

# 편마비 보행시 보행보조 FES의 실시간 자극시점 검출을 위한 센서 시스템 비교 Comparison of the sensor systems for real-time detecting walking assistive FES stimulation timing in hemiplegic gait

\*박선우<sup>1,2</sup>, 김정은<sup>1,2</sup>, 손홍상<sup>1,2</sup>, #김영호<sup>1,2</sup>

\*S. W. Park<sup>1,2</sup>, J. Y. Kim<sup>1,2</sup>, J. S. Son<sup>1,2</sup>, #Y. H. Kim(youngbokim@yonsei.ac.kr)<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> 연세대학교 의공학과, <sup>2</sup> 연세대학교 의료공학연구원

Key words : Walking assistive FES, Sensor system, Tilt sensor, Accelerometer, Real-time

## 1. 서론

보행보조 시스템의 정확한 작동 시점을 결정하는데 중요한 기준이 되는 보행주기를 검출하기 위해 가장 널리 쓰이는 방법은 삼차원 동작 분석 시스템을 이용하는 것이다. 삼차원 동작 분석 시스템은 힘 측정판[1]을 동기화하여 사용하거나 적외선 카메라로 측정된 반사 마커의 궤적[1], [2] 같은 운동학적 데이터를 이용한다. 이 방법은 정확한 보행주기 검출이 가능하지만 장비가 매우 비싸고 시스템이 갖추어진 실험실내에서만 가능할 뿐만 아니라 힘 측정판의 개수 및 카메라 유효공간에 따른 제약이 있다. 따라서, 보행보조 FES 같은 보행보조 시스템에 적용하기 위해서는 휴대용 보행주기 검출 시스템이 요구됨에 따라 다양한 모션 센서(푸트 스위치, 가속도 센서, 자이로 센서, 기울기 센서 등)를 이용한 방법이 연구되고 있다. 이러한 센서 시스템은 가격이 싸고, 저전력이며 많은 수의 보행주기를 실시간으로 검출할 수 있다.

푸트 스위치[3]는 보행주기 검출에 가장 널리 사용되는 센서이며, 대부분의 상업적 FES 제품에 적용된다. 하지만 센서 특성상 발바닥에 부착하여 사용해야 하기 때문에 부착 위치와 접촉면에 따라 결과값이 달라지는 문제를 갖고 있다. 가속도 센서는 동작분석에 6개의 가속도계를 사용한 Morris[4]의 연구 이후 소형의 piezoresistive 방식의 가속도센서가 개발되었고, 이를 계기로 활발한 연구가 진행되었다. Evans 등 [5]은 단축 가속도센서를 사용하여 좌우의 발뒤축접지(Heel contact : HC)를 구별하였다. Tong 과 Grant[6]는 두 개의 자이로 센서를 이용하여 하퇴와 대퇴의 각속도와 자이로 센서의 회전축에 대한 경사도를 측정하여 보행주기를 검출하였고, 안승찬 등[7]은 저항 센서와 자이로 센서를 이용하여 평지보행 및 계단 보행에서의 보행주기를 검출하였다. Dai 등[8]은 하퇴와 대퇴에 기울기 센서를 부착하여 각 체절에서 출력값을 각도로 변환하여 보행주기를 분석하였고 Weber 등[8]은 편마비 환자의 하퇴에 부착한 기울기 센서를 이용하여 보행보조 FES(WalkAide 2, Canada)에 적용하기 위한 보행주기를 검출하였다. WalkAide 2는 현재 가장 널리 사용되고 있는 보행보조 FES의 하나로 자극 on / off 시점을 결정하기 위해 Weber[8] 등의 연구를 바탕으로 기울기 센서 시스템을 적용하고 있다. 하지만, 기울기 센서의 특징 전압을 결정하는 기준이 되는 푸트 스위치는 발바닥의 센서 부착위치에 따라 결과값이 달라지기 때문에 보행시 발뒤축 접지와 발바닥접지(Footflat)가 발생하기 힘든 편마비 보행에서 적용하기 어렵다.

따라서, 본 연구에서는 선행연구[9]에서 도출한 가속도 센서를 기준으로 논리적 알고리즘을 통해 기울기 센서의 출력 전압을 이용하여 보행보조 FES의 자극 on / off 시점을 결정하기 위한 보행주기(Heel Contact : HC, Foot Off : FO)를 검출하였으며, 기존의 푸트 스위치 기반의 센서 시스템과 정확도를 비교 분석하였다.

## 2. 방법

본 연구에서는 가속도 센서와 기울기 센서를 이용한 시스템을 개발된 센서 시스템이라고 하고, FSR 센서와 기울기 센서를 이용한 시스템을 기존 센서 시스템이라고 정의하였다.

### 1. 실험 대상 및 보행실험

편마비 보행시 보행주기를 검출하기 위해 분속수 약 80steps/min의 편마비 환자 1명(남, 18세, 발병 26개월)을 피실험자로 선정하였다. 피험자는 10분 동안 보행연습을 실시한 후 편안한 보행속도로 15m 평지 보행을 실시하였다.

## 2. 자극시점 검출 센서 시스템 구성

자극 시점 검출 센서 시스템은 보행 중 지면의 접촉 상태 및 하퇴의 기울기와 가속도를 측정하는 모션 센서부와 센서들의 출력신호를 이용하여 자극 시점을 검출하는 데이터 처리부로 나뉜다.

### 2.1 모션 센서부

개발된 센서 시스템에서 사용된 모션 센서는 선행연구[9]를 통해 편마비 보행시 삼차원 동작분석 시스템과 가장 적은 시간 오차로 보행주기 검출이 가능한 가속도 센서(CXL01LF3, Crossbow, USA)와 기울기 센서(SCA100T0D02, VTI, Finland)를 사용하였고, 기존 센서 시스템과의 비교를 위해 FSR 센서(MA102, Motion Lab System Inc, USA)를 추가하였다. 모션 센서들은 피험자의 환측(오른쪽)에 부착하였으며, 기울기 센서와 가속도 센서는 무릎 관절로부터 하방 5cm 위치의 시상면 위치에, FSR 센서는 발뒤축접지시 발뒤꿈치의 외측이 지면에 닿는 피실험자의 보행 특성 상 발뒤꿈치로부터 1cm 외측 부분에 부착하였다. 피험자의 불안정한 보행과 외부 요인에 의한 불규칙적인 고주파 신호 성분을 제거하기 위해 Cutoff frequency 3Hz의 저역 통과 필터를 하드웨어로 구성하여 기울기 센서 데이터를 필터링하였다.

### 2.2 데이터 처리부

자극 시점 검출 시스템(Fig. 1)의 제어부에서는 마이크로프로세서(ATmega128, Atmel, USA)를 이용하여, 센서들의 출력값을 50Hz의 샘플링률로 획득, A/D 변환하고 논리적 알고리즘을 적용하여 보행주기를 분류한 후 이를 바탕으로 보행보조 FES 자극 시점을 검출하였다. 전송된 센서 데이터와 자극 on/off 시점은 C#(Microsoft, USA) 프로그램으로 구성된 자극 시점 검출 소프트웨어를 이용하여 나타내었다.



Fig. 1 개발된 자극 시점 검출 센서 시스템

## 3. 자극시점 검출 알고리즘

개발된 센서 시스템에서는 보행 시작 후 calibration mode에서

20초 동안 획득된 가속도 신호의 특정 정점(peak) 발생 시 출력되는 기울기 센서의 출력 전압의 평균 데이터를 이용하여 자극 신호의 on / off 시점을 검출하였고, 기존 센서 시스템에서는 FSR 센서의 on / off 시 출력되는 기울기 센서의 출력 전압의 평균 데이터를 이용하여 자극 on / off 시점을 검출하였다.

### 4. 결과

Fig. 2는 개발된 시스템에서의 편마비 보행시 두 보행주기 동안 출력되는 센서 출력 곡선이다. 가속도 센서 출력 곡선에서 기준 전압(1.5V)보다 아래에서 발생하는 정점을 음의 정점, 위에서 발생하는 정점을 양의 정점으로 정의하였다. 발뒤축접지시 보행자의 하퇴가 아래쪽으로 급강하하여 가속도가 음의 방향으로 진행되다가, 발이 땅에 닿는 순간 기계적 충격에 의해 음의 정점이 발생한다. 발뒤축접지 이후 정상인과 같이 관절들의 굴곡 작용 없이 몸의 균형을 유지하기 위해 지지하고 있는 다리를 수직으로 유지하기 때문에 가속도의 변화가 없고, 발들림시 반동으로 골반을 이용하여 발을 들어 올리는 과정에서 가속도가 급격하게 증가하면서 양의 정점이 발생한다. 따라서 하방 기울기가 5v/s 이상 발생하는 음의 정점을 이용하여 HC를 검출하였고, 가속도 값이 상승하는 구간에서 0.1s 동안 상승값이 0.2v 이상이 될 때 발생하는 양의 정점을 이용하여 FO를 검출하였으며, 이 두 정점이 발생할 때 출력되는 기울기 센서의 출력전압의 평균값을 자극 신호 on/off 시점으로 하였다.

Fig. 3은 기존 시스템에서의 편마비 보행시 두 보행주기 동안 출력되는 센서 출력 곡선이다. 발뒤축접지시 발뒤꿈치에 부착된 FSR 센서에 하중이 가해지면서 5v 전압이 출력되고, 발들림시 발이 지면에서 떨어지면서 0v가 출력된다. 이를 이용하여 HC와 FO를 검출하였고, 이때 출력되는 기울기 센서의 출력전압의 평균값을 자극 신호 on/off 시점으로 하였다.

편마비 보행시 두 센서 시스템을 이용하여 자극 시점을 검출한 결과 두 시스템 모두 100steps를 기준으로 100%의 검출율로 자극 시점을 검출할 수 있었다. Fig. 4는 개발된 검출 시스템으로 편마비 보행 동안 검출된 자극 on/off 신호이다.

### 4. 결론

본 연구에서는 가속도 센서 기반의 새로운 보행보조 FES 자극 시점 검출 시스템을 개발하고 기존 시스템과의 검출을 비교 실험을 통해 시스템의 성능을 평가하였다.

기존 검출 시스템은 가장 간단한 방법으로 정확한 자극 시점을 검출할 수 있지만, 기준이 되는 풋 스위치의 특성상 부착 위치에 따라 결과값의 차이가 발생하고 발바닥의 지면에 대한 정확한 접촉이 힘든 편마비 환자의 보행에 적용하기 어렵다. 본 연구에서 개발된 검출 시스템은 기존의 시스템과 같은 검출율로 자극 시점을 검출할 수 있으며, 기존 시스템에서의 문제점을 보완할 수 있다. 향후 일상생활에서의 다양한 보행형태 적용 및 편마비 보행에 대한 추가적인 임상 연구를 통해서 좀 더 향상된 보행보조 FES 시스템에 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

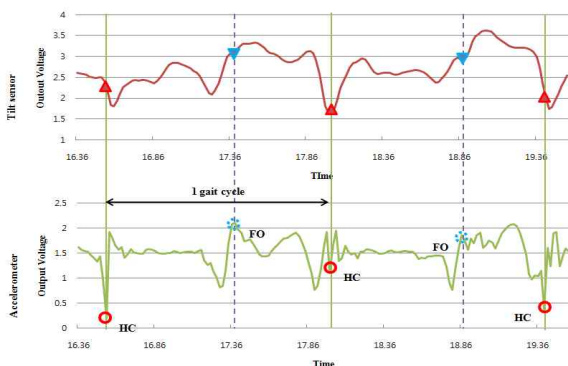


Fig. 2 편마비 보행시 개발된 센서 시스템의 출력 곡선

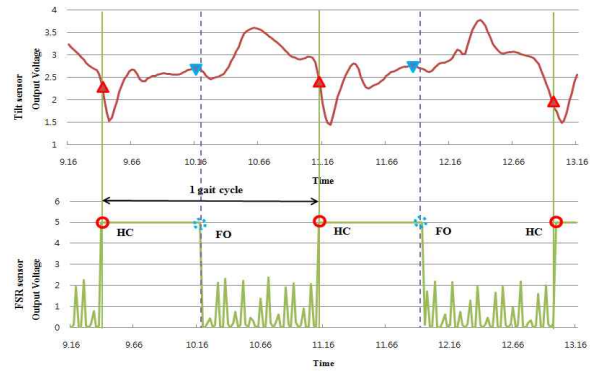


Fig. 3 편마비 보행시 기존 센서 시스템의 출력 곡선

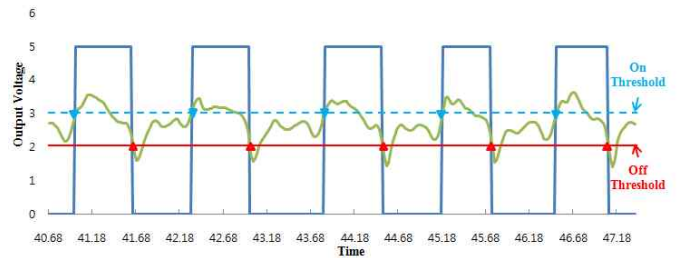


Fig. 4 편마비 보행시 검출된 자극 on/off 신호

### 후기

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과입니다. 또한 본 연구는 지식경제부(MKE) 한국산업기술진흥원(KIAT)의 지역산업선도기술개발사업(M-02-20080702185137)의 지원에 의한 결과물입니다.

### 참고문헌

- Hreljac, A. and Marshall, R. N., "Algorithm to determine event timing during normal walking using kinematic data," J. Biomech., 33, 783-786, 2000.
- O'Conner, C. M., Thorpe, S. K., O'Malley, M. J. and Vaughan, C. L., "Automatic detection of gait events using kinematic data," Gait & Posture, 25, 469-474, 2007.
- Brandell, B. R., "Development of a universal control unit for functional electrical stimulation (FES)," Am. J. Phys. Med., 61, 279-301, 1982.
- Morris, J. R., "Accelerometry - a technique for the measurement of human body movements," J. Biomech., 6, 729-736, 1973.
- Evans, A. L., Duncan, G. and Gilchrist, W., "Recording accelerations in body movements," Med. Biol. Eng. Comput., 29, 102-104, 1991.
- Tong, K. and Granat, M. H., "A practical gait analysis system using gyroscopes," Med. Eng. & Phys., 21, 87-94, 1999.
- 안승찬, 황성재, 강성재, 김영호, "저항센서와 자이로센서를 이용한 새로운 보행주기 검출시스템의 개발 및 평가," 한국정밀공학회지, 21, 10, 196-203, 2004.
- Tong, K. and Granat, M. H., "A practical gait analysis system using gyroscopes," Med. Eng. & Phys., 21, 87-94, 1999.
- Park, S. W., Shon, R. H., Ryu K. H. and Kim, Y. H., "Comparison of Motion Sensor Systems for Gait Phase Detection," J. KSPE, 27, 145-152, 2010.