

논문 2011-48SC-6-1

두 바퀴로 구동하는 이동로봇 시스템의 균형 제어

(Balancing Control of a Two Wheeled Mobile Robot System)

이 형 직*, 정 슬**

(Hyung-jik Lee and Seul Jung)

요 약

본 논문에서는 역진자 시스템과 이동로봇 시스템의 두 시스템으로 구성된 두 바퀴 구동 이동로봇의 구현 및 제어에 대해 논한다. 제어 목적은 균형을 유지하며 이동하는 것이다. 밸런싱 로봇은 한 점에서 회전이 가능하고 바닥으로 부터의 외란에 강한 균형을 유지한다. 국부 및 전역 좌표계에서의 제어방식의 시뮬레이션을 수행하였다. 로봇이 대칭을 이루도록 만들어졌기 때문에 균형과 주행제어에 간단한 선형 제어를 사용하였다. 기울어진 각도를 추출하기 위해 자이로와 기울기 센서를 융합하여 사용하였다. 주어진 원형 경로를 주행하는 실험을 수행하였다.

Abstract

This paper presents implementation and control of a two wheeled mobile robot system which consists of two systems, an inverted pendulum system and a mobile robot system. Control purpose is to regulate its balancing and navigation. The balancing robot has advantages of one point turning and robust balancing against disturbances from the ground. Simulation studies of local and global control methods are performed. Since the robot is implemented to have a symmetrical structure, simple linear control algorithms are used for balancing and navigation. Low cost sensors such as gyro and tilt sensor are fused together to detect the inclined angle. Experimental studies of following desired circular trajectory are conducted.

Keywords : Two wheeled mobile robot, Inverted pendulum, balancing control

I. 서 론

최근에는 JOE 나 Segway라고 불리는 두 바퀴로 움직이는 이동로봇에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. [1~2] 두 바퀴로 구동하는 이동로봇 또는 간단히 밸런싱 로봇은 몸체의 움직임과 각도를 측정하여 균형을 유지하며 이동하는 로봇을 말한다. 따라서 밸런싱 로봇은 역진자 시스템과 이동로봇시스템이 합하여진 로봇구조

를 가지고 있으며, 좁은 공간에서 360도 회전이 가능하고 바닥으로부터의 외란에 대해 균형을 유지하는 장점이 있다.

최근에는 기존의 일인용 Segway 형태의 운송 수단에서 벗어나 2인용 차량 형태의 PUMA가 개발 되었다. PUMA는 좁고 복잡한 도시환경에서 쉽게 이동할 수 있는 운반수단으로 개발되고 있다.[3]

또한 밸런싱 로봇은 제어공학의 대표적인 동적 시스템인 역진자 시스템보다 더 도전적이고 실용적이므로 관심도가 점점 커져가고 있는 것이 사실이다. 밸런싱 로봇은 비선형이고 nonholonomic 시스템이므로 균형을 잘 유지하며 이동하도록 하기 위해 고급 제어 이론을 적용하여 실험하기도 하고 지능제어 이론을 적용하기도 한다.[4~6]

균형을 위해 각도정보를 알아내는 센서로는 틸트 센

* 정회원, 주식회사 만도
(Mando)

** 정회원-교신저자, 충남대학교 메카트로닉스공학과
(Chungnam National University)

※ 본 논문은 2010년 교육과학기술부의 일반연구사업과 지식 경제부 융복합형 로봇인력양성 서비스로봇용 자율지능형 매니플레이션 센터의 연구결과로 지원에 감사드립니다.

접수일자: 2011년3월28일, 수정완료일: 2011년9월21일

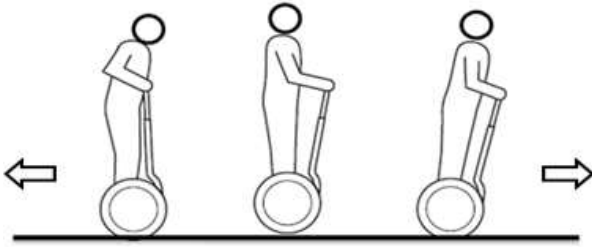


그림 1. 밸런싱 로봇의 개념
Fig. 1. Concept of balancing robot.

서와 자이로 센서 또는 가속도 센서가 있다. 각도를 정확하게 제공하는 자세 센서를 사용하면 되지만 값이 고가이다. 선행연구에서는 상용 자이로 센서를 사용하여 기울어진 각도를 측정하였으며, 신경망 제어기를 사용하여 외란에 강건하도록 하였다.^[7] 따라서, 센서 융합을 통하여 각도를 잘 알아내고 균형을 유지하며 주어진 경로를 추종하도록 하는 것이 중요하다.

틸트센서는 저주파의 응답 특성이 좋지만 느린 반응 속도와 빠른 주파수에서의 불안정한 특성을 보인다. 반면에 자이로 센서는 각속도를 측정하는 센서이며, 동적 특성이 좋지만 각도를 측정할 때의 적분에 의해서 드리프트가 발생하는 단점이 존재한다.^[8] 이런 문제를 해결하기 위해 기존연구에서는 complementary 필터를 이용하고,^[9] Kalman 필터와 신경회로망을 이용하여 비교적 정확한 각도를 측정할 수 있었다.^[10]

본 논문에서는 두 바퀴 구동 밸런싱 로봇에 대한 모델링을 통해 제어 시뮬레이션을 수행하였다. 엔코더 센서만 의존하는 경우와 엔코더와 함께 전역센서를 사용하는 경우에 대해 각각 시뮬레이션을 수행하여 비교하여 보았다.

또한 두 바퀴 형태의 이동 로봇이 앞뒤좌우가 대칭되도록 설계 및 제작하여 무게중심이 로봇 가운데 오도록 하였다. 틸트센서와 자이로 센서를 융합하여 각도를 추정하고 선형제어기를 사용하여 로봇이 균형을 잡으면서 원 경로를 추종하는 위치제어 실험을 수행하였다.

II. 로봇 모델링

1. 기구학 및 동역학

그림 2에 밸런싱로봇의 좌표계가 나타나 있다. 일반적인 이동로봇의 전역 좌표($O_W X_W Y_W Z_W$)에서 기구학은 다음과 같이 표현된다^[7].

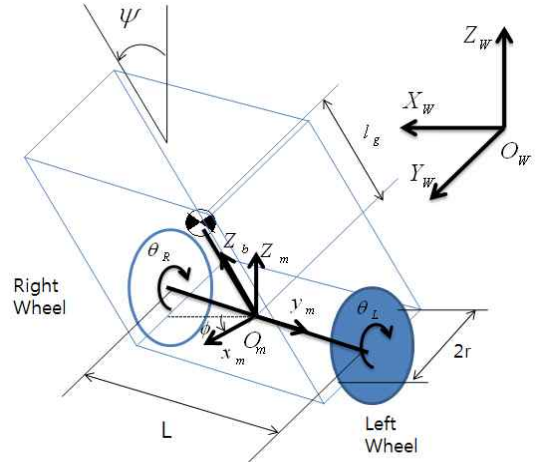


그림 2. 이동로봇 좌표
Fig. 2. Coordinates of mobile robot.

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_m \\ \dot{y}_m \\ \dot{\phi}_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{r}{2} \cos \phi_m & \frac{r}{2} \cos \phi_m \\ \frac{r}{2} \sin \phi_m & \frac{r}{2} \sin \phi_m \\ \frac{r}{L} & -\frac{r}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_R \\ \dot{\theta}_L \end{bmatrix} \quad (1)$$

식 (1)은 무게 중심점이 차축에 있을 경우에 각 바퀴의 속도와 직교좌표 공간에서의 속도와의 관계를 나타낸다. 바퀴의 속도를 제어하므로 로봇의 속도가 결정된다. 로봇의 각 변수는 표 1에 나타나 있다.

표 1. 역진자 이동로봇 변수들
Table 1. 로봇 parameters.

| 변수 | 단위 | 설명 |
|------------------------|---------------------|----------------------|
| θ_R, θ_L | [rad] | 각 바퀴의 회전각도 |
| x_m, y_m | [m] | 이동로봇의 위치 |
| ϕ_m | [rad] | 헤딩각도 |
| ψ | [rad] | 카트의 기울어진 각도 |
| M_g, M_w | [Kg] | 카트 및 바퀴의 무게 |
| l_g | [m] | 바퀴축과 무게중심까지 거리 |
| L | [m] | 바퀴사이의 거리 |
| r | [m] | 바퀴의 반지름 |
| I_g | [Kgm ²] | 카트의 관성모멘트 |
| I_{wa}, I_{wd} | [Kgm ²] | 바퀴 축 및 수직방향 관성모멘트 |
| I_{ra}, I_{rd} | [Kgm ²] | 모터의 로터축 및 수직방향 관성모멘트 |
| γ | | 모터의 기어비 |
| τ_{rw}, τ_{lw} | [Nm] | 각 바퀴의 토크 |

2. 동역학

밸런싱 로봇의 동역학은 위치에너지와 운동에너지가 반으로 구할 수 있다. 라그랑지안 기반의 식을 통해 정

리하여 구한 전체 동역학식은 다음과 같다.^[5, 11]

$$M(q)\ddot{q} + H(q, \dot{q}) + G = E\tau + A(q)^T\lambda \quad (2)$$

$$M(q) = \begin{bmatrix} M_g & 0 & M_{13} & M_{14} & 0 & 0 \\ 0 & M_g & M_{23} & M_{24} & 0 & 0 \\ M_{31} & M_{32} & M_{33} & 0 & 0 & 0 \\ M_{41} & M_{42} & 0 & M_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & M_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & M_{66} \end{bmatrix}$$

$$M_{13} = M_{31} = -l_g M_g \sin\psi \sin\phi_m$$

$$M_{14} = M_{41} = l_g M_g \cos\psi \cos\phi_m$$

$$M_{24} = M_{42} = l_g M_g \cos\psi \sin\phi_m$$

$$M_{23} = M_{32} = l_g M_g \sin\psi \cos\phi_m$$

$$M_{33} = (I_g^2 M_g \sin^2\psi + I_{xx} \sin^2\psi + I_{zz} \cos^2\psi + 2I_{wd} + 2I_{rd})$$

$$M_{44} = (I_g^2 M_g + I_{yy})$$

$$M_{55} = (M_w r_w^2 + I_{wa} + I_{ra} \gamma^2)$$

$$M_{66} = (M_w r_w^2 + I_{wa} + I_{ra} \gamma^2)$$

$$H(q, \dot{q}) = \begin{bmatrix} -l_g M_g \sin\psi \cos\phi_m (\dot{\psi}^2 + \dot{\phi}_m^2) - 2l_g M_g \dot{\psi} \dot{\phi}_m \cos\psi \sin\phi_m \\ -l_g M_g \sin\psi \sin\phi_m (\dot{\psi}^2 + \dot{\phi}_m^2) + 2l_g M_g \dot{\psi} \dot{\phi}_m \cos\psi \cos\phi_m \\ 2(I_g^2 M_g + I_{xx} - I_{zz}) \sin\psi \cos\psi \dot{\phi}_m \dot{\psi} \\ -(I_g^2 M_g + I_{xx} - I_{zz}) \sin\psi \cos\psi \dot{\phi}_m^2 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$G = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ -M_g g l_g \sin\psi \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad E = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ -1 & -1 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \tau = \begin{bmatrix} \tau_{rw} \\ \tau_{lw} \end{bmatrix}$$

단, 여기서 $q = [x_m, y_m, \phi_m, \psi, \theta_{rw}, \theta_{rw}]^T$ 이다. 식(2)의 $M(q) \in R^{6 \times 6}$ 은 관성행렬, $H(q, \dot{q}) \in R^{6 \times 1}$ 는 코리올리스와 원심력, $G \in R^{6 \times 1}$ 는 중력힘, $E \in R^{6 \times 2}$ 는 입력변환 행렬, $\tau \in R^{2 \times 1}$ 는 control torque, $A(q)$ 는 로봇의 구속 행렬, 그리고 λ 는 Lagrange multiplier 이다.

구속 행렬은 이동로봇이 측면으로 이동할 수 없고, 또한 슬립이 일어나지 않는다는 가정에 의해 다음과 같이 정의된다.

$$A(q) = \begin{bmatrix} \sin\phi_m - \cos\phi_m & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \cos\phi_m & \sin\phi_m & L/2 & 0 & -r & 0 \\ \cos\phi_m & \sin\phi_m & -L/2 & 0 & 0 & -r \end{bmatrix} \quad (3)$$

한편 $A(q)$ 와 $A(q)S(q) = 0$ 이 만족하는, 즉 null space 관계인 행렬을 $S(q)$ 라 하면 식(4)과 같이 구할 수 있다.

$$S(q) = \begin{bmatrix} \cos\phi_m & 0 & 0 \\ \sin\phi_m & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ \frac{1}{r} & \frac{L}{2r} & 0 \\ \frac{1}{r} & -\frac{L}{2r} & 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

만약 \dot{q} 이 null space에서 항상 존재하고, 새로운 속도 벡터를 $\xi = [v_m, \dot{\phi}_m, \dot{\psi}]^T$ 라 정의하면 다음과 같이 자코비안식이 존재하게 된다.

$$\dot{q} = S(q)\xi \quad (5)$$

$$\ddot{q} = \dot{S}(q)\xi + S(q)\dot{\xi} \quad (6)$$

식(2)에 $S(q)^T$ 를 곱하여 $S(q)^T A(q)^T = 0$ 를 만족하도록 Lagrange multiplier를 소거하면 다음과 같다.

$$S(q)^T M(q)\ddot{q} + S(q)^T H(q, \dot{q}) + S(q)^T G = S(q)^T E\tau \quad (7)$$

식(7)에 식(5)와(6)을 대입하고 정리하면 다음과 같다.

$$\hat{M}\dot{\xi} + \hat{H}(\xi, \xi) + \hat{G} = \hat{E}\tau \quad (8)$$

여기서,

$$\begin{aligned} \hat{M} &= S(q)^T M(q) S(q), \\ \hat{H} &= S(q)^T [M(q)\dot{S}(q)\xi + H(q, \dot{q})], \\ \hat{G} &= S(q)^T G, \quad \hat{E} = S(q)^T E \end{aligned}$$

이다. 식(8)을 통해 역진자 이동로봇의 구속조건이 제거된 동역학식을 구할 수 있다.

III. 제어 및 시뮬레이션

1. 국부 제어 방식

동역학식(8)을 기반으로 시뮬레이션을 수행하였다. 균형을 유지하면서 동시에 로봇의 위치를 제어하기 위해서 그림 3과 같이 제어 블록을 구성하였다. 기준 각도 ψ_d 와 각속도 $\dot{\psi}_d$ 는 항상 0도로 하고, 로봇의 회전에 따라 ϕ_d 와 $\dot{\phi}_d$ 를 설정한다. 또한 기준위치 x_{md} 설정함으로써 원하는 위치에서 균형을 잡을 수 있도록 한다. 로봇을 설계하고 제작할 때 가능하면 무게 중심이 로봇의 가운데로 오도록 하여 선형제어기로 로봇을 제

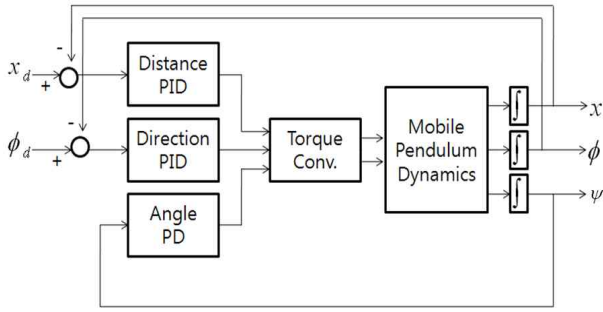


그림 3. 시뮬레이션 제어 블록
Fig. 3. Simulation block diagram.

어한다.

그림 3에 선형제어기만으로 구성된 제어블록이 나타나 있다. 기울어진 각을 제어하기 위해 PD 제어기를 사용하고, 방향과 위치를 제어하기 위해 PID 제어기를 사용하였다. 각 제어기의 출력은 합하여 식(9)의 오른쪽과 왼쪽 바퀴의 구동 토크 입력이 된다.

$$\begin{aligned} \tau_R &= K_1(\psi_d - \psi) + K_2(\dot{\psi}_d - \dot{\psi}) \\ &\quad + K_3(\phi_{md} - \phi_m) + K_4(\omega_{md} - \omega_m) + K_5 \int_0^t (\phi_{md} - \phi_m) dt \\ &\quad + K_6(x_{md} - x_m) + K_7(v_{md} - v_m) + K_8 \int_0^t (x_{md} - x_m) dt \\ \tau_L &= K_1(\psi_d - \psi) + K_2(\dot{\psi}_d - \dot{\psi}) \\ &\quad - K_3(\phi_{md} - \phi_m) - K_4(\omega_{md} - \omega_m) - K_5 \int_0^t (\phi_{md} - \phi_m) dt \quad (9) \\ &\quad + K_6(x_{md} - x_m) + K_7(v_{md} - v_m) + K_8 \int_0^t (x_{md} - x_m) dt \end{aligned}$$

각도제어에 PD제어기를 사용한 이유는 누적 오차에 의한 각도의 진동을 최소화하기 위해서이다.

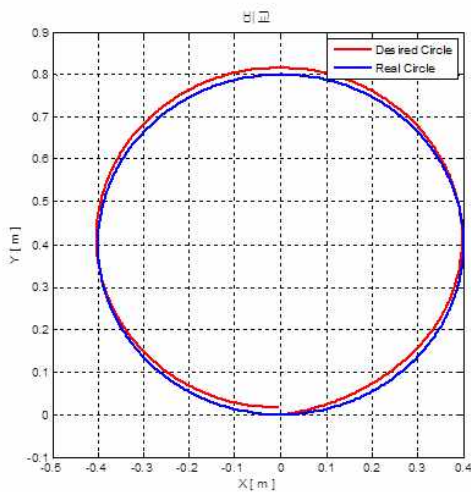


그림 4. 원 경로 추종 결과
Fig. 4. Circular trajectory tracking result.

시뮬레이션 결과 그림 4와 같이 로봇이 기준값을 추종하는 것을 볼 수 있다. 그러나 그림 7에 보여진 전역 좌표계의 경우와 비교해보면 오차가 발생하는 것을 볼 수 있다.

3. 전역 제어 방식

전역 센서가 있다는 가정 하에 추종오차를 전역 좌표에서 그림 5와 같이 설정할 수 있다.

기준로봇의 위치 $P_d = [x_d \ y_d \ \phi_d]$ 와 현재 이동로봇의 위치 $P = [x_m \ y_m \ \phi_m]$ 를 이용하여 이동로봇의 위치오차 $P_e = [x_e \ y_e \ \phi_e]$ 를 구하면 다음과 같다.

$$P_e = \begin{bmatrix} \cos \phi_m & \sin \phi_m & 0 \\ -\sin \phi_m & \cos \phi_m & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} (P_d - P) \quad (10)$$

따라서 기준경로를 전역좌표에서 다음과 같이 설정하였다.^[12]

$$\begin{bmatrix} v_{md} \\ \omega_{md} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_d \cos \phi_e + K_x x_e \\ \omega_d + v_d (K_y y_e + K_\phi \sin \phi_e) \end{bmatrix} \quad (11)$$

제어방식은 국부제어 방식과 동일하게 사용하였다. 식(11)에서 K_x, K_y, K_ϕ 를 설정함으로써 기준 경로인 v_{md}, ω_{md} 가 정해지게 된다. 이를 적분하여 원하는 위

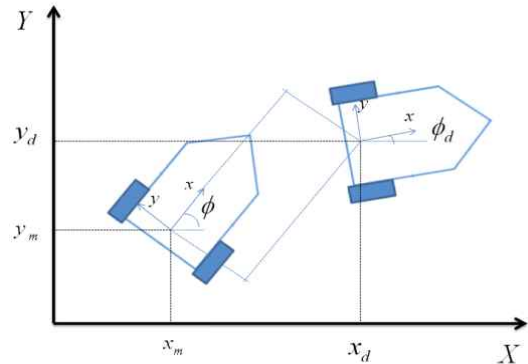


그림 5. 전역 좌표계 추종오차
Fig. 5. Global coordinates tracking error.

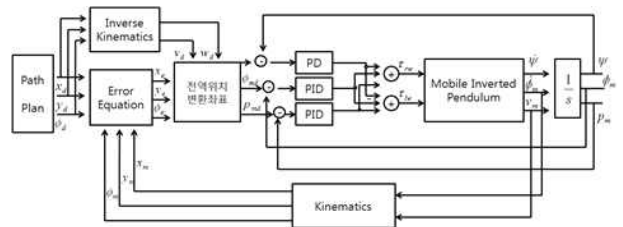


그림 6. 전역 제어 시뮬레이션 블록
Fig. 6. Global Control Simulation block diagram.

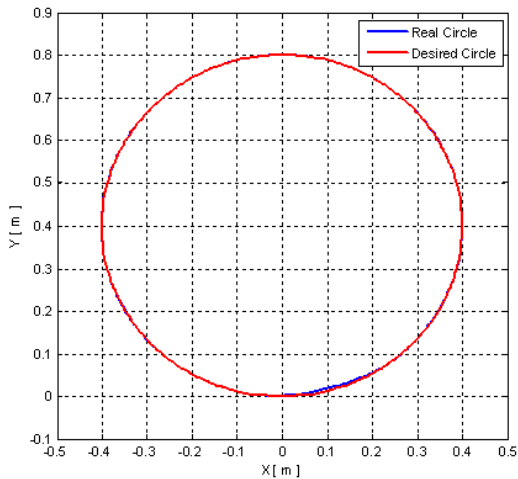


그림 7. 전역 원 경로 추종 결과
 Fig. 7. Circular trajectory tracking result by global control.

치와 heading각도를 생성하였으며, 경로를 따라 제어하게 된다. 전역위치제어방식을 적용한 밸런싱 로봇의 제어 블록다이어그램은 그림 6과 같다.

그림 7은 원 경로 추종 결과를 나타낸다. 그림 4와 비교하면 추종오차가 작아진 것을 알 수 있다. 이는 제어기의 성능보다는 전역 제어 방식으로 오차를 줄였기 때문이다.

IV. 실험

1. 실험 환경

실험을 위해 그림 8에 보여진 두 바퀴로 구동하는 로봇을 제작하였다. 로봇이 가운데를 중심으로 균형을 이루도록 하여 비선형 요소를 줄이고자 하였다. 로봇의 바퀴 사이의 거리는 $L = 0.33m$, 바퀴의 반지름은 $r = 0.05m$ 이며, 각각의 바퀴는 기어비 1/17의 24V DC



그림 8. 두 바퀴 형태의 밸런싱로봇
 Fig. 8. Two wheeled balancing robot.

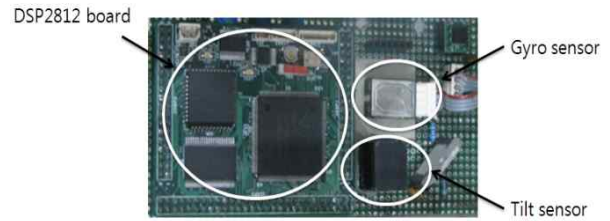


그림 9. 제어와 센서 하드웨어
 Fig. 9. Controller and sensor.

모터로 구동된다. 모터 드라이버는 LM18200을 이용하였다.

그림 9는 제어기로 사용된 DSP2812와 각도 측정에 사용된 센서들을 나타낸다. 기울어진 각을 측정하기 위해 틸트 센서와 자이로 센서를 이용하였다.

DSP2812의 경우 부동소수점연산이 가능하고, 아날로그 센서 처리를 위한 12비트 A/D 컨버터 와 2개의 엔코더를 처리할 수 있는 QEP(Quadrature Encoder Pulse) 모듈이 장착되어 있어 제어에 용이하고 간단하게 회로를 구성할 수 있다. 센서의 샘플링 주파수는 500Hz 이고 제어 주기는 100Hz로 하여 밸런싱 로봇의 각도와 위치 추종 실험을 하였다. 제어기의 이득값은 실험을 통해 안정적인 응답을 나타내는 이득값을 구하여 사용하였다.

2. 실험 결과

로봇이 지름이 0.8m인 원 경로를 시계 반대 방향으로 30초에 한 바퀴 돌 수 있도록 경로를 설정하고 실험하였다. 그림 10은 실제 동영상상을 캡처한 것이다. 그림 11에 로봇이 0도를 기준으로 넘어지지 않고 균형을 잘

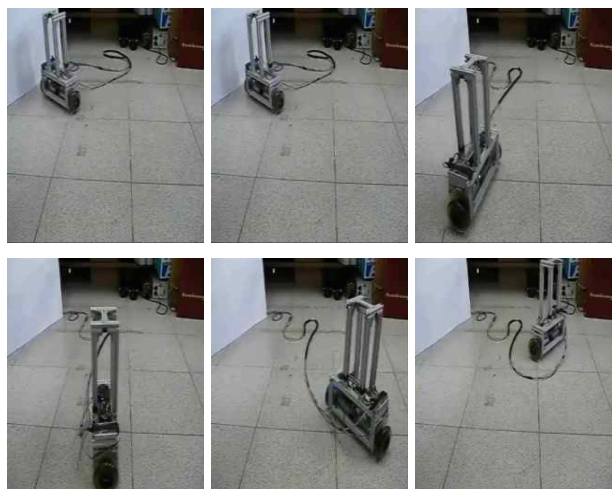


그림 10. 원 경로 추종 실험 사진
 Fig. 10. Experimental pictures of circle trajectory tracking.

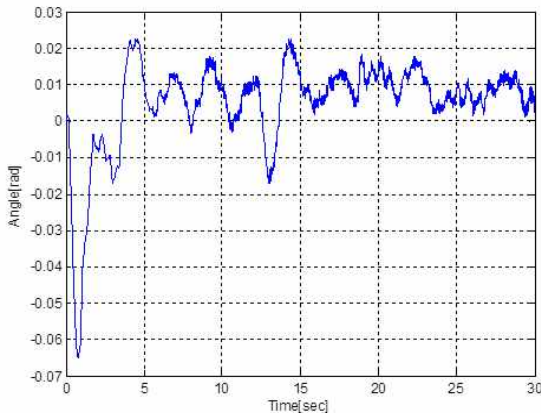


그림 11. 밸런싱 각도
Fig. 11. Balancing angle.

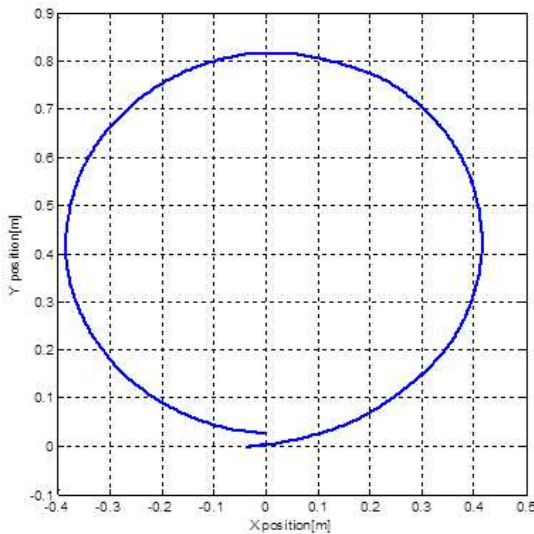


그림 12. 원경로 위치 추종 결과
Fig. 12. Circular trajectory tracking result.

유지하고 있는 것을 보여준다.

그림 12를 보면 지름이 0.8m인 원 경로를 30초에 잘 추종하는 것을 알 수 있다. 하지만 원 경로 추종에서 처음 시작할 때와 끝날 때 일치하지 못하는 추종오차가 있음을 알 수 있다. 그림에서 보면 x축으로 4 cm, y 축으로 3.5 cm 정도 오차가 발생하였다. 이는 로봇이 움직일 때 나타나는 슬립으로 인한 오차로 인해 발생하는 문제로 볼 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 비선형이며 논 홀로노믹인 밸런싱 로봇을 처음 설계시부터 대칭되도록 설계 및 제작하여 간

단한 선형제어기로 제어할 수 있음을 확인하였다. 자이로 센서와 틸트센서를 융합하여 구한 각도를 선형 제어기에 사용하였다. 로봇이 균형을 유지하며 원 경로를 추종하는 실험을 통하여 제어 성능을 검증하였다. 밸런싱 로봇의 원경로 추종 실험결과 밸런싱 각도가 ± 0.02 rad 안에서 균형을 유지하며 움직이는 것을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] F. Grasser, A. D'Arrigo, S. Colmbi, and Alfred C. Rufer, "JOE: A Mobile, Inverted Pendulum", IEEE Trans. on Industrial Electronics, vol. 49, no. 1, pp.107-114, 2002.
- [2] "Segway", <http://www.segway.com>
- [3] "PUMA", <http://www.segway.com>
- [4] K. Pathak, J. Franch, and S. K. Agrawal, "Velocity Control of a Wheeled Inverted Pendulum by Partial Feedback Linearization", IEEE Conference on Decision and Control, pp.3962-3967, 2004.
- [5] S. H. Jeong and T. Takahashi, "Wheeled Inverted Pendulum Type Assistant Robot : Inverted Mobile, and Sitting Motion", IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.1932-1937, 2007.
- [6] S. M. Boskovich, "A Two wheeled Robot Control system", IEEE WESCON 1995.
- [7] J. S. Noh, G. H. Lee, and S. Jung , "Position Control of a Mobile Inverted Pendulum System Using Radial Basis Function Network", International Journal of Control, Automation and Systems, vol.8, no.1, pp. 157-162, 2010.
- [8] R. Imaumra, T. Takei, and S. Yuta, "Sensor Drift Compensation and Control of a Wheeled Inverted Pendulum Mobile Robot", Advance Motion Control, IEEE International Workshop on Motion Control, pp.137-142, 2008.
- [9] A.-J. Baerveldt and R., Klang "A low-cost and low-weight attitude estimation system for an autonomous helicopter", IEEE international conference on intelligent engineering systems, pp. 391-395, 1997.
- [10] X. Y. Chen, "Modeling Random Gyro Drift by Time Series neural networks and by traditional method", IEEE Int. Conf. Neural Networks & Signal Processing, pp.810-813, 2003.
- [11] 이형직, "밸런싱 매커니즘을 이용한 일인용 운반차의 제작 및 제어", 충남대학교 석사 논문, 2009.

[12] Y. Kanayama, Y. Kimura, F. Miyazaki, and T. Noguchi, "A stable tracking control method for an autonomous mobile robot," IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 384-389, 1990.

저 자 소 개



이 형 직(정회원)
2006년 충남대학교 메카트로닉스 공학과 학사 졸업.
2009년 충남대학교 메카트로닉스 공학과 석사 졸업.
현재 주식회사 만도 연구원

<주관심분야 : 지능 제어, 이동로봇, 차량제어>



정 슬(정회원)
1988년 미국 웨인주립대학교 전기 및 컴퓨터공학과 학사 졸업.
1991년 미국 캘리포니아 데이비스대학교 전기 및 컴퓨터 공학과 석사 졸업.

1996년 미국 캘리포니아 데이비스대학교 전기 및 컴퓨터 공학과 박사 졸업.

1997년~현재 충남대학교 메카트로닉스공학과 교수

<주관심분야 : 지능 로봇 시스템, 로봇 교육, 벨런싱 메커니즘 응용 시스템, 장애우를 위한 로봇 개발, 미래형 운송 시스템>