KIPS Trans. Comp. and Comm. Sys.
Vol.11, No.3 pp.83~90
ISSN: 2287-5891 (Print), ISSN 2734-049X (Online)


https://doi.org/10.3745/KTCCS.2022.11.3.83

# Development of Insole for AI-Based Diagnosis of Diabetic Foot Ulcers in IoT Environment

Choi Won Hoo† · Chung Tai Myoung†† · Park Ji Ung††† · Lee Seo Hu††††

## ABSTRACT

Diabetes is a common disease today, and there are also many cases of developing into serious complications called Diabetic Foot Ulcers(DFU). Diagnosis and prevention of DFU in advance is an important task, and this paper proposes the method. Based on existing studies introduced in the paper, it can be seen that foot pressure and temperature information are deeply correlated with DFU. Introduce the process and architecture of SmarTinsole, an IoT device that measures these indicators. Also, the paper describes the preprocessing process for AI-based diagnosis of DFU. Through the comparison of the measured pressure graph and the actual human step distribution, it presents the results that multiple information collected in real-time from SmarTinsole are more efficient and reliable than the previous study.

Keywords : Sensor, Internet of Things, Digital Therapeutics, Diabetic Foot Ulcers, Artificial Intelligence

# IoT 환경에서 AI 기반의 당뇨발 진단을 위한 깔창 개발

최 원 후† · 정 태 명†† · 박 지 웅††† · 이 서 후††††

## 요 약

당뇨병은 오늘날 주변에서 흔히 찾아볼 수 있는 질병이며, 당뇨병성 족부 궤양(당뇨발)이라는 심각한 합병증으로 발전하는 사례 또한 많이 나타난다. 따라서 이를 사전에 진단하고 예방하는 것은 중요한 과제이며 본 논문에서 그 방안을 제시한다. 본문에서 소개하는 기존의 연구들을 바탕으로 발의 압력과 온도 정보는 당뇨발과 깊은 상관관계가 있음을 알 수 있으며, 해당 지표들을 측정하는 IoT 기기인 스마틴솔을 개발과정 및 아키텍쳐를 소개한다. 또한, 더 나아가 스마틴솔로 측정한 데이터들의 실제 당뇨발 진단을 위한 AI 분석 전처리 과정을 기술하며, 측정된 압력 그래프와 실제 사람의 발걸음 분포의 비교 등을 통해 실시간으로 수집하는 다중 정보들이 기존의 IoT 기기들보다 효율적이고 신뢰성 있다는 결과를 제시한다.

키워드 : 센서, 사물인터넷, 디지털 치료제, 당뇨병성 족부 궤양, 인공지능

## 1. 서 론

당뇨병은 오늘날 주변에서 아주 흔하게 찾아볼 수 있는 질병이 되었다. 여기서 당뇨병이란 식사 후 일정 시간이 지났음에도 불구하고 공복 혈당 수치가 기준 이하로 낮아지지 않는 대사 질환군이다. 대한당뇨병협회에서 출간한 자료에 따르면 2018 년에는 Table 1과 같이 만 30세 이상에서 당뇨병 유병률이 16 %에 다다를 정도로 현대인들에게 흔하게 발견되고 있다[1].

당뇨병의 높은 유병률에도 불구하고 병의 인지율은 2020 년 기준 65 %, 치료율은 60.1 %에 불과하며 병의 심각성에 대한 인식 부족으로 병을 방치해 이후 병이 악화하여 합병증을 유발하기 쉽다[1]. 이러한 당뇨병의 합병증 중 심각하고 대표적인 병의 하나로서 당뇨병성 족부 궤양(당뇨발)이 있다. 당뇨발 환자의 경우 가벼운 상처에도 상처가 쉽게 낫지 않고 궤양으로 발전하여 심한 경우 발을 절단해야 하는 상황에 놓일 수 있게 된다. 국내에서만 매년 당뇨발 환자의 15 % 이상이 다리를 절단한다고 보도되고 있다[2]. 또한, 이러한 당뇨발 평균 치료비용도 1 인당 평균금액이 1700 만 원대에 이르

※ 이 논문은 2021년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(2021-0-01177, 당뇨발의 예방·진단·관리를 위한 깔창형 디지털치료제의 연구·개발).
※ 이 논문은 2021년 한국정보처리학회 ACK 2021의 우수논문으로 "당뇨발을 AI 기법으로 진단하기 위한 다중 데이터수집 깔창 개발"의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임.
† 준 회 원 : 성균관대학교 소프트웨어학과 학사
†† 종신회원 : 성균관대학교 소프트웨어대학 교수
††† 비 회 원 : 서울대학교 의과대학 성형외과학교실 교수
†††† 비 회 원 : 성균관대학교 인공지능학과 석사과정
Manuscript Received : December 28, 2021
Accepted : January 24, 2022
* Corresponding Author : Choi Won Hoo(whoo0707@naver.com)

※ This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/ licenses/by-nc/3.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Table 1. Prevalence of Diabetes over the age of 30

| Category | Data | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Year | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
| Prevalence (Unit : %) | 12.4 | 16.0 | 15.4 | 12.5 | 15.8 | 15.1 | 15.9 |

고 있다[3]. 따라서, 이러한 당뇨발이 발생하여 개인과 사회, 경제적으로 여러 가지 문제를 일으키기 전에 당뇨발을 미리 예방 및 진단하는 것은 중요한 사회 문제 중 하나이다.

기존의 당뇨발 진단은 병원에서 발의 신경학적인 상태와 혈관 상태 검사 등을 통해 진행되었다. 이러한 방법은 병원에 직접 내원하여 검사를 진행하고 이후 결과를 통보받기까지의 긴 시간 및 많은 검사 비용이 요구되어 꾸준한 진단이 어려운 환자들이 많다. 결국, 이로 인해 작은 상처를 진단하지 못해 악화하여 결국 하지 절단에 이르게 되는 일이 발생하고 있다. 따라서, 본 논문에서는 당뇨발의 초기 진단을 위해 다중 센서를 부착한 IoT 기기를 통한 당뇨발 초기 발견 및 관리를 제안하고, 이의 개발 과정을 서술한다. IoT 기기는 간단하게 몸에 지니고 다닐 수 있으므로 검진의 접근성이 높고, 검사 및 결과 진단까지 걸리는 시간을 훨씬 줄여 환자들의 편의가 향상되어 궁극적으로는 당뇨발의 발견 및 치료를 수월하게 한다.

IoT 기기의 활용 방식은 기존의 연구 결과들을 통해 발에서 측정한 압력, 온도가 당뇨발과 밀접한 상관관계가 있다는 것을 알 수 있다. 압력의 경우에는 기존 연구에 따르면 당뇨병 환자 중 높은 발 압력을 보이는 사람들이 발 궤양에 걸릴 확률이 2배 이상 높았다고 한다[4]. 또한, 다른 연구에 따르면 당뇨발 환자들의 내측 발에 특히나 높은 압력이 분포된다고 한다[5]. 이렇게 당뇨병 환자 중 발 압력이 높게 측정된다면 당뇨발의 위험이 있거나 현재 질병이 있다는 것을 예측할 수 있다. 다음으로 온도의 경우에는 한 연구에 따르면 당뇨발 환자들의 발 온도가 정상군의 발 온도보다 낮게 측정되었다고 한다[6]. 또 다른 연구에서는 심한 궤양을 앓는 당뇨발 환자들은 상처 부위로부터 나오는 열 때문에 발의 온도가 매우 높게 측정된다고 연구되었다[7]. 온도의 경우에는 이렇게 정상군의 발 온도 범위보다 환자의 발 온도가 높거나 낮게 측정된다면 당뇨발을 의심해 볼 수 있다. 결과적으로 이러한 상관관계들을 바탕으로 앞선 지표들에 해당하는 수치를 측정하는 센서들을 사용하면 당뇨발을 사전에 진단 및 예측할 수 있게 된다.

다음으로 발에서 IoT 기기를 통해 데이터를 수집하는 장치의 실효성은 기존에 개발된 압력을 측정하는 스마트 깔창들을 통해 증명되었다[8]. 하지만 기존 연구들은 다중 센서를 이용하기보다는 단순히 압력만을 측정하여 결과를 도출하거나 몇 가지 센서를 이용하더라도 데이터를 받는 주기나 민감도가 낮아 실제로 당뇨발을 진단해 내기에는 어려움이 따른다. 따라서, 이러한 단점들을 보완하고 동시에 여러 가지 데이터들을 시간적 지연이 없이 효율적으로 수집할 수 있는 IoT 기기인 디지털 치료제 깔창을 만들고, 해당 깔창으로 노이즈가 적은 신뢰할 수 있는 데이터를 받아 올 수 있도록 하는 것은 난제 중의 하나이다. 본 논문에서는 다양한 종류의 센서로 데이터를 수집하고, 수집한 다중 데이터를 손실 및 중복 없이 전송할 수 있는 깔창형 IoT 기기인 스마틴솔의 개발 및 AI 모델 학습을 위한 전처리 과정 진행을 서술한다.

## 2. 스마틴솔의 아키텍처 및 구현 방식

본 연구에서는 깔창 형태의 IoT 기기인 스마틴솔을 만들고 개선하였으며, 해당 기기의 PCB에 압력 센서, 가속도 센서, 온습도 센서를 부착하여 데이터를 측정하도록 하였다. 본 연구에서 만든 기기에서는 ESP32의 BLE 통신 모듈을 바탕으로 센서에서 추출된 데이터를 BLE를 통해 연결한 스마트폰 앱으로 전송한 후 저장한다. 깔창 형태의 기기인 스마틴솔은 양발에서 사용하므로 2개가 한 쌍으로 묶이며, 스마트폰 앱은 하나의 앱에 두 개의 쌍을 동시에 연결하여 양쪽의 데이터를 모두 받도록 구현하여 제작하였다.

앞선 서론에서 이야기한 것처럼 발의 압력과 온도 지표와 당뇨발과의 상관관계를 알 수 있었으며, 이 두 관계를 활용하여 당뇨발을 진단하기 위해 센서에서 수집하는 데이터의 종류를 압력, 온습도로 정하였다. 각각의 상관관계 중 압력의 경우에는 스마틴솔을 신고 측정된 정상군의 압력 값 범위를 각 사람의 몸무게로 보정 한 값보다, 특정한 피험자의 압력을 몸무게로 보정 한 값이 크다면 그 피험자는 당뇨발의 위험이 있다는 것이다. 다음으로, 온도의 경우에는 스마틴솔을 신고 측정된 정상군의 발 온도의 평균값에 비해 특정 피험자의 온도 값이 너무 크거나 작은 값을 보인다면, 해당 피험자는 당뇨발 위험이 있다는 것이다. 마지막으로 가속도 센서의 경우에는 압력 데이터의 값을 보정 및 값의 신뢰도를 얻기 위해서 사용하였으며, 이는 가속도 값의 변화를 통해 해당 사람의 걸음 여부와 걸음걸이를 예측해 압력 값 중 노이즈 값을 가려내어 제거하였다.

각각의 센서에서 값을 읽어오는 주기는 센서마다 다르게 정하였는데, 온도와 습도의 경우에는 5 초에 한 번 데이터를 보낼 때마다 센서에서 바로 측정된 값을 읽어오는 방식을 사용하였다. 압력에 대해서는 데이터의 민감도를 높이기 위해

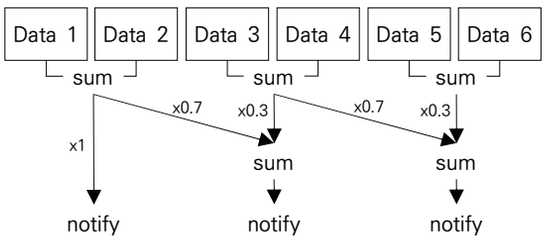


Fig. 1. Sampling Method Used for Pressure

oversampling 방식을 변형하여 활용하였으며, 여기서 기본적인 oversampling 방식에 따르면 1 bit를 올리기 위해서는 $2^{2n}$이라는 식에 따라 4 개의 값을 묶어서 값을 구해야 한다. 본 연구에서는 40 Hz마다 값을 읽어와 연속된 두 개 데이터를 묶어서 더한 후 처음이 아니라면 그 바로 전의 데이터 묶음을 더한 값과 0.7 : 0.3 이라는 비중을 기준으로 더하여 최종값을 도출해내 센서에서 읽을 수 있는 최대 민감도에서 bit 수를 하나 높이는 방식을 사용하여 정밀도를 높였다. 이를 그림으로 표현하면 Fig. 1과 같으며, 식으로 표현하면 Equation (1)과 같다. 가속도 센서의 경우에는 10 Hz 단위로 센서에서 읽어온 가속도와 자이로 값을 통해 계산해낸 오일러 각(Yaw, Pitch, Roll) 정보를 스마트폰 앱으로 전송하였다.

$$X_n = 0.7 \times (x_{2n-3} + x_{2n-2}) + 0.3 \times (x_{2n-1} + x_{2n})$$
$$[X_n = nth\ notify\ value,\ x_n = nth\ measured\ value] \quad (1)$$

또한, IoT 기기의 기본적인 문제인 배터리 소모량을 줄이기 위해서 노력하였는데, 첫 번째 방식은 전력이 들어왔을 때 기본적으로 advertising을 시작하며 이후 일정 시간(1 s) 동안 연결된 스마트폰을 찾지 못하면 deep sleep mode와 active mode 전환을 반복하는 식으로 구현하여 사용하지 않을 때 active mode에 있는 시간을 최소화하였다. 또한, 데이터를 수집하여 전송한 후 다음 데이터 수집 시까지 light sleep mode로 전환하여 측정 간격 사이 사이에 소모되는 전력 소비량도 최소화하였다. 마지막으로 이러한 방식을 플로우차트로 나타낸다면 Fig. 2와 같다.

배터리의 소모량을 최소화하고자 ESP32에서는 BLE만 작동시켜 사용하기 때문에 실제 시간을 펌웨어 쪽에서 직접 알 수 없어 양쪽 발에서 얻는 데이터들의 시간을 외적인 방법으로 동기화 해주는 것은 매우 중요한 요소이다. 기본적으로는 데이터를 읽어 올 때 ESP32가 스마트폰과의 처음 연동된 시간의 차이 델타를 보내 받는 스마트폰 쪽에서 연동된 시간에 델타를 더하여 실제 측정 시간을 알아내는 방식을 사용하였다. 여기에서 처음 연결이 불안정해 딜레이가 생겨 실제 연결 시간과 펌웨어 쪽에 저장된 연결 시점의 타이밍에 차이가 생겼을 경우를 대비하기 위해 BLE 연결이 어느 정도 안정화된 시점 이후 미리 정해진 특정 값을 다시 전송하여 해당 타이밍

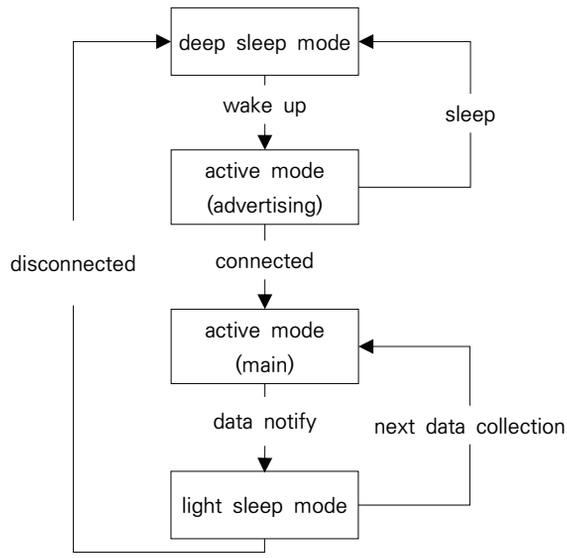


Fig. 2. Flowchart of Battery Sleep Mode

을 기준점으로 바꾸는 방식을 지속해서 사용하여 양발 센서 간의 딜레이 차이를 최소화하였다.

이번 연구에서 사용된 온습도 센서인 sht35는 기본적인 일반 측정 모드를 사용해 데이터를 읽어올 때마다 오차를 만들어내는 주변의 습기를 없애기 위해 heating 시간이 필요하며 이로 인해 sht35의 datasheet 4.5 문단에서 나오는 것처럼 100 ms의 딜레이가 걸리게 되었다[9]. 본 연구에서 제작한 스마틴솔은 짧은 주기로 여러 가지 다중 데이터를 읽어오는 기기이기에 이러한 heating 시간을 해결하는 것은 중요한 문제였고, 이를 해결하기 위해서 해당 센서의 Periodic Mode를 적극적으로 이용하여 직접 제작한 새로운 헤더 함수를 통해 센서에 직접 command를 보내고 온습도 데이터를 딜레이 없이 지속해서 수집하는 방법을 만들어 오랜 시간 동안 끊김이 없이 데이터를 받아올 수 있도록 구현하였다.

이번 연구에서는 PCB 회로에 사용하는 저항값을 정하기 위해, 실제 PCB에서 사용한 회로와 같은 구성으로 간이 회로를 만들어 회로에 부착한 저항값에 따른 압력 센서에 걸리는 V값을 측정하는 실험을 Fig. 3과 같이 진행하였다. 해당 실험을 통해 저항값을 정한 이유는, 스마틴솔을 사용하는 사용자들이 스마틴솔을 신고 걸을 때 압력센서를 통해 측정되는 V값의 변화량이 가장 민감하게 측정될 수 있도록 하기 위함이다. 이러한 이유로 본 실험에서 압력 센서를 누르는 힘의 값은 실제 스마틴솔을 사용하는 사용자들이 스마틴솔을 신고 걸을 때 압력 센서의 걸리게 되는 힘의 양인 10 N ~ 80 N으로 정하여 실험을 진행하였다. 여기에서 80 N이라는 힘은 먼저 평균적인 발 크기인 270 mm의 크기를 가진 사람의 발뒤꿈치를 타원으로 가정하여 넓이를 구하였고 여기에 부착된 원형 센서에 걸리게 되는 몸무게로 인한 힘을 계산하여서 구해내었다. 여기에서 몸무게는 스마틴솔을 사용하게 될 피험

Fig. 3. Experiment Equipment to Determine the R Value

자들의 체중으로 비만의 비율이 높은 당뇨발 환자들의 몸무게는 100 kg으로 계산하였다. 이렇게 도출해낸 식은 Equation (2)를 통해 볼 수 있다. 다음으로 위와 같은 방식으로 설계된 실험을 통해 결정된 이번 연구에서 사용된 저항값은 1 $k\Omega$이며, 이 실험의 결과 그래프는 Fig. 4를 통해 소개한다. 마지막으로 이 실험은 스마틴솔에 부착되는 각각의 압력 센서의 V값을 측정하기에 압력 센서값의 신뢰성 테스트를 겸하였다.

$$\left(\frac{1.5\times1.5\times\pi}{3.5\times4\times\pi}\times9.8\times100\ \ kgf\right)\div2\simeq80\ \ N \qquad (2)$$

기구적인 면에서 보면 스마틴솔에는 상기한 압력과 온습도 센서를 부착하였는데, 압력의 경우에는 기존 연구를 통해 알려진 당뇨발이 생기기 쉬운 위치 중 여섯 부위를 골라 해당 위치에 부착하였다[10]. 먼저 엄지발가락 쪽에 하나와 그 아래쪽 제일 큰 뼈가 나온 부분에 각각 하나씩의 센서를 부착하였으며, 발 가장자리 맨 위쪽 부분부터 발바닥 쪽까지 차례대로 나머지 4 개의 센서를 부착하였다. 온습도를 측정하는 sht35의 경우에는 기본적으로 각각의 압력을 측정한 위치인 여섯 부분의 근처에 각 여섯 개의 센서를 부착하였고 이에 더해 발 중심 쪽에 두 개를 더 부착하여 총 8 개의 센서를 이용하였다. 여기에서 압력을 측정하는 센서와 sht35의 부착지점에 미세한 차이를 둔 이유는 압력 센서가 sht35 본체를 통해 눌림 등의 영향을 주어 오차가 생기는 것을 방지하기 위함이다. 또한, 기본적으로 압력 센서는 깔창 PCB 아래쪽에 부착하고 sht35는 위쪽에 부착하여 공간을 잡았고, 여기에서 온습도 센서(sht35)는 적외선을 사용하는 작동방식 때문에 피부에 닿으면 올바른 측정이 안 되기에 PCB 위에 실제 깔창을 덧씌워서 피부에 닿지 않도록 하였다. 이때 덧씌운 이후에도 온습도가 측정되게 하도록 sht35가 부착된 위치에는 덧씌워진 깔창에 구멍을 뚫는 형식으로 하였다. 여기까지 만들어진

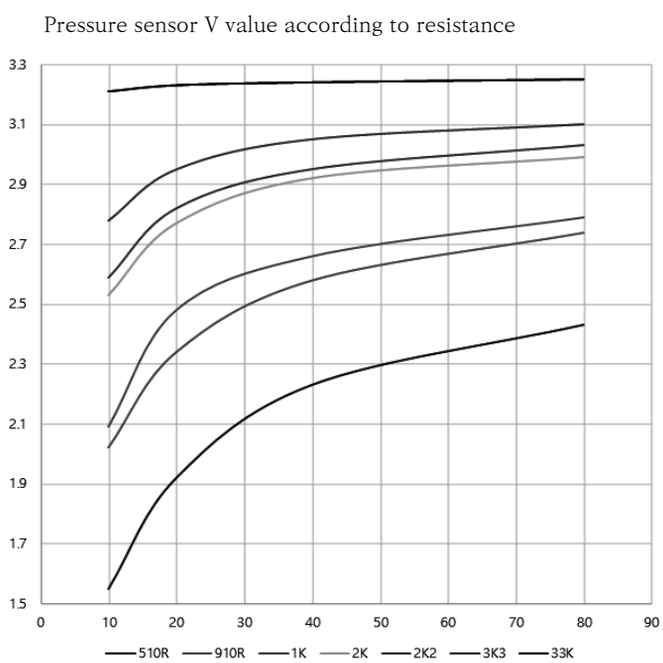


Fig. 4. V Value According to Resistance

Fig. 5. The Basic SmarTinsole's Pcb Image

Fig. 6. A Complete Picture of SmarTinsole

깔창의 기본적인 형태는 Fig. 5와 같다. 다음으로 가속도 센서의 경우에는 깔창 및 아래쪽 PCB에 부착하지 않고 펌웨어에서 따로 연결선을 빼내어 발등 쪽에 부착하여 오차 없이 발의 가속도 및 자이로를 측정할 수 있도록 디자인하였다. 마지막으로 가속도 센서를 더해 이렇게 만들어진 최종적인 스마틴솔을 넣은 신발의 형태는 Fig. 6과 같다.

## 3. 스마틴솔의 측정 결과

Fig. 7을 통해 스마틴솔로 측정할 수 있는 압력의 원시데이터를 볼 수 있으며, Fig. 8을 통해 이번 연구에서 따로 제작한 AI 학습을 위한 전처리 프로그램을 통해 유효 걸음의 평균압력을 계산해 그래프화 시킨 결과를 볼 수 있다. 두 그림 모두에는 공통적으로 6 가지 색상의 그래프가 있으며 각 색의 그래프는 스마틴솔에 부착된 서로 다른 압력 센서 6 개의 데이터이다. 또한, 본 논문에 수록한 그림은 측정된 데이터 중 오른발의 압력 그래프이다.

압력의 원시데이터를 Fig. 8과 같이 전처리를 하는 모듈은 연구에서 python 프로그램을 통해 직접 제작하여 데이터를 받아와 저장한 이후 자동으로 되도록 구현하였다. 해당 전처리 모듈의 작동 과정은 첫 번째로 기본적인 노이즈를 없앤 이후 게이트 사이클(발 한걸음)에 대한 압력들을 서로 분리하여 고르게 된다. 여기에서 기본적인 노이즈란 사람이 걸으면서 발이 공중에 위치할 때 압력 센서값이 0으로 떨어지지 않을 때, 지속적으로 데이터가 오버플로우 될 때 등을 포함한다. 이러한 노이즈를 제거하기 위해, 센서에서 측정된 데이터의 현재값과 델타값 및 점근선 그래프를 종합적으로 판단하여 해당 데이터의 노이즈 여부를 판별하여 자동으로 지울 수 있도록 구현하였다. 또한, 노이즈 제거 이후 게이트 사이클을 서로 분리하는 과정에서 가장 중요한 점은 발걸음의 시작점 판단 여부이다. 이 내용은 기본적으로 뒤꿈치의 센서 부위가 먼저 땅에 붙는다는 가정하에 시작 지점을 찾은 이후, 이전에 먼저 땅에 붙어 측정이 시작된 부위의 센서가 있는지를 확인한 후 있다면 해당 과정을 반복하는 과정을 통해 전처리 모듈이 정확한 발걸음의 시작점을 구분해 낼 수 있도록 구현하였다. 두 번째로, 골라진 게이트 사이클의 압력 중 발의 압력분포 변화를 통해 사람의 걸음을 예측해 평지를 걷는 깔끔한 부분의 게이트 사이클만을 모아 따로 저장한다. 마지막으로 그 게이트 사이클들의 정규화된 평균을 구해 그래프로 보여준다는 것이 이번 연구에서 만들고 사용한 전처리 모듈이다.

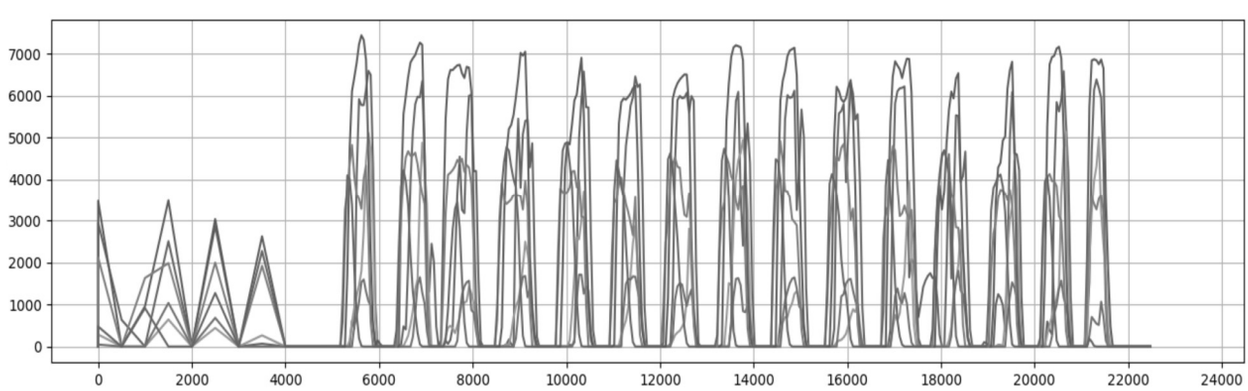


Fig. 7. Law Data Graph of Pressure

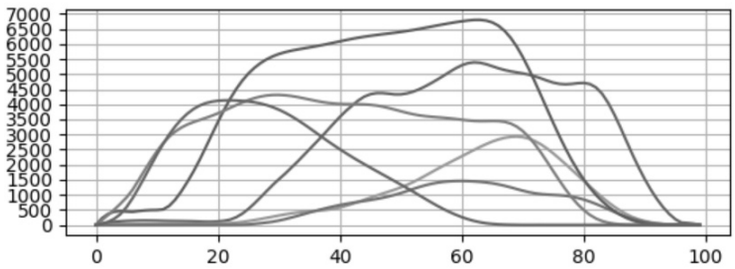


Fig. 8. Data Graph, After Preprocessing

마지막 부분인 게이트 사이클들의 정규화된 평균을 구하는 내용은 식을 통해 계산하였는데, 먼저 게이트 사이클이 모인 집합 X가 있을 때 i번째 게이트 사이클인 $X_i$가 존재한다. 또한, 해당 사이클 집합인 X는 가로축인 시간 t로도 나누어 나타낼 수 있다. 이때 이 시간 축 t가 일정하도록 폭을 정규화하여 0초부터 T(50 ms*100)까지의 데이터가 되도록 X를 보간하여 Y(정규화된 게이트 사이클의 평균)를 구해내었다. 최종적으로 Fig. 8은 이 Y의 그래프라고 할 수 있고 위의 공식은 Equation (3)을 통해 쉽게 알아볼 수 있다.

$$Y = \frac{\sum_{i=0}^{N}(\sum_{t=0}^{T} X_i[t])}{N} \tag{3}$$

$$[Y\text{: } Average\ of\ each\ normalized\ gate\ cycle]$$

앞서 소개한 압력 데이터는 정상군이 스마틴솔을 통해 측정한 결과 중 하나로, 뒤꿈치를 나타내는 갈색 그래프부터 엄지발가락 쪽에 부착한 센서를 나타내는 파란 그래프까지의 6 가지 색 그래프의 변화량에서 모두 발의 움직임이 잘 표현되어 나타났다. 노란색 그래프는 새끼발가락 쪽에 부착된 센서에서 얻어낸 결과로서 정상적으로 낮게 측정되었고, 초록색 그래프인 발의 정중앙에 붙어있는 센서의 결과 또한 힘이 잘 닿지 않는 중앙 부위의 특성을 잘 나타내도록 측정되었다. 이를 통해 스마틴솔이 사람의 발의 움직임 압력을 비교적 오차 없이 잘 측정하였다는 것을 알 수 있다. 또한, 이렇게 측정된 압력의 데이터들을 스마틴솔을 신고 측정한 피험자들끼리 비교 분석하여 피험자들의 당뇨발 위험 여부를 알 수 있다.

온도와 습도의 경우에는 스마틴솔을 통해 측정한 원시데이터를 따로 처리 없이 직접 사용할 수 있기에 저장된 피험자의 온습도 데이터를 스마틴솔 사용자들의 평균 발 온습도 데이터와의 비교를 통해 사용자의 당뇨발 위험 여부를 알 수 있다. 여기에서 스마틴솔에서 측정된 온습도 원시데이터는 스마트폰에서 온도와 습도가 따로 로그로 저장되어 기록된다. Fig. 9는 그 중 온도에 해당하는 로그 기록의 일부이고, 해당 그림의 각 가로줄은 온습도 센서 8 개에서 측정한 각각의 온도 데이터이며 세로줄은 매 5초마다 측정되는 데이터들의 묶음이다.

```
3017,2952,2985,2906,2970,3008,3004,3084,
3027,2958,3002,2913,2977,3012,3007,3086,
3025,2961,3009,2916,2981,3017,3014,3088,
3037,2972,3015,2924,2992,3028,3016,3095,
3048,2986,3037,2943,3003,3034,3025,3108,
3045,2987,3032,2944,3007,3032,3026,3119,
3043,2983,3027,2944,3004,3032,3028,3130,
3051,2992,3040,2955,3005,3034,3030,3133,
3061,3010,3059,2966,3021,3041,3036,3133,
3068,3022,3070,2979,3031,3048,3036,3135,
3075,3034,3077,2992,3042,3052,3040,3140,
3083,3061,3100,3009,3055,3056,3042,3123,
```

Fig. 9. Log File Data of Measured Temperature

가속도 센서도 온습도 센서의 경우와 같이 기본적으로 펌웨어 내에서 가속도와 자이로 정보를 바탕으로 얻어낸 가속도 각 원시데이터를 전송하여 해당 원시데이터를 사용하게 된다. 해당 원시데이터는 발의 움직임을 표현하여 이후 해당 정보들을 바탕으로 앞선 압력 데이터 전처리 과정에서 골라진 평지를 걷는 올바른 게이트 사이클의 실제 신뢰성 여부를 해당 시간대의 오일러 각을 통한 발의 움직임과 대조하여 판단하는 데 사용한다. 또한, 스마틴솔에서 스마트폰으로 전송한 오일러 각 정보는 Fig. 10과 같이 스마트폰 앱에서 시각화하여 사용자가 현재 발의 움직임을 직접 볼 수 있도록 구현하였다.

## 4. 결론 및 향후 과제

현대 사회에서 흔하지만, 질병의 인지율이 낮은 당뇨병과 그러한 당뇨병의 특히 심각한 합병증인 당뇨발을 사전에 예측하여 심해지기 전에 치료를 받을 수 있게 하는 IoT 기기인 스마틴솔의 개발 및 개선이 이 논문의 기본 목적이다.

이러한 기본적인 목적은 본 논문의 앞선 내용과 같이 실시간으로 사용자의 발 압력 및 온습도 데이터들을 이번 연구를 통해 개발한 스마틴솔을 통해 딜레이 없이 신뢰할 수 있게 수집할 수 있었기에 달성되었다. 또한, 직접 만든 AI 분석을 위한 전처리 프로그램을 통해 실시간으로 받은 압력 데이터를 정리하여 실제로 사람이 걷는 중 발의 압력분포 그래프를 효

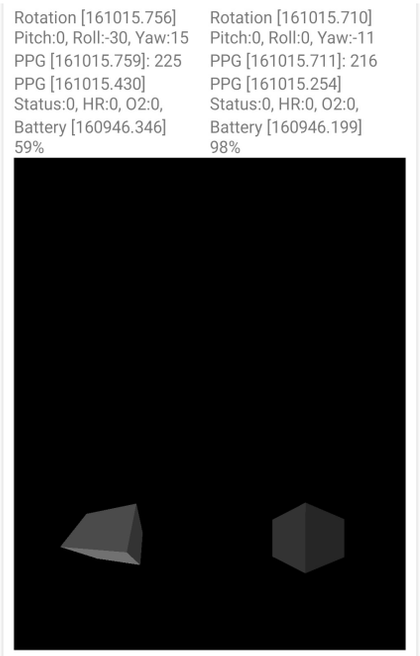


Fig. 10. Visualization of Euler Angle Information on Smartphones

율적으로 그려낼 수 있었다. 앞으로는 선행 연구들을 통해 알 수 있는 데이터와 당뇨발과 관계성을 바탕으로 이번 연구를 통해 제작한 스마틴솔을 통해 효율적으로 측정할 수 있는 데이터들을 활용하여 당뇨발을 예측할 수 있으며, 더 나아가 스마틴솔에 포함된 가속도 센서를 활용한 걸음걸이 분석 및 자세 교정이나 압력 및 온습도를 통해 비교할 수 있는 또 다른 여러 질병을 예측할 수 있다. 마지막으로, 본 연구에서 개발된 스마틴솔은 서울특별시 보라매병원에서 IRB(IRB No.20-2021-4)를 받아 당뇨발 환자의 데이터를 직접 수집 중에 있어, 곧 양질의 실제 데이터를 바탕으로 스마틴솔을 활용한 AI를 기반으로 당뇨발을 조기 진단하는 시스템 개발이 이루어질 것이다.

## References

[1] K. H. Yoon et al., Diabetes Fact Sheet in Korea 2020, [Internet], https://www.diabetes.or.kr/pro/news/admin.php?code=admin&page=2&number=1972&mode=view.

[2] J. I. Bae, J. H. Won, J. S. Kim, M. D. Kim, C. J. Yoon, and Y. K. Cho, "Prevalence and current status of treatment of diabetic foot in South Korea," *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol.74, No.3, pp.169-176, 2016.

[3] C. R. Song, J. W. Lee, and S. H. Han, "Analysis of direct service costs about diabetic foot patients," *Journal of Korean Foot and Ankle Society*, Vol.15, No.3, pp.165-169, 2011.

[4] L. A. Lavery, D. G. Armstrong, R. P. Wunderlich, J. Tredwell, and A. J. M. Boulton, "Predictive value of foot pressure assessment as part of a population-based diabetes disease management program," *Diabetes Care*, Vol.26, No.4, pp.1069-1073, 2003.

[5] S. J. Hwang, S. W. Park, and Y. H. Kim, "The analysis of plantar shear stress and pressure of diabetic foot patients during walking," *Proceedings of the Korean Society of Precision Engineering Conference*, pp.273-276, 2005.

[6] S. J. Lee, et al., "The difference of plantar temperature between Non-DM and DM groups according to season," *Korean Journal of Clinical Geriatrics*, Vol.8, No.4, pp.412-418, 2007.

[7] P. C. Sun, et al., "Relationship of skin temperature to sympathetic dysfunction in diabetic at-risk feet," *Diabtes Reasearch and Clinical Practice*, Vol.73, No.1, pp.41-46, 2006.

[8] H. S. Kim, U. H. Lee, and J. C. Kim, "Development of an IoT-based small wearable device attachable to shoes for healthcare," *Proceedings of the Korean Society of Broadcast Engineers Conference*, pp.154-156, 2016.

[9] Datasheet SHT3x digital [Internet], https://www.sensirion.com/kr/environmental-sensors/humidity-sensors/digital-humidity-sensors-for-various-applications/.

[10] K. Bakker, J. Apelqvist, and N. C. Schaper, "Practical guidelines on the management and prevention of the diabetic foot 2011," *Diabetes/Metabolism Research and Reviews,* Vol.28, No.1, pp.225-231, 2012.

**최 원 후**

https://orcid.org/0000-0003-4038-5956
e-mail : whoo0707@naver.com
2015년 ~ 2022년 성균관대학교 소프트웨어학과(학사)
관심분야 : 사물인터넷, 임베디드 시스템

**정 태 명**

https://orcid.org/0000-0002-3154-1868
e-mail : tmchung@skku.edu
1981년 연세대학교 전기공학(학사)
1984년 미국 일리노이대학 전산학(학사)
1987년 미국 일리노이대학 컴퓨터공학(석사)
1995년 미국 퍼듀대학교 컴퓨터공학(박사)
1995년 ~ 현 재 성균관대학교 소프트웨어대학 교수
관심분야 : 디지털 진단 및 치료제 개발

**박 지 웅**

https://orcid.org/0000-0002-6403-4918
e-mail : alfbskan@gmail.com
2001년 서울대학교 의과대학(학사)
2011년 ~ 현 재 서울대학교 의과대학 성형외과학교실 교수
관심분야 : 디지털 진단 및 치료제 개발

**이 서 후**

https://orcid.org/0000-0002-1523-733X
e-mail : qwaszx6677@skku.edu
2020년 성균관대학교 전자전기공학, 바이오메카트로닉스학(학사)
2020년 ~ 현 재 성균관대학교 인공지능학과 석사과정
관심분야 : 설명 가능한 인공지능, 의료 인공지능