

Quasi static 해석을 통한 라커필러 턱 극복 능력 분석

Analysis of overcoming ability of Rocker-Pillar

by using Quasi-static analysis

* 정승민¹, #최동규¹, 김종원¹

* S. M. Jung¹, #D. K. Choi (kyuchoi@rodel.snu.ac.kr)¹, J. W. Kim¹

¹서울대학교 기계항공공학부 건설설계 연구실

Key words : rough terrain, mobile robot, quasi static analysis

1. Introduction

장소에 구애 받지 않고 역할을 수행해야 하는 모바일 로봇의 가장 중요시 되는 능력은 험지 극복능력이다. 그 중 턱 장애물은 험지 주행 시 가장 많이 접할 수 있는 장애물로 모바일 로봇 개발에 있어 필수적으로 극복해야 하는 요소라고 할 수 있다.

본 논문에서는 quasi-static 해석을 통해 모바일 로봇인 라커필러가 턱을 올라가기 위한 필요 토크 값을 구함으로써 험지 극복능력을 분석해 본다.

2. Design of the Rocker-Pillar

모바일 로봇 라커필러는 라커보기 구조에 캐터필러가 추가 된 형태로 4 개의 바퀴와 2 개의 캐터필러로 이루어져 있다. 바퀴구조를 이용하여 안정성 있게 주행하며 캐터필러를 이용하여 험지를 극복한다. 자세한 치수는 아래 그림 1 과 같다.

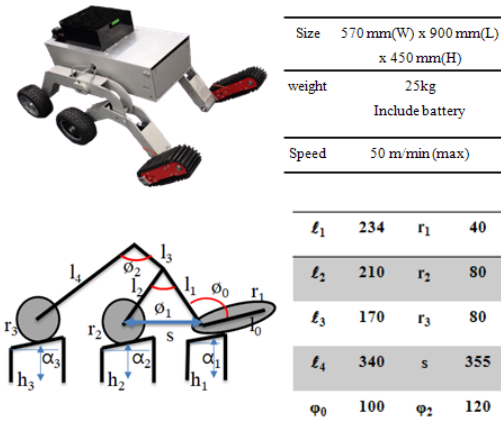


Fig. 1 Specifications of the Rocker-Pillar

3. Analysis

턱을 극복하는 라커필러의 주행은 그림 2 와 같이 4 단계로 나누어 볼 수 있으며 이를 quasi-static 역학 해석 방법을 통해 필요한 모터의 토크 값을 분석해 본다.

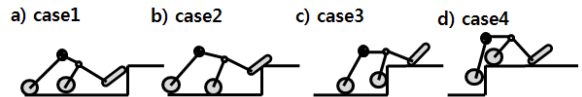


Fig. 2 Sequence of overcoming a step.

Forward kinematic 분석을 통하여 각 링크의 각도를 구해보면 다음과 같다.

$$\theta_1 = \sin^{-1} \frac{h_1 + r_1 \cos \alpha_1 - h_2 - r_2 \cos \alpha_2}{\sqrt{(-l_1 + l_2 \cos \theta_1)^2 + (-l_2 \sin \theta_1)^2}} - \tan^{-1} \frac{l_2 \sin \theta_1}{l_1 - l_2 \cos \theta_1}$$

$$\theta_2 = \theta_1 - \theta_1$$

$$\theta_3 = \sin^{-1} \frac{h_1 + r_1 \cos \alpha_1 + l_1 \sin \theta_1 - h_3 - r_3 \cos \alpha_3}{\sqrt{(-l_3 + l_4 \cos \theta_2)^2 + (-l_4 \sin \theta_2)^2}} - \tan^{-1} \frac{l_4 \sin \theta_2}{l_3 - l_4 \cos \theta_2}$$

$$\theta_4 = \theta_3 - \theta_2$$

여기서 θ_i ($i=1,2,3,4$)은 지면과 링크와의 각도, h_i ($i=1,2,3$)는 각 바퀴의 접촉 높이를, α_i ($i=1,2,3$)는 접촉 각도를 나타낸다.

그림 3 는 1 단계 에서의 라커필러의 free body diagram 을 나타낸 모습이다. M 은 라커필러 본체의 질량, m_1, m_2, m_3 는 각 바퀴의 질량, m_4, m_5 는 linkage 질량을 나타내며 N_i, f_i ($i=1,2,3$)는 각 바퀴에 걸리는 수직항력과 마찰력을 나타낸다. 이에 대한 힘 평형식과 모멘트 평형식을 쓰면 다음과 같다.

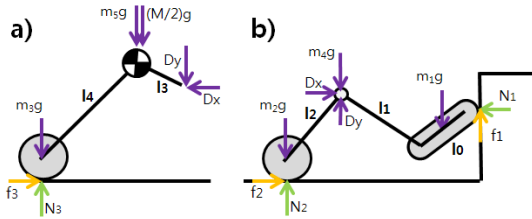


Fig. 3 free body diagram of the Rocker-Pillar in case1

$$\begin{aligned} \sum F_x &= 0 & \sum F_y &= 0 \\ \sum M_{z_1} &= 0 & \sum M_{z_2} &= 0 \end{aligned}$$

M_{z_1} 과 M_{z_2} 는 각각 그림 3 의 (a)와 (b)에서의 모멘트를 의미한다. 이 모든 과정에 있어서 바퀴와 캐터필러가 모두 바닥과 계단에 접촉을 유지한 상태로 주행을 하기 위해서는 다음과 같은 조건이 만족 되어야 한다.

- 1) $f_i \leq \mu N_i$; no slip i^{th} wheel
- 2) $N_i \geq 0$
- 3) $f_i r_i \leq \tau_{i,max}$ (for $i=1,2,3$)

$\tau_{i,max}$ 는 각 바퀴 모터에서 낼 수 있는 최대 토크 값을 나타내며, μ 는 마찰계수를 나타낸다. 구해야 하는 미지수는 $N_1, N_2, N_3, f_1, f_2, f_3$ 로 총 6 개이며 평형식이 4 개의 식이 존재하기 때문에 그 값을 정확히 구할 수 없기 때문에 턱에 닿아 있는 바퀴를 제외하고 나머지 바퀴에 걸리는 토크를 최대 가정하여 해석을 수행한다. $f_i = \tau_{i,max} \cdot r_i$ ($i=2,3$)로 가정하여 값을 계산하고 계산된 N_i 에서 $f_i \geq \mu N_i$ 가 될 경우 미끌어짐이 일어나게 되므로 $f_i = \mu N_i$ 로 가정하여 새로 해석을 수행한다.

4. Results & Conclusion

그림 5 는 각 단계 별로 턱에 접촉한 바퀴가 이를 극복하는데 필요한 토크 값을 나타낸다. 턱의 높이는 기구학적으로 극복 가능한 최대 높이인 350 mm 에 대하여 수행되었다.

캐터필러가 옆면에 접촉하거나 중간 바퀴가 접촉한 경우 (case1, case3) 턱 극복에 필요한 토크는 모터가 낼 수 있는 최대 토크(빨간 줄)

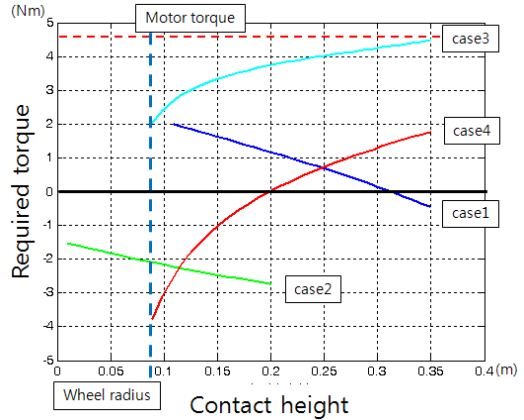


Fig. 4 required torque for overcoming the step on each case

보다 적은 토크가 필요함을 확인할 수 있다. 또한 캐터필러가 모서리에 접촉하는 경우와 세 번째 바퀴가 접촉한 경우에는(case2, case4) 필요한 토크의 값이 음수가 나오게 확인 할 수 있다. τ 값이 음수가 나오는 것은 등반하지 않은 모터의 토크가 최대 값일 때 정적 평형을 이루기 위해서는 오히려 등반 바퀴의 토크가 음수를 가져야 한다는 것을 의미한다. 이는 해석 시 등반하지 않은 모터가 최대의 토크를 낸다는 가정 때문에 발생한 결과로 모터가 최대값 보다 적은 값이 들어가더라도 해당 높이의 험지를 주행할 수 있다는 것을 의미한다. 이와 같은 분석을 통해 라커필러는 최대 350mm 의 턱을 극복할 수 있음을 확인할 수 있다.

후기

이 논문은 2012 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2012.0000348)

참고문헌

1. 최동규, 이석우, 장도영, 김남수, 홍희승, 김종원, “라커보기와 캐터필러를 이용한 주행 메커니즘 개발” 한국정밀공학회 춘계 학술대회 논문집 425p, 2011.