

진자 구동 방식의 구형 이동 로봇 개발

Development of a Pendulum-driven Type Spherical Mobile Robot

김자영, 권혁조, 김대현, 최희병, 이지홍

Jayoung Kim, Hyokjo Kwon, Daehyun Kim, Heebyoung Choi, Jihong Lee

Abstract - In this paper a pendulum-driven type spherical mobile robot is introduced. Many researchers have been studied about a spherical mobile robot. we developed a pendulum-driven type spherical mobile robot and analyzed mechanism of pendulum motion. Mechanism of pendulum motion applied to the robot. Consequently, we could verify the motion of the robot as motion of pendulum.

Key Words : Spherical Mobile Robot, Pendulum-Driven Type, Driving and steering motion

1. 소개

현재 많은 사람들에 의해서 다양한 이동 로봇들이 개발되어지고 있다. 이동 로봇의 중요한 특징 중의 하나인 이동성은 로봇을 개발 하는데 있어서 우선 적인 연구 과제이다. 기존의 이동 로봇과 다른 형태를 갖는 로봇들 중에서 구형 이동 로봇은 이동성에 관련해 좋은 장점들을 가지고 있어 새로운 관심분야가 되고 있다. 구형 이동 로봇은 지면과의 접촉이 한 점에서 이루어진다. 따라서 지면과의 마찰을 최소한으로 줄일 수 있어 이동 중 구동 에너지를 효율적으로 사용할 수 있다. 또한 기존의 이동 로봇, 예를 들어 휴머노이드 로봇이나 탐사 로봇 등과 같이 어떤 장애물에 걸려 넘어지거나 이동하지 못하는 치명적인 단점들을 가지고 있지 않음으로 고르지 않은 지형에서도 유연하게 이동할 수 있다.

구형 이동 로봇은 이미 몇몇 연구자들에 의해서 개발 되어져 있다. 현재 개발 되어진 구형 이동 로봇의 구동 방식은 본체 안에 모터를 장착하여 모터의 회전력으로 로봇을 구동하거나, 내부에 소형 이동 물체를 위치 시켜 로봇을 움직이는 구동 방식을 사용한다. 본 논문에서는 기존의 구동방식과 다르게 진자의 운동 메커니즘을 이용하여 로봇을 간접적으로 구동시키는 방법을 소개하고 실제 구형 로봇을 제작하여 로봇의 움직임을 구현하는 것을 목적으로 한다.

그림. 1은 로봇의 개략적인 구동 원리를 보여주고 있다. 로봇은 추의 절점을 롤 모션과 피치 모션으로 이동 시켜 전·후, 좌·우로 로봇을 이동시킬 수 있다.

2. 시스템 구성

2.1 기구적 시스템 구성

그림. 2는 개발된 구형 이동 로봇을 보여주고 있다.

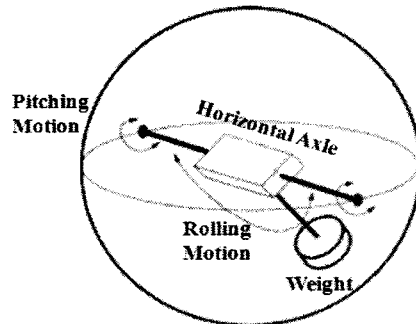


그림. 1 구형 이동 로봇의 구동 메커니즘

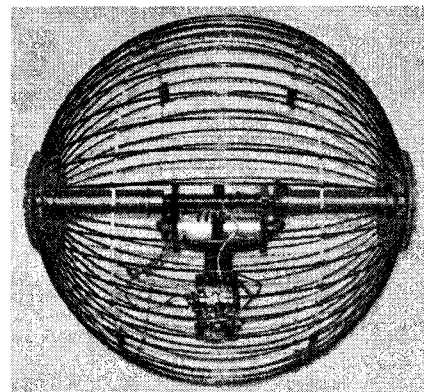


그림. 2 개발된 구형 이동 로봇

저자소개

- * 김 자 영: 충남대학교 BK21 메카트로닉스사업단
- ** 권 혁 조: (주)GNEC
- *** 김 대 현: 충남대학교 누리 메카트로닉스사업단
- **** 최 희 병: 충남대학교 누리 메카트로닉스사업단
- ***** 이 지 홍: 충남대학교 BK21 메카트로닉스사업단

로봇의 외형은 좋은 탄성 특성을 가지고 있는 유리 섬유로 되어있다. 유리 섬유는 50개로 구성 되었으며 지름 3mm이고 길이는 700mm이다. 예상치 못한 외부의 충격에 잘 견디며 또한 내부 시스템을 보호하는 역할을 한다.

로봇의 내부를 보면 지면과 수직을 이루며 추가 달려있는 수직 바가 있고 로봇과 수직 바를 연결 하는 수평 바가 있다. 진자의 이동에 따라 발생하는 힘이 수평 바에 전달하여 로봇을 구동시킨다.

2.1 전기적 시스템 구성

그림. 3은 전기적 시스템의 구성을 보여주고 있다. 시스템의 MCU는 ATMEGA AVR processor를 메인 보드에 부착하여 사용하고 있다. 모터드라이버와 메인 보드는 232 통신과 485 통신을 사용하여 통신을 하고 ZIGBEE 무선 통신 모듈을 메인 보드에 부착하여 중앙 처리 컴퓨터와 원거리로 통신 및 제어를 할 수 있도록 하였다. 또한 여러 센서를 활용하기 위해서 보드에는 센서 시스템이 구성 되어져 있고 실제로 기울기 센서를 수평 바와 수직 바에 각각 하나씩 부착하여 로봇의 움직임에 따른 센서 정보를 제어하는 데 활용하고 있다.

Table. 1은 로봇의 기본 적인 제원을 보여주고 있다.

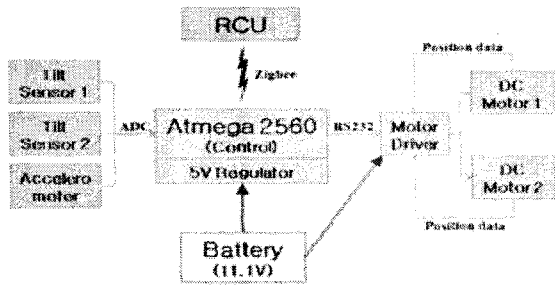


그림. 3 전기적 시스템 구성

Table. 1 로봇의 제원

Body size	sphere (R 250mm)
Total weight	3.5 kg
Perpendicular bar weight	1.5 kg
Horizontal bar weight	2.0 kg
Max. Speed	20 cm/sec

3. 구동 메커니즘

3.1 수평 운동

그림. 4는 진자의 운동을 보여주고 있다. 어떤 바에 매달려 있는 진자가 θ_p 만큼 이동하게 되면 중력에 의해 진자가 이동하는 접선 방향으로 힘이 발생한다. 이 힘은 진자의 길이에 비례하여 모멘트를 발생하게 된다.

$$\Sigma M: J_p \ddot{\theta}_p = -m_p g L \sin \theta_p \quad (1)$$

식 (1)을 로봇에 적용하면 진자에 의해 발생 된 모멘트는 진

자와 로봇을 연결하는 수평 바에 작용하여 로봇을 구동하는 구동 토크로 작용을 한다.

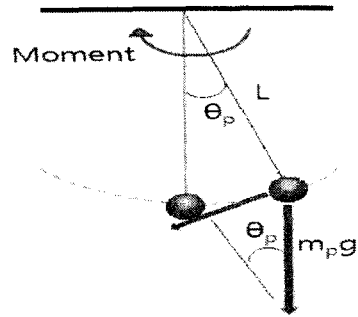


그림. 4 진자 운동

그림. 5는 진자 운동을 활용한 로봇의 메커니즘을 설명하고 있다.

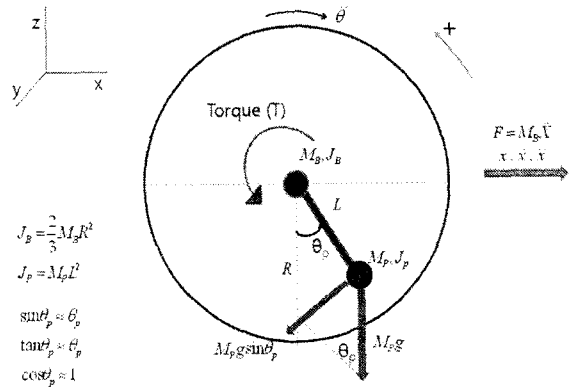


그림. 5 로봇의 수평 방향 구동 메커니즘

$$\Sigma M = \ddot{\theta}:$$

$$\text{pendulum: } J_p \ddot{\theta}_p = T - M_p g L \sin \theta_p \quad (2)$$

$$\text{ball: } J_B \ddot{\theta}_B = M_p g L \sin \theta_p \quad (3)$$

T : 수직 바를 들어올리기 위한 모터의 토크(Torque)

J_p, J_B : 각각 진자와 구의 질량 관성 모멘트(Moment)

식 (2)와 (3)에서 진자의 모멘트가 로봇의 모멘트로 작용하여 로봇을 회전 시켜 구동 한다는 것을 볼 수 있다. 이러한 원리를 이용하여 로봇은 수평 방향으로 움직인다.

3.2 조향 운동

그림. 6은 로봇의 조향 운동을 보여 주고 있다. 구형 로봇의 조향 운동으로 로봇은 방향 전환이 가능하며 또한 기존의 이동 로봇 보다 짧은 회전 반경을 갖는다. 다시 말하면 로봇은 신속한 방향 전환이 가능하다.

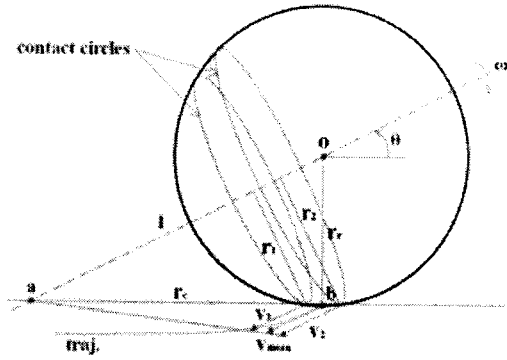


그림. 6 로봇의 조향 운동

$$l = \frac{r_r}{\sin\theta} \quad (4)$$

$$\text{회전 반경} : r_c = \sqrt{l^2 - r_r^2} \quad (5)$$

r_r : 로봇의 반지름

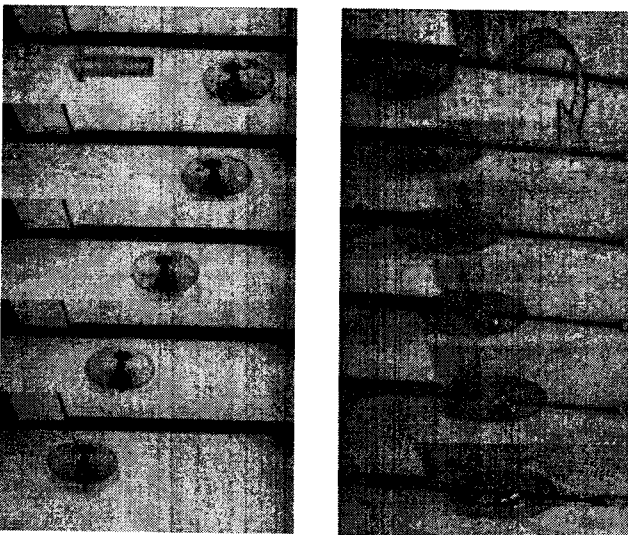
r_c : 회전 반경

θ : 수평바 또는 수직바의 기울기 각

수직 바를 θ 만큼 기울이면 로봇이 r_c 만큼의 회전반경을 갖게 되고 따라서 지면에 반지름이 r_c 인 원을 그리며 회전을 하게 된다.

4. 실험 결과

진자의 운동을 바탕으로 로봇의 운동을 해석 하였고 또한 실제 개발된 로봇을 구동 시켜 움직임을 확인해보았다. 그림.7은 수평 운동과 조향 운동의 결과를 보여준다.



(a)

(b)

그림. 7 실험 결과 (a) 수평 운동 (b) 조향 운동

로봇 제어는 ZIGBEE 모듈을 사용하여 원격으로 중앙 컴퓨터에서 조작을 하였으며 진자의 이동 속도를 모터드라이브로 제어함으로써 로봇을 구동 시켰다.

실험 결과 로봇은 약간의 흔들림을 가지며 구동 하였으며 그러한 흔들림은 로봇의 외형이 탄성체로 이루어져 있기 때문에 움직일 때 탄성에너지의 작용으로 발생 되는 것이다. 그러한 것을 무시 한다면 로봇은 진자의 움직임에 따라 원하는 방향으로 일정한 속도를 가지며 이동하였다. 또한 조향 운동은 수직 바의 기울기를 제어 하여 로봇의 방향을 전환 하였으며 로봇의 조향 운동은 수직 바 또는 수평 바의 기울기 각(θ) 뿐만 아니라 이동 속도와도 밀접한 관련이 있음을 확인 할 수 있었다.

5. 결론

개발된 구형 이동 로봇은 진자 운동의 메커니즘을 이용하여 구동하는 기존과 다른 구동 방식이 적용되었다. 우리가 실제로 제어할 부분은 수직 바이며 수직 바의 출력은 다시 로봇을 구동 시키는 입력으로 들어가 로봇을 움직이므로 간접적인 구동 방식이라 할 수 있다. 이러한 간접 구동 방식은 실시간 적으로 입력과 출력이 보장이 되지 않기 때문에 정확한 입력을 하였다더라도 로봇은 정확하지 않은 위치나 속도의 움직임을 보일 수 있다. 이것은 센서기반의 정밀한 제어로 보정이 가능하며 우리는 실험 결과를 바탕으로 구형 이동 로봇의 움직임을 확인 할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] S. Bhattacharya and S. K. Agrawal, Design, Experiments and Motion Planning of a Spherical Rolling Robot, *Proc.Int.Conf.onRoboticsandAutomation*, 2003, pp. 1207-1212.
- [2] A. Koshiyama and K. Yamafuji, Design and Control of an All-Direction Steering Type Mobile Robot, *Int.J.RoboticsRes.* Vol. 12, No. 5, 1993, pp. 411-419.
- [3] Y. Sugiyama, A. Shiotsu, M. Yamanaka and S. Hirai, Circular/Spherical Robots for Crawling and Jumping, *Proc.Ofthe2005IEEEInt.Conf.onRoboticsandAutomation*, 2005, pp. 3606-3611.
- [4] R. Mukherjee, M. A. Minor and J. T. Pukrushpan, Motion Planning for a Spherical Mobile Robot : Revisiting the Classical Ball-Plate Problem, *JournalofDynamicSystems,Measurement,andControl*, Vol. 124, 2002, pp. 502-511.
- [5] A. Halme, T. Schonberg and Y. Wang, Motion Control of a Spherical Mobile Robot, *AdvancedMotionControl,96-MIE.Proceedings*, Vol. 1, 1996, pp. 259-264.
- [6] Hyokjo Kwon, Development of a Spherical Mobile Robot with an Elastic Outer Body for Shock Absorption, *AIM,Underreview*,2009.