

딥러닝 기반 야외 근로자 건강 상태 모니터링 시스템

신정우, 박지은, 정희주, 이은서, 정한조

국립목포대학교

swscy0534@mokpo.ac.kr, pju615@mokpo.ac.kr, wjdgdm2479@mokpo.ac.kr, 223918les@mokpo.ac.kr, hanjojeong@mnu.ac.kr

Deep Learning-Based Health Monitoring System for Outdoor Workers

Shin Jeong Woo, Park Ji Eun, Jung Hui Ju, Lee Eun Seo, Jeong Han jo

Mokpo National University

요약

본 논문은 야외 작업장에서 발생할 수 있는 온열질환과 낙상 사고를 예방하기 위해 스마트 워치 기반의 실시간 건강 상태 모니터링 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 생체 및 환경 데이터를 딥러닝 모델로 분석하여 조기 위험 감지와 즉각적인 경고 기능을 제공한다. 실험 결과, 스마트 워치로 측정 가능한 정보만을 활용하였음에도 온열질환 및 낙상 사고 위험 예측에서 높은 정확도를 보여주어, 제안된 시스템의 실현 가능성을 입증하였다.

I. 서론

기후 온난화로 인한 여름철 기온 상승으로 인해 야외에서 장시간 작업하는 근로자들은 온열질환에 직접적으로 노출되고 있으며, 특히 고령자나 고강도 작업 종사자는 체온 조절 능력이 낮아 더욱 취약하다. 2024년 질병관리청의 「온열질환 응급실감시체계」에 따르면 5월 20일부터 8월 21일까지 3,019명의 온열질환자가 발생했고, 28명이 사망한 것으로 추정된다 [1]. 이는 온열질환이 일시적인 불편을 넘어 생명을 위협하는 심각한 문제임을 보여주며, 나쁜 날씨 열대야의 영향으로 야간에도 위험이 지속되고 있어 보다 철저한 예방 대책이 요구된다. 그러나 현재의 대응은 사후 처치에 집중되어 있으며, 실시간으로 근로자의 생체 정보를 기반으로 한 예방 시스템은 부족한 실정이다.

본 논문에서는 심박수, 피부 온도, 호흡수 등의 생체 데이터를 딥러닝을 통해 근로자들의 건강 상태를 분석하여 근로자의 건강 이상 징후, 온열질환 및 낙상 사고의 위험을 사전에 감지하고, 이상 징후 발생 시 경고 및 구조 요청 기능을 제공하는 스마트 모니터링 시스템을 제안한다.

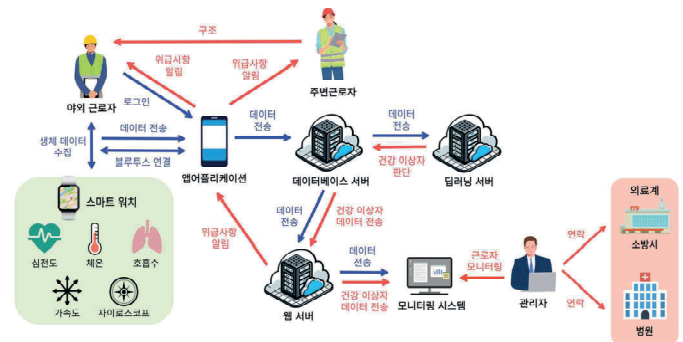
II. 본론

가. 야외 근로자 건강 상태 모니터링 시스템

본 연구에서 제안하는 야외 근로자 건강 상태 모니터링 시스템은 스마트 워치를 통해 수집된 심전도, 체온, 호흡수, 가속도, 날씨 등의 생체 및 환경 데이터를 모바일 애플리케이션과 딥러닝 서버를 통해 실시간으로 분석함으로써 근로자의 건강 상태를 모니터링하고 온열질환 및 낙상 사고를 예방하는 통합 관리 솔루션이다. 본 시스템은 근로자의 건강 이상을 조기에 감지하고, 위급 상황 발생 시 본인뿐만 아니라 주변 근로자와 관리자에게 즉시 알림을 전송한다. 관리자는 전용 웹 기반 모니터링 시스템을 통해 근로자들의 상태를 실시간으로 파악하고 신속한 대응이 가능하다. 이를 통해 야외 작업 환경에서의 근로자 안전성을 높이고, 신속한 구조 및 사고 예방을 실현할 수 있도록 설계하였다.

그림 1은 전체 시스템 아키텍처를 나타낸다. 야외 근로자들의 생체 및 환경 데이터는 스마트 워치를 통해 실시간으로 측정되며, 워치와 연동된 스

마트폰에 설치된 모바일 애플리케이션을 통해 수집된다. 이 데이터는 데이터베이스 서버로 전송되어 저장된 후, 딥러닝 서버를 통해 실시간 분석되며, 웹 서버를 통해 관리자용 모니터링 웹 애플리케이션에 제공된다. 근로자의 이상 징후가 감지되면 관리자에게 웹 애플리케이션을 통해 즉시 알림이 전송되고, 동시에 근로자 본인과 주변 근로자에게도 모바일 애플리케이션을 통해 위급 상황 알림이 전달된다.



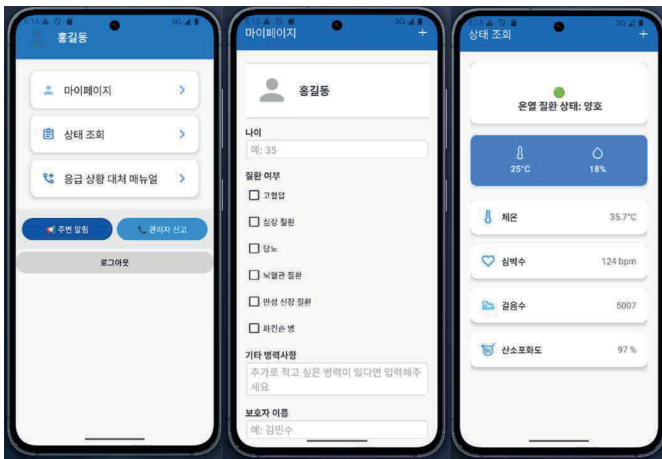
[그림 1] 야외 근로자 건강 상태 모니터링 시스템 아키텍처

나. 근로자용 스마트 워치 및 모바일 어플리케이션

근로자의 생체 정보, 위치 및 환경 정보는 갤럭시 워치의 헬스 앱과 날씨 앱을 통해 수집되며, 구글 안드로이드 Health Connect API [2]를 통해 자체 개발한 모바일 애플리케이션에서 통합적으로 수집된다. 이 외에도 스마트 워치의 배터리 상태 및 기기 정보 등도 함께 수집되어 REST API를 통해 데이터베이스 서버로 주기적으로 전송되며, 워치 및 스마트폰의 상태를 지속적으로 모니터링할 수 있다.

그림 2는 모바일 애플리케이션의 메인 화면, 초기 설정 화면, 본인 상태 확인 화면을 보여준다. 근로자는 초기 설정 화면에서 본인의 기저질환을 입력할 수 있으며, 현재 체온, 심박수, 산소포화도 등 생체 데이터를 통해 딥러닝 서버에서 분석한 온열질환 위험 상태를 실시간으로 확인할 수 있다. 또한, 본인의 건강 상태가 악화되었을 경우, 메인 화면에서 '주변 알림' 및 '관리자

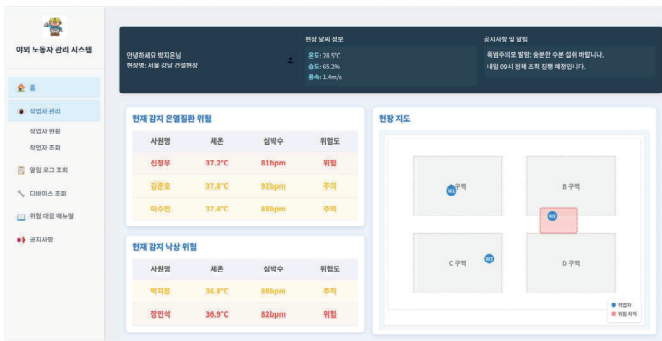
신고' 버튼을 통해 신속히 도움을 요청할 수 있도록 구성되어 있다.



[그림 2] 모바일 앱 어플리케이션 구현 화면

다. 관리자용 모니터링 웹 어플리케이션

관리자가 근로자의 건강 상태를 직관적으로 파악할 수 있도록 웹 기반의 실시간 모니터링 시스템을 구현하였다. 메인 화면에서는 현장 날씨 정보, 알람 현황, 온열질환 및 낙상 위험 수준, 주의 대상 근로자 목록 및 생체 정보가 제공되며, 위험 또는 주의 대상자의 현재 위치를 현장 지도에서 확인할 수 있다. '작업자 관리' 메뉴에서는 전체 근로자의 생체 데이터를 확인할 수 있으며, '디바이스 조회' 메뉴를 통해 스마트 워치 및 스마트폰의 기기 상태로 모니터링 가능하다. '알람 로그 조회' 기능은 작업자별 또는 기간별 위험 알람 히스토리를 제공하여 평소 온열질환이나 낙상 사고에 취약한 근로자를 선별하고, 보다 선제적인 대응이 가능하도록 한다.



[그림 3] 관리자용 모니터링 웹 어플리케이션 메인 화면

라. 딥러닝 기반 온열질환 예측 모델

온열질환 예측을 위해 다층 퍼셉트론(Multilayer Perceptron, MLP) 구조의 이진 분류 모델을 사용하였다. 모델의 학습과 평가는 일본 급성의학 협회가 일본 전역의 103개 응급의료기관을 통해 2010년 6월 1일부터 8월 31일까지, 그리고 2012년 7월 1일부터 9월 30일까지 수집한, 응급실로 이송된 열 관련 질환 의심 환자 데이터를 포함한 온열질환 연구 데이터를 기반으로 수행하였다 [3].

딥러닝 학습을 위해 나이, 혈압, 심박수, 호흡수 등의 연속형 변수는 나이는 연령대로, 혈압은 저혈압, 정상혈압, 주의혈압, 고혈압 등으로 범주화하여 명목형 변수로 전처리하였다. 이후 전체 데이터를 학습용과 테스트용으로 8:2의 비율로 분할하고, 학습 데이터에 대해 5-fold 교차검증을 적용하여 최적의 하이퍼파라미터 조합(학습률 0.005, 은닉층 5개, 배치 크기 16)을 도출한 후 실험을 수행하였다.

본 실험은 일본 급성의학협회 데이터셋의 모든 속성을 활용한 경우와 스

마트 위치를 통해 측정 가능한 속성만을 활용한 경우로 나누어 각각 학습 및 평가를 수행하였다. 그 결과, 표 1과 같이 스마트 워치 측정 가능 속성만을 사용한 경우 오히려 전반적인 예측 성능이 더 우수하게 나타나, 스마트 워치를 기반으로 한 건강 상태 모니터링 시스템의 활용 가능성과 실현 가능성이 높음을 시사한다.

표1. 온열질환 예측 실험 결과

	Accuracy	Precision	Recall	F1-Score
전체 속성 사용	79.1	70.6	67.6	69.1
스마트 워치 측정 가능 속성만 사용	87.1	80.3	86.2	83.2

마. 딥러닝 기반 낙상 사고 예측 모델

낙상 사고 위험 분류를 위해서는 CNN-BiLSTM 구조의 다중 분류 딥러닝 모델을 활용하였으며, 모델 실험은 3축 가속도계 및 자이로스코프 센서를 포함한 Kaggle 데이터셋 [4]을 기반으로 학습 및 평가를 수행하였다. Conv1D와 MaxPooling1D를 통해 특징을 추출하고, BiLSTM으로 시계열 정보를 학습한 후, 7개 클래스에 대해 softmax로 분류하였다. 8:2로 분할된 학습 및 테스트 데이터에 대해 학습을 진행한 결과, 테스트 데이터에서 Accuracy 98.4%, Precision 98.8%, Recall 98.9%, F1-score 98.8%를 기록하여 제안한 모델의 높은 분류 성능을 입증하였다.

III. 결론

본 논문에서는 건설 현장 등 야외 작업장에서 발생할 수 있는 온열질환과 낙상 사고를 예방하기 위한 야외 근로자 건강 상태 모니터링 시스템을 제안하였다. 본 연구에서 제안한 시스템이 도입될 경우, 조기 위험 감지를 통한 사고 발생률 감소와 실시간 모니터링을 통한 효율적인 현장 관리가 가능할 것으로 기대된다. 또한, 스마트 워치를 활용함으로써 초기 구축 비용 절감은 물론, 수집된 생체 데이터를 기반으로 한 근로자 건강 관리에도 기여할 수 있을 것으로 전망된다. 제안된 시스템은 건설업뿐만 아니라 제조업, 물류업 등 다양한 산업 현장에 확대 적용이 가능하며, 향후 응급 상황 대응을 위한 음성 안내 기능과 작업 환경 센서 데이터를 연계함으로써 더욱 정밀하고 포괄적인 위험 예측 시스템으로 발전시킬 계획이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 논문(연구)은 국립목포대학교 공학교육혁신센터의 "현실참여 공학교육"의 일환인 "캡스톤디자인(종합설계) 지원 사업"의 재정적 지원을 받았습니다.

참 고 문 헌

- [1] 2024년 온열질환 감시체계 운영결과. 질병관리청. 2024, <https://www.kdca.go.kr/board/board.es?mid=a20205030102&bid=0004>
- [2] 구글 안드로이드 Health Connect API, <https://developer.android.com/health-and-fitness/guides/health-connect?hl=ko>
- [3] YAMAMOTO, T., et al. "Evaluation of a novel classification of heat-related illnesses: a multicentre observational study (Heat Stroke STUDY 2012)," International journal of environmental research and public health, 15(9), 1962. 2018.
- [4] Falls vs Normal Activities, Kaggle, <https://www.kaggle.com/datasets/enricogrimaldi/falls-vs-normal-activities>