

양바퀴 이동로봇의 자세제어에 대한 연구

주진화*

A study on the Posture control of a two-wheeled mobile robot

Jin-Hwa Joo *

요약 본 논문에서는 로봇제어분야의 이론적인 내용에 대해서 실제 실습교육이 가능한 환경을 구축하는데 따른 애로를 해결하기 위한 하나의 방안을 제시하기 위해서 세그웨이 구조의 양바퀴 이동로봇을 레고(LEGO) 블록을 사용하여 제작하고, 제작된 로봇이 로봇공학 교육의 동적시스템이나 비선형 시스템과 같은 고급제어 이론기술을 적용하는 실습용으로 활용하는 것에 대한 타당성을 제시하기 위하여 로봇이 주행 중에 중력의 변화에 대해서도 균형을 유지하면서 안정된 자세를 취하도록 하는 자세제어에 대한 실험을 수행하고 그 결과를 제시하였다. 로봇의 자세제어 주행 실험은 평면과 경사로에서 각각 수행하였으며, 평면 주행실험에서는 장애물을 인식하고 회피하는 실험을 병행하여 그 결과도 함께 제시함으로써 로봇공학의 고급제어 이론의 실습교육용으로 레고(LEGO) 블록을 이용해서 제작한 로봇이 효과적인 실습도구로 활용될 수 있음을 확인하였다.

Abstract In this paper, we propose a method to solve the difficulties in constructing an environment capable of practical training on the theoretical contents of robot control field. We make a two-wheeled mobile robot with Segway structure using LEGO block. In order to demonstrate the validity of using the developed robot as a practical application of advanced control theory of robotics education such as dynamic system and nonlinear system, the robot takes a stable posture while balancing the change of gravity during running. The results of the experiment are shown. By presenting the results, the robots made using the LEGO block are used for practical training of advanced control theory of robotics. It can be used as a tool.

Key Words : LEGO block, Mobile robot, Posture, Robotics education, Segway

1. 서론

바퀴를 이용하여 이동하는 바퀴구동형 로봇의 경우 주어진 일련의 작업을 수행하기 위해서는 작업 공간에서 다양한 형태의 작업자세가 존재할 수 있으며, 작업 수행을 위해서 취한 로봇의 작업 자세에 따라 수행한 일의 결과에 대한 효율성이 결정된다고 할 수 있다. 따라서 이러한 바퀴구동 로봇의 자세제어는 이동로봇의 효율적인 작업을 수행하기 위해서 반드시 해결하여야 할 필요성에 의해서 최

근까지 국내외적으로 많은 관심과 연구가 진행되고 있다[8-10].

특히 최근에는 바퀴구동형 로봇들 중에서 많은 사람들이 단순한 이동수단으로 이용하고 있는 세그웨이에 대한 관심이 고조되고 있으며, 공학 분야의 기술교육에 있어서도 세그웨이의 무게 균형에 대한 원리를 이용한 역진자 로봇의 동적 안정화 기술에 대한 교육이 활발하게 진행되고 있다[1-3]. 그러나 로봇공학의 이론적인 교육내용을 실제 실험이 가능

This Paper was supported by research Fund of Osan University in 2016.

*Corresponding Author : Department of Electronics, Osan University (jinhu@osan.ac.kr)

Received December 01, 2017

Revised December 12, 2017

Accepted December 13, 2017

한 환경을 구축하기 위해서는 고가의 장비를 구입하고 설치장소를 마련해야 하는 등의 경제적인 부담과 필요한 로봇의 설계와 제작에 소요되는 시간적인 어려움 등으로 대학의 로봇공학 실습교육에서는 이러한 애로에 대한 대안을 다방면으로 모색 중에 있다[4].

본 연구에서는 이러한 로봇공학 실습교육의 애로를 해결하기 위한 하나의 방안을 제시하기 위하여 세그웨이 형태를 모방한 구조의 양바퀴 이동로봇을 레고(LEGO) 블록을 사용하여 제작하였다. 제작된 로봇이 로봇공학 교육의 동적시스템이나 비선형 시스템과 같은 고급제어 이론기술을 적용하는 실습용으로 사용하는 것이 적합함을 제시하기 위해서 로봇을 사용하여 중력변화에 대해 균형을 유지하면서 안정된 자세를 취하도록 하는 자세제어실험을 수행하고 그 결과를 검토하였다.

일반적으로 로봇의 각도를 추정하기 위해서는 각속도를 측정하는 자이로 센서와 직선 가속도 성분을 검출하는 가속도 센서를 병합해서 많이 사용하는데 이유는 두 센서 중 하나만을 사용하였을 경우에 발생할 수 있는 오차를 해소하기 위함이다[3]. 본 논문에서는 응답특성이 서로 다른 자이로 센서와 가속도 센서를 병합해서 사용할 때 필요한 시스템의 복잡성을 극복하기 위해서 자이로 센서만을 사용하여 로봇의 기울기 값을 측정하고 그에 따른 로봇의 각도변화에 대한 보상을 로봇제어를 통해서 실시간으로 모터의 토크 값으로 변환하여 보상 해 줌으로써 로봇의 균형을 유지하는 자세제어를 수행하고 결과를 제시하였다. 본 연구에서 제시된 실험 결과가 로봇공학의 고급제어 이론의 실습교육용으로 레고(LEGO) 블록이 효과적인 실습도구로 활용될 수 있고, 수행한 내용이 고급제어 이론의 실습교육을 위해서 사용이 가능함을 제시한다.

2. 본 론

2.1. 이동로봇의 동역학

그림 1은 평면에서 양바퀴 이동로봇의 개념도를 나타내었다. 그림 1에서 D는 바퀴의 회전 중심축에

서 로봇 몸체의 중심축까지의 거리, W는 로봇 바퀴의 질량, B는 로봇 몸체의 질량, R은 로봇 바퀴의 반지름을 각각 나타낸다.

로봇의 바퀴와 몸체의 운동에너지는 직선운동 에너지와 회전운동 에너지로 구성된다. 직선운동 에너지는 로봇이 지면에서 변위를 가지는 운동을 할 때 생기며, 로봇의 회전운동 에너지는 로봇 바퀴와 몸체의 회전운동의 합으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$T = \frac{1}{2} J_B \dot{\theta}^2 + \frac{1}{2} W \dot{x}^2 + \frac{1}{2 R^2} J_W \dot{x}^2 + \frac{1}{2} B ((\dot{x} + \dot{\theta} l \cos \theta)^2 + \dot{\theta}^2 l^2 \sin^2 \theta) \quad (1)$$

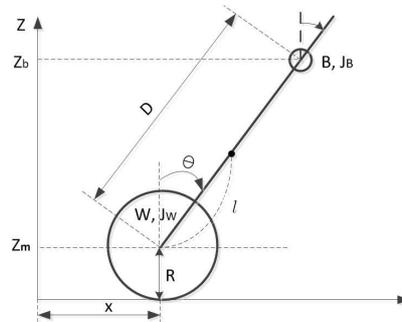


그림 1. 양바퀴 이동로봇의 모델
Fig. 1. Two wheel mobile robot model

로봇의 위치에너지의 합은 다음과 같은 수식으로 나타낼 수 있다[6].

$$V = WRg + gB(R + l \cos \theta) \quad (2)$$

여기서, g 는 중력 가속도를 나타낸다.

로봇의 동역학을 구하는 방법으로는 뉴턴-오일러(Newton-Euler) 방법과 오일러-라그랑지(Euler-Lagrange)방법이 있다[1]. 여기서는 앞에서 구한 로봇의 운동에너지와 위치에너지를 이용하여 라그랑지안을 얻고, 라그랑지 방정식에 대입하여 동역학을 구하도록 한다. 라그랑지안 L은 운동에너지에서 위치에너지를 뺀 값으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$L = T - V \tag{3}$$

$$= \frac{1}{2} J_B \dot{\theta}^2 + \frac{1}{2} W \dot{x}^2 + \frac{1}{2R^2} J_W \dot{x}^2 + \frac{1}{2} B ((\dot{x} + \dot{\theta}l \cos\theta)^2 + \dot{\theta}^2 l^2 \sin^2\theta) - WRg + gB(R + l \cos\theta)$$

라그랑지 방정식은 다음과 같다.

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}} \right) - \frac{\partial L}{\partial q} = F \tag{4}$$

위 식에 로봇이 움직이는 거리 x 와 기울어진 각도 θ 를 각각 대입하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$W\ddot{x} + B\ddot{x} + \frac{1}{R^2} J_W \ddot{x} + \ddot{\theta} l B \cos\theta - \dot{\theta}^2 l B \sin\theta = F - \dot{x} f_x$$

$$J_B \ddot{\theta} + \dot{\theta}^2 B + \ddot{x} l B \cos\theta + \frac{1}{R} J_W \ddot{x} - g l B \sin\theta = -\dot{\theta} f_\theta$$

2.2. 이동로봇의 제어방법

양바퀴 이동로봇의 안정적인 자세제어를 위해서 자이로 센서를 사용하여 매 샘플링 주기마다 각속도 값을 구하고 이 값을 적분하여 로봇의 현재 기울어진 상태의 값을 구한다. 특정한 상태에서 로봇이 기울어진 상태가 되면 그림 2에서 나타낸 PID제어기에 의해서 로봇의 기울어진 상태 값에 대한 보상 값을 계산하여 제어입력 u 가 로봇으로 전달된다. 로봇이 직선 주행을 할 때 바퀴의 회전각과 바퀴 중심의 위치 값은 모터에 부착되어 있는 엔코더의 값을 이용해서 알 수 있다. 또한 로봇 몸체의 기울기에 따른 경사각은 로봇에 부착되어 있는 자이로 센서의 출력 값을 이용해서 얻을 수 있다. 그리고 직선 주행을 할 때 로봇의 양바퀴의 회전각 θ_l 과 θ_r 은 같은 값을 가진다.

따라서 로봇의 모터에 부착되어 있는 엔코더를 통해서 로봇의 이동속도와 거리 값을 얻고, 자이로 센서로부터 로봇의 기울기 값을 얻어서 이 값들의 조합에 의해서 로봇의 균형점을 찾아서 로봇의 자세제어를 수행하게 된다.

그림 2의 PID 제어기에서 로봇 제어입력 u 는 식

(6)과 같이 나타낼 수 있다[7].

$$u = K_d \dot{e} + K_p e + K_i \int e \tag{6}$$

여기서, $\dot{e} = \dot{e}$ 이다.

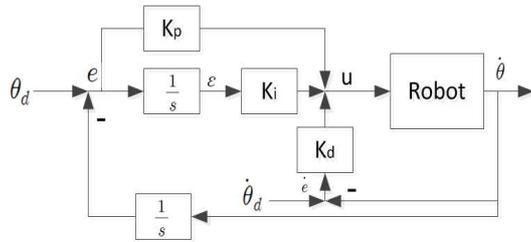


그림 2. 로봇제어 블록 다이어그램
Fig. 2. Control block diagram for robot

표 1에는 본 논문의 실험에서 로봇의 자세제어를 위해서 실제로 적용된 PID 제어기의 이득계수 값을 나타내고 있으며, 자세제어 실험을 수행할 때 여러 번의 시행착오를 겪으면서 얻어낸 값들이다.

표 1. PID 제어기의 이득계수 값
Table 1. Control Gains of PID Controller

Control Gains	Kp	Ki	Kd
Values	0.5	11	0.005

3. 실험 및 결과 검토

실험에 사용할 양바퀴 이동로봇은 그림 3에서 나타낸 것처럼 LEGO MINDSTORMS EV3를 사용하여 제작하였다. LEGO MINDSTORMS EV3는 로봇의 제작에 필요한 MCU(Micro Control Unit)가 탑재된 주 제어기와 DC모터 그리고 각종 센서를 다양한 형태의 레고 블록들과 함께 제공하고 또한 ROBOTC 기반의 소프트웨어를 통하여 부착된 센서로부터 입력되는 신호들의 처리와 DC모터를 제어할 수 있도록 되어 있어서 로봇교육이나 연구 과제를 수행하는데 필요한 로봇의 몸체를 제작하고 제어하는데 소요되는 시간과 예산의 문제에 대한 대안으로

활용할 수 있는 좋은 도구가 된다[4,5].

로봇의 안정된 자세제어를 위해서 로봇 양쪽바퀴의 크기를 지름 55[mm]의 바퀴를 사용하여 로봇의 좌우 폭에 대한 높이를 조정하였고, 로봇의 기울기를 감지하는 자이로 센서를 우측상단에 부착하여 로봇의 앞뒤 기울어짐에 대한 반응을 민감하게 감지할 수 있도록 하였다.



그림 3. EV3로 제작된 양바퀴 이동로봇
Fig. 3. Two-wheel mobile Robot using EV3

그리고 로봇의 전면 중앙에는 초음파센서를 부착하여 로봇이 평면에서 균형을 유지하는 자세제어 실험을 할 때 로봇의 전면에 장애물이 나타났을 경우에 대해서 로봇의 반응에 대한 실험도 가능하도록 하였다. 로봇의 전면 하단에는 두 개의 켈러센서를 부착하여 로봇이 정해진 주행궤적을 추종하는 것이 가능하도록 하여 경사로에서 자세제어 실험을 위해서 활용하기 위함이다.

로봇의 균형을 유지하는 자세제어 실험은 로봇에 부착된 자이로 센서로부터 얻어진 기울기 데이터를 이용하여 평면에서 두 바퀴로 균형을 유지하는 실험과 켈러센서를 이용하여 로봇이 경사로의 오르막과 내리막을 정해진 궤적을 따라 주행을 하면서 균형을 유지하는 자세제어 실험을 수행하였다. 이러한 평면과 경사로 주행 실험을 위해서 설정한 실험환경을 그림 4에 나타내었다.

평면에서 자세제어 실험은 그림 4의 상단에 보이는 평면 공간에서 수행하였으며, 오르막과 내리막 경사로 주행실험을 위해서 그림 4의 하단에 보이는 별도의 경사로를 제작하여 설치하였다. 로봇이 오르막과 내리막의 경사로를 따라 주행을 하는 실험을 위해

서 그림 4에서 보인 것처럼 제작된 경사로에도 주행 경로를 표시하기 위해서 폭 30[mm] 검정색 테이프로 경로를 설치하였으며, 로봇이 켈러센서를 이용하여 설치된 경로를 따라 주행하는 것이 가능하도록 하였다.



그림 4. 자세제어 실험환경
Fig. 4. experiment environment.

로봇이 평면에서 균형을 유지하는 자세제어 실험을 수행한 것을 그림 5에 나타내었다. 로봇에 부착된 자이로 센서에서 출력되는 기울기 값을 이용해서 로봇이 균형을 제대로 유지할 수 있도록 제어하는 것이 평면 자세제어의 목적이다. 자이로 센서의 경우 로봇의 몸체에 완전히 밀착시키고, 센서와 제어기의 입력 포트를 연결하는 신호선의 길이를 짧고 비틀림 없도록 하여 정확한 각도 값을 얻도록 하였다. 로봇이 평면에서 균형을 유지하는 자세제어 결과를 확인 한 후에 로봇 전면에 부착한 초음파 센서를 이용하여 장애물이 설정된 거리 이내에서 감지되었을 경우에 로봇이 물체와 정해진 거리를 유지하기 위해서 이동하면서 균형을 유지하는 실험을 진행하였다.



그림 5. 평면에서 자세제어
Fig. 5. Posture control in plane

로봇이 평면에서 두 개의 바퀴에 의해서 균형이 잡힌 자세를 유지하면서 제어될 때 로봇에 장착된 두 개의 모터에서 출력되는 모터의 토크의 변화를 그림 6에 나타내었다.

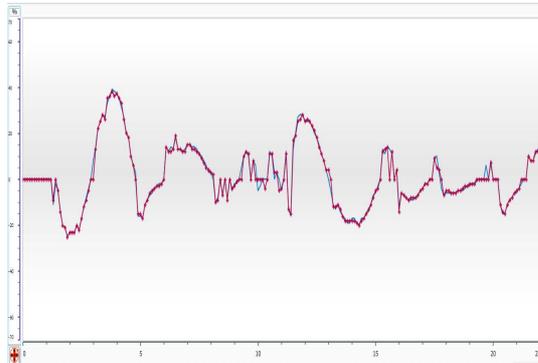


그림 6. 평면에서 자세제어시 모터 힘의 변화
Fig. 6. Motor power of posture control in the plane

그림 6에서 로봇이 처음 시작부터 15초가 되는 동안에는 균형을 유지하기 위해서 전후로 움직이다가 이후부터는 어느 정도의 균형이 잡힌 자세를 유지하면서 미세하게 전후로 움직임이 있지만 큰 움직임의 변화는 보이지 않음을 알 수 있다.

그림 7에서는 로봇이 균형을 잡힌 자세를 유지하며 주행할 때 로봇의 전면에 부착된 초음파 센서에 장애물이 프로그램에서 설정한 거리 이내로 들어왔을 때 로봇의 움직임에 따른 모터의 회전각 변화를 나타내었다. 초음파 센서의 역할이 로봇의 전면에 나타난 물체를 감지하는 것이며, 감지된 물체의 거리가 프로그램에서 설정된 거리보다 가까울 경우는 로봇이 물체 회피 기능을 사용하여 물체와의 거리를 일정한 값으로 유지하도록 하였다.

그림 7에서 하단부에 나타낸 그래프가 초음파 센서에서 얻은 값을 나타내고 상단부에는 모터의 회전각도를 나타낸다. 하단부의 초음파 센서에서 감지된 거리 데이터와 상단부의 로봇 구동바퀴의 회전각도의 변화된 데이터 결과를 분석해 보면 초음파 센서에서 로봇 전면의 일정 거리 이내로 들어온 물체를 감지하였을 때, 로봇이 제어프로그램에서 설정한 물체와의 일정한 거리를 유지하기 위해서 구동바퀴의 회전각을

변화시켜서 로봇의 이동속도를 줄이거나 또는 역회전시켜서 후진을 한다는 것을 알 수 있다.

대부분의 밸런싱 로봇제어 관련 연구들은 연구결과와 검증을 위한 실험을 주로 평면 주행으로 한정해서 수행하고 결과를 제시하고 있다[2-4].

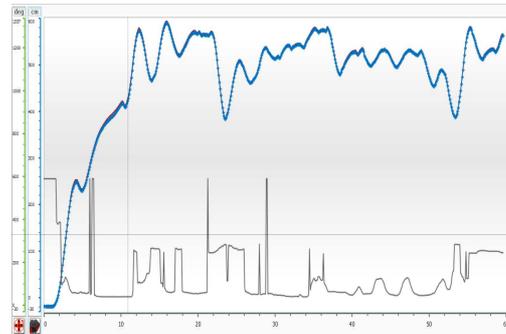


그림 7. 물체감지에 따른 모터의 회전각의 변화
Fig. 7. Change of rotation angle of motor

본 연구 결과가 선행 연구결과들과 차별성을 갖도록 하고, 본 연구에서 제시한 제어기법의 타당성을 검증하기 위해서 경사로에서 균형을 유지하면서 주행하는 실험을 수행하였다. 경사로 주행 실험에서 오르막과 내리막으로 설정한 경사로를 따라 로봇이 균형을 유지하면서 주행했을 때의 실험 결과를 그림 8에 나타내었다. 경사로의 전체 길이는 520[mm]로 설정하여 오르막과 내리막의 길이를 각각 260[mm]씩 하였다. 로봇에 사용된 DC모터의 토크를 고려하여 안정적인 경사로 주행이 가능하도록 경사각은 10°로 설정하였다.

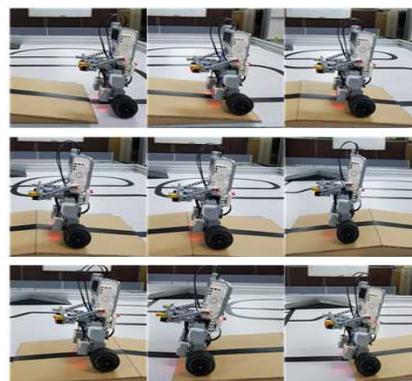


그림 8. 경사로에서 로봇의 자세제어
Fig. 8. Robot posture control on slope

로봇이 경사로에 설정된 주행 경로를 따라 이동할 때는 자이로 센서의 변화가 심하기 때문에 이것을 해결하기 위해서 프로그램에서 자이로 센서의 샘플링 주기를 미세하게 조절해 주고 또한 주행 중 자이로 센서에서 측정되어 누적되는 각도오차를 최소화하기 위해서 측정된 각도 값에 대한 제어기의 보상을 시간으로 처리해 주는 작업과정이 필요하였다. 이러한 보완 작업을 수행한 결과 로봇이 안정적인 자세로 자이로 센서에서 측정되는 기울기 값에 따라 균형을 유지하기 위해서 전진과 후진 주행을 반복적으로 수행하면서 주행할 수 있었다.

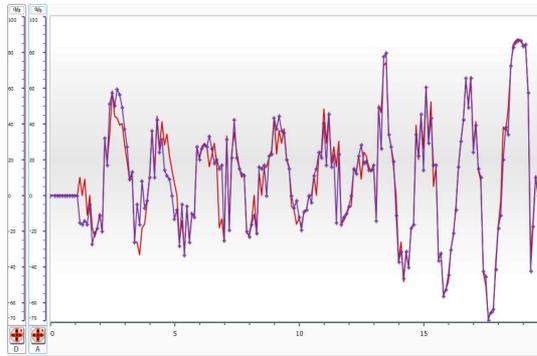


그림 9. 경사로 주행 자세제어에서 모터 힘의 변화
Fig. 9. Motor power in posture control at slope

그림 9는 경사로 주행제어에서 두 개의 모터에서 출력된 토크의 변화를 나타내고 있다. 양쪽 바퀴에서 출력된 모터의 토크가 양(+)의 값과 음(-)의 값을 반복적으로 바뀌면서 출력되고 있는데 모터에서 출력된 토크가 양의 값일 경우는 로봇이 전진, 음의 값일 경우는 로봇이 후진하는 것을 나타낸다. 로봇이 경사로를 따라 자세를 유지하면서 전진과 후진을 반복하면서 주행하였음을 알 수 있으며, 13초 이후부터는 양쪽 모터의 토크 변화가 큰 것을 보이고 있는데 이것은 로봇이 경사로의 내리막 경로를 주행할 때 로봇이 미끄러짐에 대해서 자세를 유지하기 위해서 모터의 토크를 보상한 것으로 분석된다. 또한 실선으로 표시된 것은 제어기의 포트 D에 부착된 모터의 토크이고, ‘+’로 표시된 것은 포트 A에 부착된 모터의 토크를 나타내는데 경사로 주행에 있어서도 로봇이 자세를 유지하기 위해서

두 개의 모터가 서로 동일한 방향으로 거의 비슷한 힘을 내면서 주행하는 것을 알 수 있다.

그림 10은 경사로 주행 자세제어에서 로봇에 부착된 각 모터로부터 출력되는 회전각의 변화를 나타내었다. 로봇이 오르막의 시작 시점부터 경사로의 끝까지 전체 구간을 주행하는데 약 24[sec]가 소요되었으며, 오르막 경사로 주행에는 약 10[sec] 정도의 시간이 소요되었고 이후의 시간이 내리막의 주행에 걸린 시간이며, 이때 각 모터에서 출력된 회전각 변화를 나타내었다. 이 결과에서도 경로의 전체구간에 걸쳐서 로봇이 자세를 유지하기 위해서 두 모터의 회전각 변화가 거의 동일하게 변화하고 있음을 알 수 있다.

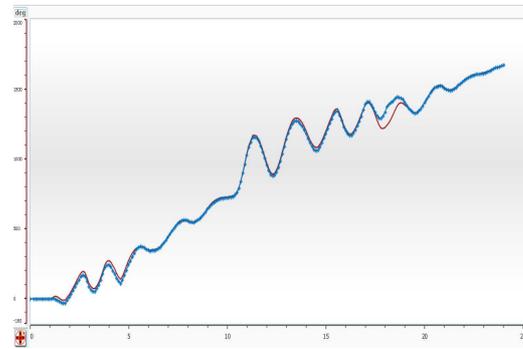


그림 10. 경사로 주행에서 모터회전각 변화
Fig. 10. Change of motor rotation angle in slope

4. 결론

본 논문에서는 로봇공학의 이론적인 내용에 대한 실습교육을 위해서 필요한 실험환경을 구축하는데 따르는 여러 가지 애로를 해결하기 위한 하나의 대안을 제시하기 위해서 LEGO MINDSTORMS EV3를 사용하여 세그웨이 구조의 이동로봇을 제작하고 이 로봇이 고급제어 이론기술을 적용하는 로봇공학 교육의 실습 도구로 사용할 수 있음을 보이기 위해서 평면과 경사로에서 균형을 유지하면서 주행하는 자세제어 실험을 수행하고 결과를 제시하였다.

평면에서 자세제어 실험결과는 로봇이 균형을 잡고 비교적 안정된 자세를 취하기까지는 약 15초 정도의 시간이 소요되었으며, 이후부터는 안정된 균형

자세를 유지하는 것을 확인 할 수 있었다. 안정된 자세를 취할 때까지 비교적 긴 시간이 소요된 것은 로봇의 기울기 각도 추정을 위해서는 통상적으로 가속도 센서와 자이로 센서를 함께 사용하는데 이번 실험에서는 시스템의 복잡성을 극복하기 위해서 자이로 센서만을 사용하는데 따른 것으로 추정된다. 또한 경사로 주행 실험에서는 로봇이 오르막 주행에서 보다 내리막 주행에서 균형을 유지하기 위한 토크의 변화가 크게 발생하였는데, 이것은 내리막 경사로 주행에서 미끄러짐 현상에 따른 것으로 추정되어 향후 제어기 법적인 보완의 필요성이 요구된다. 평면에서 로봇이 주행 중에 나타나는 장애물을 인식하고 회피하는 실험에서도 로봇 전면에서 감지된 물체에 대해서 설정된 일정거리를 유지하기 위해서 로봇이 후진하는 과정에서도 안정된 자세를 유지하는 것을 확인하였다.

제시된 실험 결과를 검토할 때 로봇공학의 기초적인 제어이론 뿐만 아니라 고급제어 이론의 실습교육을 위해서 레고블록이 효과적인 실습도구로 활용될 수 있으며, 이것은 현재 대학의 로봇공학 실습교육에서 겪고 있는 애로를 해결할 수 있는 하나의 대안이 될 수 있음을 확인하였다.

REFERENCES

[1] Hee-In Jeong, Sang-Yong Lee, Jang-Myung Lee, "Estimate the Inclination Angle using Traveling Speed of Segway Robot on the Slope", Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, pp.1164-1169, 2014.

[2] Hyung-jik Lee, Seul Jung, "Balancing Control of a Two Wheeled Mobile Robot System", Journal of The Korean Institute of Telematics and Electronics, pp.468-474 Vol.48-SC, No.6, 2011.

[3] Hyung Gi Min, Ji Hoon Kim, Ju Han Yoon, Eun Tae Jeung, Sung-Ha Kwon, "A Control of Balancing Robot", Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, pp.1201-1207, 2010.

[4] June Hyung Park, Seul Jung, "Development of Experimental Mobile Robots for Robotics Engineering Education by Using LEGO

MINDSTORM", Journal of Korea Robotics Society, pp.57-64, Vol.7, No.2, 2012.

[5] <https://www.lego.com/ko-kr/mindstorms>

[6] <http://pinkwink.kr/>

[7] F.L.Lewis, C.T.Abdallah, D.M.Dawson, Control of Robot Manipulators, Macmillan Publishing Company, New York, pp.136-175, 1993.

[8] Ho Jun Myeong, Dong Hwan Kim, "Robot Driving System and Sensors Implementation for a Mobile Robot Capable of Tracking a Moving Target", Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, Vol. 22, pp.607-614, 2013.

[9] Sang-Hoon Jeong, Joonhong Lim, "Hybrid Control of Dynamic Path Following and Posture Control of Mobile Robot Systems", Journal of Engineering & Technology Hanyang University, Vol.8, No.1 pp.53-59, 1999.

[10] Ji-Won Yang, Chi-Won Roh, Kwang-Won Lee, "Nonlinear Attitude Control of a Two-Wheeled Mobile Robot", Proceedings of the International Conference on Control, Automation and Systems, pp.2657-2660, 2001.

저자약력

주진화(Jin-Hwa Joo)

[중심회원]



<관심분야>

- 1993년 2월 : 동아대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
- 1999년 2월 : 부산대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
- 2001년 3월 ~ 현재 : 오산대학교 전자과 교수

로봇시스템 설계 및 제어, 마이크로프로세서 응용