

라키-보기 구조를 갖는 카트의 계단 등반 성능 최적화 Optimization of the Stair-climbing ability of cart with Rocker-bogie mechanism

*홍희승¹, #김종필¹, 김동욱¹, 김선호¹

¹H. S. Hong¹, #J. W. Kim(jongkim@snu.ac.kr)¹, D. M. Kim¹, S. H. Kim¹
¹ 서울대학교 기계항공공학부

Key words : Optimization, Rocker-bogie, Stair-climbing.

1. 서론

가정용 서비스 로봇에 대한 다양한 연구가 여러 분야에서 진행되고 있는 상황에서, 실내 이동을 위해 로봇의 운동성에 중추적인 역할을 담당하고 있다고 할 수 있는 주행 유닛 부분에 대한 연구는 전체 연구 분야 중에서도 필수적인 분야라고 말할 수 있다.

본 연구에서는 로봇에 적용되는 다양한 주행 메커니즘 중에서, 바퀴를 이용함에도 다리 구동 방식만큼의 힘지 적용력을 갖는 것으로 보이는 수동형 링크 구조 바퀴 구동 방식을 선택했다. [1] Rocker-bogie 구조는 수동형 링크 구조 바퀴 구동 방식의 기본 형태로, 현재 널리 이용되고 있다. Rocker-bogie 구조의 시작은 NASA 에서 화성탐사로봇으로 제작한 MER(Mars Exploration Rover - Sojourner, Spirit, Opportunity 등)들로 볼 수 있다. [2]

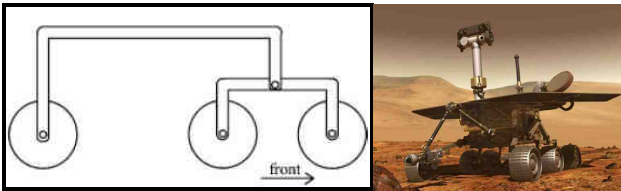


Fig. 1 Rocker-bogie structure and MER with the rocker-bogie suspension system

Rocker-bogie 구조를 적용하면 문턱과 같은 실내에서의 다양한 장애물의 극복과 함께 최대의 장애물이라고 할 수 있는 계단 등반을 위해 바퀴 구동의 장점인 평지에서 빠른 속도 유지와, 다리 구동 방식의 장점인 힘지 적용력을 가진 rocker-bogie 구조의 효과를 기대할 수 있다.

Rocker-bogie 구조를 적용한 기구가 계단을 등반하는 경우는 두 가지로 나눌 수 있다. 첫 번째는 가정용 서비스 로봇과 같이 각 바퀴가 구동하여 계단을 등반하는 경우, 그리고 또 한가지는 쇼핑 카트와 같이 외부의 견인력에 의해 계단을 오르는 경우이다. 본 연구에서는 이 두 가지 경우에서, 사람 또는 그와 같은 외부의 견인력을 이용하여 실내를 이동하는 기구에 적용하는 경우에 대해 진행하였다. 따라서 이는 Rocker-bogie 구조가 화물을 적재하고 이동하는 경우 즉, 계단을 등반하는 짐수레와 같은 경우로 볼 수 있다.

본 연구와 유사한, 수동형 링크 구조 바퀴 구동 방식의 주행 시스템에 대해서 계단등반의 상황에 대해서 최적화를 진행한 연구들이 있었다. [3, 4] 하지만, 이들 연구는 바퀴의 크기를 모두 같도록 하고, 설계변수의 수를 제한하는 등의 한계를 가진 연구였다.

따라서 본 연구에서는 Rocker-bogie 구조를 갖는 cart 의 각 설계변수에 모든 바퀴 크기와 각부 링크의 길이를 포함하여 계단 등반성능의 최적화를 진행하였다.

2. 최적화 문제 정의

Rocker-bogie 구조를 갖는 기구의 계단등반 성능 최적화를 위하여 다음과 같은 최적화 문제를 정의했다.

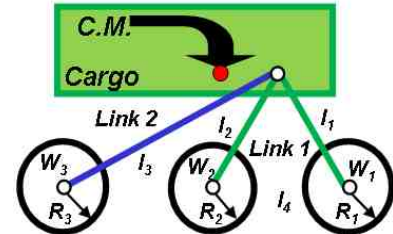


Fig. 2 Kinematic structure of rocker-bogie for the optimization problem definition

Rocker-bogie 구조는 Fig 2 에서 알 수 있듯이 2-D 의 기구학 구조를 가지며, 여기에 대해 7 개의 설계변수를 선정했다. 7 개의 변수는 각 바퀴(W_1, W_2, W_3)의 반경인 R_1, R_2, R_3 와 Link1 과 Link2 의 각 링크 길이인 l_1, l_2, l_3, l_4 이다. 여기에 더하여 cart 의 무게중심은 cargo 가 Link1 에 고정되어있다고 가정하였으므로 마찬가지로 Link1 에 고정된 것으로 가정하였다.

이와 함께 최적화 문제정의에서 cart 가 등반할 계단의 종류도 noise factor 로 3 가지를 선정했다. Fig 3 에서 N_2 의 경우가 일반적인 계단의 크기이다.

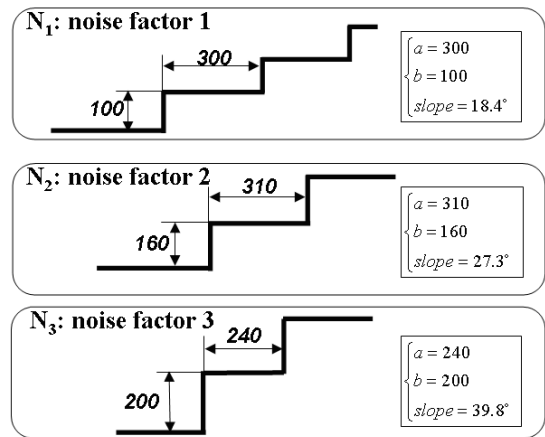


Fig. 3 3 types of stair conditions

짐이 실린 상태에서 Cargo 가 최대한 안정적인 상태를 유지하기 위해서 1. 무게중심의 궤적이 최대한 안정될 것, 2. Cargo 의 각도를 최소화 할 것을 목적함수에 적용시켰다. 따라서 무게중심의 궤적이 계단의 기울기를 갖는 직선에 대한 차이 값의 평균에 대한 편차를 최소화 하는 것과 함께 Cargo 의 최대 기울기를 최소화 하는 것을 본 연구의 최적화 목표로 설정하였다. 따라서 정의된 목적함수는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} & \text{Minimize } f(l_1, l_2, l_3, l_4, R_1, R_2, R_3) \\ & = 0.5 \times (\text{C.M.의 이동 궤적과 직선간 차이의 편차}) \\ & + 0.5 \times (\text{Cargo의 최대 각도}) \end{aligned}$$

마지막으로 최적화 문제의 제한 조건을 정의하였다. 우선 본 경우를 고려하여, 일반적으로 사용되는 상용 쇼핑 cart 의 사이즈를 참조하여 각 설계변수의 제한조건을 설정

하였다. 여기에 더하여 링크와 바퀴 사이에 존재하는 구조적인 제약을 포함하는 제한 조건을 포함하였다. 이 제한 조건들을 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{cases} R_i \leq l_i \leq 500 & (i=1,2) \\ 25 \leq R_i \leq 244 & (i=1,2,3) \\ l_4 > R_1 + R_2 \\ l_1 + l_2 \geq l_4, l_2 + l_4 \geq l_1, l_4 + l_1 \geq l_2 \\ l_3 - R_3 > l_2 + R_2 \end{cases}$$

3. 최적화 방법 및 진행

앞서 2 절에서 정의된 최적화 문제에 대해 다구찌 방법론을 통한 최적화를 진행하였다. 본 최적화 문제는 smaller-the-better 문제로 무게중심 궤적의 진직 오차와 Cargo 의 최대 기울기를 최소화 하는 것을 목적으로 정하였다. 이 진직 오차와 최대 기울기를 2 절에서 Noise Factor 로 제시한 3 가지 계단의 형상을 적용하여, S/N 비를 구하고, 그 S/N 비를 최대화한다. 본 최적화에 대한 S/N 비의 정의는 다음과 같다.

$$SN = -10 \cdot \log \left| \frac{y_1^2 + y_2^2 + y_3^2}{3} \right| \quad [dB]$$

y_i : Tracking Error with i -th noise factor

각 설계변수들에 대한 1 차 최적화에 대한 수준(level)은 선행탐색을 통해서, 다음의 Table 1 과 같이 선정했다.

Table 1 Level of the design parameters

level	l_1	l_2	l_3	l_4	R_1	R_2	R_3
#1	350	200	550	375	60	60	60
#2	400	250	600	450	75	75	75
#3	450	300	650	525	90	90	90

4. 최적화 결과

앞서 정의된 최적화 내용에 대해 다구찌 방법론을 통하여 목적함수에 대한 최적값의 탐색을 통해 최적화 결과를 얻어내었다. 최적화 결과로 도출된 설계변수 결과값은 아래와 같다.

$$\begin{aligned} l_1 &= 400, l_2 = 250, l_3 = 550, l_4 = 450 \\ R_1 &= 90, R_2 = 120, R_3 = 75 \end{aligned}$$

위의 설계변수 결과값을 적용하여 그림으로 나타내면, 아래 Fig. 4 와 같은 형상의 rocker-bogie 형상이 나온다.

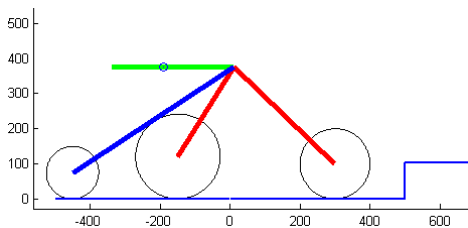


Fig. 4 Optimized result of kinematic structure of the rocker-bogie

최적 설계 변수값을 적용한 rocker-bogie 구조의 세가지 계단에 대한 이동 궤적은 다음의 그림과 같이 나타난다. 다음의 Fig 5, Fig 6, Fig 7 은 각각 N_1, N_2, N_3 의 noise factor 를 적용한 계단 형상의 차이에 따라 달라지는 무게중심 궤적의 형상을 나타낸다.

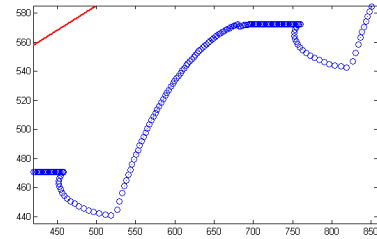


Fig. 5 C.M. path of the optimized rocker-bogie (N_1)

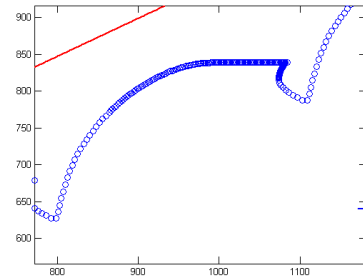


Fig. 6 C.M. path of the optimized rocker-bogie (N_2)

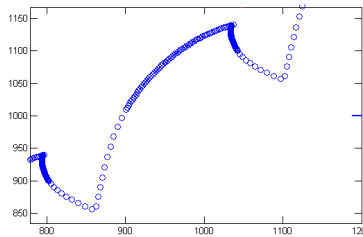


Fig. 7 C.M. path of the optimized rocker-bogie (N_3)

5. 결론

본 연구에서는 계단을 등반하는 경우에 적용 가능한 Rocker-bogie 구조를 갖는 외부 견인력을 통해 구동하는 cart 의 계단 등반 성능 최적화를 진행하였고, 그 결과를 도출하였다. 최적화를 진행하기 위해 앞서 최적화 문제정의의 수행하였으며, 정의된 문제를 다구찌 방법론에 의해 해결하였다. 여기에는 다양한 계단의 형상을 Noise Factor 로 선정하여 다구찌 방법론에 적용하였다.

이렇게 얻은 최적설계변수는 Test 제품을 제작하여 최적화 성능 검증을 진행하고, 그 후 실물을 제작하는데 이용될 것이다.

후기

이 논문은 ERC 사업에 의하여 지원되었음.

참고문헌

1. 우준규, 김연훈, 이청희, 장준현, 김문상, 박윤근, “계단 적응형 6 차륜 수동형 링크 구조 주행로봇,” 한국자동차공학회 2000년도 동력전달계, 진동소음, 차량운동성능, 타이어운동특성 부문 학술강연 논문집, 126-129, 2000
2. Matijevic, J., “Sojourner, The Mars Pathfinder Microover Flight Experiment,” Space Technology, 17, 143-149, 1997
3. Meghdari, A., Pishkenari, H. N., Gaskarimahalle, A. L., Mahboobi, S. H. and Karimi, R., "A Novel Approach for Optimal Design of a Rover Mechanism", Journal of Intelligent and Robotics Systems, 44, 291-312, 2005
4. Thomas Thueer, Ambrose Krebs, Roland Siegwart, and Pierre Lamon, "Performance Comparison of Rough-Terrain Robots—Simulation and Hardware", Journal of Field Robotics 24(3), 251–271, 2007