

외바퀴 이동로봇의 자립제어를 위한 제어가능 범위를 찾는 실험연구

Experimental Study of Finding a Controllable Range for Self-Standing Motion of a Single-wheel Mobile Robot

○이 상 덕¹, 정 슬^{2*}

¹⁾ 충남대학교 메카트로닉스공학과 (TEL: 042-821-7232, E-mail: sdcon.lee@cnu.ac.kr)

²⁾ 충남대학교 메카트로닉스공학과 (TEL: 042-821-6876, E-mail: jungsl@cnu.ac.kr)

Abstract For a single-wheel robot for navigation, three strategies of standing up, balancing, and driving control are required. Although balancing and driving tasks have been successfully accomplished, the standing up has not been addressed. In this paper, the controllable range for the self-standing motion is investigated by using gyroscopic effect. The range is analyzed by experimental studies through the verification of the physical relation between a gimbal and a body system.

Keywords Controllable angle, a single-wheel mobile robot, self standing

1. 서론

최근에 한 바퀴로 구동하는 이동로봇에 대한 관심이 높아지면서 균형 및 주행제어에 대한 연구가 한창이다 [1-3]. 외바퀴 로봇에 대한 연구는 크게 둘로 나눌 수 있다. 하나는 운송 수단으로 사용되는 것이고 다른 하나는 자율주행을 통한 탐사에 사용되는 것이다.

탐사의 경우 외바퀴 로봇이 야지에서 돌아다니며 카메라로 영상을 캡처하는 작업을 수행하기 위해서는 자율주행이 선행되어야 한다. 외바퀴로봇이 자율주행을 하기 위해서는 자립, 균형, 그리고 주행을 스스로 할 수 있어야 한다. 선행연구에서 외바퀴 로봇의 균형제어와 주행은 성공적으로 수행되었으나 자립제어에 대한 연구는 시도하지 못했다 [2,3].

본 논문에서는 외바퀴 로봇의 자립제어에 대한 연구에 앞서 자이로 효과에 따른 요방향의 움직임에 의해 스스로 설 수 있는 각도를 실험적으로 찾고자 한다. 찾은 각도를 이용하여 외바퀴 로봇의 외관을 구 형태로 설계하여 넘어져도 그 각도 구간에 머물게 하면 자이로효과에 의해 로봇은 스스로 설 수 있게 된다. 따라서 스스로 설 수 있는 각도에 대한 분석과 자이로보의 실험을 통해 자립 기능 구현을 위한 제어 가능 범위를 유도하고, 그 타당성을 실험을 통해 검증하고자 한다.

2. 자이로 효과

자이로효과는 그림 1과 같이 입력과 출력의 관계로 나타낼 수 가 있다. 자이로효과의 물리적인 표현은 회전하는 플라이 휠의 속도와 플라이 휠을 포함하는 킴벌 시스템의 움직임에 의한 생성된 요방향의 토크의 식으로 표현이 된다. 그림 1에 나타난 토크의 유도 식은 다음과 같다.

$$T = \frac{dH}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{H(t+\Delta t) - H(t)}{\Delta t} = \frac{d^*H}{dt} + \Omega \times H \quad (1)$$

생성된 토크와 유도된 토크가 같다고 가정한다면, 그림 1에서 **H** 벡터의 속도는 서로 같게 된다.

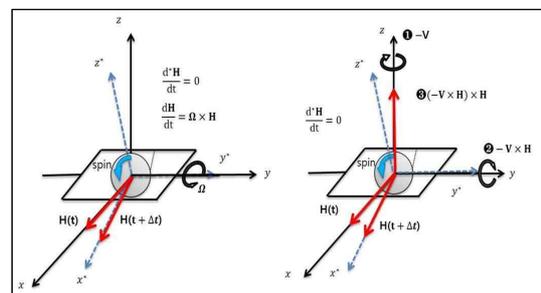


그림 1. 생성토크와 유도토크

이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$T = 0 + \Omega \times H = \Omega \times H \quad (2)$$

$$T = (-V \times H) \times H \quad (3)$$

$$\Omega = -V \times H \quad (4)$$

3. 시스템 분석과 검증

그림 2는 실제 한 바퀴 구동 이동로봇을 나타낸다. 제어 문제의 정의, PWM 분석, 그리고 제어 가능 범위 분석을 수행한다.

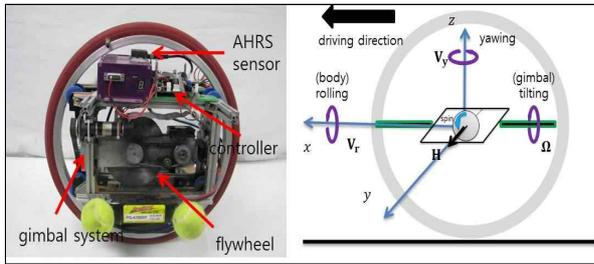


그림 2 시스템 구성

제어 문제는 시스템 구성으로부터 다음과 같이 정의 된다.

$$V_y \geq V_r \quad (5)$$

$$\Omega = -V_y H \quad (6)$$

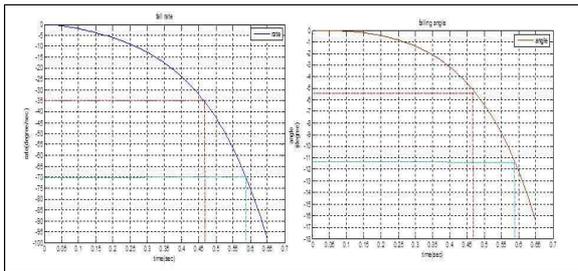


그림 3. 제어가능 범위

그림 3의 실험 데이터의 분석을 통해서, 김벌의 최대 슬루율은 4.37(rad/s)이고, 바디의 최대 슬루율은 1.23(rad/s), 제어 가능 범위는 $-5.5 \sim 5.5$ (deg) 이고, 그 때의 속도 범위가 $-35.25 \sim 35.25$ (deg/s) 인 것을 구할 수 있었다. 제어 가능 범위에서, 대역폭을 최대화하는 게인값을 선정한다.

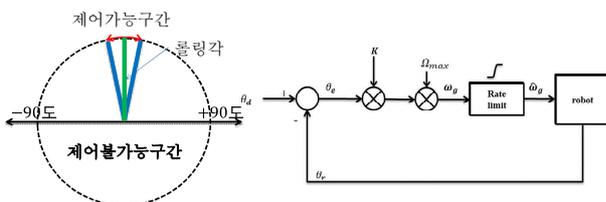


그림 4. 검증용 제어기

검증용 제어기는 2단계의 제어 기능을 탑재하고 있다. 첫 번째 단계에서는 제어 가능 범위를 판단하게 되도 두 번째 단계에서는 유도된 게인값 2를 갖고 있는 비례제어가 수행된다. 보다 정확한 성능을 검증하지 위해서 타이어가 지면과 점접촉이 될 수 있도록 공기를 충분히 공급하고, 모멘텀휠의 정속유지를 위해 외부 전원공급기를 사용하였다. 그림 5와 같이 계산된 제어범위와 게인값에 의해 성공적으로 제어가 유지됨이 확인된다.

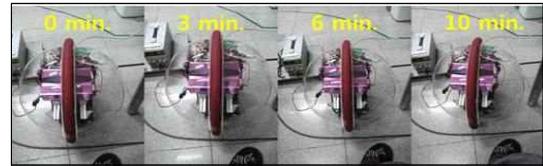


그림 5. Endurance 테스트 결과

4. 결론

김벌시스템의 물리적인 관계와 실험을 바탕으로 찾은 제어가능 범위각과 게인값에 대한 실증을 소개하였다. 이와 같은 연구 결과를 바탕으로, 외바퀴 모바일 로봇의 자립 알고리즘 구현에 관한 연구가 진행될 예정이다.

감사의 글

본 논문은 2013년 한국연구재단 일반연구지원(NRF-2010-0024904)과 2014년 한국연구재단 기초연구(NRF-2014R1A21A11049503)의 지원을 받아 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] Y. S. Xu, Kwok Wai Au and H. B. Brown, "Dynamic Mobility with Single-Wheel Configuration", *The international Journal of Robotics Research*, pp. 728-738, 1999
- [2] P. K. Kim, J. H. Park, and S. Jung. "Experimental studies of balancing control for a disc-typed mobile robot using a neural controller: GYROBO." *Intelligent Control (ISIC), 2010 IEEE International Symposium on*. IEEE, 2010.
- [3] J. H. Park, and S. Jung. "Development and control of a single-wheel robot: Practical Mechatronics approach." *Mechatronics* vol. 23, no. 6, pp. 594-606, 2013.