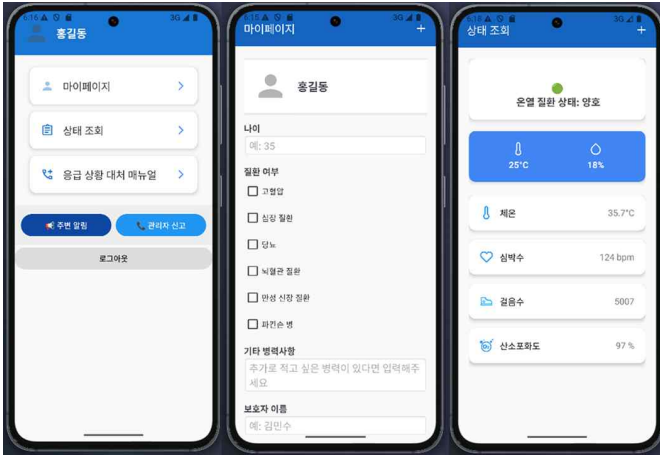


그림 2는 모바일 애플리케이션의 메인 화면, 초기 설정 화면, 본인 상태 확인 화면을 보여준다. 근로자는 초기 설정 화면에서 본인의 기저질환을 입력할 수 있으며, 현재 체온, 심박수, 산소포화도 등 생체 데이터를 통해 딥러닝 서버에서 분석한 온열질환 위험 상태를 실시간으로 확인할 수 있다. 또한, 본인의 건강 상태가 악화되었을 경우, 메인 화면에서 ‘주변 알람’ 및 ‘관리자

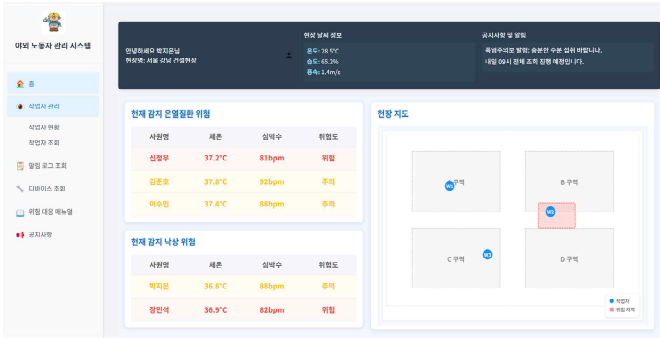
신고' 버튼을 통해 신속히 도움을 요청할 수 있도록 구성되어 있다.



[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>