

# 수직 지면 반발력을 통한 외골격 로봇의 보행 시작의도 인식 기술

## Study of the exoskeleton for the detection of step initiation with the vertical GRF

차도완\* 강대원\* 김갑일\*\* 김경수\* 김수현\*  
Dowan Cha Daewon Kang Kab Il Kim Kyung-Soo Kim Soohyun Kim

\* KAIST

\*\* 명지대학교

(발표자 연락처 : chadowan@kaist.ac.kr)

### Abstract

We present a new approach to detect step initiation for the exoskeleton. Many studies for the exoskeleton have been done to detect step initiation by using EMG, Heel-off or Toe-off as soon as possible. This is, because, the detection of step initiation is not only starting point to activate the exoskeleton, but also a faster detection of step initiation enables the exoskeleton to assist the operator's walking more quickly. In this paper, we detect step initiation faster than other approaches with vertical ground reaction forces. With our approach, the exoskeleton can not only detect step initiation faster, but also the exoskeleton assist the operator's walking more quickly.

Keywords: Exoskeleton, Vertical Ground Reaction Force(GRF), Step Initiation

### 1. 서론

보행 시작단계는 양 발 지지의 정지단계로부터 첫 걸음을 내딛으며 걸음을 시작하는 단계를 말한다.[1] 많은 외골격 로봇 연구들은 착용자의 보행 시작의도를 인식함으로써 외골격 로봇의 구동을 시작하고자 하였다. 아울러, 최대한 빠르게 착용자의 보행 시작의도를 인식함으로써 착용자의 보행을 최대한 빠르게 보조하고자 하였다. 외골격 로봇을 위한 대표적인 착용자 보행 시작의도 인식 기술을 살펴보면, 일본 HAL의 근전도(EMG)에 의한 방법, 미국 RoboKnee의 뒤꿈치 들림(Heel-off)에 의한 방법, 미국 BLEEX의 엄지 발가락 들림(Toe-off)에 의한 방법 등을 들 수 있다.

일본 HAL의 근전도(EMG)에 의한 방법은 착용자가 보행을 위하여 근육의 움직임이 발생될 때 발생하는 근전도(EMG)를 통하여 착용자의 보행 시작의도를 인식하는 방법이다. 가장 빠르게 착용자의 보행 시작의도를 인식한다는 장점이 있으나 근전도(EMG)와 같은 생체신호(Bio signal)의 불확실성 및 과도한 개인 보정 시간 소요는 이 방법의 큰 한계로 지적되고 있다.[2]

미국 RoboKnee의 뒤꿈치 들림(Heel-off)에 의한 방법은 발 뒤꿈치가 접촉된 지면으로부터 들리는 시점으로 착용자의 보행 시작의도를 인식하는 방법이다. 생체신호를 제외한 눈에 보이는 기구학적 움직임 범위 내에서 가장 빠르게 착용자의 보행 시작의도를 인식한다는 장점이 있다. 그러나, 뒤꿈치 들림(Heel-off)을 통한 보행 시작의도 인식 방법은 착용자의 보행 특성에 대한 개별적 학습을 통하여 신뢰성을 높여야 하는 단점이 있다.[3]

미국 BLEEX의 엄지 발가락 들림(Toe-off)에 의한 방법은 엄지 발가락이 접촉된 지면으로부터 들리는 시점으로 착용자의 보행 시작 의도를 인식하는 방법이다. 가장 간단하고 정확하다는 장점이 있으나 가장 느리다

는 단점이 있다.[4]

본 논문에서는 힘 측정판을 통한 인간 보행 실험을 바탕으로 얻어진 수직 지면 반발력의 패턴을 통해 생체신호를 제외한 가장 빠르고 간단한 보행 시작의도를 인식하는 방법을 제안하고자 한다.

### 2. 실험 방법

7명의 보행에 이상이 없는 건강한 남성들이 본 실험에 참가하였다. 실험 전 그들은 KAIST 연구 윤리 위원회에서 승인한 동의서에 동의하였다. 피험자들의 평균 신장은  $175 \pm 0.03m$ 였고 평균 체중은  $75.1 \pm 7.94kg$ 이었다.

그림 1에서 보는 바와 같이, 3개의 힘 측정판을 사용하여 수직 지면 반발력 및 엄지 발가락 들림(Toe-off)을 측정하였으며 모션 캡처 장비를 통하여 피험자들의 뒤꿈치 들림(Heel-off)를 측정하였다.

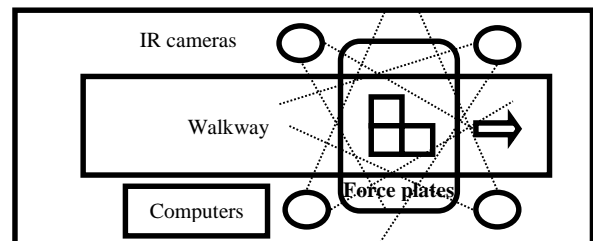


그림 1. 보행 실험을 위한 실험 장비 구성도

피험자들은 양발을 가장 편안한 자세로 두 개의 힘 측정판 위에 올려 놓고 서 있다가 걸음을 시작하라는 신호에 의거 본인들이 느끼는 가장 편안한 보행 속도로 오른쪽 발부터 걸음을 시작하였고, 첫 발은 나머지 한 개의 힘 측정판을 밟고 지나간다.

### 3. 실험 결과

본 논문에서, 우리는 두 가지의 수직 지면 반발력 특징점들이 생체신호를 제외한 기존의 보행 시작의도 인식 방법인 뒤꿈치 들기(Heel-off), 엄지 발가락 들림(Toe-off)보다 더 빠르게 보행 시작 전 발생한다는 사실을 확인할 수 있었다. 그림 2에서 보는 바와 같이, 첫째, 각 발 수직 지면 반발력의 크기가 교차하는 시점, 둘째, 첫 걸음을 내딛는 오른발의 수직 지면 반발력의 크기가 최대가 되는 시점이 그것이었다.

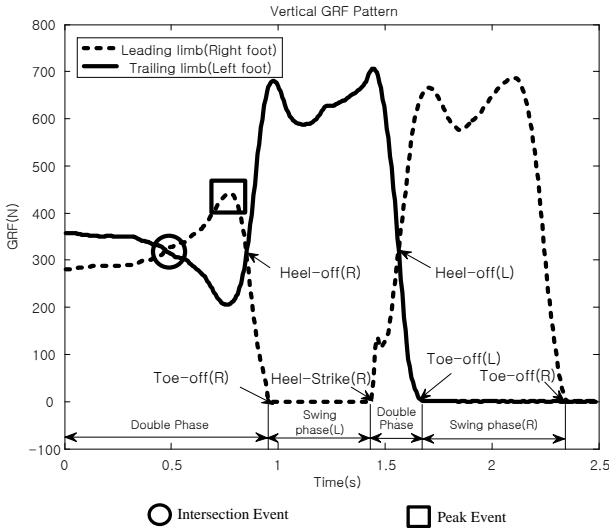


그림 2. 피험자들의 수직 지면 반발력

표 1은 본 논문에서 제안한 수직 지면 반발력의 두 가지 특징점을 통하여 보행 시작 의도를 인식하는 방법과 생체 신호가 아닌 기존 연구 방법에 있어 보행 시작 의도를 인식한 결과를 보여준다. 본 논문에서 제안한 방법이 평균 0.13초에서 0.26초 빠르게 보행 시작의도를 인식할 수 있음을 보여준다.

표 1. 제안한 방법과 기존 방법과의 비교

	Our Approach	Heel-Off Approach	Toe-Off Approach
Detection Mean Time (sec)	0.612	0.742	0.872
Standard Deviation	0.019	0.033	0.034
t-value		0.0069	0.0005

\* Significance level  $p < 0.01$

### 3. 결론

본 논문에서, 피험자들의 보행 실험을 통하여 정지되어 있는 상태에서 첫 걸음을 걷는데 있어 나타나는 수

직 지면 반발력의 패턴을 분석하였으며 그 결과, 보행 시작 전 반드시 발생하는 두 개 수직 지면 반발력의 특징점들을 확인할 수 있었다.

이 두 개의 수직 지면 반발력 특징점들은 정지되어 있는 상태에서 보행을 시작하기 위한 에너지 유입 단계에서 나오는 특징점들로 분석되었다.

두 개의 수직 지면 반발력 특징점들을 통해 보행 시작의도를 인식하였을 때, 생체 신호를 제외한 뒤꿈치 들림(Heel-off), 엄지 발가락 들림(Toe-off)와 같은 기존 보행 시작의도 인식 방법에 비해 보다 정확하고 보다 빠르게 인식을 할 수 있었다.

본 논문에서 제안한 방법을 통하여 외골격 로봇은 착용자의 보행 시작의도를 기존 방법 대비 더 빠르게 인식함으로써 더 빠르게 착용자의 보행을 보조해줄 것으로 기대한다.

### 후기

본 연구는 국방 무인화 특화 센터(UTRC)의 연구 지원 사업으로 진행되었습니다.

### 참고문헌

[1] J. Mickelborough, V. D. Linden, M. L. Tallis, R. C., and A. R. Ennons, "Muscle activity during gait initiation in normal elderly people," *Gait Posture*, Vol. 19, pp.50-57, 2004.

[2] K. Suzuki, G. Mito, H. Kawamoto, Y. Hasegawa, Y. Sankai, "Intention-based walking support for para-plegia patients with Robot Suit HAL," *Advanced Robotics*, vol. 21, no. 12, pp.1441-1469, 2007.

[3] J. E. Pratt, B. T. Krupp, C. J. Morse, S. H. Collins, "The RoboKnee: An Exoskeleton for Enhancing Strength and Endurance During Walking," *Proc. of the Conf. Robotics and Automation*, pp.2430-2435, 2004.

[4] H. Kazerooni, J. -L. Racine, H. Lihua, R. Steger, "On the control of the Berkeley Lower Extremity Exo-skeleton (BLEEX)," *Proc. of the Conf. Robotics and Automation*, pp.4353-4360, 2007.