

기울기 센서와 가속도 센서를 이용한 FES 자극 시점 검출

*박선우¹, 황선홍¹, 김영호^{1,2}

¹ 연세대학교 대학원 의공학과, ² 연세의료공학연구원

The Detection of the FES Stimulating Time Using Tilt Sensor and Accelerometer

*S. W. Park¹, S. H. Hwang¹, Y. H. Kim^{1,2}

¹ Dept. of Biomed. Eng., Graduate School., Yonsei Univ., ² Institute of Medical Eng., Yonsei Univ.

Key words : Tilt sensor, Accelerometer, FES, Gait cycle detection

1. 서론

1960년대 이후, 기능적 전기 자극(Functional electrical stimulation)은 뇌졸중 환자의 보행시 족하수로 인한 발 끌림 현상을 방지하는 보행 보조 도구로 사용되어 왔다[1]. 이러한 보행 보조용 기능적 전기 자극이 자동적이고 효과적으로 적용되기 위해서는 다양한 환자의 보행주기를 정확하게 판단하고 필요에 따라 즉각적인 입력신호를 줄 수 있는 시스템이 요구된다. 발바닥에 부착하여 보행주기를 입력기와 유각기로 구분할 수 있는 풋 스위치는 보행 보조용 FES 시스템에 가장 널리 사용되어 왔다 [2]. 그러나 풋 스위치는 맨발로는 사용할 수 없고, 신발을 신거나 다른 지형을 걸을 때는 정확한 보행주기 검출이 어려운 문제점이 있다. 이러한 풋 스위치의 단점을 보완하기 위하여 자이로 센서[3], 가속도 센서[4, 5], 기울기 센서[6] 등 다른 여러 센서들을 이용한 연구가 진행되어 왔다.

본 연구에서는 위와 같은 선행 연구들을 바탕으로 하여 좀 더 정확한 보행 주기 검출 및 FES 자극 시점 결정을 위하여 가속도 센서와 기울기 센서를 함께 사용하였다.

2. 연구방법

실험을 위해 하지에 이상이 없고, 정상 보행 특성을 가진 20대 남·녀 10명을 피검자로 선정하였다. 피검자는 센서에 대한 기계적 충격의 영향을 최소화할 수 있는 편안한 속도로 수평보행을 할 수 있도록 충분한 보행훈련 후 보행분석을 수행하였다.

본 실험에서 사용된 기울기 센서는 Magneto-resistive 타입으로써 적용한 자기밀도에 따라 저항을 변화하여 기울기를 측정한다. 크기도 작고 값도 싸며 안정적이라는 이점 때문에 FES를 제어 하는데 적합하다. Fig. 1은 본 실험에서 사용된 Magneto-resistive 타입의 기울기 센서인 UV-1W(Midori, Japan) 이다. 이 센서는 $\pm 45^\circ$ 의 측정 범위와, 약 $2.5\% V_{in}/10^\circ$ 의 Sensitivity를 가진다. 보행 방향에 대해 진행 방향을 음의 값으로 하였다.



Fig. 1 UV-1W (Tilt sensor, Magneto-resistive type)

가속도 센서는 $\pm 2g$ 범위의 3축 가속도 센서 CXL02LF3 (Crossbow, U.S.A)을 사용하였으며, 양측 후상장골극(Posterior superior iliac spine)에 부착하였다. 각각의 축에 대해 우측, 상방, 전방을 양의 값으로 하였다.

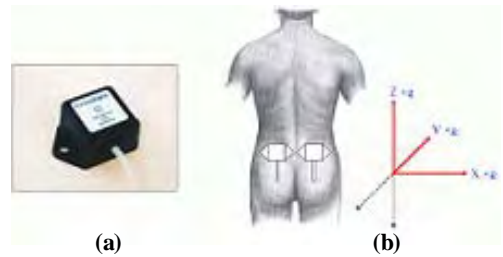


Fig. 2 (a) Accelerometer, (b) Direction of axis

센서의 신호는 입력 포트 4개와 출력 포트 4개로 구성된 신호 입·출력부를 통하여 데이터 스테이션에 전달되어 3차원 동작분석 장치의 측정 데이터와 동기화 되었다.

보행 시 하지의 기울기와 양측의 가속도를 측정하기 위한 가속도 센서와 기울기 센서의 부착위치는 Fig. 3과 같다. 가속도 센서는 양측 후상장골극에 부착하였고 기울기 센서는 하퇴부에 무릎 관절로부터 하방 5cm 떨어진 위치에 부착하였다.

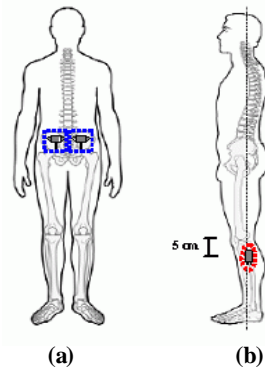


Fig. 3 Position of sensors ((a) Accelerometer (b) Tilt sensor)

3. 결과 및 토의

Fig. 4는 분속수 50(steps/min)일 때의 기울기 센서와 가속도 센서의 출력 곡선이다. FES 자극 시점 검출에 있어 중요한 보행인자는 초기접지(Initial contact, IC)와 발가락 들림(Toe off, TO)인데 가속도 센서의 경우 센서의 특성상 분속수 50 정도의 느린 보행에서는 이 시점을 검출하기 어려웠다. 반면 기울기 센서는 느린 분속수에서 보행인자 검출이 용이하였다. 기울기 센서 출력 곡선에서 최고점은 발가락 들림에서 7% ~ 10% 후에 나타나는데 이 시기를 분속수 50 에서의 FES 자극 시작점으로 정의 하였고, 초기접지 후 최저점을 자극 중단점으로 정의하였다. Table. 1은 발가락 들림과 자극 시작점 사이의 시간차, 초기접지와 자극 중단점 사이의 시간차에 대한 평균과 편차를 제시한 것이다.

Table. 1 Average and standard deviation of tilt sensor

Cadence	50		80	
	IC	TO	IC	TO
Ave.	24ms	239ms	59ms	252ms
Std.	31ms	27ms	38ms	79ms

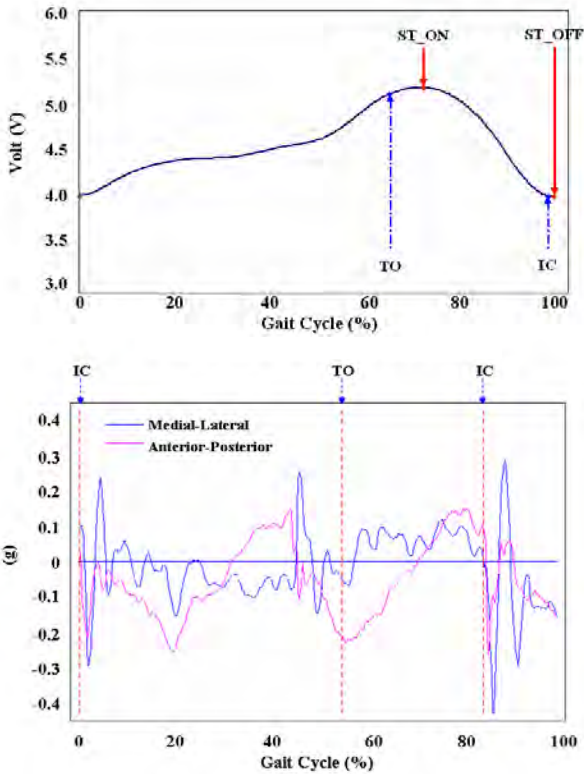


Fig. 4 Curves from sensors at 50 steps/min (Tilt, Acceleration X, Y)

Fig. 5는 분속수 80일 때의 기울기 센서와 가속도 센서의 출력 곡선이다. 기울기 센서는 80 이상의 빠른 보행에서는 기계적 충격의 영향으로 인하여 보행주기 검출이 어려웠다. 반면, 가속도 센서는 비교적 정확한 보행인자 검출이 가능하였다. 분속수 80 이상의 상대적으로 빠른 분속수에서는 가속도 곡선의 X축 정점으로 검출한 초기 접지기를 자극 중단점으로 정의하였다. Table. 2는 X축, Y축 가속도 곡선에서 정점과 초기접지, 발가락 들림 사이의 시간차에 대한 평균과 편차를 제시한 것이다.

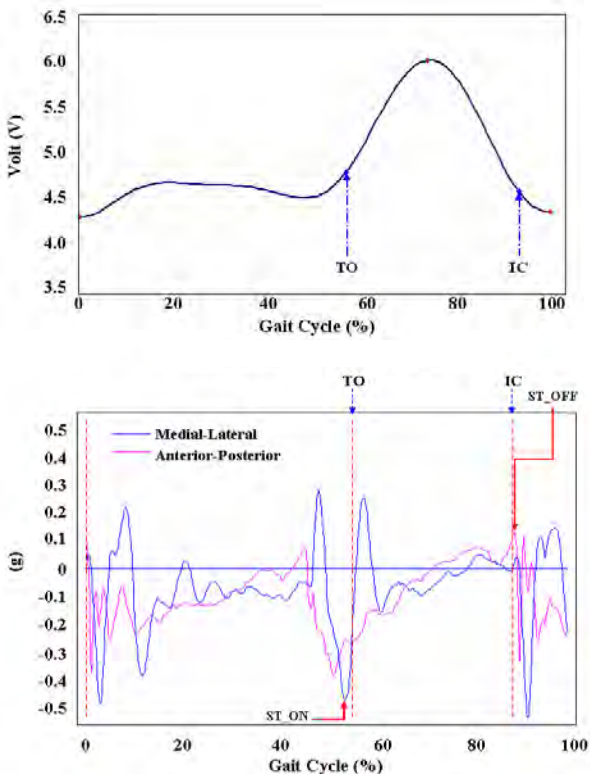


Fig. 5 Curves from sensors at 80 steps/min (Tilt, Acceleration X, Y)

Table. 2 Average and standard deviation of accelerometer

Cadence	50		80	
	IC	TO	IC	TO
Ave.	3ms	-41ms	6ms	-23ms
Std.	14ms	25ms	9ms	12ms

4. 결론

본 연구에서는 FES 보행 보조 시스템의 자극 시점 결정을 위한 보행인자 검출 센서로 기울기 센서와 가속도 센서를 사용하였다. 분속수 50 이하의 느린 보행의 경우 기울기 센서를 이용하고, 분속수 80 이상의 빠른 보행에서는 가속도 센서를 이용하면 자극 시점 검출이 용이하였다. 제시된 자극 시점과 보행 주기의 시간적 오차에 관한 임상 연구는 추가로 수행할 예정이다.

후기

본 연구는 의료기기기술개발사업(A050803)의 지원에 의하여 이루어진 것임.

참고문헌

1. W. T. Liberson, H. J. Holmquest, D. Scott, and M. Dow, "Functional electrotherapy, stimulation of the peroneal nerve synchronized with the swing phase of the gait of hemiplegic patients," Arch. Phys. Med. Rehabil., vol. 42, pp. 101-105, 1961.
2. B. R. Brandell, "Development of a universal control unit for functional electrical stimulation (FES)," Am. J. Phys. Med. Rehabil., vol 6, pp. 279-301, 1982.
3. 안승찬, 황성재, 강성재, 김영호, "저항센서와 자이로 센서를 이용한 새로운 보행주기 검출 시스템의 개발 및 평가," 한국정밀공학회지, 21, 10, 196-203, 2004.
4. A. T. Willemsen, F. Bloemhof, and H. B. Boom, "Automatic stance phase detection from accelerometer data for peroneal nerve stimulation," IEEE Trans. Biomed. Eng., vol. 37, pp. 1201-1208, 1990.
5. 이주현, 박시운, 김동아, 장순자, 김영호, 이진복, "가속도계를 이용한 뇌졸중 환자의 보행분석," 대한재활의학회지, 28, 5, 488-493, 2004.
6. R. Dai, R. B. Stein, B. J. Andrews, K. B. James, and M. Wieler, "Application of tilt sensors in functional electrical stimulation," IEEE Trans. Rehab. Eng., vol 4, pp. 63-72, 1996.