

작업자 생체신호 데이터 수집 애플리케이션 및 웨어러블 디바이스 개발

이상민*, 장여주*, 진훈*, 송승찬*

*(주)엠펠 기업부설연구소

e-mail: smlee@mpole.co.kr, yjjang@mpole.co.kr, hjin@mpole.co.kr, scsong@mpole.co.kr

Development of a Wearable Device and Application for Collecting Workers' Biometric Signals

Sang-Min Lee*, Yeo-Ju Jang*, Hoon Jin*, Seung-Chan Song*

*MPOLE Co., Ltd. R&D Institute.

요약

This study developed a real-time monitoring system that integrates a wearable device, biometric-based anomaly detection, and digital twin technology to enhance the safety management of workers in industrial settings. We utilized the commercial Samsung Galaxy Watch6 to continuously collect various biometric signals such as heart rate, SpO₂, skin temperature, and activity levels, along with location information.

The collected data is managed through a self-developed application and server, and an Isolation Forest-based anomaly detection algorithm is applied to identify abnormal patterns in each worker at an early stage (Liu et al., 2008). The detection results are visualized in a digital twin environment linked to the worker's location, and immediate notifications and response guidelines are provided to managers when an anomaly occurs.

This research demonstrates that combining wearable-based biometric data collection, AI-based anomaly detection, and digital twin visualization can enhance the effectiveness of industrial safety management.

1. 서론

산업현장에서 발생하는 재해는 작업자의 건강 이상이나 환경적 위험 요인으로 인해 발생하는 경우가 많다. 기존의 안전관리 방식은 수동적이며, 개별 작업자의 생체 상태를 실시간으로 반영하지 못하는 한계점을 가지고 있다.

고용노동부의 자료에 따르면, 2017년 0.48%였던 산업재해율은 2023년 0.66%로 상승하는 증가 추세를 보였다. 특히 2022년에는 중대재해처벌법 시행에도 불구하고 산업재해로 인한 경제 손실액이 33조 원을 넘어섰으며, 이는 산업재해를 예방하는 기술적 솔루션의 필요성을 명확히 보여준다.

최근 IoT와 빅데이터 기술을 기반으로 웨어러블 기기를 활용한 건강관리 연구가 활발히 이루어지고 있다. 또한 이상 탐지를 위한 머신러닝 기법은 다양한 분야에서 활용되고 있으며, 비지도 학습 기반의 Isolation Forest는 효율성과 정확성을 동시에 확보할 수 있는 대표적인 기법으로 자리 잡았다(Liu et al., 2008; Chandola et al., 2009). 한편, 디지털 트윈 기술은 물리적 공간을 가상에 구현하여 실시간 모니터링을 가능하게 함으로써, 스마트 제조 및 건물 관리 분야에서 적용 사례가 보고되고 있다(김안수 외, 2022; 최철민 외, 2023).

본 연구는 이러한 기술적 배경을 바탕으로, 산업현장 작업자를

대상으로 웨어러블 디바이스와 애플리케이션을 통해 생체 데이터를 수집하고, Isolation Forest 기반 알고리즘을 활용한 이상치 탐지와 디지털 트윈 기반 시각화를 결합한 실시간 안전관리 시스템을 제안한다. 이를 통해 기존 연구들이 시뮬레이션 기반 검증에 치중한 것과 달리, 실제 산업현장에서 발생하는 작업자 데이터를 기반으로 산업안전관리 시스템을 구현한다는 점에서 차별성을 갖는다.

2. 기술 구현 배경과 개발 전략

본 연구는 웨어러블 디바이스를 활용한 작업자 안전관리, 이상징후 감지 및 대응 솔루션 개발, 디지털 트윈 기반의 작업자 실시간 모니터링 시스템 개발을 목표로 한다. 웨어러블 디바이스는 작업자의 생체 데이터를 비침습적으로 장시간 측정할 수 있다는 장점이 있다. 갤럭시 워치6는 심박수, 혈중 산소포화도, 피부온도, 걸음수 등을 측정하는 센서를 내장하고 있어, 산업현장에서도 충분히 활용 가능하다(Samsung Electronics, 2023).

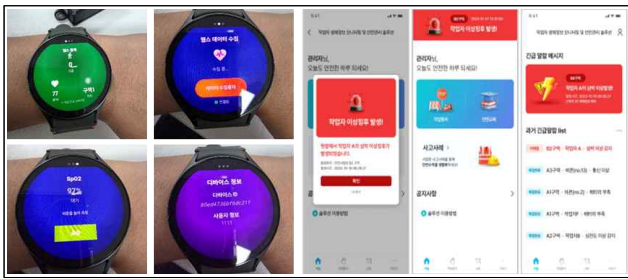
본 연구는 다음 세 가지 핵심 개발 전략을 중심으로 진행되었다. 첫째, 실시간 생체 데이터 수집 체계를 구축하여 작업자가 착용하는 순간부터 심박수, SpO₂, 피부 온도, 활동량 및 위치 정보를

연속적으로 수집한다. 둘째, 머신러닝 기반 이상 탐지를 적용하여 Isolation Forest 알고리즘(Liu et al., 2008)을 활용해 정상 및 비정상 패턴을 자동 구분하고, 작업자별 특성을 반영한 맞춤형 탐지 체계를 구축한다. 셋째, 디지털 트윈 시각화 및 알람 기능을 구현하여 작업자의 위치와 생체 신호 상태를 3D 맵에서 시각화 하고, 이상 상황 발생 시 관리자에게 경고 알람과 디지털 SOP 기반 대응 지침을 제공한다(김안수 외, 2022; 최철민 외, 2023).

3. 시스템 설계 및 구현

3.1 웨어러블 및 모바일 애플리케이션 개발

삼성 갤럭시워치6에 설치되는 안드로이드 기반 위치 전용 애플리케이션 개발을 통해 센서 데이터를 실시간으로 수집하였다. 데이터는 BLE 및 Wi-Fi 통신을 거쳐 모바일 앱으로 전달되고, 서버와 연계되어 중앙 모니터링 시스템에 집계된다. 작업자 생체신호 수집이 가능한 가장 보편·안정적인 웨어러블 디바이스를 선정하였고, 데이터 수집을 위한 안드로이드 기반 모바일 애플리케이션도 설계·구현하였다.



[그림 1] 웨어러블 디바이스 기반 생체신호 수집 애플리케이션 구현

3.2 데이터 전처리 및 이상 탐지

수집된 데이터는 Moving Average 필터링 기법을 통해 노이즈를 제거하고 유효 값을 추출하며, Value Modification 알고리즘을 통해 데이터의 상/하한 값을 설정하여 이상치를 제거한다. 이후 Isolation Forest 알고리즘을 활용하여 작업자별 정상·비정상 상태를 구분하였다(Liu et al., 2008).



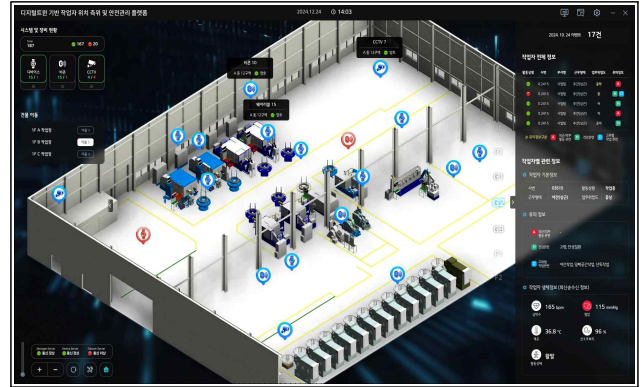
[그림 2] 웨어러블 디바이스 기반 생체신호 실시간 모니터링 구현

이 과정에서 작업자의 개별 특성에 따라 정상 패턴을 학습할 수 있어 맞춤형 작업자 안전 모니터링이 가능하다.

3.3 디지털 트윈 기반 모니터링

디지털 트윈 환경을 구축하여 작업자의 위치와 생체 상태를 실시간으로 표시하였다. 작업자의 위치 파악을 위해 실외 GPS 신호 수신에 어려운 실내에서는 BLE기반 비콘(Beacon) 설치 운영을 통해 웨어러블 디바이스와 연동하여 실내 작업자의 위치를 측위하는 기술을 설계·구현하였다.

작업자의 상태는 정상(초록색), 주의(주황색), 위험(빨강색)으로 표시되며, 이상 탐지가 발생하면 관리자 화면에 알람 팝업과 디지털 SOP가 즉시 표출됨에 따라 상황 대응이 가능하도록 구현하였다.



[그림 3] 디지털 트윈 기반 작업자 안전관리 플랫폼 구현

또한 CCTV 및 IoT 센서 데이터를 연동하여 작업장 내 위험 상황 감지 및 확인 가능하도록 설계하였다(최철민 외, 2023).

4. 기대효과 및 결론

본 연구에서 제안하는 시스템은 작업자의 생체 데이터를 기반으로 이상 상황을 실시간으로 탐지하고, 디지털 트윈 기술을 활용하여 현장 관리자가 상황을 직관적으로 인지할 수 있도록 지원한다. 이러한 시스템은 작업자 안전성을 향상시키고 산업재해 발생을 효과적으로 예방할 수 있다.

이러한 기술 도입은 산업재해로 인한 인적, 금전적 손실을 차단 하고, 중대재해처벌법 확대 적용에 따른 사업주의 심리적, 경제적 부담을 해소할 수 있다. 특히, Isolation Forest 알고리즘을 적용 하여 작업자별 맞춤형 이상 탐지가 가능하며, 디지털 트윈 기반 시각화는 관리자의 대응 속도를 크게 향상시킨다.

또한, 차년도 연구에서는 ECG, 스트레스 지표 등 추가 센서를 통합하고, 연합학습(Federated Learning) 기반의 개인정보 보호형 모델을 적용하여 시스템의 산업현장 적용성을 강화할 계획이다.

본 연구는 중소벤처기업부 스마트제조혁신기술개발사업(R&D)의 지원을 받아 수행된 연구(RS-2024-00445035)이며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] Liu, F. T., Ting, K. M., Zhou, Z.-H., "Isolation Forest," 2008 IEEE International Conference on Data Mining, pp. 413-422, 2008년.
- [2] Chandola, V., Banerjee, A., Kumar, V., "Anomaly Detection: A Survey," ACM Computing Surveys, Vol. 41, No. 3, pp. 1-58, 2009년.
- [3] Samsung Electronics, "Galaxy Watch6 Technical Specifications," Samsung, 2023년.
- [4] 김안수, 이승훈, 조현우, "건물 공조 시스템을 위한 디지털 트윈 기반 에너지 관리 시스템," 건축공학저널, 제45권, pp. 103-115, 2022년.
- [5] 최철민, 김도현, 한지수, "디지털 트윈과 스마트 홈 에너지 관리 시스템의 통합에 관한 연구," 응용에너지, 제340권, pp. 120-132, 2023년.