

외바퀴 로봇의 Yaw 방향 회전 제어

Rotation control for the Yaw-direction of Unicycle Robot

황 종 명, 배 동 석, 이 장 명

Jong-Myung Hwang, Dong-Suck Bae, Jang-Myung Lee

Abstract The field of robots is being widely accepted as a new technology today. Many robots are produced continuously to impart amusement to people. Especially the robot which operates with a wheelbarrow was enough of a work of art to arouse excitement in the audiences. All the wheelbarrow robots share the same technology in that the direction of roll and pitch are acting as balance controllers, allowing the robots to maintain balance for a long period by continuously moving forward and backward. However one disadvantage of this technology is that they cannot avoid obstacles in their way. Therefore movement in sideways is a necessity. For the control of rotation of yawing direction, the angle and direction of rotation are adjusted according to the velocity and torque of rotation of a motor. Therefore this study aimed to inquire into controlling yawing direction, which is responsible for rotation of a robot. This was followed by creating a simulation of a wheelbarrow robot and equipping the robot with a yawing direction controlling device in the center of the body so as to allow sideways movements.

Keywords: Unicycle Robot, Single-Wheel Robot, Yaw motion(moment), Rotation control

1. 서 론

최근 들어 바퀴 하나에 구동기 및 제어기가 내장되어 움직이는 Disk 타입의 로봇이나 하체는 외바퀴 형태의 기구부에 가변 중심체로 구성된 강성 몸체의 로봇 상체를 결합해 흡사 외바퀴 자전거를 타는 듯한 모습을 지닌 로봇들이 등장하고 있다. 우리들은 일명 이러한 로봇들을 외바퀴 로봇(Unicycle Robot)이라 부르고 있다.

현재까지 연구되고 개발되어 온 기존의 외바퀴 로봇들은 정지 또는 이동 중 전방에 장애물이 나타나거나 방향을 전환하기 위한 시점에서 몸체의 각도 θ 를 변화시켜 방향을 회전시키는 Yaw 방향으로의 회전 제어에 많은 어려움과 문제점을 가지고 있었다.

그러므로 외바퀴 로봇이 장애물을 회피하거나 방향을 회전하기 위해서는 반드시 필요한 운동 성능인 Yaw 방향 회전 제어 시스템의 효율적인 방법에 대해 연구하여 로봇 몸체의 회전 시 외란을 덜 주고 최적의 회전 궤적 이동 루틴을 개발하는 것이 본 논문의 목적이자 핵심

사항이라고 할 수 있겠다.

향후 외바퀴 로봇은 병원에서 노인, 장애인 등을 도와주는 의료 및 복지 로봇 또는 사람들이 많은 유원지, 식당 등에서의 서비스 로봇 분야 쪽으로의 활용도가 높아 연구 가치가 매우 높은 분야라고 할 수 있다.

본 논문의 연구 내용으로 2장에서는 특정 질량을 가진 강성 물체인 원반형 Disk를 통한 물리적인 회전 운동에 관한 토크를 얻는 수식적 관계에 대한 설명을 하고, 3장에서는 좌표계 설정에 따른 시뮬레이션 결과와 외바퀴 로봇의 기구부 설계 및 제작 과정에 대하여 설명하였다.

4장에서는 Yaw 방향 모터 측정 실험과 회전 궤적 이동방법에 관한 실험 및 고찰을 통해 나온 결과에 대하여 설명하였다.

마지막으로 5장에서는 본 논문에서 연구 및 실험을 통해 개발한 외바퀴 로봇의 설계 방법 및 회전 방법에 대한 결론으로 본 논문을 마무리 짓도록 하였다.

2. Yaw 방향 회전 운동에 의한 물리적 힘 성분에 대한 분석

2.1 회전운동에서의 ω 와 α 의 관계 및 성질

각속도(angular velocity)는 단위 시간당 회전한 각으로 θ_1 과 θ_2 는 초기 각도와 이동 각도, t_1 과 t_2 는 초기 시각과 이동 시각 정의된다.

$$\bar{\omega} = \frac{\theta_2 - \theta_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \quad (1)$$

$$\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{d\theta}{dt} \quad (2)$$

각가속도(angular acceleration)는 단위 시간당 변한 각속도로 정의되며 $\bar{\alpha}$ 와 α 로 나뉜다.

$$\bar{\alpha} = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \quad (3)$$

$$\alpha = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{d\omega}{dt} \quad (4)$$

(1)과 (2), 그리고 (3)과 (4)에 의해 강체(rigid body), 즉, 원반형 Disk가 회전할 때 Disk 내의 각속도와 각가속도는 모든 점에서 같은 값을 갖게 된다. 이렇듯 특정한 강체의 α 를 알기 위해서는 ω 를 구해야만 하므로, ω 와 α 는 서로 종속적인 관계라 할 수 있다.

원반형 Disk의 회전 운동과 정지 운동에 의해 발생되는 회전 토크(Torque)는 크기와 방향을 가지는 벡터량이며, τ 의 구성 성분인 ω 와 α 도 벡터량이다.

2.2 원반형 Disk의 회전 운동의 운동 법칙



그림 1. DC 모터에 장착된 원반형 Disk

위의 그림 1은 Yaw 방향 회전 시뮬레이터에 실제로 장착되는 원반형 Disk의 실물 모습이다.

초기 시간 t_1 초 동안 정지해 있던 DC 모터를 구동시

켜 특정 속도로 가동시키면 원반형 Disk는 특정 시간 t_2 초 안에 속도를 가속시켜 일정 속도에 도달하게 되고, 그 구간부터 등속 운동을 하게 된다.

등속 운동을 하는 원반형 Disk는 지정된 시간 t_3 초에 도달하게 되면 회전 운동을 멈추고 정지 운동 상태로 변환된다. 그 순간, α 에 비례하는 일정량의 τ 값이 발생하고 외마퀴 로봇은 몸체를 회전시킬 수 있는 벡터적 성향의 힘 F 가 발생하여 방향을 틀 수 있는 것이다.

이것을 외부의 노이즈가 없다는 전제 하에 DC 모터의 속도 그래프로 간단히 나타내면 아래 그림과 같다.

DC 모터의 특성상 전압을 인가하면 특정 속도로 가속하여 일정 속도에 도달하면 가속 운동 없이 등속운동을 하며 회전을 하게 된다.

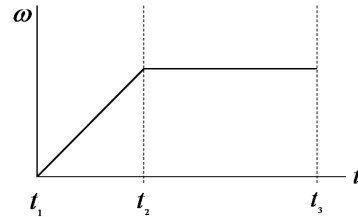


그림 2. DC 모터의 속도 특성 그래프

그림 2를 통해 t_1 초에서 t_2 초까지의 가속 운동 구간은 실제 전압 (본 실험에서는 모터에 24V를 인가함)이 일정한 경우 모터의 속도 그래프는 로그(ln) 함수를 취하나 0.5초의 짧은 가속 구간이므로 1차 함수로 표현을 하였다. 그래서 $\bar{\alpha}$ 와 α 가 같다는 것을 통해 다음과 같이 $\bar{\alpha}$ 와 α 사이의 구속 조건을 정의할 수 있다.

$$\bar{\alpha} \cong \alpha \quad (5)$$

(5)의 구속 조건을 이용해 DC 모터의 16단계의 속도 레벨에 따른 16가지 속도 변화량에 의한 토크 τ 를 값을 각각 구할 수 있게 된다.

원반형 Disk의 회전 시간과 정지 시간은 각각 10초로 지정하였고, rpm 측정기로 10초 간 회전하는 원반형 Disk의 가장자리를 3번 측정하여 평균값을 내어 도출된 값을 rpm 값으로 사용하였다.

$$f = \frac{\omega}{2\pi} \quad (6)$$

$$\omega = 2\pi f \quad (7)$$

f 는 회전 진동수로서 단위 시간당 회전한 회수 (즉,

rpm과 같은 의미)를 뜻하며, 한 회전은 각 2π 라디안 회전과 같으므로 (6)과 (7)로 정의된다.

따라서 α 와 τ 는, $\alpha \propto \tau$ 의 관계를 가지고 회전 운동에서의 운동 방정식을 이용해 회전 운동에서의 운동 법칙을 유도할 수 있다.

$$\tau = mR^2\alpha \tag{8}$$

(8)로부터 회전 운동에서의 I 를 도출할 수 있고, 위의 이론들을 바탕으로 원반형 Disk의 τ 에 대해 아래와 같이 정의할 수 있다.

$$\tau = (\sum m_i R_i^2)\alpha \tag{9}$$

(9)를 유도할 때 고정된 축을 중심으로 회전하는 모든 부분의 α 는 같다는 사실을 이용하였다.

(9)에서 $\sum m_i R_i^2 = m_1 R_1^2 + m_2 R_2^2 + m_3 R_3^2 + \dots + m_n R_n^2$ 을 원반형 Disk의 I 라 하고, 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$I = \sum m_i R_i^2 \tag{10}$$

(9)과 (10)를 합하여,

$$\tau = I\alpha \tag{11}$$

로 정의한다.

(8)과 같이 (11) 역시 뉴턴의 제2법칙에 해당하는 회전 운동의 운동 법칙으로 유도할 수 있고, 토크 τ 에 대한 정의로 사용할 수 있다^[1].

3. 좌표계 설정에 따른 기구부 설계 및 제작

3.1 3차원 공간에서의 운동 법칙 - Roll, Pitch, Yaw

외바퀴 로봇의 기본적 운동 형태는 비행기나 선박 또는 자동차에서 사용되는 3차원 운동 상태를 나타내는 Roll, Pitch, Yaw의 3가지 성분의 조합으로 이루어진다^[1].

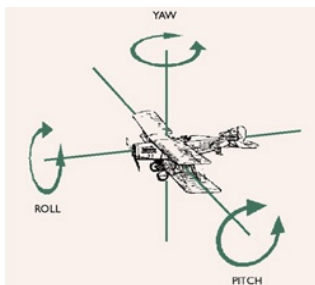


그림 3. 3차원 공간에서의 회전각을 통한 운동 성분

그림 3에서 나타나듯이 3축 좌표계의 중심에 회전체 (여기서는 비행기를 가리킴)가 존재할 때, 회전체의 몸체가 x축 중심으로 회전하는 것을 rolling 운동, 몸체가 y축 중심으로 회전하는 것을 pitching 운동, 몸체가 z축 중심으로 회전하는 것을 yawing 운동이라 부른다^[1].

Roll, Pitch, Yaw의 3차원 공간 상에서의 회전 운동을 이용해 외바퀴 로봇의 3축을 통하여 로봇이 균형 유지, 자세 보정, 방향 회전의 동작 형태가 이루어진다.

본 논문에서 제시하는 외바퀴 로봇의 기구부 구조 상 로봇 몸체의 중앙에 위치하는 원반형 Disk의 각속도 α 에 의한 좌, 우 회전 토크로 로봇의 몸체가 방향을 회전할 수 있도록 Yaw축 상에서 회전을 제어하는 방법을 사용하고 있다.

3.2 좌표계 설정

외바퀴 로봇의 좌표계는 3차원 공간 상에서의 3가지 운동 성분에 맞추어 x축에서 Roll 방향 운동, y축에서 Pitch 방향 운동, z축에서 Yaw 방향 운동을 통한 각각의 회전을 하는 것으로 좌표계를 맞추었다^[24].

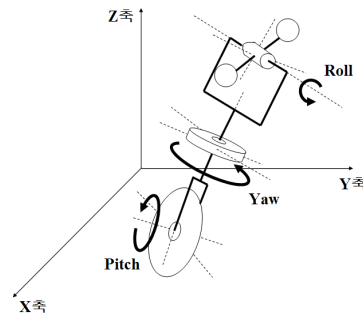


그림 4. 외바퀴 로봇의 형상에 따른 좌표계 설정

본 논문에서는 그림 4와 같이 3차원 좌표상에서 로봇 몸체의 상단에 장착되어 Roll축 방향으로 회전하는 회전자, Yaw축 방향에서 회전 토크를 발생시키는 조향 장치, Pitch축 방향으로 회전하는 이동 바퀴로써 전체적인 외바퀴 로봇을 구성하였다. 시스템의 제어입력은 위에서 언급한 3부분으로 나뉘어 각각의 τ 로 작동된다.

본 논문의 주제이자 핵심 요소인 Yaw 방향 회전 제어 장치인 조향 장치는 m 과 I 의 두 요소로 구성되며, 로봇 몸체의 질량과 관성에 귀속시켜 단순 회전 토크 발생 장치로 설정한다^[1].

3.3 Yaw 방향 회전 실험을 통한 시뮬레이션 결과

그림 5는 기존의 외바퀴 로봇이 시간이 지나면서 각각의 회전각들이 발산하는 모습을 보여주고 있다. 8초

이후가 지나면 안정성을 상실하게 되어 기존의 외바퀴 로봇의 제어가 불가능하게 되는 것을 확인할 수 있다.

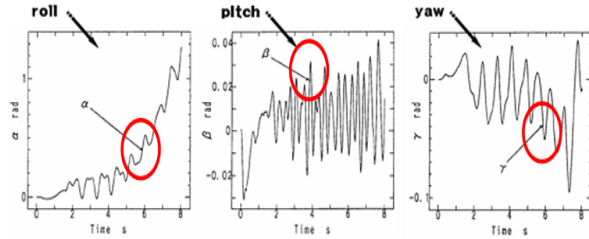


그림 5. 기존 외바퀴 로봇의 회전각이 발산하는 모습

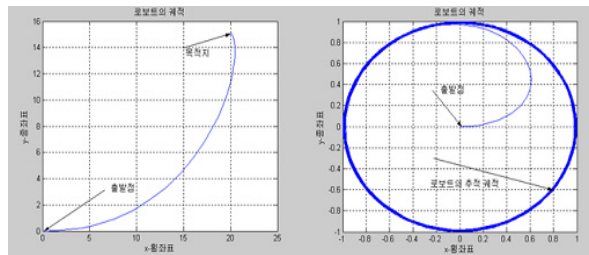
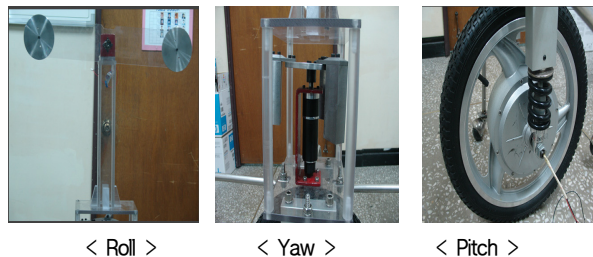


그림 6. 외바퀴 로봇의 궤적 추종 제어

그림 6은 그림 10에 나오는 외바퀴 로봇의 회전 궤적 이동 방법에 근거한 시뮬레이션 결과를 도식화 한 것이다. 그림에 나타나듯이 외바퀴 로봇이 추적 궤적을 그리며 회전하기 위해서는 출발점에서 직선으로 나가 바로 원을 그리며 회전할 수는 없다. 출발점에서 로봇 자체의 회전을 하여 목적지에 도달한 뒤 원하는 추적 궤적을 그리며 회전을 할 수 있는 것이다.

3.4 기구부의 설계 및 제작 과정

본 절에서는 실제 제작한 외바퀴 로봇의 Roll, Pitch, Yaw의 각 부분의 특징에 대해 설명하도록 하겠다.



< Roll > < Yaw > < Pitch >

그림 7. Roll, Yaw, Pitch축의 기구부 형태

- Roll 특징 : 좌, 우 자세 보정용 DC 모터에 장착된 일자형 프로펠러의 양 옆에 원반형 Disk를 달아줌으로써 회전 관성력을 높여줌.
- Yaw 특징 : 좌, 우 회전 보정용 DC 모터에 장착

된 원반형 Disk가 순간적으로 고속 회전하며 회전 토크를 발생시켜 로봇 몸체가 좌, 우로 회전함.

- Pitch 특징 : 전, 후 구동 및 자세 보정용 모터로 외전형(Outer rotor type Motor)모터인 In Wheel Motor (Hub 모터)를 장착하여 모터와 바퀴의 회전이 같이 발생함.

4. 실험 및 고찰

4.1 Yaw 방향 모터 측정 실험

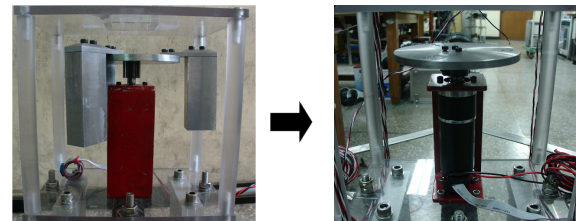


그림 8. 원반형 Disk의 변화된 모습

그림 8은 원반형 Disk의 초기 형태와 후기 형태이다. Yaw축에 부착되는 Maxon Motor의 최대 연속 토크 사양이 181mNm로써, 등속 운동 시 최적의 부하의 무게는 1.7kg이다. 초기 원반형 Disk의 무게는 3.5kg이므로 적절하지 못하여 1.4kg으로 무게를 감량시킨 후기의 원반형 Disk로 교체해 고속 회전과 순간 정지 상태를 반복하며 최적의 회전 토크를 얻을 수 있었다.

또한, Yaw축의 모터를 제어할 때 발생하는 외란은 외바퀴 로봇이 Roll축으로 균형 제어를 할 때 좌, 우 쓰러

표 1. Yaw 방향 모터의 속도 제어에 대한 성능 평가

PWM 값	RPM 값 (3번 측정 - 10초 회전)	RPM 평균값	회전 각도 (degree)	비고	PWM 값	RPM 값 (3번 측정 - 10초 회전)	RPM 평균값	회전 각도 (degree)	비고
0x000f	0	0	0°	측정 불가	0x008f	1014.0, 1016.0, 1098.4	1042.8	13°	최고치
0x001f	39.9, 38.1, 40.5	39.5	0°	"	0x009f	991.8, 985.2, 985.1	987.4	11°	일정
0x002f	110.7, 116.0, 119.2	115.3	0°	"	0x00af	973.4, 962.0, 976.9	970.8	11°	"
0x003f	233.9, 253.2, 227.9	238.3	0°	"	0x00bf	978.3, 978.4, 980.8	979.2	10°	"
0x004f	335.8, 339.1, 321.4	332.1	0°	"	0x00cf	980.9, 983.0, 988.8	984.2	12°	"
0x005f	539.2, 515.1, 511.4	521.9	3°	증가 시작	0x00df	985.4, 974.9, 980.9	980.4	11°	"
0x006f	690.8, 763.0, 669.2	707.6	5°	"	0x00ef	994.5, 994.4, 990.2	993.0	12°	"
0x007f	799.2, 806.8, 772.6	792.9	7°	"	0x00ff	990.8, 987.7, 984.2	987.6	11°	"

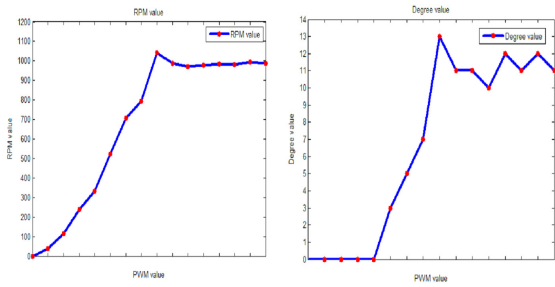


그림 9. Yaw 방향 모터의 속도 제어에 의한 RPM 값과 회전 각도 값

짐의 최대 한계 범위인 $\pm 5^\circ$ 에 영향을 줘 심각한 손상을 준다. 초기 원반형 Disk 구동 시 발생하는 외란은 기구부의 좌, 우 쓰러짐 최대 한계 범위를 크게 벗어나므로, 원반형 Disk의 질량을 가볍게 하여 외란이 발생하여도 Roll축의 균형 제어를 쉽게 할 수 있도록 하였다.

표 1은 외바퀴 로봇의 기구부 중앙에 장착되는 Yaw 방향 회전 토크 발생 장치인 원반형 Disk의 모터 속도 변화에 따른 rpm의 측정값과 그에 비례한 로봇 몸체의 회전 각도이다. 모터의 PWM 듀티비 값을 변화시켜 16 단계의 속도 레벨로 제어하며 회전 토크의 값에 변화를 줄 수 있다⁶⁾.

그 결과, 0x005f부터 회전 각도가 증가하기 시작하여 0x008f에서 최고치에 오른 뒤 0x009f부터 하강하여 일정하게 유지되는 것을 확인할 수 있다. 이 분석표를 이용하여 본 논문에서 제안하는 외바퀴 로봇의 회전 실험 시 효율적인 회전 속도와 회전 각도를 알 수 있다.

그림 9는 표 1에 나온 외바퀴 로봇의 Yaw 방향 회전 토크 발생 장치의 속도 제어에 따른 rpm 변화 값과 회전 각도 값에 대한 그래프이다. 표 1과 비교해 볼 때 같은 결과치 값을 보이는 것을 확인할 수 있다.

4.2 회전 궤적 이동 방법을 이용한 회전 제어 실험

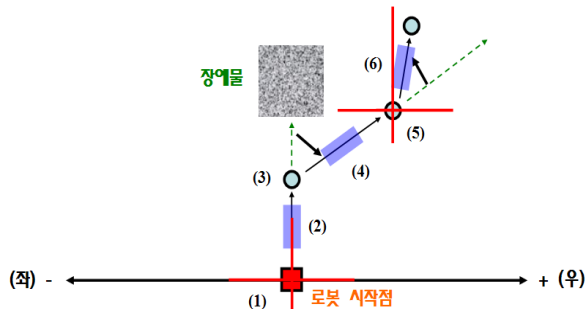


그림 10 외바퀴 로봇의 회전 궤적 이동 방법

위의 그림은 본 논문의 Yaw 방향 회전 제어 기법인

외바퀴 로봇의 회전 궤적 이동 방법으로써, 6가지 패턴의 변화로 외바퀴 로봇이 방향을 전환하도록 고안되었다.

그림 10의 회전 궤적 이동 방법에 대해 설명하자면, (패턴 1) 외바퀴 로봇이 시작점에 있을 때 원반형 Disk는 OFF 상태로 정지해 있음.

(패턴 2) 로봇이 Roll, Pitch 부의 모터를 구동해 이동을 할 때 원반형 Disk는 OFF 상태로 정지해 있음.

(패턴 3) 장애물 또는 방향을 전환하여야 될 상황이 이르면 원반형 Disk를 일정 시간 동안 고속 회전시킨 뒤 순간 정지시켜 회전 토크를 발생하여 로봇 몸체의 회전 각도를 변화시켜 방향을 바꿈.

(패턴 4) 로봇 몸체에 외란을 주지 않기 위해 원반형 Disk는 OFF 상태로 정지함.

(패턴 5) 일정 시간 동안 이동한 뒤 다시 원래 방향으로 돌아오기 위해 원반형 Disk를 고속 회전시킨 뒤 순간 정지시켜 회전 토크를 발생시켜 원 위치로 돌아옴.

(패턴 6) 원반형 Disk는 다음 장애물을 발견하거나 방향을 전환해야 될 시기까지 OFF 상태로 정지함.

위에 설명한 원반형 Disk의 ON & OFF를 이용한 회전 방법으로 회전 제어 실험을 하였다. 단, 본 실험은 이동 상태가 아닌 정지 상태에서의 회전 실험임을 밝힌다.

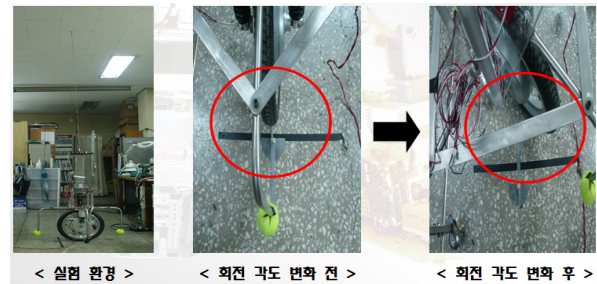


그림 11. Yaw 방향 회전 실험에 의한 회전 각도의 변화 장면

[그림 11]은 외바퀴 로봇의 Yaw 방향 회전 실험을 하기 위한 정지 상태에서의 실험 환경과 로봇 몸체 중앙의 원반형 Disk를 회전시키기 전의 모습, 그리고 회전 토크로 인해 오른쪽으로 외바퀴 로봇의 몸체가 회전 각도만큼 방향을 전환한 모습을 각각 보여주고 있다.

[그림 11]의 2번째 사진과 3번째 사진을 비교하면 원반형 Disk가 회전하여 발생한 회전 토크로 인해 로봇의 몸체가 우측으로 회전한 것을 확인할 수 있다.

[그림 12]는 정지 상태에서 5회의 회전 실험을 반복한 외바퀴 로봇의 Yaw 방향 회전 장면을 보여주고 있다.

원반형 Disk가 5번의 고속 회전과 순간 정지 상태를 반복적으로 거치며 방향을 전환하고 있다.

[그림 12]의 Pitch부의 In Wheel Motor 를 보면 바닥 면에 표시한 검은색 선이 처음에는 수직이던 면과 조금씩

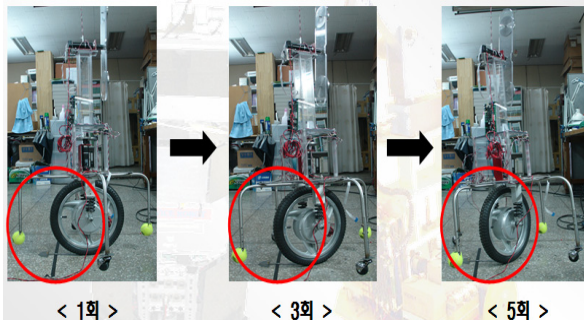


그림 12. 외바퀴 로봇의 5회 반복한 Yaw 방향 회전 장면

회전 각도가 변하면서 우측으로 방향이 바뀌는 것을 볼 수 있다.

이 때의 원반형 Disk의 회전 속도값은 rpm 값이 가장 높은 0x008f로 설정하였고, 일관된 회전 각도 값을 측정하기 위해 회전 방향은 우회전 (+값)으로 통일하였다. 그 결과, 한 번의 회전으로 13° 를 우측으로 방향 전환했으므로, (1)회에서 (5)회까지의 회전 실험으로 인해 총 52° 의 각도를 우측으로 회전하여 로봇 몸체의 방향이 바뀌었다는 것을 알 수 있다.

그러므로 [그림 11]과 [그림 12]를 통해 원반형 Disk의 회전 토크를 이용하여 로봇 몸체의 방향각 θ 를 제어함으로써 장애물이 나타나거나 방향을 전환해야 될 시점에서 외바퀴 로봇이 Yaw축 제어로 효율적인 회전이 가능하다는 것을 확인하였다.

5. 결 론

본 논문에서는 균형 유지, 자세 보정, 방향 회전까지 이동 로봇의 3가지 운동 성능을 하나의 바퀴로 모두 해결하는 외바퀴 로봇(Unicycle Robot)의 메커니즘에 대해 소개하고 있으며, 기존의 외바퀴 로봇들이 지녔던 단점 중 하나인 Yaw 방향으로의 좌, 우 회전 제어 방법에 대해 기술하고 있다.

본 논문에서 회전 제어에 필요한 벡터적 성분의 τ 에 대한 이론적인 분석과 좌표계 설정을 통한 외바퀴 로봇의 궤적 추종 제어에 관한 시뮬레이션 결과를 도출하였고, 제한한 회전 궤적 이동 방법으로 실제 제작한 외바퀴 로봇의 기구부에 장착된 회전 토크 발생 장치로 회전 실험도 하였다. 그 결과, 물리적으로 불안정성이 큰 외바퀴 로봇이 Yaw 방향 회전을 하였을 때의 최적의 회전 각도와 원하는 회전 방향을 제어할 수 있다는 사실을 실험결과와 시뮬레이션 등을 통해 확인하였다.

향후 연구 방향은 지금의 회전 제어보다 한층 부드럽게 회전하며, 더 효율적인 회전 토크 값을 얻어 안정성 높은 회전 제어가 되도록 개발하는 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 김중완, “유니사이클 로봇의 곡선경로 추종에 대한 퍼지규칙베이스 구축”, 생산기술연구소 연구논문집 제1권, 제2호, pp. 129-135, 1996.
- [2] 김중완, “유니사이클 로봇에 대한 인간적 추론 제어 메커니즘”, 생산기술연구소 연구논문집 제1권, 제2호, pp. 119-128, 1996.
- [3] 김진석, “부분 피드백 선형화를 이용한 One-wheel Unicycle Robot의 자세 제어”, 한국정밀공학회지 제24권, 제4호, 4. 2007.
- [4] 김필교, “한 바퀴로 구동하는 로봇 GYROBO의 구현” 전자공학회 논문지 제44권, SC편 제4호, 7. 2007.
- [5] 이기성, “자율 주행 로봇의 장애물 회피”, 과학기술연구논문집 제16집, 2005년.
- [6] 김성수, 정슬, “신경회로망을 이용한 이동로봇 위의 역진자의 각도 및 로봇 위치제어에 대한 연구”, 제어·자동화·시스템공학 논문지 제11권, 제10호, 10. 2005.
- [7] 신진호, 김원호, “구동기 성능 저하를 가진 불확실한 비선형 로봇 시스템에 대한 신경 적응 제어기의 설계” 동의대학교 상업기술연구집 제20권, 2. 2006.
- [8] 정슬, 조현택, “속도추정 기반의 2자유도 도립진자의 안정화를 위한 입력보상 방식의 분산 신경망 제어기에 관한 실험적 연구”, Journal of Control, Automation and Systems Engineering Vol 10, No 4, April 2004.
- [9] M. Iwase, “An Assistant System for Riding a Unicycle”, International Journal of ARM VOL 8, NO 1, March 2007.
- [10] Yongsheng Ou, “Balance Control of a Single Wheel Robot”, Conference on Intelligent Robots and Systems, October 2002.
- [11] David W. Vos, “DYNAMICS AND NONLINEAR ADAPTIVE CONTROL OF AN AUTONOMOUS UNICYCLE: THEORY AND EXPERIMENT”, Proceedings of the 29th Conference on Decision and Control Honolulu, Hawaii, December 1990.
- [12] Kwok Wai Au, “Decoupled Dynamics and Stabilization of Single Wheel Robot”, Proceedings of the 1999 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 1999.



황 종 명

2007년 동아대학교 전자공학과 졸업
2008년~현재 부산대학교 대학원 전자전기공학과 석사과정 재학 중

관심분야: 로봇틱스, 지능제어



이 장 명

1980년 서울대학교 전자공학과 졸업
1982년 동 대학원 석사
1990년 USC (미국 남가주 대학교)
1992년~현재 부산대학교 정교수

관심분야: 지능로봇 시스템 설계 및 제어, 마이크로 프로세서 응용



배 동 석

1993년 부경대학교 졸업
1995년 동아대학교 석사
2001년 부산대학교 전자공학과 졸업(공학 박사)
2001년~현재 한국 폴리텍대학교Ⅶ 전자과 교수

관심분야: 모바일 로봇, 선박 전장 회로