

# 인공지능 및 인솔형 센싱 장치를 활용한 인체 중력중심 추정

문호세<sup>1</sup>, 허현무<sup>1</sup>, 최안렬<sup>2</sup>, 문정환<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>성균관대학교, <sup>2</sup>가톨릭관동대학교

josemoon@skku.edu, hhmo091@skku.edu, achoi@cku.ac.kr, \*jmun@skku.edu

## Estimation of Human Body Center of Gravity Using Artificial Intelligence and Insole Type Sensing Device

Jose Moon<sup>1</sup>, Ahnryul Choi<sup>2</sup>, Joung Hwan Mun<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Sungkyunkwan Univ., <sup>2</sup>Catholic Kwandong Univ.

### 요약

본 논문은 스마트 깔창을 활용한 보행 중 인체 중력중심 예측 알고리즘 개발을 목표로 한다. 스마트 깔창에 부착된 압력센서의 값을 입력으로 하여 구성된 인공지능 알고리즘에 의해 보행 시 인체의 중력중심을 예측한다. 인공지능 알고리즘은 상관계수 0.9 이상, RMSE 95mm 이하의 결과를 보였다. 예측된 인체의 중력중심을 기반으로 깔창 사용자의 병리학적 보행 메커니즘을 간편하게 분석할 수 있는데 도움을 줄 수 있다.

### I. 서론

인체 중력중심(Center of gravity)은 보행 중의 동적 안정성 제어에 관한 유용한 정보를 제공한다. 인체 중력중심이란 각 체절 중력중심 위치의 가중 평균으로 나타내며, 보행과 같이 인체가 움직일 때 3차원 공간상에서 좌표 값이 변한다. 보행 중의 인체 중력중심은 병리학적 보행의 메커니즘을 규명하는 중요한 정보를 제공한다[1].

이러한 인체 중력중심을 측정하는 기존의 방법으로는 광학식 운동 분석 장치를 활용하는 방식과 지면반력기를 활용한 방법이 있다[2]. 광학식 운동 분석 장치의 경우 인체에 부착된 광학 마커의 3차원 궤적 데이터를 획득하여 인체 중력 중심을 계산하며, 지면반력기는 지면의 3축 반력 데이터로부터 획득한 가속도를 2회 적분하여 인체 중력중심을 계산한다.

기존의 측정 방식들은 중력중심 궤적을 높은 정확도로 산출할 수 있다는 장점이 있지만, 고가의 실험 장비를 필요로 하는 한계점이 있다. 특히, 운동 분석장치를 활용하는 경우 전신에 마커를 부착하고 실험을 해야 하는 번거로움이 있으며, 지면반력기를 활용하는 방법은 고정된 장치가 설치된 공간에서만 실험을 진행해야 하는 단점이 있다.[3].

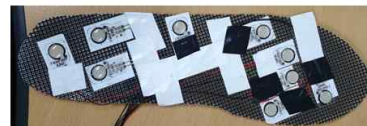
이러한 한계점들은 ICT 융합기술과 인공지능 기법을 활용하여 극복될 수 있다. 스마트 깔창의 압력센싱을 통하여 공간적 제약을 해결할 수 있으며, 부족한 측정 데이터는 인공지능 모델을 통하여 보완될 수 있다. 스마트 깔창은 압력센서를 이용해 족저압력(Z축 압력)을 측정하며 다양한 분야에서 인체 상태를 관찰하는 ICT 융합기술로써 사용되어왔다[4]. 그러나 인체 중력중심을 계산하기 위해서는 3축 압력(X,Y,Z축)이 필요하며, 압력센서로부터 측정되는 Z축 압력만으로는 인체 중력중심이 계산될 수 없다. 이처럼 부족한 측정 데이터는 인공지능 알고리즘을 사용하여 보완될 수 있으며[5], 압력센서 정보로부터 인체 중력중심 궤적을 직접적으로 추정할 수 있다.

본 논문에서는 스마트 깔창으로부터 획득한 데이터를 기반으로 인공지능 알고리즘을 사용하여 보행 중 인체 중력중심 궤적을 예측하는 모델 구현하였다.

### II. 재료 및 방법

본 연구에서는 스마트깔창으로부터 추출되는 Z축 힘, 동작분석기에서 추출된 인체 중력중심을 입력으로 한 인공지능 알고리즘을 구성하여 깔창으로부터 인체 중력중심을 예측하는 알고리즘을 구성하였다.

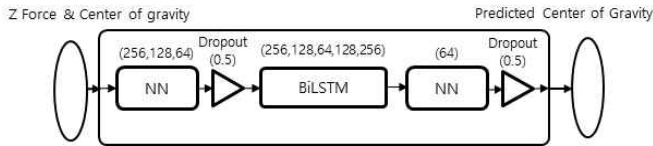
스마트 깔창은 아홉 개의 압력센서(Force-sensitive resistor, FSR 402 Short Tail, Interlink, Electronics Co. Camarillo, CA, USA)를 그림[1]과 같이 발의 해부학적 구조에 따른 압력분포에 기반하여 배치하였다[6]. 데이터 처리부는 MCU(ATmega8, Atmel Co. San Jose, CA, USA), 멀티플렉서, 배터리(3.7 V, 2000 mha), 그리고 블루투스 2.0 V 모듈을 사용하였다. 압력센서로부터 100Hz의 샘플링 주파수로 데이터가 변환되어 PC로 전송되었으며(reference), LabVIEW(National Instruments, Austin, TX, USA)를 활용하여 신호를 동기화시켰다. PC로 전송된 데이터는 모델 성능의 향상을 위해 전처리과정을 거친다. 9개의 압력센서에서 얻어지는 압력 신호는 피험자의 체중에 의해 정규화되었다.



그림[1] 압력 센서 위치

인체 중력중심 예측을 위해 사용된 입력 변수는 9개의 센서로부터 출력되어 전처리과정을 거친 9개의 압력 신호로 구성되었으며, 출력 변수는 인체 중력중심 궤적으로 구성되었다. 입력 행렬은 5000(10 피험자 x 5 트라이얼 x 100 프레임) x 9(9개의 센서 압력 신호)이며, 출력 행렬은 5000 x 3(3축 인체 중력중심 궤적)으로 구성되었다.

본 논문에서의 알고리즘 구조는 그림[2]과 같다. 양방향 장단기 메모리(BiLSTM)모델을 사용하여 시계열 데이터에 대한 예측 정확도를 높였다. 데이터는 학습/검증/테스트를 80/10/10의 비율로 나누었으며, 반복 교차 검증(10-fold cross validation)을 통하여 성능을 평가하였다[3]. 모델 구



그림[2] 인공지능 알고리즘 구조

현은 Python 3.7버전을 사용하였으며, RTX 2080Ti GPU (4352 CUDA cores, 1665 MHz base clock speed 및 11 GB RAM)을 활용하여 구동하였다.

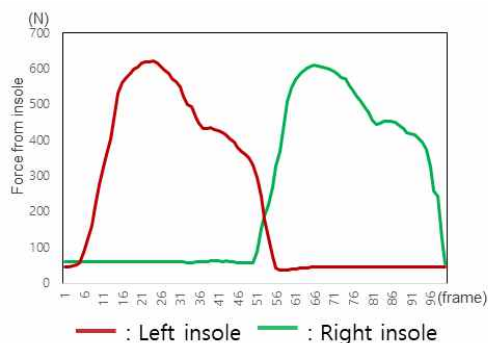
본 연구의 실험대상으로는 과거에 근골격계 병력이 없는 성인 남성 10명을 대상으로 하였다 (나이  $24.7 \pm 1.3$  years, 키  $173.5 \pm 7.0$  cm, 몸무게  $65.1 \pm 8.4$  kg)[3]. 실험 전 모든 참가자로부터 실험동의서를 획득하였다.

피실험자에게는 modified Helen Hayes 마커셋 규약을 바탕으로 35개의 해부학적 경계에 광학 마커가 부착되었다[7]. 또한, 스마트 깔창을 밑창이 얇은 신발 내부에 착용하여 보행 시 족저압력 값을 측정하였다. 각 피실험자는 사전 예비 보행 동작을 충분히 수행하였으며, 각각 5회의 보행실험을 수행하였다. 추출된 보행 데이터는 장단기 메모리 신경망 모델 구성에 사용되었다.

광학 카메라 시스템에서 계산된 인체 중력중심 궤적과 모델에서 추정된 값은 상관관계, Root Mean Square Error(RMSE) 값을 기반으로 비교되었다.

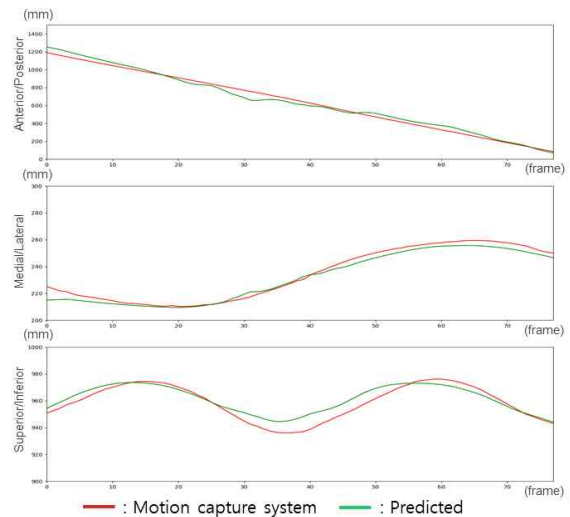
### III. 결과 및 토의

그림[3]은 보행 한 주기에서 스마트 깔창으로부터 추출된 Z축 힘의 원시 신호이다. 보행 한 주기 동안 광학 카메라 시스템에서 계산된 중력중심 궤적과 모델에서 예측된 중력중심 궤적은 그림[4]에 제시되어있다. 전/후 방향에서는 보행 진행 방향과 동일하기 때문에 약 1300mm 정도의 궤적 변화가 나타났다. 내외측 방향과 근위/원위 방향에서는 주기적인 패턴이 나타났다. 최대값과 최소값의 차이는 각각 약 50mm와 40mm로 나타났다. 상관관계수는 각 축에 대해 0.99, 0.91, 0.91으로 전/후 방향에서 가장 높게 나타났다. RMSE는 각 축에 대해 94.68mm, 8.64mm, 7.33mm로 나타났다. 모든 축에 대한 결과는 약간의 오차는 존재하지만 계산된 인체 중력중심을 잘 예측하는 것으로 확인되었다.



그림[3] 스마트 깔창 원시 신호

본 논문에서는 스마트 깔창을 활용하여 보행 시 인체 중력 중심 궤적을 추정할 수 있는 인공지능망 모델을 제안하였다. 본 연구를 통하여 저가의 스마트 깔창을 활용하여 인체 보행 중 중력중심 궤적을 추정할 수 있다는 것을 확인하였으며, 추후 환자 데이터를 적용하여 병적 보행을 평가할 수 있는 시스템으로 활용될 것이다.



그림[4] 인체 중력 중심 예측 결과

### ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2021년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2021R1A2C1009951).

### 참 고 문 헌

- [1] Detrembleur C, Hecke A, Dierick A "Motion of the body centre of gravity as a summary indicator of the mechanics of human pathological gait," *Gait Posture* '12, pp. 243-250, Dec 2000
- [2] Lafond D, Durate M, Prince F, "Comparison of three methods to estimate the center of mass during balance assessment," *Journal of Biomechanics* '37, pp. 1421-1426, Sep 2004
- [3] Choi A, Jung H, Kim H, Mun J H, "Predicting Center of Gravity Displacement During Walking Using a Single Inertial Sensor and Deep Learning Technique," *Journal of Medical Imaging and Health Informatics* '10(6), pp. 1436-1443, Jun 2020
- [4] Jung H, Choi A, Moon J, Chae S, Lee K, Kim K, Mun J, "Insole System-Based Neural Network Model to Evaluate Force Risk in Cube Method: Application to Pepper Farming Tasks," *Journal of Medical Imaging and Health Informatics* '10(6), pp. 1444-1451, Jun 2020
- [5] Rupérez M J, Martín-Guerrero J D, Monserrat C, Alcañiza M, "Artificial neural networks for predicting dorsal pressures on the foot surface while walking," *Expert Systems with Applications* '39(5), pp. 5349-5537, Apr 2012
- [6] Claverie L, Ille A, Moretto P, "Discrete sensors distribution for accurate plantar pressure analyses. *Medical Engineering & Physics*," '38(12), pp.1489-1494, Dec 2016
- [7] Choi A, Yun T, Lee K, Min K, Hwang H, Lee K, Oh E, Mun J, "Asymmetric loading of erector spinae muscles during sagittally symmetric lifting," '23(1), pp. 64-74, July 2009