

# 계단승월 휠체어의 동적 안정성 평가에 관한 연구

## A Study on a dynamically stable design for the stair climbing wheelchair

\*조웅<sup>1</sup>, #장대진<sup>1</sup>, 허윤<sup>1</sup>, 김종권<sup>1</sup>, 조현석<sup>1</sup>, 김신기<sup>1</sup>, 문무성<sup>1</sup>

\*W. Cho<sup>1</sup>, #D. J. Jang(djjang@korec.re.kr)<sup>1</sup>, J. K. Kim<sup>1</sup>, H. S. Jo<sup>1</sup>, S. K. Kim<sup>1</sup>, M. S. Moon<sup>1</sup>

<sup>1</sup>근로복지공단 재활공학연구소

Key words : wheelchair, roll over, dynamic simulation

### 1. 서론

최근 계단 승월 휠체어인 iBot은 4륜구동형 균형 제어를 기본으로 적용하는 제품이다. iBot은 차별화된 구동 메커니즘과 실시간 균형제어 기술로 차별화되었지만, 최근 심각한 안전사고가 발생하였고, 존슨앤존슨이 iBot 휠체어 사업을 철회한 것으로 관련업계에 알려져 있다. Laffont 등은 그의 연구에서 Topchair에 사지마비환자들을 대상으로 안전성 테스트에 관하여 발표하였으며[1], 그 외 제품화 전 단계의 안전성 실험에 관한 연구들이 활발히 수행중이다[2,3].

이렇듯 계단 승월 휠체어의 특성상 사용자의 안전이 최우선되어지고 있지만 아직까진 안전에 대한 연구는 미미한 수준이라 할 수 있다. 이에 본 연구에서는 계단 승월 휠체어를 개발하기 위하여 4절 링크의 최적 길이 선정, 계단 승월 시의 안정성 시뮬레이션을 이용하여 계단 승월 휠체어를 개발 하였다.

### 2. 4절 링크의 설계

계단 승월 메커니즘의 계단 주행 조건은 초기 진입 시 평면에서 계단의 첫 단계에 궤도가 걸쳐져야 하기에 별도의 바퀴를 장착하여 궤도를 걸칠 수 있도록 하였고 또한 계단 주행 말기 시 계단 각과 평행을 이루기 위한 작용도 고려하여 설계하였다. 후진으로 계단을 오를 경우 휠체어가 전복되지 않으려면 계단의 높은 쪽에 무게중심이 위치해야 하기에 4절 링크를 이용하여 계단 주행 시 무게중심을 후반 부 계단 오르는 방향으로 이동시키도록 설계하였다. 단, 앞, 뒤 링크의 길이가 같으면 계단 진입 시 뒷바퀴의 걸림 문제가 발생하여 앞, 뒤 링크의 길이를 달리하기 위하여 ADAMS (MSD Software)를 활용하여 3단계의 길이로 시뮬레이션

한 결과 앞 링크 길이 128mm, 뒤 링크 170mm로 설계하여 뒷바퀴 걸림 문제 해결하였다.

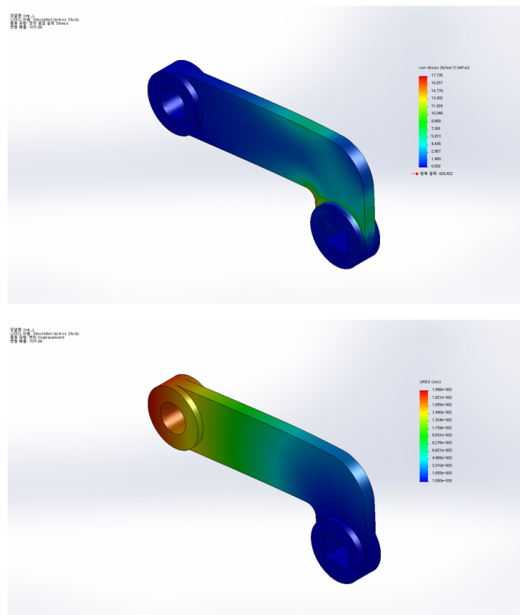


fig. 1. Link L-SimulationXpress Study (stress & displacement)

table 1.

name	type	min.	max.
stress	von mises stress	0.0018224 5 MPa	17.735 MPa
displacement	ures	0mm	0.02mm

링크의 경량화와 강도에 대한 최적의 형상을

찾기 위하여 SimulationXpress (solidworks corp.)를 이용하여 응력과 변위를 해석한 결과 다음fig. 1. 과 table 1과 같이 만족할 수준의 결과를 얻을 수 있었다.

### 3. 안정도 측정방법 및 결과

안전도해석 방법은  $i$ 개의 지면 접촉점이 존재할 때 사람을 포함하는 보조기구의 무게 중심점  $m_b$ 에서 지면 접촉점을 잇는 선을  $p_i, i = \{1, \dots, l-1\}$ 라 하고 서로 이웃하고 있는 접촉점을 연결했을 때 그 선을 전도축(tipover axes),  $r_i$ 라하고 수식으로는 (1)과 같이 표현한다.

$$r_i = p_{i+1} - p_i, \quad i = \{1, \dots, l-1\} \quad (1)$$

$$r_l = p_l - p_l$$

보조기구에 미치는 힘으로는 접촉점에 미치는 지지력  $F_i$ 와 보조기구가 이동시 가속도에 의한 관성력( $-ma_c$ ), 예상치 못한 외란 등에 영향을 받는다. 보조기구의 접촉점에 작용하는 지면접촉력과 외부에서 발생하는 외력의 차이에 의해서 전도 가부가 결정된다. 따라서 수식 (2)와 같이 안정도는 지면접촉력과 외부력에 의한 모멘트값의 차이에 의해서 결정될 수 있다.

$$SM_i = \sum_{j=1}^k ((q_j - p_i) \times B_j) \cdot r_i - ((c - p_i) \times ma_c) \cdot r_i \quad (2)$$

이 모멘트값은 지면에 정적인 상태에서의 값을 기준으로 ( $SM_0$ ) 하여 정규화(normalize) 해준다. 수식 (2)의 안정도 측정값이 임의의  $i$ 에서 양수를 나타내면 보조기구는 안정한 상태를 의미하고 0이면 넘어질 가능성이 있다는 것이고 음수를 나타내면 보조기구는  $i$ 번 째 전도축에 의해 전도된다는 것을 의미한다.

사람의 몸무게와 신장에 따라서 보조기구의 무게 중심점에 바뀌고 수식(2)에서  $c-p_i$  값에 영향을 미친다. 본 연구에서는 80kg의 사람과 휠체어 무게 145kg으로 225kg으로 해석을 진행하였다. 휠체어를 평지에서 5초동안 1km/h로의 속도로 계단 승월했을 때 MATLAB 프로그램을 이용해서 시뮬레이션을 실시하였다.

그 결과 fig. 2와 같이 1초, 3.2초, 4.4초 사이에서 안정성이 약 20% 정도로 가장 불안정하다는 결과를 얻을 수 있었다. 이는 본 개발품의 특성상 계단을 오르는 시점에서 안정적이라 할 수 있는 4점 지지

3점 지지로 바뀌는 과정에서 발생한 것과 계단이 3개로 받쳐지는 것과 2개의 계단이 받쳐지는 것의 차이로 볼 수 있다.

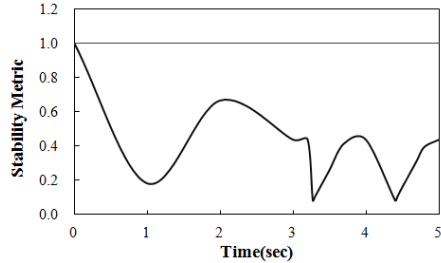


fig. 3 The value of stability metric for up-stair

### 4. 결론

본 연구는 계단 승월 휠체어의 개발과정에서의 구조 해석과 동적 해석을 소개하였다. 계단을 오르 내릴 시 계단에서의 추락을 방지하기 위하여 무게 중심 이동을 위하여 4절 링크를 이용하였고, 구조 해석 결과 만족할 만한 값을 얻을 수 있었으며, 전도 해석을 통하여 불안정한 부분에 대한 추가 개선 연구를 실시할 예정이다.

### 후기

본 연구는 지식경제부 산업원천기술개발사업의 Barrier-free 재활보조장치(10032055)의 지원을 받아 수행하였습니다.

### 참고문헌

1. Y. Maeda, S. Tsutani, S. Hagihara, "Prototype of Multi-functional Robot Vehicle," ICAR, 421-428, 1985.
2. Kan Y., Yusuke O., Shigeo H., "Development of Hi-Grip Crawler using a Development of Powder," JRSJ Vol.15, No. 8, 1188-1193, 1997.
3. Gehard W. K., Manfred S., Manfred S., "Manipulator Vehicle of the Nuclear Emergency Brigade in the Federal Republic of Germany," Remote System Technology, 196-218, 1976
4. S. C. Peters, K. Iagnemma, "An analysis of rollover stability measurement for high-speed mobile robots," Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Orlando, Florida, 3711-3716, 2006.