

계단 승월 휠체어의 전도방지를 위한 동적해석에 관한 연구 The Study of Tipover Stability Analysis for Stair Climbing Wheelchair

*#장대진¹, 조웅¹, 김신기¹, 문무성¹

*#D. J. Jang(djjang@korec.re.kr)¹, W. Cho¹, S. K. Kim¹, M. S. Mun¹

¹근로복지공단 재활공학연구소

Key words : Stair climbing wheelchair, Stability, Tipover, Center of gravity

1. 서론

비장애인이 층간 이동하는 방법으로는 계단 및 엘리베이터, 에스컬레이터 등 다양한 방법이 있으나 근력이 약한 노인이나 하반신 마비인 장애인에게 층간 이동은 매우 어려운 일이다. 특히, 휠체어를 탄 장애인이란 더욱이 어려운 일이다. 이러한 사람들이 층간 이동하는 가장 간단한 방법은 엘리베이터를 이용하는 것이나 모든 장소에 엘리베이터가 설치되어 있지 않기 때문에 어려움이 많다.

노약자 및 장애인 계단 승월용 휠체어로는 iBot, Topchair 등이 있으며 특히, iBot은 구동 메커니즘과 4륜구동 실시간 균형제어 기술로 다른 제품과 차별화하였으나 최근 심각한 안전사고로 인하여 현재 판매가 중지된 상태이다. 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].

본 연구에서는 로봇 및 자동차에 적용되고 있는 안정성 평가 방법을 바탕으로 개발된 계단 승월 휠체어에 적용하여 계단 승강시 전도해석과 물리적 의미를 살펴봄에 전도위험성을 회피할 수 있는 제어기술을 소개하고자 한다.

2. 안정도 측정방법

안정도해석 방법은 i 개의 지면 접촉점이 존재할 때 사람을 포함하는 휠체어의 무게 중심점 m_0 에서 지면 접촉점을 잇는 선을 $\mathbf{p}_i, i = \{1, \dots, l-1\}$ 라 하고 서로 이웃하고 있는 접촉점을 연결했을 때 그 선을 전도축(tipover axes), \mathbf{r}_i 라하고 수식으로는 (1)과 같이 표현한다.

$$\mathbf{r}_i = \mathbf{p}_{i+1} - \mathbf{p}_i, \quad i = \{1, \dots, l-1\} \quad (1)$$

$$\mathbf{r}_l = \mathbf{p}_1 - \mathbf{p}_l$$

휠체어에 미치는 힘으로는 접촉점에 미치는 지력 \mathbf{F}_i 와 휠체어가 이동시 가속도에 의한 관성력 $(-m\mathbf{a}_c)$, 예상치 못한 외란 등에 영향을 받는다. 휠체어의 접촉점에 작용하는 지면 접촉력과 외부에서 발생하는 외력의 차이에 의해서 전도여부가 결정된다. 따라서 수식 (2)와 같이 안정도는 지면 접촉력과 외부력에 의한 모멘트 값의 차이에 의해서 결정될 수 있다.

$$SM_i = \sum_{j=1}^k ((\mathbf{q}_j - \mathbf{p}_i) \times \mathbf{B}_j) \cdot \mathbf{r}_i - ((\mathbf{c} - \mathbf{p}_i) \times m\mathbf{a}_c) \cdot \mathbf{r}_i \quad (2)$$

이 모멘트 값은 지면에 정적인 상태에서의 값을 기준으로 (SM_0) 하여 정규화(normalize) 해준다. 수식 (2)의 안정도 측정값이 임의의 i 에서 양수를 나타내면 휠체어는 안정한 상태를 의미하고 0이면 넘어질 가능성이 있다는 것이고 음수를 나타내면 휠체어는 i 번 째 전도축에 의해 전도된다는 것을 의미한다[4].

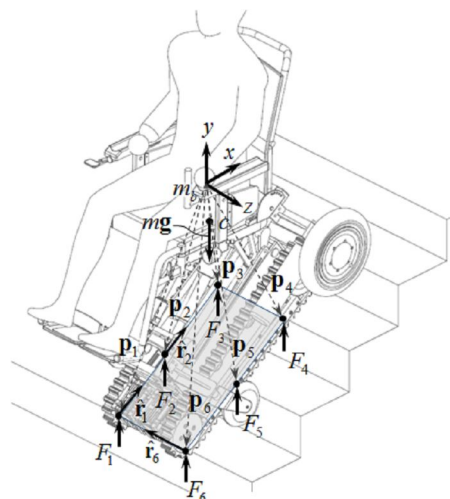


Fig. 1 Free-body diagram for stair-climbing wheelchair

3. 안정도 측정 결과

그림 1은 계단 승월 휠체어의 자유물체도로써 계단 승월시 계단과의 접촉점을 나타낸 것이다. 사람의 몸무게와 신장은 사이즈 코리아 데이터를 이용하여 20대에서 70대 남녀 데이터를 바탕으로 50분위에 있는 사람을 기준으로 안정도 해석을 실시하였으며 계단에서 승월 속도는 1km/h로 하여 MATLAB 프로그램을 이용해서 시뮬레이션을 실시하였다. 그림 2에서 보는 바와 같이 1초까지는 계단을 오르기 위한 랜딩기어를 내리는 부분으로서 랜딩기어의 폭이 트랙 폭보다 좁은 관계로 안정도 값이 작게 나타났으며 1초에서 3.2초까지는 계단을 올라가는 초기단계로서 바닥과 4개의 계단 모서리 등 6개의 접촉점을 가지는 단계이다. 이 구간에서는 무게중심점과 1, 6번(그림 1참조) 접촉점과의 수평거리가 가까워지는 구간으로 안정도 계수가 떨어진다. 3.2초에서는 다음 계단을 올라가기 바로 직전 단계로서 그림 1과 같이 접촉점 2개(1, 6번)가 순간적으로 없어지는 구간으로 다음 계단을 만날 때까지 4개의 접촉점으로 올라간다. 이 구간에서는 그림에서 보는 바와 같이 0에 가까워지고 이 구간을 넘어서면 다시 접촉점이 6개로 늘어난다. 그림 2와 같이 4개 접촉점을 가지는 위험구간에서는 휠체어가 전도될 가능성이 있으므로 탑승자의 위치를 뒤로 이동하여 위험 구간을 회피하는 대책이 필요하다.

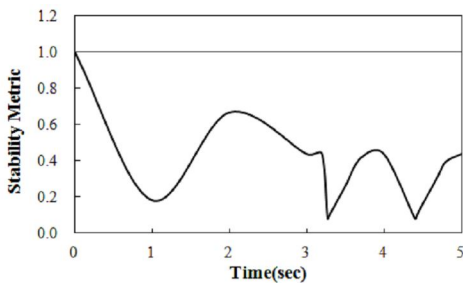


Fig. 2 The value of stability metric during climbing

위험 구간을 회피하는 방법으로는 휠체어 전방에 1개 후방에 2개의 IR 센서를 부착하여 계단 승월시 휠체어가 계단의 어느 위치에서 접촉하고 있는지 판단한 후 위험구간이라고 판단하면 시트부를 뒤로 제쳐 위험구간을 회피한다.

4. 결론

본 연구는 계단 승월 휠체어에 대한 전도 측정방법 및 해석기법을 소개하였다. 기존의 안정도 해석 기법은 휠 타입의 이동보조기구나 자동차에 적용한 결과를 나타내었으나 본 연구는 캐터필러라는 점에서 차이가 있고 시간에 따라서 접촉점이 변화하는 계단이고 계단을 계속 올라가기 때문에 접촉점도 불연속적이다. 본 연구에서의 안정도 해석 결과 값은 사람의 무게 중심에 영향을 받는다는 것을 보여 주었다. 이러한 측정 방법으로 동적으로 움직이는 계단 승월 휠체어에 적용하여 각도 센서와 가속도 센서를 장착하면 실시간으로 움직이는 계단 승월 휠체어의 안정도 값을 측정할 수 있으며 모니터링 할 수 있다. 따라서 사람의 몸무게 및 신장을 입력하면 다양한 상황에 따른 안정도 계수를 얻을 수 있고 계단에서의 미끄러짐과 같은 외란에 대해서 실시간으로 안정도 값을 측정하여 속도를 변경하여 외란을 회피할 수 있어서 휠체어를 안정화시킬 수 있다. 추후 연구로는 계단 승월시 장애인의 신체 이동에 따른 안정도 측정에 관한 연구를 진행할 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. 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
3. Kan Y., Yusuke O., Shigeo H., "Development of Hi-Grip Crawler using a Development of Powder," JRSJ Vol.15, No. 8, 1188-1193, 1997.
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.