

바퀴구동형 로봇 메카니즘의 등반능력을 위한 필요조건

A Necessary Condition for Climbing Capability of Wheel Drive Robotic Mechanisms

김병호

경성대학교 전기전자메카트로닉스공학부 생체모방제어 및 로봇 연구실
E-mail: kimbh@ks.ac.kr

요 약

바퀴구동형 로봇 메카니즘은 다양한 서비스 로봇에 활용되고 있는데, 이 로봇을 위하여 가장 기본적으로 요구되는 성능중의 하나는 등반능력과 관련된 구동모터의 사양을 결정하는 문제를 들 수 있다. 본 논문에서는 이러한 바퀴구동형 로봇 메카니즘의 등반능력을 고려하고, 경사면을 원활하게 주행하기 위한 필요조건을 제시하고자 한다. 결과적으로, 이러한 조건은 이동로봇 메카니즘의 설계에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

Key Words : Necessary condition, Climbing capability, Wheel drive robotic mechanisms

1. 서 론

최근에 첨단산업의 발전과 더불어 위험지역에서의 탐사작업뿐만 아니라 의료분야 등 높은 정밀도를 요구하는 작업과 반복적인 산업공정의 효율성을 향상시키기 위하여 인간의 기능을 대신할 여러가지 유형의 이동로봇 메카니즘이 개발되고 있다. 이러한 메카니즘을 위해서는 기본적인 메카니즘의 기구적 설계이외에도 모델링, 인식, 판단 및 제어 등 다양한 연구가 필요하다[1]-[5].

현재 다양하게 연구되고 있는 기존의 이동로봇 메카니즘은 이동수단의 관점에서 크게 3가지 유형으로 구분할 수 있다. 첫째, 두 개의 다리를 이용하는 휴먼로봇이나 여러 개의 다리 메카니즘을 이용하여 이동하는 강아지 로봇을 들 수 있다. 둘째, 바퀴로 이동하면서 가정이나 반도체 공장, 병원 및 회의장 등에서 일어나는 다양한 서비스를 제공하는 바퀴구동형 서비스 로봇이 있다[6]. 셋째, 다리와 바퀴의 조합을 이용한 이동로봇으로 나눌 수 있다[7].

본 논문에서는 두 번째 경우에 해당하는 이동로봇 메카니즘에 관하여 고려하는데, 경사진면을 등반해야 하는 경우를 다룬다. 예를 들어, 그림 1과 같은 전동 휠체어(electric-drive wheel chair)[2][8]는 다리가 불편하거나 직접적인 다리의 관절운동에 장애가 있는 사람의 이동을 도와 줄 수 있는 유용한 시스템이기 때문에 많은 연구가 진행되고 있을 뿐만 아니라

다양하게 상품화되고 있다[8][9]. 이러한 바퀴구동형 로봇 메카니즘을 위한 가장 기본적인 면서도 필요한 요구사양은 적절한 등반능력이 될 수 있다. 왜냐하면, 휠체어를 탄 사람이 비교적 안정되어 있는 평지뿐만 아니라 경사면을 자유롭게 이동할 수 있어야 하기 때문이다.

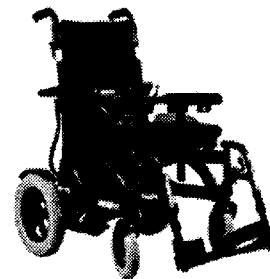


그림 1. 전동휠체어[8]

Fig. 1. An electric-drive wheel chair[8]

따라서 본 논문에서는 바퀴구동형 로봇 메카니즘의 등반능력을 결정하는 구동모터의 필요조건을 제시하고자 한다. 이러한 조건은 이동로봇 메카니즘의 기본 설계에 있어서 유용하게 활용될 수 있다.

2. 바퀴구동형 로봇 메카니즘 모델링

그림 2는 사람이 타고 있는 전동휠체어가 경사진 도로를 주행하고 있는 상황을 형상화하여 바퀴구동형 로봇 메카니즘으로 모델링한 것을

나타낸다.

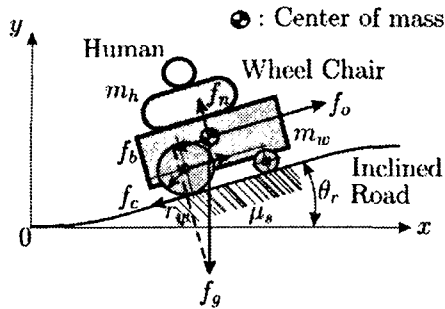


그림 2. 경사진 도로를 주행하는 바퀴구동형 로봇
Fig. 2. A wheel-drive robot climbing an inclined road

그림 2에 나타낸 로봇은 좌우 대칭인 구조를 갖는 이동로봇으로서 큰 지름을 갖는 두 개의 후륜바퀴가 있고, 작은 지름을 갖는 두 개의 전륜바퀴가 있다. 여기서, 전륜은 단순히 로봇의 방향만 조정하는 역할을 하고, 후륜구동에 의해 주행이 가능하다고 가정한다. 이러한 로봇이 평지뿐만 아니라 경사진 면을 원활하게 주행하기 위해서는 기본적으로 구동모터의 사양을 면밀히 검토하여 선정할 필요가 있다.

본 논문에서는 이러한 유형의 바퀴구동형 이동로봇을 대상으로 주어진 도로면의 경사각을 원활하게 등반 및 주행하기 위하여 요구되는 구동모터의 사양을 결정하는데 초점을 맞춘다.

3. 등반능력을 위한 필요조건

3.1 문제정의

그림 2에 나타낸 바퀴구동형 이동로봇의 주요 임무는 사람을 태우고, 평평하거나 경사진 면을 원활하게 이동하는 것이다. 이러한 측면에서 이 로봇의 중요한 설계변수중의 하나는 최대 등반할 수 있는 등반각이 될 수 있다.

표 1. 로봇 시스템 사양

항목	사양
동력바퀴 반지름(r_w)	0.15m
동력전달 기어비(n)	1/32.5
휠체어 중량(m_w)	60kg
최대허용 사람 중량(m_h)	60kg
최대 등반각(θ_r)	15°
최대 주행속도(v_r)	8Km/h
마찰계수(μ_s)	0.6

따라서 본 논문에서 해결하고자 하는 문제는 다음과 같다. 표 1과 같은 사양을 만족하기 위한 바퀴구동형 로봇에 적용할 구동모터의 사양(출력[W] 및 회전수[rpm])을 등반각도의 관점에서 결정하라.

3.2 등반각도와 구동모터출력간의 관계

그림 2에 나타낸 시스템을 하나의 로봇 시스템으로 고려하면, 이 로봇의 전체중량(m_r)은 사람의 중량(m_h)과 휠체어의 중량(m_w)의 합으로서 결정된다. 여기서는 로봇의 전체중량이 질량중심에서 작용된다고 가정한다. 이 로봇이 평평하거나 경사각 θ_r 만큼 경사진 도로면을 주행할 경우, 다음과 같은 두 가지 조건을 고려할 필요가 있다.

- (i) 경사면에서 정지하기 위한 조건
- (ii) 경사면에서 역주행 하지 않을 조건

로봇이 경사면에서 정지할 경우에 만족하여야 할 조건은 다음 식 (1)과 (2)로 나타낼 수 있다.

$$f_o - f_b - f_c = 0 \quad (1)$$

$$f_n - f_g \cos \theta_r = 0 \quad (2)$$

여기서 f_o 는 로봇이 주행하도록 가해주는 힘을 의미하며, 궁극적으로 사용한 구동모터의 출력에 의해 결정된다. f_n 은 도로면에 의해 로봇이 받혀지는 힘의 법선성분을 나타내고, f_g ($= m_r g$, g : 중력가속도)는 중력장에 의한 로봇의 힘 성분이다. 또한, f_c 는 바퀴와 도로면의 마찰력으로서 다음과 같이 결정되며,

$$f_c = \mu_s m_r g \cos \theta_r \quad (3)$$

도로면의 경사각에 의해 로봇이 받는 힘 f_b 는 다음과 같다.

$$f_b = m_r g \sin \theta_r \quad (4)$$

식 (1)~(4)로부터, 로봇이 경사면을 역주행 하지 않을 조건은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$f_o \geq m_r g (\sin \theta_r + \mu_s \cos \theta_r) \quad (5)$$

다음은 식 (5)에 나타난 f_o 의 발생과정에 대하여 살펴본다. 여기서는 표 1에 제시된 기어비가 왼쪽과 오른쪽 동력바퀴의 구동에 동일하게 사용된 경우에 대하여 고려한다. 이러한 경우, 모터축의 회전운동에 의한 토크 성분과 이에 상응하는 직선 운동력간의 관계와 기어체인에 의한 속도관계식을 적용하면, 구동모터의 출력(P_m)과 로봇을 위한 f_o 와의 관계식은 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$f_o = \frac{2}{r_w n w_m} P_m \quad (6)$$

여기서 w_m 은 사용된 구동모터의 정격회전수를 나타낸다.

결과적으로, 식 (5)와 (6)을 재정리하면, 다음과 같은 관계식을 구할 수 있다.

$$P_m \geq \frac{1}{2} g r_w n w_m m_r (\sin \theta_r + \mu_s \cos \theta_r) \quad (6)$$

또한, 로봇의 주행속도(v_r)의 관점에서 식 (6)을 재정리하면, 다음과 같이 나타낼 수 있

다.

$$P_m \geq \frac{1}{2} g v_r (m_h + m_w) (\sin \theta_r + \mu_s \cos \theta_r) \quad (7)$$

결국, 식 (6)을 이용하면, 임의로 선정된 구동모터의 출력(P_m [W])과 정격회전수(w_m [rpm])에 따른 최대 등반각(θ_r)을 판단할 수 있다. 또한, 식 (7)에 의하면, 시스템 사양(m_h, m_w)이 정해진 경우에 대하여 로봇의 요구 주행속도와 등반각 사양을 만족시키기 위한 구동모터의 출력을 결정하는 것이 가능함을 알 수 있다. 따라서 식 (7)에 나타낸 조건식은 사람과 바퀴구동형 이동로봇의 몸체에 대한 물리적 사양뿐만 아니라 주행속도와 등반능력에 알맞은 구동모터의 사양을 효율적으로 결정하는데 유용하게 이용할 수 있다.

3.3 시뮬레이션

그림 3 은 표 1에서 제시한 파라미터를 적용하여 등반각 및 구동모터의 회전수에 따라 요구되는 구동모터의 출력을 나타낸다. 예를 들어, 구동모터의 출력이 900(W)인 모터를 선택한 경우, 회전수가 4600(rpm), 3800(W), 3000(W)이면, 각각 최대 5도, 15도, 34도의 경사면을 등반할 수 있다는 것을 확인할 수 있다. 그림 4 는 구동모터의 회전속도와 로봇의 주행속도의 관계를 나타낸다. 즉, 로봇이 더 큰 경사각을 등반하기 위해서는 주행속도를 줄여야 함을 알 수 있다. 이것은 물리적으로 당연한 결과이다.

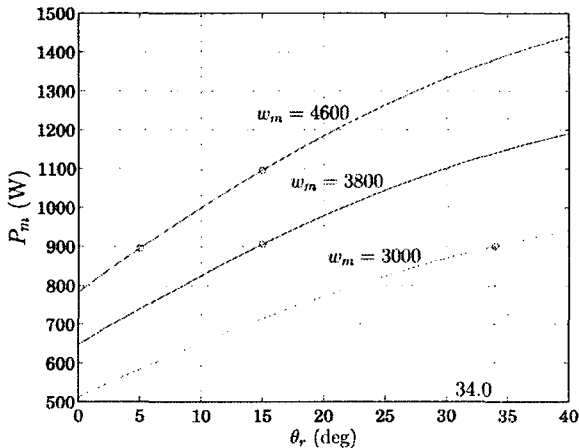


그림 3. 등반각에 따른 구동모터의 출력

Fig. 3. Climbing angle vs output of driving motor

결과적으로, 그림 3과 그림 4를 종합하면, 표 1에서 제시한 로봇의 최대 주행속도가 8Km/h 이므로, 이 조건을 만족시키기 위하여 채용될 구동모터의 회전수는 4600(rpm)이 되어야 한다. 이 경우, 최대 15도 각도의 경사면을 등반하기 위해서는 1100(W)이상의 모터출력이 요구됨을 알 수 있다.

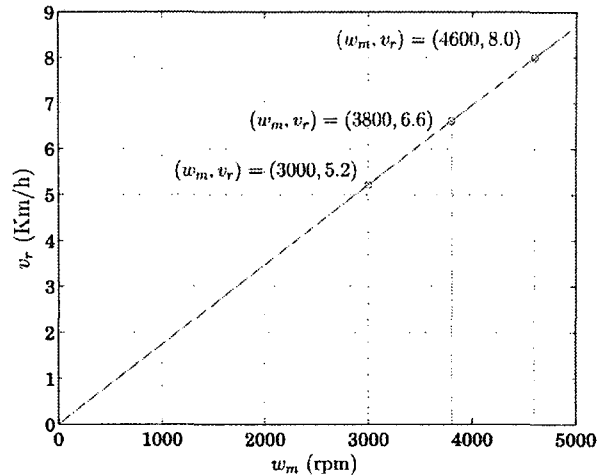


그림 4. 구동모터의 회전속도와 로봇의 주행속도

Fig. 4. Velocities of driving motor and robot

4. 결론

본 논문에서는 사람이 타고 있는 전동휠체어 메카니즘을 바퀴구동형 이동로봇 메카니즘으로 간단히 모델링하고, 이 로봇이 평지나 경사진면을 주행하는데 있어서 요구되는 구동모터의 사양(출력과 회전수)을 등반능력의 관점에서 결정할 수 있는 필요조건식을 제시하였다. 이러한 조건식을 이용하면, 이동로봇 시스템의 중량과 추가적으로 더해지는 사람의 중량문제를 적절히 반영할 수 있을 뿐만 아니라, 사전에 정해진 로봇 시스템의 기본사양에 따라 결정되어야 할 로봇의 주행속도와 등반각 조건을 만족시키기 위한 구동모터의 출력을 용이하게 결정할 수 있다.

따라서 이러한 연구결과는 전동휠체어 메카니즘[8] 뿐만 아니라 다양한 유형의 바퀴구동형 이동로봇 메카니즘에 사용될 구동모터의 사양을 용이하게 결정하는데 유용하게 활용될 수 있다.

참고문헌

- [1] D. Wettergreen, J. Teza, and B. Staszal, "Robotic astrobiology in the Atacama desert," Video Proc.(220005.wmv) of the 2006 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, 2006.
- [2] J. Minguez, L. Montesano, and L. Montano, "Autonomous motion generation for robotic wheelchair," Video Proc. (220013.wmv) of the 2006 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, 2006.
- [3] K. Ioi, H. Igurashi, and A. Muramami, "Design of a gravitational wheeled type robot," Proc. of the 32nd Int. Symposium

- on Robotics, pp. 175-179. 2001.
- [4] A. Salerno and J. Angeles, "The control of semi-autonomous two-wheeled robots undergoing large payload-variations," Proc. of the 2004 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp. 1740-1745, 2004.
 - [5] K. Pathak, J. Franch, and S. K. Agrawal, "Velocity and position control of a wheeled inverted pendulum by partial feedback linearization," IEEE Trans. on Robotics, vol. 21, no. 3, pp. 505-513, 2005.
 - [6] Y. Hada, K. Takese, H. Gakuhari, and E. I. Hemeldan, "Delivery service robot using distributed acquisition, actuators and intelligence," Proc. of the 2004 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp. 2997-3002, 2004.
 - [7] S. Nakajima, E. Nakano, and T. Takahashi, "Motion control technique for practical use of a leg-wheel robot on unknown outdoor rough terrains," Proc. of the 2004 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp. 1353-1358, 2004.
 - [8] <http://www.daese.com/>, Daese M. Care, Ltd., Korea.
 - [9] <http://www.korec.re.kr/>, Korea Orthopedics & Rehabilitation Engineering Center, Korea.