

## 전도성 섬유 기반 깔창형태의 섬유압력센서 및 보행 모니터링 시스템 개발

왕창원\*, 김대겸, 호종갑, 최예호, 민세동  
순천향대학교 의료IT공학과

### A Development of Insole-type Capacitive pressure sensor and Gait Monitoring System Based on Conductive Textile

Changwon Wang, Daekyum Kim, Jonggab Ho, Yeho Choi, Se Dong Min  
Dept. of Medical IT Eng., Soonchunhyang University

**Abstract** - 본 논문에서는 전도성 섬유 기반 깔창 타입의 섬유압력센서 개발 및 이를 활용한 보행 모니터링 시스템을 개발하였다. 또한, 시스템의 성능평가를 위해 트레드밀 위에서 일정한 속도(1.5 km/h, 2.5 km/h, 3.5 km/h, 4.5 km/h)에서 보행 측정용 상용 압력센서인 F-scan(Tekscan, USA)과 동시에 보행신호를 측정하였고, 걸음수를 비교하였다. 걸음수 검출을 위해 local maxima algorithm을 사용하였다.

#### 1. 서 론

보행은 인간의 가장 기초적이면서도 중요한 운동으로, 보행 신호 측정을 위한 시스템 개발과 관련되어 많은 연구들이 진행되어 왔다. 그 중, 압력센서, 가속도 센서 등 다양한 센서를 이용하여 보행 신호를 측정하는 연구가 주류를 이루었다[1-2]. 하지만, 이러한 센서들은 비용이 비싸고, 다양한 형태로 제작하기 어려운 단점이 있다.

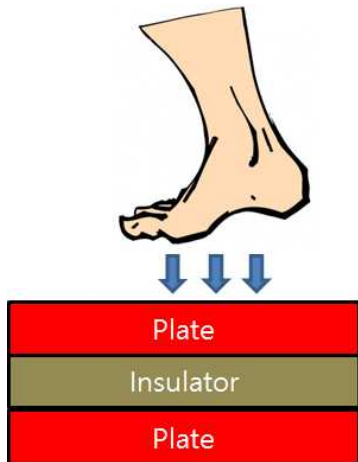
전도성 섬유는 편안하고, 신축성이 뛰어나고 다양한 형태로 제작이 가능한 장점이 있다. 심전도, 근전도, 보행 등과 같은 생체 신호측정을 위한 연구에 다양하게 사용되고 있다[3].

본 연구에서는 기존 보행측정을 위한 상용센서의 단점을 보완하고자 전도성 섬유를 이용하여 깔창형태의 압력센서를 개발하였고 이를 모니터링해주는 시스템을 개발하였다. 또한, 본 연구에서 제안한 시스템의 성능평가를 위해 상용 보행측정 시스템인 F-scan과 동시에 보행 신호를 측정하였다. 보행 신호는 4명의 피험자를 대상으로 트레드밀 위에서 일정한 속도(1.5 km/h, 2.5 km/h, 3.5 km/h, 4.5 km/h) 걷도록 지시하였으며, local maxima algorithm을 이용하여 보행 수를 검출하고, 비교하였다.

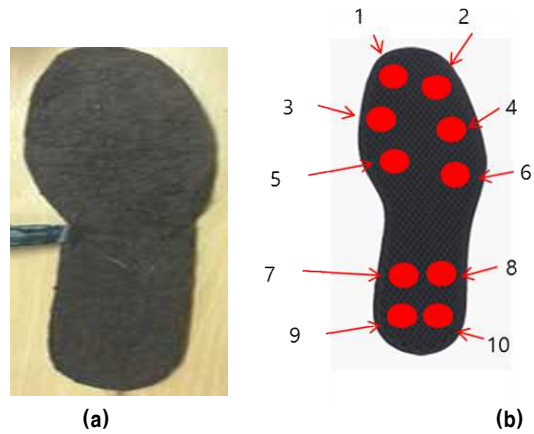
#### 2. 본 론

##### 2.1 Capacitive pressure sensor

본 연구에서 개발한 Capacitive pressure sensor는 병렬 캐패시턴스 측정원리를 기반으로 제작하였다. 그림 1은 본 연구에서 개발한 센서의 구조로, 전도성 섬유를 사용한 두 개의 센서 층과 그 사이에 부도체인 고무를 사용하였다. 그림 2(a)는 실제 제작한 깔창형태의 섬유압력센서로, 총 10개의 채널로 개발하였다. 그림 2(b)는 각 10개 채널에 대한 위치로 동시에 10채널로부터 데이터를 수집하도록 개발하였다.



〈그림 1〉 Capacitive pressure sensor 구조



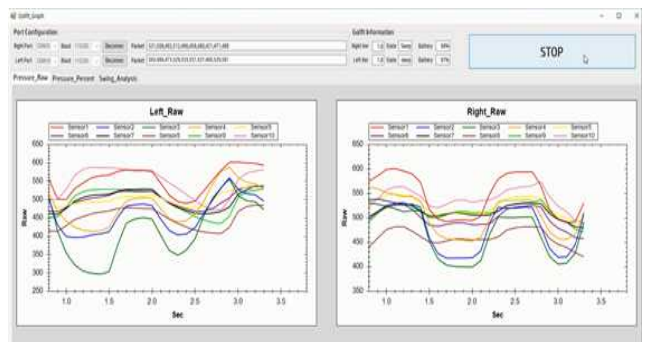
〈그림 2〉 깔창형태의 섬유압력센서

##### 2.2 보행 측정 및 모니터링 시스템

섬유센서로부터 측정된 캐패시턴스 값을 디지털 신호로 변환하기 위해 Freescale사의 MPR121QR2 칩을 사용하였고, STMicroelectronics사의 MCU(Micro Controller Unit)인 STM32F103 보드를 통해 100 Hz로 신호를 측정하였다.(그림 3). 이후, Bluetooth통신을 통해 C# 모니터링 시스템으로 데이터를 전송하도록 개발하였다(그림 4).



〈그림 3〉 보행 측정 PCB 보드



〈그림 4〉 C#기반 보행 모니터링 시스템

##### 2.3 신호처리

본 연구에서 개발한 시스템으로부터 측정된 신호의 주파수 성분을 확

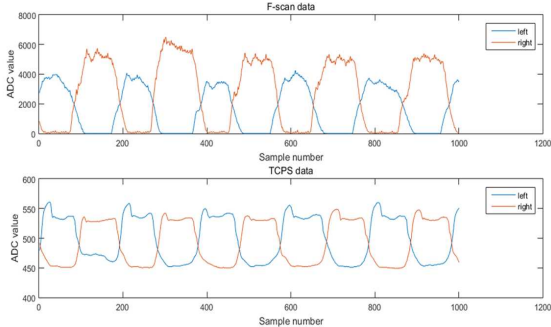
인하기 위해 FFT를 수행하였고, 그 결과 0~3 Hz 사이에 주파수 성분이 분포하는 것을 확인하였다. 따라서, 3 Hz의 cut-off frequency를 갖는 4차 low pass filter를 적용하여 전처리를 수행하였다. 이후, Moving average filter(N=5)를 적용하여 잡음을 최소화 하였다. 전처리과정이 끝난 후, local maxima algorithm을 사용하여 보행신호의 peak를 검출하였고, 보행수를 검출하였다.

### 2.4 피험자 및 실험 프로토콜

본 연구에서는 건강한 성인 남성 4명에 대해 실험을 진행하였다. 피험자의 평균연령은 26세이며, 연령분포는 22-29세로, 트레드밀 위에서 일정한 속도(1.5 km/h, 2.5 km/h, 3.5 km/h, 4.5 km/h)로 각각 3분동안 본 연구에서 개발한 시스템과 상용보행 측정장치인 F-scan으로부터 보행신호를 동시에 측정하였다. 각 실험이 끝나면, 1분동안 휴식시간을 갖도록 하였다.

## 3. 결 과

그림 5는 섬유압력센서와 F-scan으로부터 측정된 보행 신호로, local maxima algorithm을 통해 걸음수를 검출하였다.



〈그림 5〉 섬유압력센서와 F-scan으로부터 측정된 보행 신호

표 1-4는 각 속도별 섬유압력센서와 F-scan으로부터 검출된 걸음수로, 4 km/h를 제외한 나머지 속도에서 두 센서로부터 측정된 걸음수가 100% 일치하는 것으로 나타났다.

〈표 1〉 걸음수 검출 결과 (1.5 km/h)

Subject	섬유압력센서		F-scan	
	LEFT	RIGHT	LEFT	RIGHT
Subject 1	78	79	78	79
Subject 2	85	85	85	85
Subject 3	79	79	79	79
Subject 4	94	93	94	93

〈표 2〉 걸음수 검출 결과 (2.5 km/h)

Subject	섬유압력센서		F-scan	
	LEFT	RIGHT	LEFT	RIGHT
Subject 1	101	100	101	100
Subject 2	111	111	111	111
Subject 3	116	116	116	116
Subject 4	108	109	108	109

〈표 3〉 걸음수 검출 결과 (3.5 km/h)

Subject	섬유압력센서		F-scan	
	LEFT	RIGHT	LEFT	RIGHT
Subject 1	125	125	125	125
Subject 2	117	117	117	117
Subject 3	136	136	136	136
Subject 4	125	125	125	125

〈표 4〉 걸음수 검출 결과 (4.5 km/h)

Subject	섬유압력센서		F-scan	
	LEFT	RIGHT	LEFT	RIGHT
Subject 1	144	143	143	138
Subject 2	146	146	145	145
Subject 3	151	149	149	149
Subject 4	141	141	140	140

섬유센서와 F-scan간 걸음수 검출 결과를 보면(표 5), 피험자 4의 오른쪽발을 제외하고 오차가 발생하였다. 왼발의 평균 오차율은 0.85%, 오른발은 1.22%로 나타났다. 이는 속도가 빨라지면서 발과 각 센서간 거리가 발생하면서 오차율이 발생한 것으로 판단된다.

〈표 5〉 섬유압력센서와 F-scan간 걸음 수 오차율 (4.5 km/h)

Subject	LEFT(%)	RIGHT(%)
Subject 1	.69	3.49
Subject 2	.68	.68
Subject 3	1.32	0
Subject 4	.7	.7
평균	.85	1.22
표준편차	.31	1.55

## 4. 결 론

본 연구에서는 전도성 섬유를 이용하여 깔창형태의 섬유 압력센서를 개발하고, 이를 측정 모니터링하는 시스템을 개발하였다. 또한, 섬유 압력센서로부터 측정된 보행 신호를 local maxima algorithm을 통해 걸음수를 검출하고, 기존 보행 측정장치인 F-scan과 비교하였다. F-scan의 경우, 매우 고가의 보행 측정 시스템으로 본 연구에서 개발한 시스템과 걸음 수를 비교한 결과, 4.5 km/h구간을 제외한 나머지 구간에서 100% 일치함을 보였고, 4.5 km/h에서는 왼발 0.85%, 오른발 1.22%의 오차율이 있는 것으로 나타났다.

차후 연구에서는 단순 걸음수가 아닌, 보다 다양한 보행 지표를 검출하여 F-scan과 상관분석을 통해 본 연구에서 개발한 시스템의 우수성을 입증할 예정이다. 본 연구는, 향후 섬유센서를 이용하여 다양한 생체신호를 측정 및 분석하는 연구에 도움이 될 것으로 판단된다.

## 5. Acknowledgements

This research was supported by the Bio & Medical Technology Development Program of the National Research Foundation (NRF) funded by the Ministry of Science, ICT & Future Planning (NRF-2015M3A9D7067388). This research was financially supported by the "ICT Convergence Smart Rehabilitation Industrial Education Program" through the Ministry of Trade, Industry&Energy(MOTIE) and Korea Institute for Advancement of Technology(KIAT) and was supported by the MSIP(Ministry of Science, ICT and Future Planning), Korea, under the ITRC(Information Technology Research Center) support program (IITP-2017-2014-0-00720) supervised by the IITP(Institute for Information & communications Technology Promotion).

### [참 고 문 헌]

- [1] Shanshan Chen, John Lach, Benny Lo, and Guang-Zhong Yang, Toward Pervasive Gait Analysis With Wearable Sensors: A Systematic Review, IEEE JOURNAL OF BIOMEDICAL AND HEALTH INFORMATICS, 20(6), pp.1521-1537, 2016
- [2] Thibault Warlop, Christine Detrembleur, Benjamin Bollens, Gaetan Stoquart, Frederic Crevecoeur, Anne Jeanjean, and Thierry Lejeune, TEMPORAL ORGANIZATION OF STRIDE DURATION VARIABILITY AS A MARKER OF GAIT INSTABILITY IN PARKINSON'S DISEASE, J Rehabil Med, 46, pp.865-871, 2016
- [3] Jan Meyer, Bert Amrich, Johannes Schumm, and Gerhard Troster, Design and Modeling of a Textile Pressure Sensor for Sitting Posture Classification, IEEE SENSOR JOURNAL, 10(8), pp.1391-1398, 2010