

# Quasi static 해석을 통한 라커필러 턱 극복 능력 분석

## Analysis of overcoming ability of Rocker-Pillar by using Quasi-static analysis

\* 정승민<sup>1</sup>, #최동규<sup>1</sup>, 김종원<sup>1</sup>

\* S. M. Jung<sup>1</sup>, #D. K. Choi (kyuchoi@rodel.snu.ac.kr)<sup>1</sup>, J. W. Kim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>서울대학교 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.



|          |                                      |              |
|----------|--------------------------------------|--------------|
| Size     | 570 mm(W) x 900 mm(L)<br>x 450 mm(H) |              |
| weight   | 25kg<br>Include battery              |              |
| Speed    | 50 m/min (max)                       |              |
| $\ell_1$ | 234                                  | $r_1$ 40     |
| $\ell_2$ | 210                                  | $r_2$ 80     |
| $\ell_3$ | 170                                  | $r_3$ 80     |
| $\ell_4$ | 340                                  | $s$ 355      |
| $\phi_0$ | 100                                  | $\phi_2$ 120 |

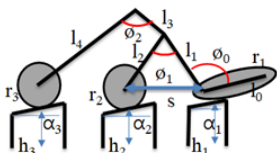


Fig. 1 Specifications of the Rocker-Pillar

### 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.

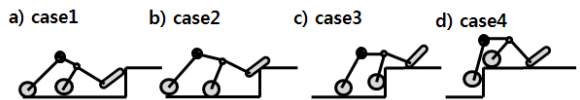


Fig. 2 Sequence of overcoming a step.

Forward kinematic 분석을 통하여 각 링크의 각도를 구해보면 다음과 같다.

$$\theta_1 = \sin^{-1} \frac{h_1 + r_1 \cos \alpha_1 - h_2 - r_2 \cos \alpha_2}{\sqrt{(-l_1 + l_2 \cos \phi_1)^2 + (-l_2 \sin \phi_1)^2}} - \tan^{-1} \frac{l_2 \sin \phi_1}{l_1 - l_2 \cos \phi_1}$$

$$\theta_2 = \theta_1 - \phi_1$$

$$\theta_3 = \sin^{-1} \frac{h_1 + r_1 \cos \alpha_1 + l_1 \sin \theta_1 - h_3 - r_3 \cos \alpha_3}{\sqrt{(-l_3 + l_4 \cos \phi_2)^2 + (-l_4 \sin \phi_2)^2}} - \tan^{-1} \frac{l_4 \sin \phi_2}{l_3 - l_4 \cos \phi_2}$$

$$\theta_4 = \theta_3 - \phi_2$$

여기서  $\theta_i$  ( $i=1,2,3,4$ )은 지면과 링크와의 각도,  $h_i$  ( $i=1,2,3$ )는 각 바퀴의 접촉 높이를,  $\alpha_i$  ( $i=1,2,3$ )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.

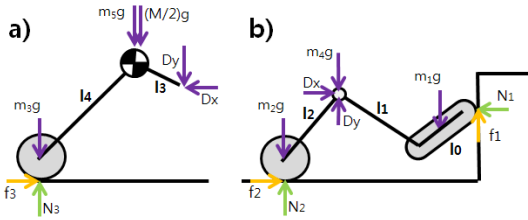


Fig. 3 free body diagram of the Rocker-Pillar on case1

$$\begin{aligned} \sum F_x &= 0 & \sum F_y &= 0 \\ \sum M_{z1} &= 0 & \sum M_{z2} &= 0 \end{aligned}$$

$M_{z1}$  과  $M_{z2}$  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,  $\mu$  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 최대로 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)

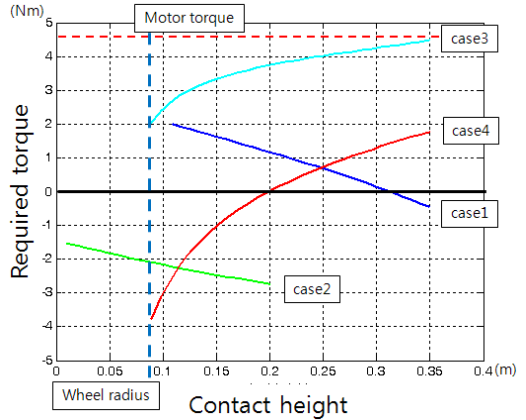


Fig. 4 required torque for overcoming the step on each case

보다 적은 토크가 필요함을 확인할 수 있다. 또한 캐터필러가 모서리에 접촉하는 경우와 세 번째 바퀴가 접촉한 경우에는(case2, case4) 필요한 토크의 값이 음수가 나옴을 확인할 수 있다.  $\tau$  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 춘계학술대회논문집 425p, 2011.