

# 임상적 평가를 위한 다중 센서 내장 깔창 시스템

이은영, 김동호  
 숭실대학교 정보통신소재융합학과  
 e-mail: ella@gsclab.kr, cg@su.ac.kr

## Multi-sensor embedded Insole system for Clinical test

Eun-Young Lee, Dongho Kim  
 Department of ICMC Convergence Technology, Soongsil University

### 요 약

균형 장애나 비정상적 보행 패턴으로 인한 질환을 예방하고 치료하기 위해서는 균형 능력과 보행 패턴에 대한 정량적인 평가가 필수적이다. 본 논문에서는 임상에서 사용하는 균형 및 보행 분석 시스템과 임상적 평가의 단점을 보완하기 위한 임상적 평가를 위한 다중 센서 내장 깔창 시스템을 제안한다. 이 시스템은 검사 대상자가 압력 센서들과 관성 센서가 내장된 깔창을 착용하고 임상적 검사를 수행하면 균형 및 보행과 관련된 다양한 지표를 정량적으로 제시하고 현재 족저압력 분포 및 자세 등을 실시간으로 시각화 한다. 본 논문에서 제안한 시스템을 보완하여 임상에 적용한다면 간편하게 정량적인 평가가 가능한 환경을 제공할 것으로 기대한다.

### 1. 서론

인간의 발은 보행 중에 균형을 유지하고 신체를 안정화하는 하지의 생체역학적 기능 유지에 중요한 역할을 한다[1, 2]. 발의 해부학적, 생리학적 특징은 보행 발달, 하지의 운동 조절 및 나이와 연관된 골격 성장과 함께 변화할 뿐만 아니라 보행 중의 압력 분포 변화에도 영향을 미친다[3, 4]. 족저 압력 분포의 측정은 신발 평가[5]와 스포츠 훈련[6, 7]뿐만 아니라 임상보행 분석(이상 보행[8], 당뇨병, 말초 신경병증, 근골격계 질환[9] 등)의 주요 도구로써 널리 쓰이고 있다.

보행 분석은 복잡한 과정으로, 정상 및 병리학 보행 패턴을 식별하기 위해 족저 압력, 유각 시간, 보폭, 보행 속도 등 다양한 지표를 사용한다. 예를 들어 COP 이동 속도와 두 발 사이의 이동의 압력 균형은 낙상 예방에 중요하며 최대 족저 압력을 나타내는 위치는 당뇨병 환자 발의 궤양 예방에 중요하다.

임상에서는 환자의 균형 능력을 평가하고 보행 양상을 분석하기 위해 3D 모션 캡처 시스템 또는 힘판(force plate)등의 장비를 사용한다. 하지만 시스템의 가격이 비싸며 검사를 위한 넓은 공간이 필요하기 때문에 작은 규모의 병원이나 시설에서는 측정 및 분석 실을 갖추기 어렵다. 또한 분석을 위해서는 장비 사용과 분석이 숙달된 전문가가 필요하고 신뢰할 수 있는 데이터를 수집하기 위해서는 많은 시간이 필요하다[10].

대부분의 임상의 전문가들은 환자의 균형 능력을 평가할 때 환자에게 자세 조절과 관련된 과제를 부여하고 관찰을 통해 환자의 기능을 평가하는 임상적 검사(clinical test)를 사용한다. 임상적 검사는 간편하게 실시할 수 있고

검사 과정이 복잡하지 않다는 장점이 있지만, 검사자의 경험과 관찰 능력에 전적으로 의존하기 때문에 주관적이라는 한계가 있다[11].

이러한 문제를 해결하기 위해 국내에서도 저비용의 센서를 사용해서 균형 능력을 평가하거나 보행 양상을 분석하는 다양한 연구가 시도되고 있다.

국내에서 저비용의 센서를 사용하여 보행 분석을 시도한 연구로는 정의태[12]가 스마트폰과 연동되는 3축 가속도 센서 기반 보행주기 분석 시스템을 통해 보장과 보건, 보속 등을 측정하였으며, 김진호 등[13]은 3축 가속도 센서와 3축 각속도 센서 기반 3차원 족부 진단 시스템을 통해 발목의 움직임을 정량적으로 측정하였다. 보행 분석에 압력 센서를 사용한 국내 연구로는 민세동과 권춘기[14]가 섬유 압력 센서를 이용한 보행 분석 시스템을 통해 보행 횟수를 검출하였으며, 왕창원 등[15]의 연구에서는 단일 압력 센서를 사용하여 걸음 수와 각 발의 지지기(stance phase) 시간을 측정하였다. 최대영과 김경호[16]는 4개의 압력 센서를 이용하여 보행 패턴을 분석하는 시스템을 구현하였다.

하지만 선행 연구들의 보행 분석은 센서에서 수집한 데이터의 단순한 연산 또는 간단한 알고리즘을 통해 구현했기 때문에 분석했다고 보기는 어려우며, 관성 센서와 압력 센서를 동시에 이용하여 균형 및 보행과 관련된 임상 지표를 추출한 연구는 미흡한 실정이다.

이에 본 논문에서는 압력 센서와 관성 센서에서 측정된 데이터를 분석하여 균형 및 보행과 관련된 다양한 임상 지표를 추출할 수 있는 임상적 검사에 특화된 저비용 다중 센서 내장 깔창 시스템을 제안한다.

2. 임상적 평가를 위한 다중 센서 내장 깔창 시스템

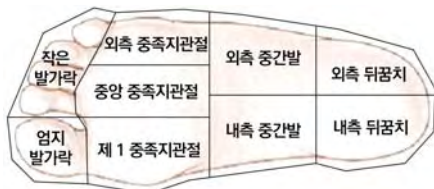


(그림 1) 제안하는 센서 내장 깔창 시스템의 구성도

본 논문에서 제안하는 임상적 평가를 위한 다중 센서 내장 깔창의 시스템 구조는 그림 1과 같다. 이 시스템은 크게 저비용의 센서 내장 깔창과 검사 제어 및 시각화를 위한 스마트폰으로 나뉜다. 센서 내장 깔창은 다시 검사 대상자의 체중 지지 및 운동 정보를 측정하는 감지부와 센서 내장 깔창을 제어하고 스마트폰과 통신하는 데이터 수집 및 통신부로 나뉜다. 스마트폰은 임상적 평가를 위해 센서 내장 깔창을 제어하고 센서 내장 깔창에서 수신한 데이터를 통해 사용자의 균형 및 보행 능력을 측정 및 평가하며, 분석 결과를 사용자에게 시각화한다.

2.1. 임상적 평가를 위한 고려사항

본 시스템에서는 보행 주기 인식과 비정상적 보행 양상 인식을 위해 해부학적 위치에 따라 발바닥을 1) 엄지 발가락, 2) 작은 발가락, 3) 제 1 중족지관절, 4) 중앙 중족지관절, 5) 외측 중족지관절, 6) 내측 중간발, 7) 외측 중간발, 8) 내측 뒤꿈치, 9) 외측 뒤꿈치의 총 9개 영역으로 구분하였다(그림 2). 하지만 높은 정밀도를 가지는 장비비를 대체하기 위해서는 높은 정밀도를 가지는 장비와의 지속적인 비교 검증을 통해 적은 수의 센서로 고가의 장비에 상응하는 신뢰도와 정확도를 나타낼 수 있는 최적의 센서 위치를 선정해야 할 것이다.



(그림 2) 임상적 평가를 위한 발바닥 영역 설정

또한, 센서 내장 깔창은 하나의 웨어러블 기기이기 때문에, 다양한 환경에서 사용자가 실제로 착용했을 때의 사용성 및 내구성에 대한 평가와 함께 전력 효율을 높이는 방안에 대한 지속적인 고려 역시 필요하다.

2.2. 감지부

센서 내장 깔창의 감지부는 9개의 압력 감지 센서들과 9축 관성 센서를 포함한다. 본 시스템에서는 검사 대상자의 체중 지지 분포를 파악할 수 있도록 구분한 9개의 각 영역에 압력 감지 센서를 1개씩 배치하여 압력 데이터를 동시에 추출한다. 각 압력 데이터의 출력은 멀티플렉서(MUX)와 아날로그-디지털 변환기(ADC)를 거쳐 마이크로컨트롤 유닛(MCU)에 전달된다.

본 시스템의 감지부에 포함된 9축 관성 센서는 3축 가속도계(accelerometer)와 3축 각속도계(gyroscope)를 통해 검사 대상자의 운동 정보를 측정하며, 3축 지자기계(magnetometer)를 통해 측정을 시작하기 전에 깔창의 위치를 보정(calibration) 할 때 기준을 설정한다. 가속도계, 각속도계, 지자기계의 x축, y축, z축 데이터는 동시에 추출되어 MCU에 전달된다.

2.3. 데이터 수집 및 통신부

다음으로 데이터 수집 및 통신부는 다중 센서 내장 깔창의 감지부에서 추출한 데이터를 수집하고 스마트폰과 통신하는 역할을 수행하며, MCU와 저전력 블루투스(BLE) 무선 통신 모듈로 구성되어 있다.

본 시스템에서는 제어 및 시각화부와 센서 내장 깔창의 통신을 위해 전력 효율이 높고 다양한 모바일 플랫폼을 지원하는 저전력 블루투스(BLE)를 사용한다.

2.4. 제어 및 시각화부

다중 센서 내장 깔창 시스템의 제어 및 시각화부는 물리 드라이버 인터페이스, 데이터 전처리 모듈과 데이터 후처리 모듈로 이루어져 있다. 실시간 연산을 위해 소프트웨어는 다중 스레딩으로 구현한다. 장치 드라이버 스레드는 블루투스 직렬 포트 프로파일(BSPP)을 통해 다중 센서 내장 깔창과 비동기 통신을 처리하며, BSPP를 통해 수신한 감지부의 데이터를 동기화한다. 전처리 스레드는 깨끗하고 유용한 데이터를 수집하기 위해 데이터 수집한 압력 센서 데이터의 노이즈 제거, 필터링을 통한 관성 센서 값의 보정, 지자기 데이터를 이용한 기준선 초기화 등의 전처리를 수행한다.

스마트폰의 GUI 애플리케이션은 임상적 검사의 진행을 위한 보조 정보를 제공하며 사용자가 선택한 임상적 검사 방법에 따라 시스템을 제어한다. 또한 다중 센서 내장 깔창에서 수신한 데이터를 기록하며, 균형 능력 또는 보행 분석을 위한 임상 파라미터를 분석하고 그 결과를 시각화한다. 본 시스템에서는 단순히 분석 결과 수치를 제시하는 것에 그치지 않고 사용자의 각 발의 자세, 압력 중심 좌표, 압력 중심 이동 경로, 족저압력 분포 등 균형 및 보행과 관련된 다양한 지표들을 실시간으로 시각화하여 사용자가 직관적으로 현재 상태를 파악할 수 있도록 한다는 점에서 기존의 시스템과 차별된다고 할 수 있다.

### 3. 결론

균형 능력 저하와 비정상적인 보행 패턴은 독립적인 일상 생활을 어렵게 하고 삶의 질을 저하시킨다. 또한 균형 능력 저하에 따라 발생할 수 있는 낙상 등의 2차적 질환을 예방하고 치료하기 위해서는 균형 능력 및 보행 분석과 관련된 임상 지표를 추출하여 정량적으로 평가하는 것이 중요하다. 이에 본 논문에서는 임상에서 사용하고 있는 균형 능력 및 보행 분석 시스템의 공간 및 비용에 대한 문제를 해결하고, 임상 전문가들의 주관적인 평가 체계의 한계를 극복하여 주관적 검사의 정량화를 지원하는 균형 평가 및 보행 분석 시스템을 제안하였다.

본 논문에서 제안한 시스템은 압력 센서와 관성 센서를 내장한 깔창을 통해 수집한 데이터를 분석하여 균형 및 보행과 관련된 다양한 임상적 검사 지표(걸음 수, 압력 중심 경로 길이, 보행 주기 당 소요 시간 등)를 정량적으로 제시하고 시각화할 수 있다.

향후 연구에서는 본 논문에서 제안한 임상적 다중 센서 내장 깔창 시스템을 구현한 후 건강한 성인 집단을 포함하여 균형 능력 또는 보행에 영향을 미치는 전정계 환자, 신경계 환자, 근골격계 환자 등 다양한 집단을 대상으로 실제 임상적 검사를 수행하고 그 효용성을 검증할 예정이다. 또한 실제 임상적 평가를 사용하는 전문가를 대상으로 사용성 평가 실시하여 시스템을 보완 및 개선한다면, 임상에 특화된 평가 시스템을 구축할 수 있을 것이다.

본 논문에서 제안한 임상적 평가를 위한 센서 내장 깔창 시스템을 실제 임상 환경에 적용한다면, 간편하고 저렴한 정량적 평가 도구로 활용 될 뿐만 아니라 재활을 위한 도구로서도 충분한 활용 가치가 있을 것으로 기대한다.

#### 감사의 글

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단-차세대정보컴퓨팅기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구(No. 2012M3C4A7032182)입니다.

#### 참고문헌

- [1] Giacomozzi, Claudia. "Appropriateness of plantar pressure measurement devices: a comparative technical assessment." *Gait & posture* 32.1 (2010): 141-144.
- [2] Monteiro, M., et al. "Influence of obesity and sarcopenic obesity on plantar pressure of postmenopausal women." *Clinical Biomechanics* 25.5 (2010): 461-467.
- [3] Phethean, Jill, and Christopher Nester. "The influence of body weight, body mass index and gender on plantar pressures: results of a cross-sectional study of healthy children's feet." *Gait & posture* 36.2 (2012): 287-290.
- [4] Hessert, Mary Josephine, et al. "Foot pressure distribution during walking in young and old adults." *BMC geriatrics* 5.1 (2005): 8.
- [5] Mueller, Michael J. "Application of plantar pressure assessment in footwear and insert design." *Journal of orthopaedic & sports physical therapy* 29.12 (1999): 747-755.
- [6] Giftofidou, Asimena, et al. "The effects of soccer training and timing of balance training on balance ability." *European journal of applied physiology* 96.6 (2006): 659-664.
- [7] Burnfield, Judith M., et al. "The influence of walking speed and footwear on plantar pressures in older adults." *Clinical Biomechanics* 19.1 (2004): 78-84.
- [8] Chen, Meng, Bufu Huang, and Yangsheng Xu. "Intelligent shoes for abnormal gait detection." *Robotics and Automation, 2008. ICRA 2008. IEEE International Conference on. IEEE, 2008.*
- [9] Orlin, Margo N., and Thomas G. McPoil. "Plantar pressure assessment." *Physical therapy* 80.4 (2000): 399.
- [10] R.G. Cutlip, C. Mancinelli, F. Huber, J. Di Pasquale, Evaluation of an instrumented walkway for measurement of the kinematic parameters of gait, *Gait & posture* 12 (2000) 134 - 138
- [11] Munhoz, R. P., Li, J. Y., Kurtinecz, M., Piboolnurak, P., Constantino, A., Fahn, S., and Lang, A. E, "Evaluation of the pull test technique in assessing postural instability in Parkinson's disease," *Neurology*, vol. 62, no. 1, pp. 125-127, 2004.
- [12] 정의태. "스마트폰 연동 방식의 보행주기분석 시스템 개발 가이드라인." *디지털디자인학연구* 14.2 (2014): 661-670.
- [13] 김진호, 김화인, 김동욱, 원용관, 김정자. "족부 진단용 3 차원 움직임 측정을 위한 무선 이동형 시스템 개발." *한국통신학회논문지* 36.5 (2011): 502-510.
- [14] 민세동, 권춘기. "깔창 형태의 전기용량성 섬유압력센서를 이용한 보행 횟수 검출 및 자세 모니터링 시스템." *한국컴퓨터정보학회논문지* 17.8 (2012): 107-114.
- [15] 왕창원, 정화영, 나예지, 민세동. "압력센서를 이용한 보행 패턴 분석 및 실시간 모니터링 시스템 구현." *2014년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집* (2014): 1504-1505.
- [16] 최대영, 김경호. "다중압력센서를 이용한 보행패턴 추정 관련 연구." *전기학회논문지* 65.4 (2016): 673-677.