외륜로봇(Unicycle Robot)의 자세 및 방향 제어
Control of Posture and Direction for Unicycle Robot

*김인호 [1], #양현석 [2]
*I.H.Kim[1], #H.S.Yang(hsyang@yonsei.ac.kr)[2]
[1] 연세대학교 기계공학과, [2] 연세대학교 기계공학과

Key words : Posture Control, Direction Control, Unicycle Robot

1. 서론

구조적인 이유로 인해 불안정한 시스템을 가진 외륜 로봇의 연구는 그 동안 여러 가지 방법으로 시도되었다. 모델링 관점에서는 사람이 외발 자전거를 타는 것을 해석하였고, 그 구조로 로봇을 구성하고 해석하려 했었다. 다리 링크를 설계하고 사람의 어깨와 같은 턴테이블을 설치하여 해석한 연구를 찾아볼 수 있다.[1],[2] 또한 이를 기반으로, 새로운 외륜 로봇 구조를 제시한 연구들도 있었다. 관성모멘트를 발생시킬 수 있는 구조를 설계하여 외륜 로봇의 자세 제어에 사용하였다.[3] 하지만, 지금까지 선행되었던 대부분의 연구들은 외륜 로봇이 넘어지지 않는 것에 연구가 집중되었으며, 발전적인 단계로, 로봇의 기울어진 각도를 유지하면서 로봇의 전, 후진에 대한 연구가 진행되어 왔다. 외륜 로봇이 모바일 로봇(mobile robot)의 한 종류가 되기 위해서는 자세 제어 및 전, 후진 제어뿐만 아니라 로봇 자체의 방향 제어도 필요하다. 가고자 하는 지점이나 미리 정해진 항로를 따라 갈 수 없다면, 모바일 로봇의 의미를 갖지 못하게 되기 때문이다. 따라서 자세 및 방향 제어 둘 다 가능한 형태의 외륜 로봇의 연구가 필요하다.

본 연구에서는 외륜 로봇의 자세 제어뿐만 아니라 방향 제어를 할 수 있는 구조를 제시하고, 시뮬레이션을 통해 그 가능성을 검증고자 한다. 시뮬레이션은 ADAMS 를 이용하였다.

2. 설계

외륜 로봇의 불안정한 시스템은 외륜 로봇이 가지고 있는 구조적인 문제로부터 시작된다. 즉, 구조적인 문제를 최소화하는 것이 외륜 로봇을 안정적으로 제어하는데 가장 크게 영향을 미친다. 본 연구에서는 이러한 이유로 외륜 로봇을 대칭적인 구조로 설계하였다. 또한 로봇의 움직임으로 인한 구조적 변경을 최소화 하기 위하여 구동 부분인 바퀴, Mass Disk 와 모터 간의 구동 전달은 타이밍 벨트와 기어를 사용하는 것으로 설계하였다. 또한 회로 및 배터리도 로봇의 대칭적 구조를 방해하는 요소가 되므로 이 문제를 해결하기 위하여, 'ㄷ'형 프레임과 일체형으로 연결되는 Plate 를 설치하고 Mass Disk 와 베어링으로 연결하여 로봇의 동적 움직임에도 구조적인 변형이 없도록 설계하였다. 이로써, 로봇으로부터 발생하는 구조적인 문제점을 최소화하도록 설계하였으며, 결과적으로 제어할 요소를 줄일 수 있었다. Fig. 1 은 외륜로봇의 CAD 결과이다.

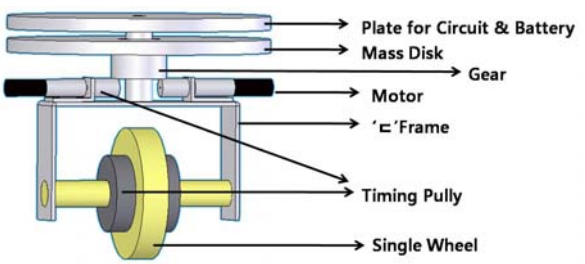

Fig. 1 Design of Unicycle Robot

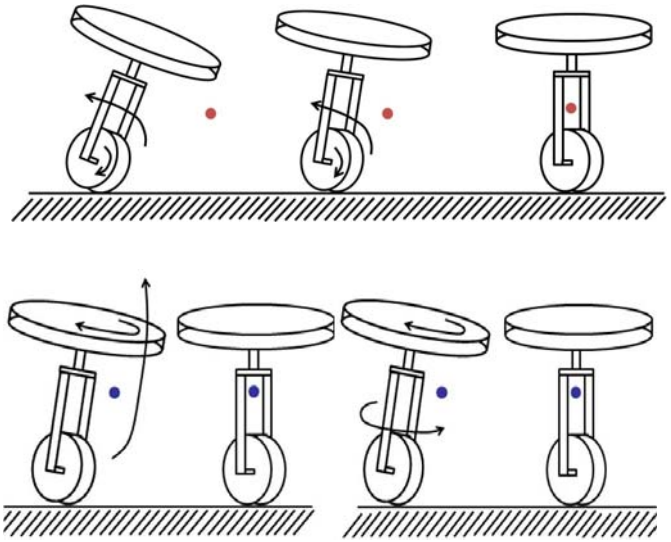

Fig. 3 Control Principle of inclining robot for sides

3. 원리

로봇의 무게 중심을 로봇 중심에 위치하도록 제어하는 것이 자세 제어의 목표이다. 무게중심이 위치는 크게 2 가지로 나눌 수 있으며, Fig. 2 에서와 같이 로봇 진행 방향의 앞, 뒤쪽에 위치하는 경우와, Fig. 3 과 같은 로봇 진행방향의 양 옆에 위치하는 경우로 나눌 수 있다. Fig. 2 의 경우는 로봇의 바퀴를 제어하여 기울어진 방향으로 로봇을 전진하여 무게 중심을 중심으로 이끌어 오게 한다. Fig 3 의 경우는 로봇의 진행 속도에 대해서 2 가지 방법으로 나눌 수 있는데, 로봇의 진행 속도가 느리다면, Mass Disk 의 회전을 이용하여 Up-right Position 을 만들어준다. 또한 로봇의 진행 속도가 빠른 경우는 Mass Disk 의 회전으로 생기는 역모멘트를 이용하여 로봇 동체를 회전시켜 준다. 로봇 동체의 회전으로 인해 무게 중심이 로봇 진행 방향의 앞, 뒤쪽에 위치하게 만들 수 있으며, 이 후의 제어는 Fig. 2 의 경우와 마찬가지로 진행하면 된다. 로봇의 전, 후진의 원리는 로봇의 기울어짐을 유지하는 것이다. 로봇의 기울어짐이 유지된다면, 그것으로 인해 발생되는 로봇의 가속도를 이용하여 로봇의 전, 후진을 발생시킬 수 있다.

Fig. 4 는 외륜 로봇의 Free Body Diagram 이다. FBD 로부

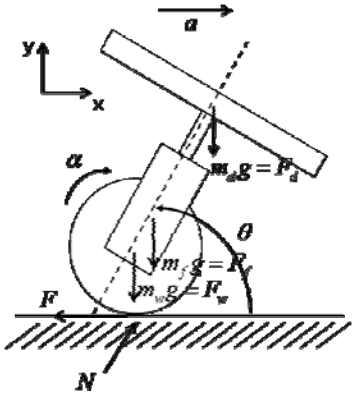

Fig. 4 FBD of Unicycle Robot

Fig. 2 Control Principle of inclining robot for front side

터 외륜로봇의 운동을 x 에 대하여 해석하면 이와 같다.

$$\sum F_x = 0$$

$$\Rightarrow (mw + mf + md)a - F + N\cos\theta = 0$$

$$\therefore a = \frac{N(\mu\sin\theta - \cos\theta)}{(mw + mf + md)} = \frac{N(\mu\sin\theta - \cos\theta)}{M} \quad (1)$$

또한 y 축의 힘에 대해서도 해석하면,

$$\sum F_y = 0$$

$$\Rightarrow N\sin\theta - Mg = 0$$

$$\therefore N = \frac{Mg}{\sin\theta} \quad (2)$$

$$\therefore a = \frac{g(\mu\sin\theta - \cos\theta)}{\sin\theta} \quad (3)$$

위 두식을 통해 가속도가 로봇의 기울어진 각도에 대한 함수라는 결론을 얻을 수 있다. 또한 외륜 로봇 바퀴의 각 가속도와 로봇의 기울어진 각도 간의 관계를 얻기 위하여, 토크에 관한 로봇의 운동을 해석하면 이와 같은 운동 방정식을 얻을 수 있다.

$$\sum \tau = 0$$

$$\Rightarrow (F_w d_w + F_f d_f - F_d d_d)\cos\theta - F d_g \sin\theta - I\alpha = 0$$

$$\therefore \alpha = \frac{F d_g \sin\theta - (F_w d_w + F_f d_f - F_d d_d)\cos\theta}{I} \quad (4)$$

즉, 바퀴를 제어하여 로봇의 기울어진 각도를 제어하고 거기서 발생되는 가속도를 사용하면 로봇의 진행을 제어할 수 있게 된다.

로봇의 방향 제어는 Mass Disk 를 이용한다. 자세 제어에서도 언급하였듯이, Mass Disk 의 회전으로 인한 역모멘트를 이용하여 로봇 동체를 회전시켜 방향을 제어한다.

4. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션은 총 4 가지 경우에 대해서 시행되었다 제

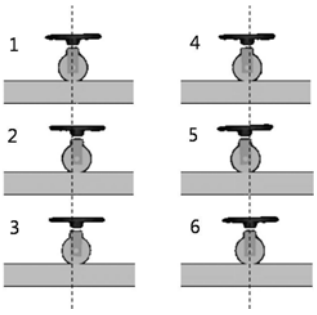

Fig. 5 Maintaining at the same position

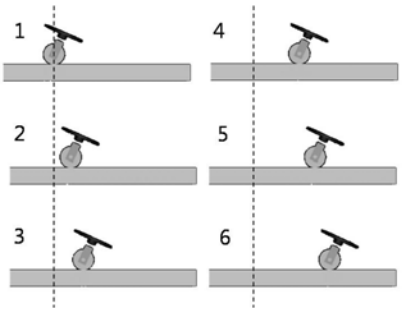

Fig. 6 Moving forward

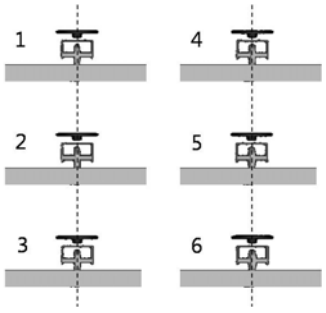

Fig. 7 Truning

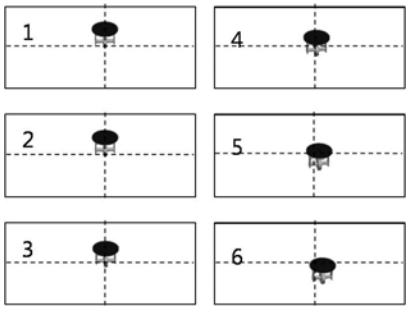

Fig. 8 Truning & Moving forward

어기는 PID 제어기를 사용하였으며, 시뮬레이션은 ADAMS 와 Matlab 의 Simulink 를 연동하여 진행하였다. Fig. 5 는 제자리에서 자세 유지 방법의 결과이다. 한 지점 위에서 자세를 유지 하지는 못하지만, 로봇이 기울어지는 것을 제어하기 위해 계속 전, 후진을 반복하며 로봇의 자세를 유지한다. Fig. 6 는 로봇이 전진하는 상황에 대한 시뮬레이션이다. 로봇의 기울어진 각을 유지하기 위하여, 입력 값으로 사용되는 로봇의 기울기를 일정 상수로 정하여 주었으며, 그 기울기를 유지하며, 로봇의 기울어짐으로 인해 생기는 가속도를 이용해 로봇의 전, 후진을 검증하였다. Fig. 7 은 제자리에서 동체를 회전하는 방법의 결과이다. Mass Disk 의 회전으로 생기는 역모멘트를 이용하여 로봇 동체의 회전을 만들어 주었다. 시뮬레이션 결과 Mass Disk 의 회전이 로봇의 동체를 회전하게 함을 확인 할 수 있다. 마지막 시뮬레이션인 Fig. 8 는 방향제어에 대한 시뮬레이션 결과이다. 전진을 하며 Mass Disk 를 회전하여 동체를 회전하게 한 시뮬레이션으로, 2 차원적 움직임을 확인하였다. 결론적으로, 외륜 로봇의 자세 제어뿐만 아니라, 방향 제어 측면까지 시뮬레이션을 통해 그 가능성을 검증하였고, 외륜 로봇의 mobility 를 확인하였다.

5. 결론

본 연구에서는 외륜 로봇의 자세 및 방향 제어를 위한 로봇의 구조를 제시하였고 시뮬레이션을 통해 그 가능성을 확인하였다. 방향 제어를 위해 Inertia Maker 의 필요성을 점검하였고, 연구 결과는 실제 로봇 제작에 활용 될 것이다.

후기

본 연구는 정부(지식경제부)의 재원으로 “산업기술개발사업(1031484)”의 지원을 받아 수행되었습니다.

참고문헌

1. Zaiquan Sheng and Kazuo Yamafuji “Study on the Stability and Motion Control of a Unicycle” JSME International Journal, Series C, Vol. 38, No. 2, 1995
2. Zaiquan Sheng and Kazuo Yamafuji, “Postural Stability of a Human Riding a Unicycle and Its Emulation by a Robot,” IEEE transactions on robotics and automation, VOL 13, No. 5, October 1997
3. Mark Mellors “Robotic Unicycle : Mechanics & Control”, Technical Milestone Report, Pembroke College, Cambridge, January 2005