

역자이로효과에 관한 실험적 접근:  
자이로보

An Experimental Approach to Inverse Gyroscopic Effect:  
GYROBO

이 상 덕<sup>1</sup>, 정 슬<sup>2\*</sup>

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

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

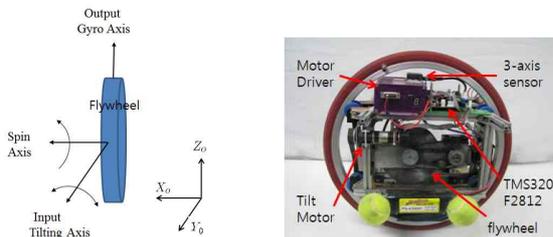
**Abstract** In this paper, the physical relation between a body system and a gimbal system of GYROBO is analyzed through experimental studies.

**Keywords** Gyroscopic effect, single-wheel robot, GYROBO

1. 서론

최근에 두 바퀴 및 한 바퀴로 구동하는 이동로봇에 대한 관심이 많아지면서 밸런싱 제어에 대한 연구가 활발히 되고 있다 [1]. 한 바퀴 구동 로봇의 경우 밸런싱 제어를 위해 그림 1(a)에 보여진 자이로 효과를 이용한다. 고속으로 회전하는 플라이휠을 움직이며 자이로 효과를 발생하여 요방향의 움직임을 생성한다. 입력으로 플라이휠이 내장된 김벌시스템을 좌우로 움직이면 자이로 축을 중심으로 회전움직임이 생성된다. 그림 1 (b)는 자이로 효과를 이용한 실제 한 바퀴 구동 로봇인 자이로보를 나타낸다. 특히 자이로효과를 이용하는 한 바퀴 이동로봇 시스템에서, 외란에 의해 발생하는 역자이로효과는 김벌시스템의 제어 성능을 저하시키는 원인이 된다 [2].

본 논문은 바디시스템과 김벌시스템의 물리적인 관계를 분석하고자 한다. 실험을 통해 취득한 데이터는 최소자승법을 이용하여 선형화 한다. 유도된 식과 실험을 통해 얻은 식의 비교를 통해 제안하는 방법의 유효함을 검증한다.



(a) 자이로 효과 (b) GYROBO  
그림 1 자이로 효과를 이용한 GYROBO

2. 역자이로효과의 원리

그림 2의 요잉효과에 대해 고정좌표축과 회전좌표축을 이용해서 각운동량 벡터 **A**의 외란  $\Omega$ 에 의한 모션 변화를 표현하면 각운동량의 크기는 다음 식과 같게 된다.

$$\frac{dA}{dt} - \frac{dA'}{dt} = \Omega \times A \tag{1}$$

$$0 - \omega_g = \Omega A \sin\left(\frac{\pi}{2} + \Delta\theta\right) \tag{2}$$

$$-\omega_g = \Omega A, \text{ initially } \Delta\theta = 0 \tag{3}$$

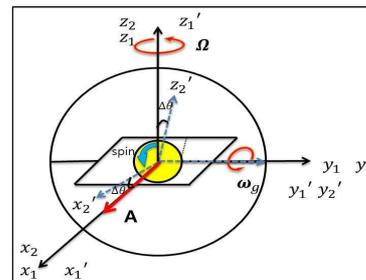


그림 2. 역자이로효과(I)-요잉효과

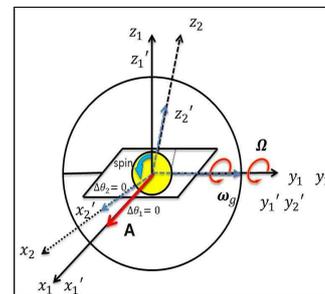


그림 3. 역자이로효과(II)-롤링효과

회전체의 각운동량의 크기에 비례하여 김벌의 회전 각속도가 발생하게 된다. 롤링효과에 의한 역자이로효과는 김벌의 회전방향과 롤링의 방향이 서로 일치하는 특징을 갖게 된다.

### 3. 자이로보

자이로보를 이용하여 역자이로효과에 관해 얻은 수식 (3)을 검증한다. 자이로보 모멘텀휠의 관성모멘트와 각운동량은 식 (4), (5)와 같다.

$$I = \frac{1}{2}mr^2 = \frac{1}{2} \times 2.1 \times 0.075^2 = 0.005906(kgm^2) \quad (4)$$

$$A = 0.005906\omega_g(Nms) \quad (5)$$

검증을 위한 실험 방법은 그림 4와 같다. 자이로보를 지면으로부터 분리한 다음, 모멘텀휠의 속도를 변화하면서 바디에 수동적인 외란을 반복적으로 가하도록 한다. 모멘텀휠의 속도를 각각 5단계, 7단계, 9단계, 13단계, 그리고 15단계로 가변하면서 같은 실험을 반복해서 수행한다.

요잉효과에서 바디의 요잉모션이 발생했을 때 김벌의 틸팅이 변화하게 되고, 롤링효과에서는 바디의 롤링이 발생했을 때 김벌은 각도의 변화 없이 롤링과 동기화됨을 확인할 수 있다.

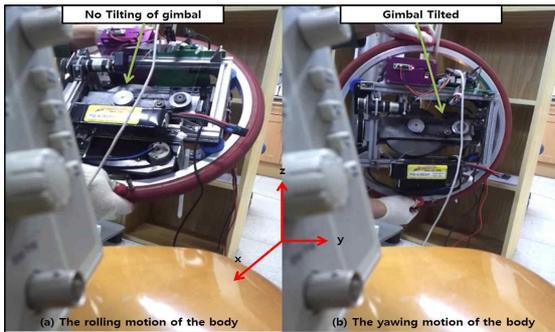


그림 4. 실험 환경

실험을 통해 취득한 요잉효과 데이터는 그림 5에서 보여진 것처럼 구름 모양의 데이터 형태를 나타내고 있다. 획득한 데이터는 최소자승법을 사용하여 직선화한다.

그림 5의 데이터 중에서 13단계에서는 4084개의 데이터를 취득했고, 평균은 0.0083(rad/sec), 분산은 0.2538(rad/sec) 였다. 15단계에서는 4491개의 데이터를 취득했고, 평균은 0.01(rad/sec)이고, 분산은 0.2045(rad/sec)였다. 데이터를 표현하는 선의 방정식을 구하기 위해 최소자승법을 사용하였고 구한 선을 그림에 표기하였다.

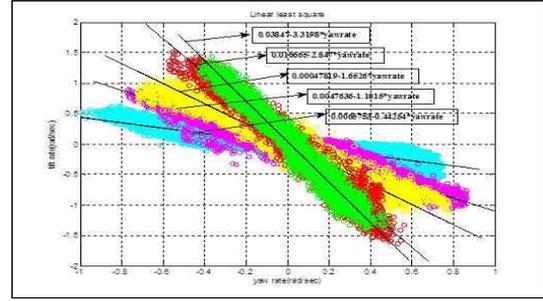


그림 5. 실험데이터 및 선형화

계산값과 실험값은 그림 6에 나타나 있는데 두 값이 매우 유사함을 알 수 있다. 15단계에서 오차가 적게 나왔지만 두 단계 모두 계산값과 실험값이 일치하는 것을 볼 수 있다.

	15단계	13단계
플라이휠질량(kg)	2.1	2.1
플라이휠반경(m)	0.075	0.075
플라이휠 관성모멘트(kgm^2)	0.00590625	0.00590625
rpm	5350	4650
플라이휠 각속도(rad/s)	560.2506899	486.9468613
김벌각운동량-계산치(Nms)	3.308980637	2.8760299
김벌각운동량-실험치(Nms)	3.3198	2.847
편차	-0.010819363	0.0290299

그림 6. 계산치-실험치 비교

### 4. 결론

한 바퀴 구동 이동로봇의 경우 입력인 김벌의 틸팅 움직임과 출력인 요방향의 회전 움직임을 상관관계가 매우 중요하다. 본 논문에서는 김벌시스템과 바디시스템의 물리적인 관계를 계산한 값과 실험한 값을 비교하여 일치함을 확인하였다. 이는 자이로효과를 이용하여 제어하는 방법으로 활용도가 높을 것으로 기대가 된다.

### 감사의 글

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

### 참고문헌

- [1] J. H. Park, and S. Jung. "Development and control of a single-wheel robot: Practical Mechatronics approach." *Mechatronics* 23.6 (2013): 594-606
- [2] Nazareth S. Bedrossian, et al. "Steering law design for redundant single-gimbal control moment gyroscopes." *Journal of Guidance, Control, and Dynamics* 13.6 (1990): 1083-1089.