Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (2013) 19(1):40-44
http://dx.doi.org/10.5302/J.ICROS.2013.19.1.040 ISSN:1976-5622 eISSN:2233-4335

전방향 이동성을 갖는 안정한 볼봇 개발

Development of Stable Ballbot with Omnidirectional Mobility

박 재 한, 김 순 철, 이 수 영*
(JaeHan Park[1], SoonCheol Kim[1], and Sooyeong Yi[1])
[1]Seoul National University of Science and Technology

Abstract: The ball-shaped mobile robot, so called ballbot has single point contact on ground and low energy consumption in motion because of the reduced friction. In this paper, a new ballbot is presented, which has omnidirectional mobile platform inside of it as a driving system. Thus the ballbat has omnidirectional mobility without nonholonomic constraints. Kinematics and inverse kinematics of the ballbat is derived also in this paper.

Keywords: ballbot, single point contact, omnidirectional mobility, kinematics

I. 서론

공(ball)과 같은 구형의 외관을 갖는 로봇을 일명 볼봇(Ballbot)이라고 부른다[6]. 볼봇은 지면과 점접촉을 이루므로 마찰이 적고, 따라서 이동에 필요한 에너지 소모가 적으며, 또한 전방향 이동성을 갖는다는 장점이 있다[1]. 이러한 이유로 여러 연구기관에서 볼봇 관련한 연구가 수행되고 있는데, 그림 1은 여러 형태의 볼봇들을 보여준다[2,6,7,10, 12,13]. 볼봇의 구조는 크게 두 가지로 나누어지는데, (1) 그림 1(a)~(c)와 같이 구형태의 바퀴위에 구동부를 포함하는 로봇 몸체를 얹은 구조와 (2) 그림 1(d)~(e)와 같이 구동부를 구의 내부에 설치한 구조가 있다. (1)의 구조를 갖는 로봇은 기본적으로 자세가 불안정하므로 넘어지기 쉬우며, 따라서 로봇의 자세를 안정화시키기 위한 이동제어가 어렵다는 문제점이 있다. 반면에 (2)의 구조를 갖는 로봇은 기본적으로 안정하므로 이동제어가 상대적으로 쉽지만, 부피가 불필요하게 커질 수 있다는 단점이 있다.

그림 2는 앞서 설명한 바와 같이 구의 외부에 구동부를 포함하는 원기둥 형태의 로봇 몸체를 갖는 구조와 구의 내부에 구동부를 설치한 구조의 볼봇을 도식적으로 비교한 것이다. 그림 2(a)에서 구 외부의 구동부는 모터의 구동력을 마찰을 통해 바퀴에 전달하여 이동하게 된다. 한편 그림 2(b)와 같이 구의 내부에 구동부가 있는 경우는 구 내부에 설치한 구동부의 구조에 따라 (1) 균형추 구동방식[2,13]과 (2) 바퀴 구동방식[12]으로 나눌 수 있다. 균형추 방식은 균형추의 위치제어에 따라 구동 및 조향 토크를 얻는 것이고 (그림 1(d)), 바퀴 구동방식은 구 내부에 놓인 이동로봇 바퀴와 구 내면과의 마찰력을 통해 구동 및 조향 토크를 얻는 방식이다(그림 1(e)). 균형추를 이용한 구동방식은 앞서 설명한 볼봇의 주된 장점중의 하나인 전방향 이동성을 갖지 못한다는 단점이 있다.

한편 볼봇에 관한 연구는 크게 (1) 새로운 메커니즘 개발이라는 측면과 (2) 기구학(kinematics) 및 동력학 제어라는

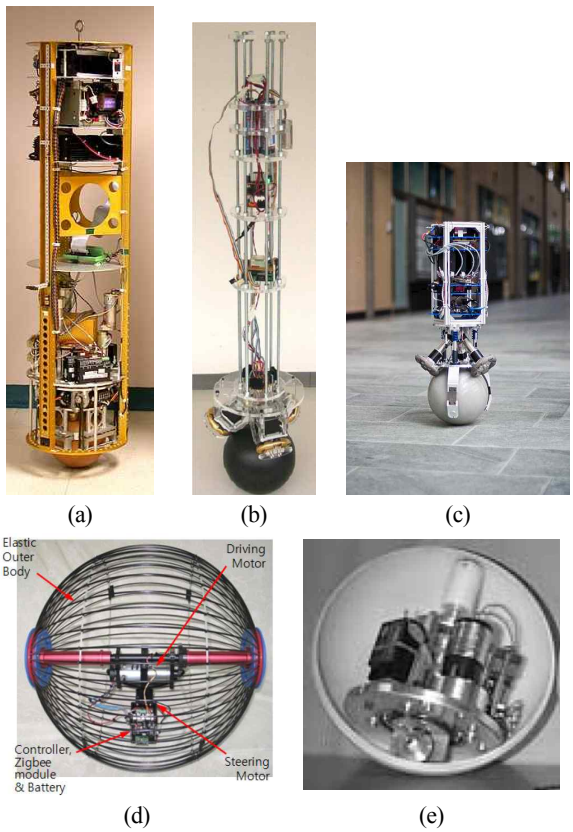
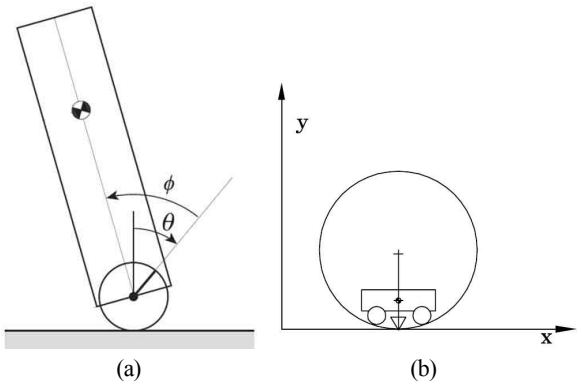


그림 1. 볼봇.

Fig. 1. Ballbots. (a) Carnegie Mellon Univ. [6] (b) Tohoku Univ. [7] (c) Swiss Federal Institute of Technology [10] (d) Chungnam National Univ. [2] (e) Helsinki Univ. [12].

* 책임저자(Corresponding Author)
논문접수: 2012. 11. 24., 수정: 2012. 12. 7., 채택확정: 2012. 12. 26.
박재한, 김순철, 이수영: 서울과학기술대학교 전기정보공학과
(soi-earth@nate.com/soonchulss@naver.com/suylee@seoultech.ac.kr)
※ 본 논문은 서울과학기술대학교 교내 학술연구비 지원으로 수행되었음.
※ 본 논문은 2012년 ICROS 전북제주지부 학술대회에서 초안이 발표되었음[15].

Copyright© ICROS 2013



(a) (b)

그림 2. 볼봇 구조 (a) 구의 위쪽에 로봇몸체(구동부)가 있는 경우 (b) 구의 내부에 구동부가 있는 경우.

Fig. 2. Structure of ballbot (a) Robot body with driving motor on the top of a ball (b) Driving platform inside of a ball.

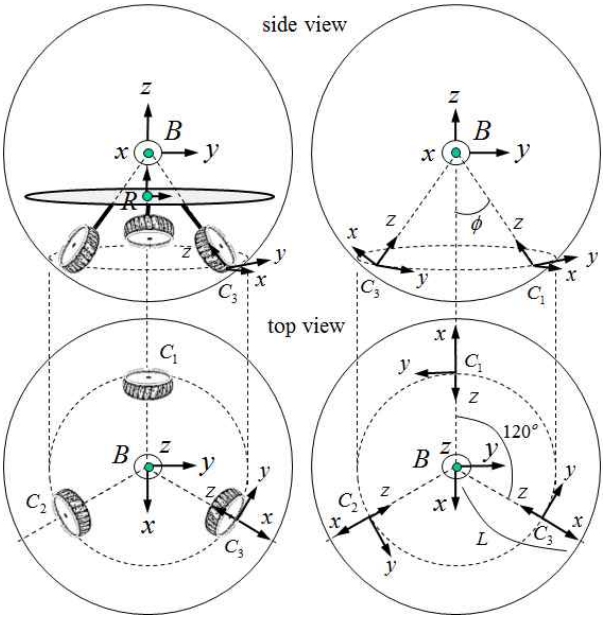
측면에서 이루어져 왔다. [1]에서 개발된 로봇은 구형 외관 외에도 돌출가능한 팔(Arm)을 가지고 있어서 급정지, 계단형 및 사면 지형 이동에 장점이 있다. [5,6]에서는 그림 2(a)와 같이 구의 외부에 구동부를 갖는 구조의 볼봇에 대한 라그랑지안 동력학식을 유도하고, LQR (Linear Quadratic Regulator) 기반의 제어 알고리즘을 제시하였으며, [2]에서는 구의 내부에 균형추를 갖는 볼봇에 대해 동력학식을 유도하고, 이동제어를 위한 선형제어 알고리즘을 제안한 바 있다. 또한 [3]에서는 구의 내부에 바퀴형 이동로봇을 설치하여 구동력을 얻는 구조의 볼봇에 대한 동력학식을 유도하고, 선형화 보상제어 알고리즘을 제안하였다.

앞서 설명한 바와 같이 구의 외부에 구동부를 설치한 구조의 볼봇은 넘어지기 쉬운 불안정성 때문에 이동제어가 어려우며, 구의 내부에 균형추를 설치한 구조의 볼봇은 전방향 이동성을 갖지 못한다는 문제점이 있다. 또한 구의 내부에 평지 이동로봇 형태의 구동부를 설치하는 방식은 [3,12], 구동부로 사용된 이동로봇이 전방향 이동성을 갖지 못하므로 볼봇 자체도 전방향 이동성을 갖지 못한다는 문제점이 있었다.

따라서 본 논문에서는 구의 내부에 전방향 이동성을 갖는 구동부를 설치한 새로운 볼봇을 개발한다. 구 내부에 설치된 구동부로 인하여 볼봇은 기본적으로 안정하며, 또한 구 내부 이동기구의 전방향 이동성 때문에 볼봇 자체도 전방향 이동성을 갖게 된다. 본 논문의 볼봇에 대한 체계적인 전방향 이동 기구학을 제시하고, 간단한 실험결과를 제시한다.

II. 볼봇의 구조와 전방향 기구학

본 논문에서 개발한 볼봇의 구조를 다음 그림 3에 보인다. 내부에 놓인 볼봇 구동부는 수평면에서 120도 간격으로 설치된 전방향 바퀴를 갖는 전방향 이동 플랫폼이다. 각 전방향 바퀴는 구 안쪽면의 접평면에 수직하도록 경사를 가지고 설치되었으며, 각 바퀴와 구 안쪽면과의 마찰에 의해 볼이 구동력을 얻게 된다. 볼봇의 개념도와 기구학 해석을 위한 좌표계를 그림 3에 표시하였다. 그림 3에서 구의 내부



(a) Structure of ballbot. (b) Coordinate frames.

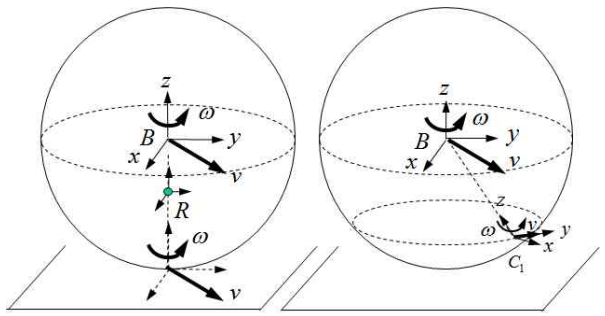
그림 3. 제안 볼봇 구조 및 좌표계.

Fig. 3. Structure and coordinate frames of the proposed ballbot.

에 놓인 전방향 이동 플랫폼에 설치된 좌표계는 R, 구의 중심에 설치된 좌표계는 B, 그리고 각 바퀴와 볼이 닿는 점의 좌표계는 각각 C_i, $i = 1, 2, 3$로 표시하였다.

이동 기구학을 구하기 위해서 본 논문에서는 볼봇 의 운동이 준정적(quasi-static)이라고 가정한다. 즉 볼봇이 이동할 때 구 내부의 전방향 이동 플랫폼은 항상 수평을 유지한다. 준정적 가정은 볼봇이 일정한 속도로 운동할 때 성립하며, 동적효과를 무시하고 속도 기구학만을 고려하여 볼봇의 운동을 표현할 수 있다.

이제 구와 지면과의 접점이 지면에 대해서 갖는 수평이동 속도와 수직축에 대한 각속도, (v_{xy}, ω_z)는 전방향 이동 플랫폼에 설치된 좌표계의 수평운동 (v_{xy}^R, ω_z^R)과 같게 된



(a) (b)

그림 4. 볼봇의 운동 (v, ω) (a) 지면과의 접점에서의 운동과 볼 중심에서의 운동 (b) 볼 중심에서의 운동과 각 바퀴에서의 운동.

Fig. 4. Motion of ballbot (v, ω) (a) Motion at ground contact point and motion at center of ball (b) Motion at center of ball and motion at each wheel.

다. 여기서 속도 v의 아래첨자 xy는 $x-y$ 평면상에서의 속도를 나타내며, 각속도 ω의 아래첨자 z는 z축을 기준으로한 회전운동임을 나타낸다. 볼봇 중심의 이동좌표계 B는 이동 플랫폼 좌표계 R과 수직방향의 거리편차만 있을 뿐이므로 (v_{xy}^R, ω_z^R)는 (v_{xy}^B, ω_z^B)과 같게 된다(그림 4). 결국 지면과의 접점에서 볼봇의 운동 (v_{xy}, ω_z)는 볼봇 중심의 운동 (v_{xy}^B, ω_z^B)와 같다. 따라서 지면에 대한 볼봇의 운동기구학은 좌표계 B에서의 운동과 바퀴 좌표계 C_i에서의 운동 사이의 관계로부터 얻어진다.

그림 3에서 좌표계 B로부터 각 좌표계 C_i까지의 좌표변환은 다음과 같다:

$$T_B^{C_1} = Rot(z,\pi)\cdot Rot(y,-\phi)\cdot Trans(z,-L) = \begin{bmatrix} -c\phi & 0 & -s\phi & -Ls\phi \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ s\phi & 0 & c\phi & -Lc\phi \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{1-1}$$

$$T_B^{C_2} = Rot(z,-\frac{\pi}{3})\cdot Rot(y,-\phi)\cdot Trans(z,-L) = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}c\phi & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{1}{2}s\phi & \frac{1}{2}Ls\phi \\ -\frac{\sqrt{3}}{2}c\phi & \frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2}s\phi & -\frac{\sqrt{3}}{2}Ls\phi \\ s\phi & 0 & c\phi & -Lc\phi \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{1-2}$$

$$T_B^{C_3} = Rot(z,\frac{\pi}{3})\cdot Rot(y,-\phi)\cdot Trans(z,-L) = \begin{bmatrix} \frac{1}{2}c\phi & -\frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{1}{2}s\phi & \frac{1}{2}Ls\phi \\ \frac{\sqrt{3}}{2}c\phi & \frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2}s\phi & \frac{\sqrt{3}}{2}Ls\phi \\ s\phi & 0 & c\phi & -Lc\phi \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{1-3}$$

위 식에서 L은 구의 반지름을 나타내며, ϕ는 바퀴와 구의 접점 좌표계에서 구의 중심으로 향하는 천정각(zenith angle)을 의미한다(그림 3). 위의 좌표변환 식들을 다음과 같이 열벡터들로 나타낸다:

$$T_B^{C_i} = [\,\overline{\boldsymbol{n_i}}\ \ \overline{\boldsymbol{o_i}}\ \ \overline{\boldsymbol{a_i}}\ \ \overline{\boldsymbol{p_i}}\,],\ i = 1,2,3 \tag{2}$$

이제 B 좌표계와 C_i 좌표계에서의 미소운동(Differential motion), 즉 Δ^B와 Δ^{C_i} 사이의 관계를 다음과 같이 나타낼 수 있다[14]:

$$\Delta^{C_i} = T_B^{C_i\,-1}\cdot \Delta^B \cdot T_B^{C_i} \tag{3}$$

여기서 Δ^B와 Δ^{C_i}는 각각 다음과 같다:

$$\Delta^B = \begin{bmatrix} 0 & -\delta_z^B & \delta_y^B & d_x^B \\ \delta_z^B & 0 & -\delta_z^B & d_y^B \\ -\delta_y^B & \delta_x^B & 0 & d_z^B \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \tag{4-1}$$

$$\Delta^{C_i} = \begin{bmatrix} 0 & -\delta_z^{C_i} & \delta_y^{C_i} & d_x^{C_i} \\ \delta_z^{C_i} & 0 & -\delta_z^{C_i} & d_y^{C_i} \\ -\delta_y^{C_i} & \delta_x^{C_i} & 0 & d_z^{C_i} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \tag{4-2}$$

위 식에서 $\overline{\boldsymbol{\delta}} = [\,\delta_x\ \delta_y\ \delta_z\,]^t$는 각 축 기준의 회전운동 성분을, 그리고 $\overline{\boldsymbol{d}} = [\,d_x\ d_y\ d_z\,]^t$는 각 축 방향의 병진운동 성분을 나타낸다.

식 (3)을 정리하면 각 미소운동 성분사이의 관계를 다음과 같이 얻을 수 있다:

$$\delta_x^{C_i} = \overline{\boldsymbol{\delta^B}}\cdot\overline{\boldsymbol{n_i}}, \tag{5-1}$$

$$\delta_y^{C_i} = \overline{\boldsymbol{\delta^B}}\cdot\overline{\boldsymbol{o_i}}, \tag{5-2}$$

$$\delta_z^{C_i} = \overline{\boldsymbol{\delta^B}}\cdot\overline{\boldsymbol{a_i}}, \tag{5-3}$$

$$d_x^{C_i} = \overline{\boldsymbol{n_i}}\cdot[\,\overline{\boldsymbol{\delta^B}}\times\overline{\boldsymbol{p_i}} + \overline{\boldsymbol{d^B}}\,], \tag{5-4}$$

$$d_y^{C_i} = \overline{\boldsymbol{o_i}}\cdot[\,\overline{\boldsymbol{\delta^B}}\times\overline{\boldsymbol{p_i}} + \overline{\boldsymbol{d^B}}\,], \tag{5-5}$$

$$d_z^{C_i} = \overline{\boldsymbol{a_i}}\cdot[\,\overline{\boldsymbol{\delta^B}}\times\overline{\boldsymbol{p_i}} + \overline{\boldsymbol{d^B}}\,] \tag{5-6}$$

예로서 $i=1$인 경우 각 미소운동 성분은 다음과 같이 구할 수 있다: 먼저 B 좌표계에서의 병진운동 성분 중에서 $d_z^B = 0$이고, 회전운동 성분중에서 $\delta_x^B = \delta_y^B = 0$이다. 이제 식 (1-1)에서 변환 $T_B^{C_1}$의 각 열벡터들을 $T_B^{C_1} = [\,\overline{\boldsymbol{n_1}}\ \overline{\boldsymbol{o_1}}\ \overline{\boldsymbol{a_1}}\ \overline{\boldsymbol{p_1}}\,]$로 두고, 이를 식 (4-1)~(4-6)에 대입하면 각 미소운동 성분은 다음과 같이 된다:

$$\begin{aligned}\delta_x^{C_1} &= \overline{\boldsymbol{\delta^B}}\cdot\overline{\boldsymbol{n_1}} \\ &= -c\phi\,\delta_x^B + s\phi\,\delta_z^B \\ &= s\phi\,\delta_z^B\end{aligned} \tag{6-1}$$

$$\begin{aligned}\delta_y^{C_1} &= \overline{\boldsymbol{\delta^B}}\cdot\overline{\boldsymbol{o_1}} \\ &= -\delta_y^B \\ &= 0\end{aligned} \tag{6-2}$$

$$\begin{aligned}\delta_z^{C_1} &= \overline{\boldsymbol{\delta^B}}\cdot\overline{\boldsymbol{a_1}} \\ &= -s\phi\delta_x^B + c\phi\delta_z^B \\ &= c\phi\,\delta_z^B\end{aligned} \tag{6-3}$$

$$\begin{aligned}d_x^{C_1} &= \overline{\boldsymbol{n_1}}\cdot[\,\overline{\boldsymbol{\delta^B}}\times\overline{\boldsymbol{p_1}} + \overline{\boldsymbol{d^B}}\,] \\ &= L\,\delta_y^B - c\phi\,d_x^B + s\,\phi\,d_z^B \\ &= -c\phi\,d_x^B\end{aligned} \tag{6-4}$$

$$\begin{aligned}d_y^{C_1} &= \overline{\boldsymbol{o_1}}\cdot[\,\overline{\boldsymbol{\delta^B}}\times\overline{\boldsymbol{p_1}} + \overline{\boldsymbol{d^B}}\,] \\ &= L\,s\phi\delta_z^B - L\,c\phi\,\delta_x^B - d_y^B \\ &= L\,s\,\phi\,\delta_z^B - d_y^B\end{aligned} \tag{6-5}$$

$$\begin{aligned}d_z^{C_1} &= \overline{\boldsymbol{a_1}}\cdot[\,\overline{\boldsymbol{\delta^B}}\times\overline{\boldsymbol{p_1}} + \overline{\boldsymbol{d^B}}\,] \\ &= 2L\,s\phi c\phi\,\delta_y^B - s\,\phi\,d_x^B + c\phi\,d_z^B \\ &= -s\,\phi\,d_x^B\end{aligned} \tag{6-6}$$

각 바퀴의 모터에서 생성할 수 있는 능동운동은 y 방향의 선속도 뿐 이므로 식 (6-5)에서 다음을 얻을 수 있다:

$$v_y^{C_1} = L\,s\phi\,\omega_z^B - v_y^B \tag{7}$$

같은 방법으로 식 (1-2)와 식 (1-3)으로부터 C_2 및 C_3 좌표계의 능동운동과 B 좌표계에서의 운동간의 관계를 다음과 같이 얻을 수 있다:

$$v_y^{C_2} = Ls\phi\omega_z^B + \frac{\sqrt{3}}{2}v_x^B + \frac{1}{2}v_y^B \tag{8}$$

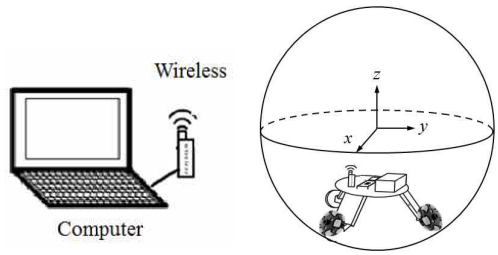
$$v_y^{C_3} = Ls\phi\omega_z^B - \frac{\sqrt{3}}{2}v_x^B + \frac{1}{2}v_y^B \tag{9}$$

따라서 식 (7)~(9)를 행렬형식으로 정리한 볼봇 기구학은 다음과 같다:

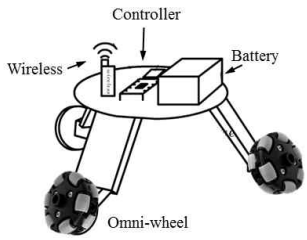
$$\begin{bmatrix} v_y^{C_1} \\ v_y^{C_2} \\ v_y^{C_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -1 & Ls\phi \\ \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{2} & Ls\phi \\ -\frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{2} & Ls\phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_x^B \\ v_y^B \\ w_z^B \end{bmatrix}$$
$$\equiv \begin{bmatrix} v_x^B \\ v_y^B \\ w_z^B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -1 & Ls\phi \\ \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{2} & Ls\phi \\ -\frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{2} & Ls\phi \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} v_y^{C_1} \\ v_y^{C_2} \\ v_y^{C_3} \end{bmatrix} \tag{10}$$

III. 볼봇 개발 및 실험

본 논문에서 개발한 볼봇의 구조는 다음과 같다. 그림 5 (a)는 볼봇의 내부에 놓일 구동부이다. 120도 간격으로 설



(a) Overview of ballbot system.



(b) Driving platform of ballbot.

(c) Real image of ballbot.

그림 5. 개발한 볼봇 시스템.

Fig. 5. Ballbot system.

그림 6. 볼봇 이동제어 실험.

Fig. 6. Experiment of motion control for ballbot.

치된 세 개의 전방향 바퀴를 가지며 각각의 모터 제어기와 함께, 원격 이동명령을 받을 수 있는 무선채널 및 마이크로프로세서 보드를 가지고 있다. 사용자는 PC를 이용하여 무선채널을 통해 이동명령을 내릴 수 있도록 되어 있다.

그림 6은 본 논문에서 개발한 볼봇의 이동제어 실험 상황을 보인 것이다. 전반적으로 명령 궤적을 추종하기는 하지만, 볼봇 내부의 이동플랫폼 구동부가 정적 안정성을 만족하지 못하고 전후좌우로 진동하는 것이 관측되었다. 이는 볼봇 자체의 이동제어 오차를 일으키게 하는 요인이 된다. 이러한 문제를 극복하기 위해서는 이동플랫폼의 무게와 볼 외피의 무게의 상대적인 크기에 따른 관성 효과를 고려해야 하며, 또한 모터제어에 있어 가감속 제어가 필요할 것으로 보인다.

IV. 결론

본 논문에서는 내부에 전방향 이동플랫폼 형태의 구동부를 갖는 새로운 볼봇을 개발하였다. 제안한 볼봇은 지면과 점접촉을 가지므로 이동에 필요한 에너지가 적으며, 또한 전방향 이동성을 갖는다는 장점이 있다. 체계적인 방법을 통해 제안한 볼봇을 위한 기구학 및 역기구학을 유도하였으며, 실험을 통해 검증을 하였다. 볼봇 내부에서 이동플랫폼의 가감속에 따른 진동을 극복하기 위해 향후에는 동력학 제어가 필요하다.

참고문헌

[1] S. Ahn, Y. Kim, and Y. Lee, “A Deformable Spherical Robot with Two Arms,“ *Journal of Institute of Control, Robotics, and Systems (in Korean)*, vol. 16, no. 11, pp. 1060-1067, 2010.

[2] J. Kim, H. Kwon, and J. Lee, “A rolling robot: design and implementation,” *Proc. of the 7th Asian Control Conference*, Hong Kong, China, Aug. 27-29, 2009.

[3] A. Bicci, A. Balluchi, D. Prattichizzo, and A. Gorelli, “Introducing the SPHERICLE: an experimental testbed for research and teaching in nonholonomy,” *Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 2620-2625, Apr. 1997.

[4] S. Yi, K. Lee, K, Ha, and J. Shin, “Sphere-shape platform capable of omnidirectional mobility *(in*

Korean)," Pat.(pending) no. 10-2012-0022018, Korea, 2012.

[5] T. Lauwers, G. Kantor, and R. Hollis, "A dynamically stable single-wheeled mobile robot with inverse mouse-ball drive," *Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Orlando, FL, pp. 2884-2889, May 2006.

[6] T. Lauwers, G. Kantor, and R. Hollis, "One is enough!," *Robotics Research*, vol. 28, pp. 327-336, 2007.

[7] M. Kumagai and T. Ochiai, "Development of a robot balancing on a ball," *Proc. of International Conference on Control, Automation and Systems*, Seoul, Korea, pp. 433-438, Oct. 2008.

[8] Y. Yamamoto, "NXT ballbot model-based design-control of a self-balancing robot on a ball, built with LEGO Mindstorms NXT," April 2009.

[9] C. Wu and C. Hwang, "A novel spherical wheel driven by omniwheels," *Proc. of the Seventh International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, Kunming, vol. 7, pp. 3800-3803, July 2008.

[10] S. Doessegger, P. Fankhauser, C. Gwerder, J. Huessy, J. Kaeser, T. Kammermann, L. Limacher, and M. Neunert, "Rezero," Focus Project Report, Autonomous Systems Lab., ETH Zurich, Switzerland, 2010.

[11] http://en.wikipedia.org/wiki/Ballbot

[12] A. Halme, T. Schonberg, and Y. Wang, "Motion control of a spherical mobile robot," *Proc. of 4th International Workshop on Advanced Motion Control*, Mie University, Japan, vol. 1, pp. 259-264, 1996.

[13] F. Michaud and S. Caron, "Roball, the rolling robot," Autonomous Robots, vol. 12, pp. 211-222, 2002.

[14] P. McKerrow, *Introduction to Robotics*, Addison-Wesley, 1990.

[15] J. Park, S. Kim, and S. Yi, "Development of ball-shaped robot," *2012 ICROS Jeonbuk and Jeju Regional Conference (in Korean)*, vol. 1, pp. 120-123, 2012.

박 재 한

2007년 3월~현재 서울과학기술대학교 전기정보공학과 재학중. 관심분야는 보행로봇, 로봇비젼.

김 순 철

2007년 3월~현재 서울과학기술대학교 전기정보공학과 재학중. 관심분야는 보행로봇, 로봇비젼.

이 수 영

1988년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1990년 2월 KAIST 전기및 전자공학과 졸업(공학석사). 1994년 8월 KAIST 전기및전자공학과 졸업(공학박사). 1995년 3월~1999년 8월 KIST 시스템연구부 선임연구원. 1997년 2월~1998년 2월 Univ. of Southern California 박사후과정. 1999년 9월~2007년 2월 전북대학교 전자정보공학부 부교수. 2005년 6월~2006년 8월 Univ. of Illinois at Urbana-Champaign 방문교수. 2007년 3월~현재 서울과학기술대학교 전기공학과 교수. 관심분야는 보행로봇, 로봇비젼.