} = \begin{bmatrix} 0 & -\delta_z^{C_i} & \delta_y^{C_i} & d_x^{C_i} \\ \delta_z^{C_i} & 0 & -\delta_z^{C_i} & d_y^{C_i} \\ -\delta_y^{C_i} & \delta_x^{C_i} & 0 & d_z^{C_i} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \tag{7}$$

위 식에서 $\delta = [\delta_x\ \delta_y\ \delta_z]^t$는 각 축에서의 회전운동 성분을 나타내고 $d = [d_x\ d_y\ d_z]^t$는 각 축에서의 병진운동 성분을 나타낸다.

위 각 좌표계의 미소 운동 사이에 관계식 (5)를 대입하여 정리하면 아래와 같은 수식을 얻을 수 있다.

$$d^{C_i} = u_i \cdot (\delta^B \times P_i + d^B) \tag{8}$$

$$\delta^{C_i} = u_i \cdot \delta^B \tag{9}$$

여기서 u_i는 옴니휠의 회전성분이 접점에서 발생하는 선속도의 방향 코사인이다. 이 때 볼 타이어는 회전 운동을 통하여 이동하므로 δ^B와 δ^{C_i}는 0이 된다. 그리고 δ^{C_i}는 선속도를 나타내므로 ω_i에 대한 최종적인 식은 (10)과 같이 구해진다.

$$\omega_i r = u_i \cdot (\omega_k \times P_i) \tag{10}$$

식 (10)을 이용하여 옴니휠과 볼타이어 사이의 관계식을 정리하면 다음의 식 (11)과 같다.

$$\begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \omega_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-R\cos(\emptyset)\sqrt{3}}{2r} & \frac{-R\cos(\emptyset)}{2r} & \frac{R\sin(\emptyset)}{r} \\ \frac{R\cos(\emptyset)\sqrt{3}}{2r} & \frac{-R\cos(\emptyset)}{2r} & \frac{R\sin(\emptyset)}{r} \\ 0 & \frac{R\cos(\emptyset)}{r} & \frac{R\sin(\emptyset)}{r} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix} \tag{11}$$

위 식에서 나오는 ω_k 그리고 $k = x, y, z$는 Fig. 4와 같이 θ를 사용하여 모델링할때 식 (12-14)와 같이 구해진다.

$$\omega_x = -V_b \sin(\theta)/\mathrm{R} \tag{12}$$

$$\omega_y = V_b \cos(\theta)/\mathrm{R} \tag{13}$$

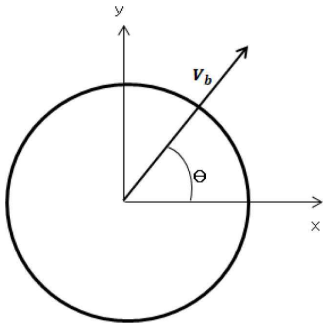


Fig. 4 Operation of the ball tire

$$\omega_z = 0 \tag{14}$$

식 (12-14)과 같이, ω_z는 일반적인 경우 0이 되는 이유는 볼 봇의 구동바퀴는 요(yaw)회전을 일으키지 않기 때문이다. 위와 같이 볼 봇의 구동이 결정되어 실험을 진행 하였을 때, 옴니휠과 볼 타이어 사이에 미끄럼(slip) 현상이 발생하여 볼 봇의 방향이 틀어지는 문제가 발생하는데 본 연구에서는 이의 보정을 위해서 볼 봇에 자이로 센서를 추가적으로 부착해 틀어짐을 인지하여 추가적인 보정알고리듬을 삽입 하였다. 미끄러짐에 의한 ω_z의 발생시 자이로 센서가 이를 감지하여 진행 방향을 보정해주게 된다.

2.2 볼바퀴 구동방식의 카트 기구부 설계

본 연구에서 사용한 옴니휠 기구는 사용자의 조작에 따라 전 방향 구동이 가능해야 한다. 이에 따라 무지향성 이동을 구현하기 위하여 Fig. 5와 같이 3개의 옴니휠(omni-wheel)을 구에 접한 상태로 120도 간격으로 배치하였다. 보통의 경우 휠의 자유도는 모터축의 회전 자유도만을 가지지만 옴니휠을 사용할 경우 회전축에 수직인 방향으로 하나의 자유도를 더 갖는다. 마찰력이 두 자유도의 성분으로 분해되므로 전 방향으로 이동이 가능하다.

기구는 무거운 짐을 싣고 이동해야 하므로, 일반적인 볼봇과는 다르게 밸런싱을 하지 않고 Fig. 6의 형태와 같이 이동부가 구동에 필요한 메인 구형태의 휠와 보조바퀴인 볼캐스터로 구성되는 구조를 가지도록 설계하고, 요철이 있는 지면에서 안정적인 주행을 위해 볼 캐스터를 구에 접하도록 배치하여 볼의 급격한 움직임을 제한하도록 설계하였다.

3D CAD 프로그램인 PRO/e를 통해 실제 형상을 상세 설계와 해석을 병행하면서 재료와 부품의 선정을 진행하였다. 본 연구에서 설계된 기구부의 형상 중 가장 많은 응력이 집중되는 부품은 모터

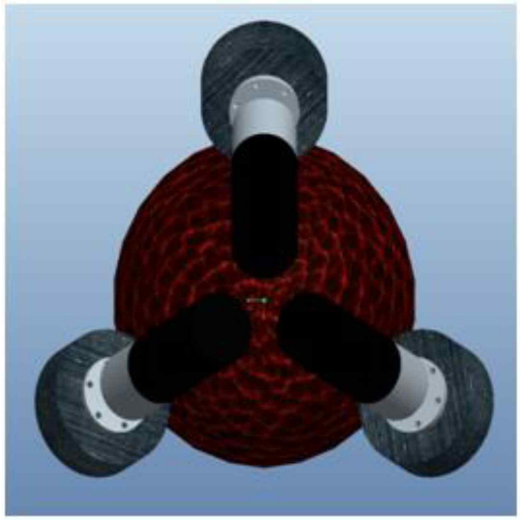


Fig. 5 Omni-wheel and 3 motors

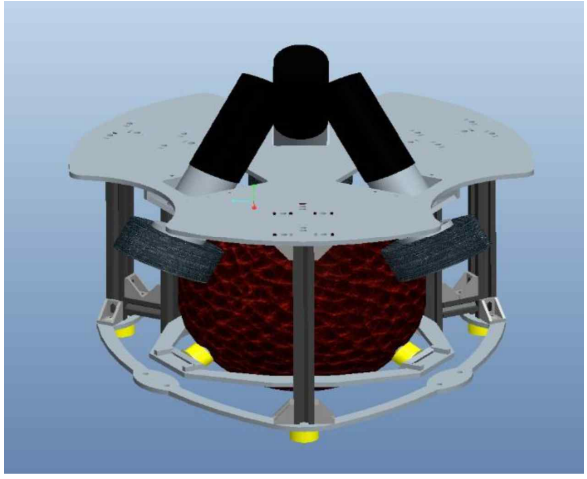


Fig. 6 Perspective view of the lower frame

를 고정하는 브라켓인데, 재료의 경우 AL6061를 사용하였다. 설계단계에서 설계된 형상 및 두께가 적합한지를 판별하기 위하여 역학해석 프로그램인 ANSYS에 AL6061의 물성치를 입력하여 적합한 재료인지 확인하였다[4].

모터 브라켓에 대한 변형과 스트레스에 대한 분석을 Fig. 7과 Fig. 8과 같이 수행하여, 설계된 형상과 재질에서 문제가 없음을 확인하였다. 또한 기구의 전체 프레임은 알루미늄 프로파일을 사용하여 조립 및 보수를 용이하게 하였고 기구의 하중을 줄였다.

브라켓을 제외하고 기구 내에서 가장 큰 집중하중이 발생하는 부품은 모터 고정부를 연결하는 나사이다. 이에 따라 나사에 작용하는 응력을 해석하였다. 볼트의 재질 SS400의 허용 전단응력은 약 320 MPa이고 안전율을 5배로 하였을 때 64 Mpa이다. M3 볼트를 가정하여 응력해석을 하였을 때 하나의 볼트에 가해지는 전단응력은 2.4 Mpa이므로 사용이 가능했다. 더 작은 볼트를 사용할 수 있지만 판재의 두께를 고려할 때 사용할 수 있는 가장 안전한 볼트는 M3이므로 M3 볼트를 선정하였다.

기구를 구동하는 모터는 본 기구를 만들기 전, 별도의 프로토타입을 제작하여 모터 선정에 필요한 출력과 토크를 기초 설계하고 실험을 통해 최종 선정하였다. 옴니휠 기구는 마찰력이 큰 편이라 예상 계산치와 많은 차이가 나므로 실제 실험에서 얻은 데이터를 바탕으로 계산하였다.

실험에 사용한 모터는 정격 12 V, 4.7 kgf-cm, 183 RPM의 모터이다. 기존에 제작했던 프로토타입은 6.4 kg이고 이에 2 kg의 하중을 추가할 수 있도록 설계하였는데 프로토타입의 실험을 통하여 각 하중에서의 출력과 RPM이 6.4 kg에서 4.14 W, 90 RPM 그리고 8.4 kg에서 7.25 w, 92 RPM임을 확인했다. 이를 토대로 모터의 용량을 계산하는 식 P = 1.027 * T * W 에 구한 값을 대입하여 각 하중에서의 기동토크, 4.72 kgf-cm와 7.67 kgf-cm를 구하였다.

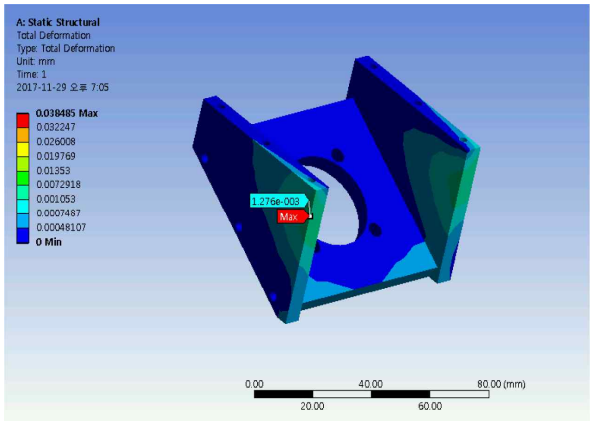


Fig. 7 Deformation analysis of the bracket

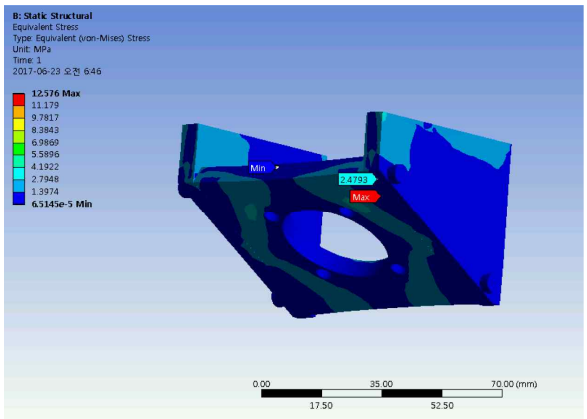


Fig. 8 Stress analysis of the lower frame

기구의 정격토크는 기동토크의 80%로 정하고 이에 안전계수 1.5를 적용하여 약 30 kgf-cm의 토크가 필요함을 구하였다. 계산결과를 바탕으로 모터를 선정하였다[5].

모터의 선정 후 선정된 모터를 구동하기 위한 배터리의 용량을 계산하고 선정하였다. 모터의 정격 전압은 24 v이고 정격 전류는 2.85 A이다. 3개의 모터를 사용하므로 총 소비되는 전류는 8.55 A이다.

선정한 배터리는 11.1 v, 2200 mAh로, 한 시간 동안 2.2 A를 공급하면서 최대 17.6 A의 전류를 공급할 수 있다. 정격 전압의 경우 11.1 v의 규격이지만 배터리를 완전히 충전할 경우 12 v이상의 전압을 공급한다. 선정된 배터리 2개를 직렬회로를 통해서 연결하여 모터에 24 v를 공급하였다. 배터리의 사용시간은 일반적인 리튬 폴리머 배터리의 효율을 0.8로 계산하므로 이에 따라 계산을 하면 약 12분간 사용이 가능하다.

2.3 헤드리스 제어기의 설계

헤드리스 제어를 위해서는 로봇이 서있는 방향과 사용자가 가지고 있는 조종기의 방향차이를 계산하여 자동으로 이를 보정하여 구동명령을 내려야 한다. 로봇의 조종기에서는 Fig. 9과 같이 사용

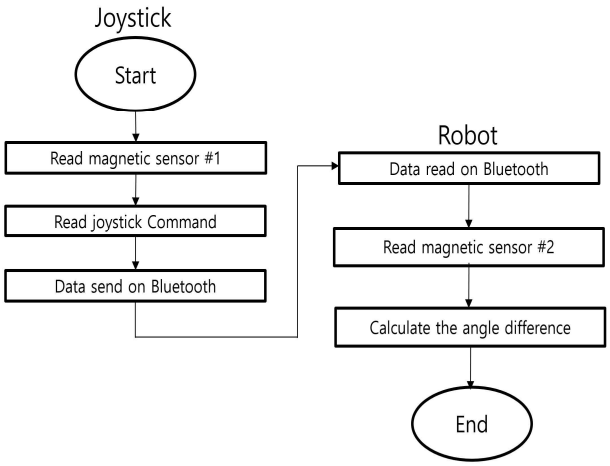


Fig. 9 Flow chart of the headless controller

자의 방향값과 조이스틱의 구동 방향 입력 값을 받아 블루투스를 통해 무선으로 로봇에 전달하여 로봇이 이동해야 할 방향과 속도를 계산하여 옴니휠의 역기구학을 풀어 이를 모터 값으로 입력한다.

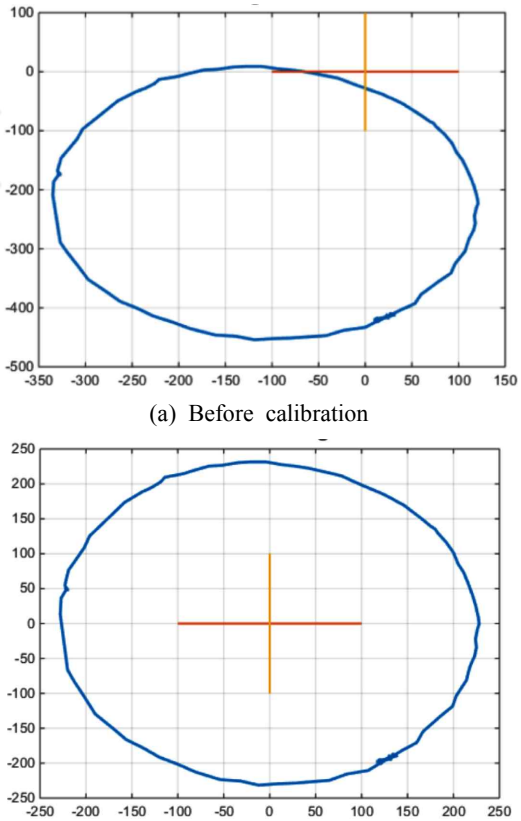
조종기의 마이크로 컨트롤러는 Arduino Uno, 블루투스 모듈은 HC-06, 지자기 센서는 HMC5883L을 사용하였다.

제어코드는 Arduino Sketch 프로그램을 사용하여 제작되었다. 지자계 센서의 원 출력값은 각도로 나오는 것이 아니라 X축과 Y축의 전압값으로 출력되는데, 이론적으로는 회전함에 따라 리사주 원을 형성해야 하지만 Hard Iron 효과와 Soft Iron 효과에 의해 원점의 오프셋과 타원의 기울어짐을 가지게 된다. 따라서 이 때 역탄젠트 값으로 구한 각도의 오차가 발생하게 된다. 다음의 Fig. 10은 Matlab을 이용하여 Hard iron 효과를 보정하여 적용한 자기장 값과 각도를 보여준다.

오프셋의 보정을 위하여 각 축의 최대, 최소값을 더하여 2로 나누어 준 값을 바이어스 값 이라고 하고, 측정되는 각 축의 원 값에 바이어스 값을 빼주어 원점을 잡아준다. 또한 주변의 Soft iron 효과에 의해 타원축이 기울어지는 현상도 발생하는데 이 또한 회전축 변환을 통하여 보정해 주었다.

또한 사용자의 명령을 입력받기 위하여 조이스틱 모듈에서의 X축 및 Y축의 포텐셔미터값을 구하여 원점으로부터 떨어진 거리를 동력부의 속도값으로 입력해주었고, +Y축을 기준으로 반 시계 방향으로 0~360도의 각도값을 구하였다. 이렇게 구하여진 조종기 쪽에서의 각도값과 조이스틱 값을 2 ms (500 Hz)로 블루투스를 통해 기구부에 전달해준다.

로봇에 장착된 수신부에서는 블루투스를 통해 읽어들인 조이스틱값 및 사용자의 방향값과 로봇에 장착된 지자기 센서의 값을 토대로 로봇의 방향차이를 계산하여 로봇의 실제로 이동할 방향을 보정하여 계산한다. 예를 들어 Fig. 11과 같이, 사용자의 전방이 정북기준 -45도 방향이고, 로봇의 각도 값이 +20도일 때, 사용자가



(a) Before calibration

(b) After calibration

Fig. 10 Compensation of the hard iron effect

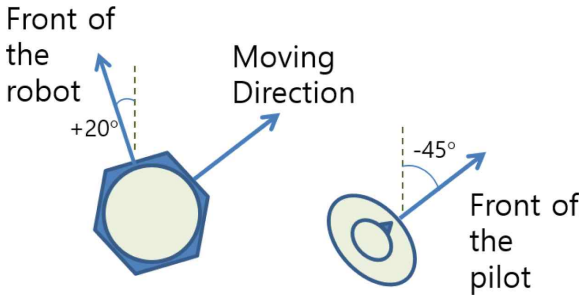


Fig. 11 Calibration of the robot heading

조이스틱을 사용자의 전방으로 움직이면, 로봇은 로봇 자체 정면 방향을 기준으로 -65도의 방향으로 이동하게 될 것이다(사용자의 전방과 같은 방향.) 이러한 방법에 의하여 현재 로봇이 어떤 방향으로 향해 서 있던지 간에 사용자가 바라보는 방향을 기준으로 움직이게 된다. 이렇게 보정된 방향 값과 속도값으로 역기구학을 풀어서 모터의 회전방향과 회전 속도를 결정하게 된다.

실제로 옴니휠을 이용한 볼바퀴 구동로봇을 구동할 때 바닥과의 마찰과, 구형 바퀴와 옴니 휠간의 미끄러짐 문제 때문에, 로봇의 정확한 회전이 어렵고 방향오차가 발생하게 된다. 본 연구에서는 이를 해결하기 위해 로봇 자체에 별도의 자이로 센서를 사용하여 미끄럼에 의해 발생한 오차의 반대 방향으로 재회전 보정하는 알고

리듬을 개발하여 정면 기준 방향이 유지될 수 있도록 해주었다.

자이로센서는 기본적으로 각속도 센서기 때문에 한 번 적분해야 지만 위치각도를 구할 수 있어서 항상 오프셋과 드리프트가 존재하는 데 문제는 시간이 지남에 따라 이러한 각도오차가 지속적으로 누적된다는 점이다.

이러한 문제점을 해결하기 위해, Fig. 12와 같이 매 샘플링마다 측정된 값에 바이어스 값을 빼주는 알고리듬을 추가하여 누적되는 각도의 값을 최소화 하였다. 그림에서 이산누적제어기(Binary I Controller)는 다음과 같이 동작한다.

$$I_i = I_{i-1} - sgn(\omega_{i-1}) \times k_c \tag{15}$$

$$\mathrm{sgn(x)} = \begin{cases} 1 & for\ x > 0 \\ 0 & for\ x = 0 \\ -1 & for\ x < 0 \end{cases} \tag{16}$$

여기서 k_c는 드리프트의 값에 의해 정해지는 상수이다[6].

마지막으로 사용자가 들고 다니는 조종기의 기울어짐에 의한 오차가 있는데, 이는 관성센서의 내장된 X, Y 가속도계를 사용하여 롤과 피치값을 측정하여 기울기에 의한 방향오차를 보정해 주었다. 기울기 보정식 적용결과 15~25 degree 정도에서는 5~6% 정도의 오차범위에 들어왔지만, 그 이상의 각도에서는 오차가 커져서 사용할 수 없었다. 이에 대한 방안으로 지자계 센서가 수평과 유지되도록 허리춤에 제어기부를 담는 사각 박스를 제작하여 부착하였다.

2.4 실험 결과

작품을 제작하고 구동을 하여 성능을 확인한 결과 의도했던 기능 및 성능을 구현하였다. Fig. 13은 최종적으로 완성된 로봇의 완성 사진이다. 작품에 의도한 핵심 기능으로는 헤드리스 조종기능, 전방향성 이동, 구동오차 보정 과 무선통신 등이 있다.

전방향성 이동은 사용자가 이동방향과 속도를 입력하면 구와 바닥면, 휠의 회전을 역기구학을 통해 해석하였고 기구에 해석된 값을 목표치로 사용하여 구동했다. 조종을 통한 방향의 전환에 있어서 모든 방향으로 이동이 가능함을 확인하여 무지향성 이동의 기능을 구현하였다. 기구의 이동속도는 선정한 모터와 휠, 구의 크기를 고려할 때 예상했던 이동속도를 보였다.

가장 중요한 기능인 헤드리스(Headless)기능의 구현도를 보기 위해 조종기의 조이스틱을 전진 상태로 고정시킨 상태로, 몸을 돌려 조종자의 방향을 바꿨을 경우, 로봇이 조종자의 방향에 맞추어 따라가는지 실험 운행 해보았다.

Fig. 14와 같이 실험 결과, 조종자의 방향과 10-20도 사이 약간의 오차가 있으나, 조종에는 큰 지장이 없을 정도로 잘 작동하고 있음을 확인할 수 있었다. 오차의 원인으로는, 지자기 센서의 경우, 주변 철골 구조나, 철문의 영향으로 인해 센서 값에 오차가 발생하는 것이라 판단된다.

설계된 Headless의 구현도를 보기 위해 조종기의 조이스틱을 전진 상태로 고정시킨 상태로, 몸을 돌려 조종자의 방향을 바꿨을 경우, 로봇이 조종자의 방향에 맞추어 따라가는지 실험 운행 해 본 결과 실시간으로 잘 추종하는 것을 확인하였고, 기구의 비틀림에 대한 방향 보정을 보기 위해 Fig. 15와 같이 진행 할 때, 임의로

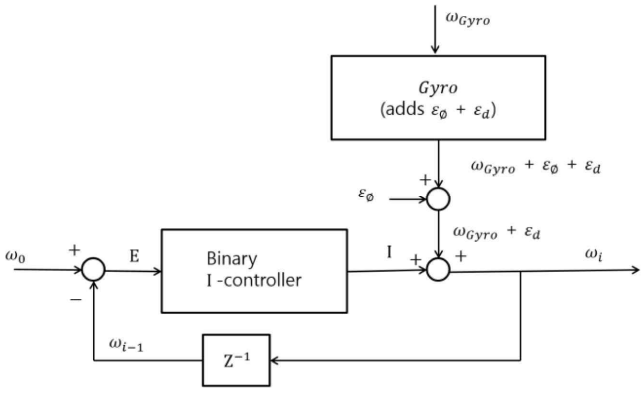


Fig. 12 Flow chart of the HDR algorithm

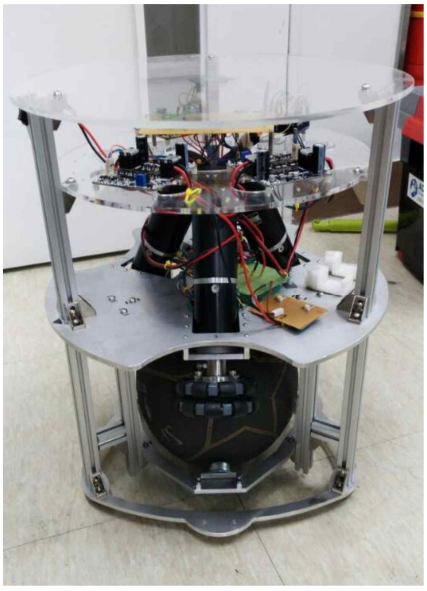


Fig. 13 HDR robot

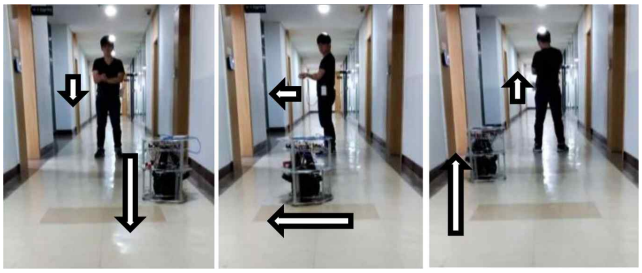


Fig. 14 Moving direction test

Fig. 15 Rotation of the robot

발로 기구를 틀어지게 하여 기구의 틀어짐에 대한 실험을 진행하였을 때도 강인하게 잘 추종하였다.

자이로 센서를 이용해, 진행 방향에서 각도가 틀어질 경우 틀어진 각도를 센서가 읽어 들여, 그만큼의 각도를 보정하기 위해, 다시 반대방향으로 회전하면서 진행하는 것을 실험을 통해 확인했다. 이 경우 값을 양수 또는 음수를 대입하여 틀어짐을 보정하는데, 진행 속도를 빠르게 할 경우 틀어짐을 보정과 동시에 기구의 회전 반경이 크게 발생하여 정면 방향의 오차가 발생한다. 이러한 경우 본 알고리듬에서는 진행 속도를 줄이고 센서의 절대값을 증가시켜 자체 회전을 증가시키고 회전 반경을 줄일 수 있었다.

3. 결 론

본 연구에서는 로봇이 실제 서있는 방향과 상관없이 조종기를 보유한 사용자의 전방을 기준으로 손쉽게 조종할 수 있는 헤드리스 제어가 가능한 전방향 구형바퀴 로봇을 설계 및 제작하였다.

설계된 로봇은 2개의 지자기 센서를 사용하여 로봇의 방향과 사용자의 방향의 오차를 인지하고, 이를 자동보상하여 볼 바퀴 로봇에 명령을 내리고, 이를 수신하여 옴니휠을 사용한 볼바퀴 로봇의 역기구학을 사용하여 3개의 모터를 제어하는 방식으로 설계하였다. 특히 볼바퀴 로봇에서 항상 발생하는 미끄러짐에 의한 방향의 오차를 관성센서 및 바이어스 보정 알고리듬을 통하여 실시간으로 피드백 보정해주는 알고리듬을 설계하였다.

또한 구동에 사용된 옴니휠은 그 작동원리상 마찰력이 두 방향으로 분해되어 작동하기 때문에 여기서도 일정부분의 슬립이 발생하므로 이러한 옴니휠의 슬립에 의한 오차도 실시간으로 같이 보정하는 알고리듬을 개발하였다.

한정된 예산에서 진행한 프로젝트인 만큼 제품의 설계시행착오를 줄이기 위한 많은 실험과 검증이 필요했다. 본 기구를 제작하기 전 필요한 설계변수들을 확인하기 위해 프로토타입을 미리 제작하고 실험하였다. 필요한 변수를 얻기 위해 배운 지식을 활용하였지만 마찰력이나 미끄러짐 등 확인할 수 없는 변수들이 많았는데 이론적으로 구한 값과 큰 차이를 보이는 경우를 많아서 이를 통해 이론적인 실험을 통한 데이터가 필요함을 알았다. 또한 설계의 시행착오를 줄이기 위하여, 이론적 해석을 통해 제품의 성능이 어떤 변수로 작용하여 결과에 어떠한 방향으로 영향을 미치는지 확인할 수 있었다.

개념설계부터 최종설계까지 진행하며 배운 것은 이론적 지식을 기반으로 실험을 진행해야 하고, 실험의 결과로 다시 이론적 해석을 진행하는 순환 과정의 필요함이다. 전통적인 설계방법인 순차적 설계 방식은 모든 과정이 완벽할 경우엔 가장 효율적이지만 구현가능하기 힘들고, 실제로 설계를 할 경우 프로타입을 먼저 제작하여, 본 설계에 반영하는 순환설계방식이 매우 효율적이다.

후 기

이 연구는 서울과학기술대학교의 교내 학술연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

[1] Lee, J. H., Kim, K. H., Jeon, H. J., Kim, J. S., Park, H. J., 2017, A Study on a Ballbot System Design for the Autonomous Drive, KSMTE Annual Autumn Conference, 12 302-302.

[2] Byun, K. S., Song, J. B., 2002, Motion Control of an Omnidirectional Mobile Robot with Steerable Omnidirectional Wheels, Institute of Control, Robotics and Systems, 10 185-190.

[3] Park, J. H., Kim, S. C., Lee, S. Y., 2013, Development of Stable Ballbot with Omnidirectional Mobility, Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, 19(1) 40-44.

[4] Shin, C. H., Lee, J. Y., Yim, H. J., Kim, C. H., 2017, Ballbot Structure Design for Personal Transportation, KSME Annual Spring Conference, 157-158.

[5] BA, P. D., Lee, S. G., Back, S. Y., Kim, J. J., Lee, M. K., 2016, Balancing and Translation Control of a Ball Segway That a Human Can Ride, Int. Conf. on Control, Automation and System(ICCAS), Oct., 16-19.

[6] Arimoto, S., 1990, Linear Controllable Systems, Nature, 135 18-27.