

수동형 링크 구조 바퀴 주행로봇의 계단등반 메커니즘 최적화 Optimization of the Stair-climbing Mechanism with the Passive Linkage Wheel System

*홍희승¹, 김동목¹, #김종원¹

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

¹ 서울대학교 기계항공공학부

Key words : Optimization, Rocker-bogie, Stair-climbing robot, Passive linkage wheel system

1. 서론

요즘, 로봇은 여러 분야에서 다양한 연구가 활발히 진행되고 있다. 로봇 연구의 폭넓은 범위를 고려하더라도 로봇에게 운동성을 줄 수 있는 주행부의 개발 및 적용은 필수불가결한 조건이다. 이런 이유로 로봇 주행부에 대한 다양한 연구들이 이루어졌고, 현재 진행되고 있다.

로봇 주행부의 종류는 크게, 다리 구동 방식과 바퀴 구동 방식으로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 바퀴 구동 방식이지만, 다리 구동 방식만큼의 힘지 적응력을 보여주는 수동형 링크 구조 바퀴 구동 방식을 선택했다. [1]

Rocker-bogie 구조는 수동형 링크 구조 바퀴 구동 방식의 시작인 만큼, 널리 이용되는 힘지 주행용 바퀴 구동 메커니즘의 하나이다. Rocker-bogie 구조의 시작은 화성탐사 로봇으로 유명한 NASA의 MER(Mars Exploration Rover - Sojourner, Spirit, Opportunity 등)이다. [2]

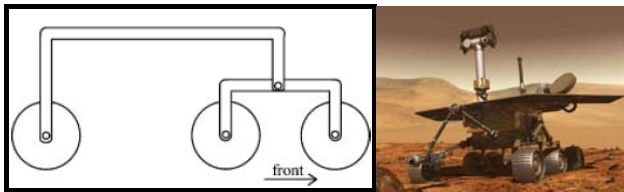


Fig. 1 Rocker-bogie structure and MER with the rocker-bogie suspension system

바퀴 구동의 장점인 평지에서 빠른 속도 유지와, 다리 구동 방식의 장점인 힘지에서의 적응력을 가지고 있는 rocker-bogie 구조를 실내환경에 적용시켰다. 문턱과 같은 다양한 실내 주행 장애물 중에서 가장 바퀴 주행에 어려운 구조인 계단 등반에 rocker-bogie 구조를 적용했다.

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.

그래서 본 연구에서는 rocker-bogie 구조에서 각각 바퀴 크기를 포함한, 계단 등반성능의 최적화를 진행하였다.

2. 최적화 문제 정의

Rocker-bogie 구조의 계단등반 성능 최적화를 위하여 다음과 같은 최적화 문제를 정의했다.

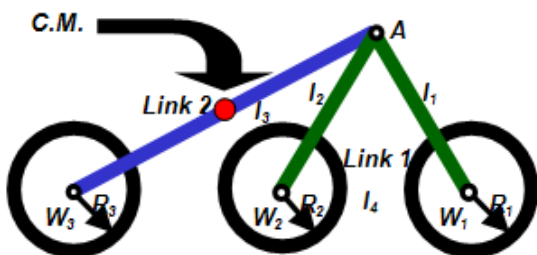


Fig. 2 Kinematic structure of rocker-bogie for the optimization problem definition

우선, rocker-bogie 구조는 Fig 2에서 알 수 있듯이 2-D의 기구학 구조를 가지며, 7개의 설계변수를 선정했다. 7개의 변수는 각 바퀴(W_1, W_2, W_3)의 반경인 R_1, R_2, R_3 와 Link1과 Link2의 각 링크 길이인 l_1, l_2, l_3, l_4 이다. 또한 로봇의 무게중심은 Link2의 중심으로 가정한다.

최적화 문제정의에서 로봇이 등반할 계단의 종류도 noise factor로 3가지를 선정했다. Fig 3에서 N_2 의 경우가 일반적인 계단의 크기이다.

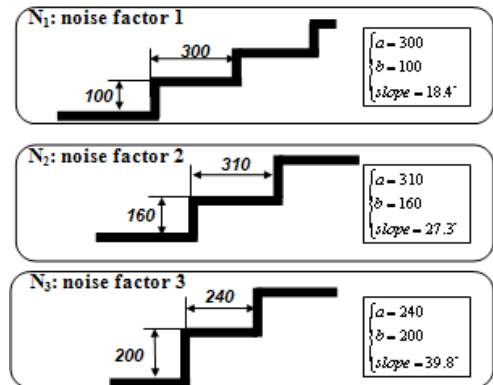


Fig. 3 3 types of stair conditions

각 계단의 일정한 기울기에 대해서, 로봇의 무게중심 궤적이 직선의 형상에서 멀어질수록 계단등반 동안 로봇의 움직임이 일정하지 못함을 의미한다. 그래서 목적함수는 계단의 기울기를 가진 직선과 로봇의 무게중심 궤적 사이의 면적으로 정했다. 이 면적을 최소화하는 것이 본 연구의 최적화 목표이다. 따라서 정의된 목적함수는 다음과 같다.

$$\text{Minimize } f(l_1, l_2, l_3, l_4, R_1, R_2, R_3) = C.M. \text{의 이동 궤적과 직선 사이의 면적}$$

마지막으로 최적화문제의 제한조건(constraints)을 정의해야 한다. 우선, 바퀴의 크기는 일반적인 바퀴 크기들을 고려해서 최저값을 가지고, 가장 가파른 계단에 대해서 안정적으로 바퀴가 머무를 수 있도록 최대값을 가진다. 하나의 링크로 연결된 W_1 과 W_2 는 서로 겹치지 않으며, 동시에 계단의 디딤면(계단의 수평면) 함께 떨어지지 않는다. 또한, W_3 가 W_2 보다 항상 뒤에 위치하며, 각 링크의 길이도 최소값과 최대값을 가진다. 이 제한조건들을 모두 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{cases} 25 \leq R_i \leq 244 & (i=1,2,3) \\ l_4 > R_1 + R_2 \\ \sqrt{R_2^2 + (b + R_1 - R_2)^2} \leq l_4 \leq \sqrt{(a - R_1)^2 + (R_1 - R_2)^2} \\ l_1 + l_2 \geq l_4, l_2 + l_4 \geq l_1, l_4 + l_1 \geq l_2 \\ R_i \leq l_i \leq 1000 & (i=1,2,3) \\ l_3 - R_3 > l_2 + R_2 \end{cases}$$

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 오차를 최소화하는 것이 목적이다. 이 진직 오차를 앞서 내용에서 제시한 3 가지 계단의 형상을 noise factor로 적용하여, S/N 비를 구하고, 그 S/N 비를 최대화한다. 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 설계변수들의 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	180	65	210	190	25	60	60
#2	185	70	215	195	30	65	65
#3	190	75	220	200	35	70	70

4. 최적화 결과

앞서 정의된 내용에 기반하여 다구찌 방법론을 통해 smaller-the-better 성향의 목적함수에 대한 최적화 값의 탐색을 수행하여 결과를 얻어낼 수 있었다.

정의된 각 설계변수와 최적화 문제에 의한 다구찌 방법론에 의한 최적화 결과는 다음과 같다.

$$l_1 = 187, l_2 = 71, l_3 = 216, l_4 = 194$$

$$R_1 = 25, R_2 = 64, R_3 = 67$$

그리고 위의 최적화 결과를 그림으로 나타내면, Fig. 4 와 같은 형상의 rocker-bogie 구조가 나온다.

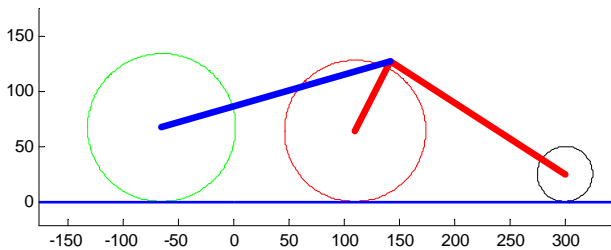


Fig. 4 Optimized result of kinematic structure of the rocker-bogie

도출된 rocker-bogie 구조의 계단 등반 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.

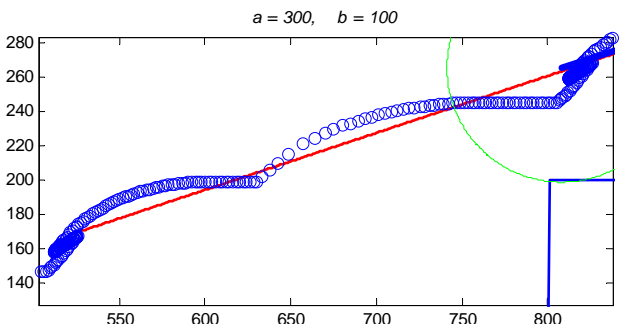


Fig. 5 C.M. path of the optimized rocker-bogie (N_1)

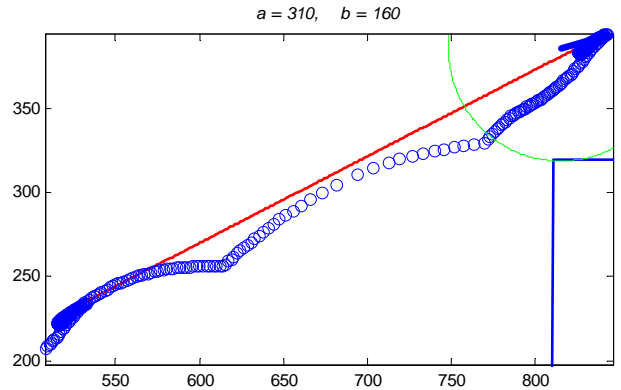


Fig. 6 C.M. path of the optimized rocker-bogie (N_2)

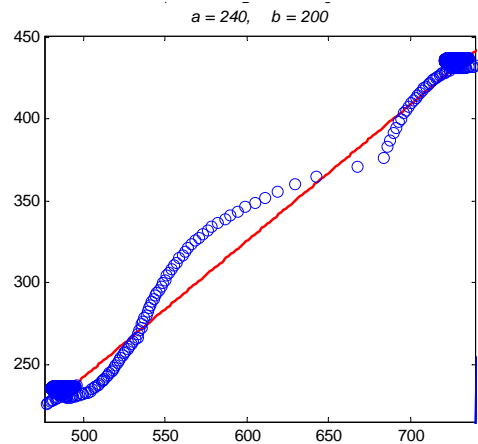


Fig. 7 C.M. path of the optimized rocker-bogie (N_3)

5. 결론

본 연구에서는 실내주행로봇이 계단등반의 경우에도 적용 가능한 rocker-bogie 구조의 계단 등반 성능 최적화를 진행하고, 그 결과를 구했다. 최적화의 진행은 다구찌 방법론에 따라 진행되었으며, 다양한 계단의 형상을 noise factor로 선정했다. 이렇게 선정된 범위를 통해 무게중심의 이동 궤적과 직선의 면적을 smaller-the-better 의 목적함수로 정하였다. 이 최적화 결과는 앞으로 설계될 실내주행로봇의 설계 파라미터 선정에 이용될 것이다.

후기

이 논문은 2009년도 2 단계 두뇌한국 21 사업에 의하여 지원되었음.

참고문헌

1. 우춘규, 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