

IoT 기반 건설현장 안전관리 기술



양강혁

전남대학교 건축학부 조교수, Kyang@jnu.ac.kr

1. 서론

건설작업은 무거운 자재와 장비의 사용, 야외 고소 작업, 다양한 공종의 동시 진행과 같은 재해 발생이 쉬운 특성을 포함하고 있으며, 이로 인해 매년 많은 수의 산업재해가 건설 산업에서 발생하고 있다. 한국 산업안전보건공단의 최근 10년간(2010년~20220년) 산업별 사망 재해와 일반재해 발생 통계를 보면 건설현장에서 전체 산업재해의 25%가 발생하였으며, 가장 많은 수의 사망사고가 발생하여 다른 산업 대비 193%의 높은 사망 만인율을 기록하였다(장상춘 2020). 산업재해의 발생은 인명피해, 공정의 지연, 생산성 감소 등과 같은 직접적인 피해에 머물지 않고, 근로의욕, 직무만족도의 감소, 이직률 증가와 같은 간접적인 피해를 일으키며, 이로 인한 손실액을 계산해보면 4조 8000억 원에 달한다. 따라서 건설현장에서의 안전관리 활동은 재해 예방만을 위한 활동이 아닌 전체 건설 프로젝트의 성공에도 영향을 미치는 매우 중요한 활동 중 하나이다.

건설현장의 안전관리 활동은 현장 관리자의 점검을 통한 불안정 상태 및 불안정한 행동의 개선을 목적으로 수행되지만, 작업자의 경험 및 지식 차이로 인한 위험상황 인식 차이, 제한적인 건설현장 내 자원으로 인해 위험요소 적시 발견이 어려운 한계가 있다. 이렇게 제한적인 건설현장 자원 및 현장 내 위험에 대한 주관적인 판단으로 인한 문제점을 해결하는 방안으로 4차 산업혁명 관련 기술 중 하나인 사물인터넷(Internet of Things, IoT) 기술이 주목을 받고 있다. IoT 기술은 센서 및 통신장치를 결합하여 실시간 데이터를 얻을 수 있는 기술로 기존에 높은 비용으로 인해 적용하기 힘든

다양한 시스템을 상대적으로 적은 비용으로 구현할 수 있는 장점이 있다. IoT 기반 건설현장 안전관리 기술은 건설현장 및 건설작업자에 설치한 IoT 장치로 실시간 데이터를 얻고 이를 인공지능 및 데이터 분석기술과 결합하여 산업재해가 일어날 수 있는 위험 상황을 인식하고 이를 방지하는 데 주로 활용되고 있다.

예를 들어, IoT 기술은 건설현장 내 추락사고 위험지역에 출입인식 시스템을 설치하여 작업자가 해당 지역으로 진입하는 것을 방지하거나, 건설작업자와 건설장비에 위치추적장치를 설치해 서로 간의 충돌이 일어날 만한 상황을 인식하고 이를 방지하는데 활용할 수 있다. 다른 방안으로 건설작업자의 신체에 관성측정장치를 부착하여 작업자의 움직임 정보를 획득해 위험한 작업 자세를 개선하거나 작업자의 걸음걸이 정보를 활용해 낙상사고 위험지역을 식별할 수 있다. 이외에도 작업자의 심장박동, 뇌파, 피부 전기신호, 근육 전기신호 등의 실시간 정보를 활용해 건설작업자의 현재 위험 요인을 파악할 수 있다. 이렇듯 사물인터넷 기술은 건설현장에서 위험 상황 및 관련 정보를 실시간으로 얻을 수 있어, 산업재해 예방에 활용성이 매우 높다고 할 수 있다.

따라서 본 고에서는 IoT 기술을 활용한 건설현장 안전관리 기술의 개발 동향에 대해 간략히 살펴보고 저자가 최근 연구한 건설현장 중량물 작업 분석기술에 대해 다루고자 한다. 또한, IoT 기반 안전관리 기술의 발전을 위한 연구개발 방향에 대해서 논의하고자 한다.

2. IoT 기반 건설현장 안전관리 기술 동향

앞서 언급한 바와 같이 IoT 기반 안전관리 기술은 건설작업 중 일어날 수 있는 위험한 상황 혹은 위험한 환경을 IoT 센서의 데이터를 통해 발견하고 관련 위험의 인식과 제거를 목적으로 활용되고 있다.

가장 보편적인 IoT 기반 건설현장 안전관리 기술로 모니터링을 위해 설치한 카메라를 활용하여 건설현장 이미지 혹은 비디오 데이터를 획득하고 이를 인공지능 기술을 이용해 분석하여 안전모 같은 개인안전장비(Personal Protective Equipment)의 착용 여부를 인식할 수 있다. Nath et al. (2020) 연구는 건설현장 이미지를 분석해 안전장비(안전모, 안전 조끼) 착용 여부를 판단하는 합성곱 신경망(Convolutional Neural Network) 모델을 개발하였으며 72% 인식 정확도를 달성하였다. Smartvid.io사는 건설현장 카메라에서 얻은 이미지 데이터를 기계학습 기법을 활용해 분석하여 건설작업 안전규칙의 준수 여부를 판단할 수 있는 기술을 개발하여 건설현장에 적용하고 있다. 또한, 기존 건설현장 모니터링 카메라의 활용이 아닌 UAV (Unmanned Aerial Vehicle)에서 얻은 이미지 정보를 활용하여 안전정보를 얻는 기술도 개발되고 있다. Kim et al. (2020) 연구는 UAV에서 얻은 건설현장 이미지를 분석해 건설장비와 건설작업자 간의 거리 및 진행방향을 예측하는 인공지능 모델을 개발하였으며, 0.95 미터의 거리 예측 오류 및 1.71 미터의 진행방향 예측 오류를 달성하였다.

다른 IoT 안전관리 기술인 실시간 위치추적 기술(Real-time location system)은 Global Positioning System, Radio-Frequency Identification, Ultra Wideband, Bluetooth Low Energy와 같은 라디오 주파수의 시그널을 바탕으로 건설작업자 혹은 건설장비의 위치를 파악하는 시스템으로 건설현장 내 위험지역 관리, 허가되지 않는 출입인식, 특정 지역에서의 인력 배치상태 정보와 같은 위치 정보를 건설안전관리에 사용하는 기술이다. 건설환경에 따라 기술별 성능의 차이를 가지고 있어 건설현장에서의 성능에 관한 연구가 이루어져 왔으며, Building Information Modeling, 다른 IoT 기술과의 결합을 통해 건설작업자/건설기계 안전 모니터링, 안전교육, 실시간 위험 알림을 위한 연구(Soltanmohammadlou et al. 2019)가 활발히 이루어지고 있다. Triax Technologies

사는 위치추적 기술을 통해 개인 작업자의 위치를 파악하고 작업자에 부착한 태그를 이용해 건설작업자의 미끄러짐이나 낙상 사고를 찾아낼 수 있는 기술을 개발하여 건설현장에 적용하고 있다.

웨어러블 센싱(Wearable Sensing) 기술은 건설작업자에게 IoT 장치를 설치하거나 스마트 디바이스 안의 센서를 활용하여 위험 상황을 인식하고 관련 사고를 방지하는 기술이다. 이는 작업자의 행동 정보 혹은 생리적 반응 정보를 수집하고 이를 통해 현장 안의 사고위험 요소나 작업자의 부상위험요소를 인식할 수 있다. Hwang et al. (2017)은 스마트워치를 활용해 건설작업자의 심박 수(Heart Rate) 정보를 획득하고 이를 활용해 건설작업의 신체 부하의 평가 가능성을 연구하였다. Jebelli et al. (2019)은 건설작업자의 뇌파(Brain Wave) 정보를 웨어러블 장치를 이용해 획득하고 인공지능 기술을 활용하여 심리적 스트레스 레벨 분류 기술을 개발하였다. Yang et al. (2019)은 건설작업자의 행동 정보와 위치 정보를 IoT 기기를 이용해 획득하고 건설현장 내 낙상 위험장소를 인식할 수 있는 기술을 개발하였다.

3. IoT 기반 건설현장 중량물 작업 분석 기술

건설작업자 부상의 주요 원인으로 장시간의 과중한 노동(Overexertion)에 의한 염좌(Sprain) 및 좌상(Strain)이 있으며 이에 따른 생산성 감소, 높은 질병 보상금으로 인해 건설산업 안전관리에 있어 해결해야 할 주요문제 중 하나이다. 이러한 부상은 주로 무거운 자재나 장비를 다루는 인력물자 취급(Manual Material Handling)으로 인해 발생하며, 이는 기존 안전관리 요소인 작업자 안전규칙 준수에서 더 나아가 건설작업 부하의 인식 및 관리가 필요하다고 할 수 있다.

건설작업에서 높은 부상위험을 발생시키는 주요 요소로 불안정한 작업 자세 및 과도한 중량물이 있으며, 기존 IoT 관련 안전관리 연구는 불안정한 작업 자세를 인식 및 개선하는데 중점을 두고 있다. 저자가 최근 연구한 중량물 인식 기술(Yang et al., 2020)은 중량물에 의한 작업자의 보행 움직임 변화를 순환 신경망(Recurrent Neural Network) 기법으로 분석하여, 건설작업에 포함되는 중량물의 무게를 인식하는 기술이다. 해당 연구에서는 작업자의 발목에 부착한 관성 측정장치 데이터로 4가지 다른 하중(0kg~11.4kg) 인식 성능

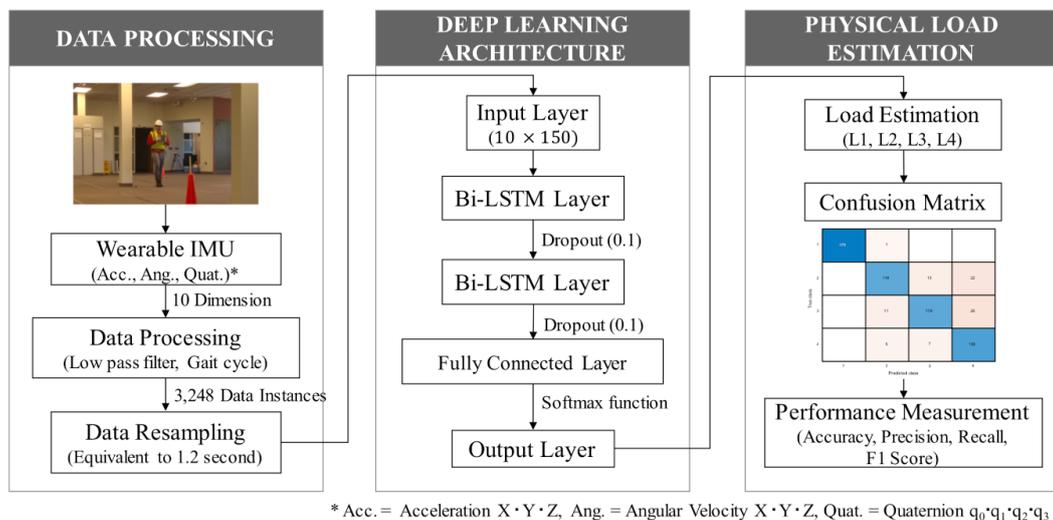


그림 1. 중량물 취급작업 인식을 위한 순환 신경망 모델 및 분석 프로세스(Yang et al., 2020)

에 대해 분석하였으며, 보행 움직임 신호를 보행 주기별로 나누고 이를 양방향 순환 신경망(Bidirectional Long-Short Term Memory)을 활용해 분류하였다. 분석 결과 중량물 작업 인식은 98%, 4가지 하중의 구별은 74%의 정확도로 나타났다.

중량물 인식 추가연구로 작업자의 발목이 아닌 허리, 손목에 부착한 관성측정장치 또한 사용할 수 있음을 검증하였고, 인력물자취급의 최대 권장 중량인 20kg 중량물 인식, 작업 자세 분류 시 90% 이상의 정확도를 나타내는 것을 확인하였다. 해당 연구결과는 IoT 장치와 인공지능 기술의 적용 시 산업재해 위험요소 인식의 가능성을 보여주며, 이는 다른 안전관리 기술 개발에도 활용될 수 있을 것이다.

4. 결론

건설현장은 다양한 사고 위험요소를 지니고 있고 이를 효율적으로 관리하는 것이 건설현장 안전관리의 필수요소라고 할 수 있다. IoT 기술은 다양한 건설현장 안전정보를 실시간으로 측정할 수 있게 해주는 기술로서 사고위험요인을 적시에 찾아내고 관련 사고를 방지할 수 있게 해준다는 측면에서 건설현장 안전관리에 매우 적합한 기술이라고 볼 수 있다. IoT 기반 안전관리 시스템은 기존 시스템 대비 적은 비용으로 쉽게 구현할 수 있지만, 건설현장에서 활발히 활용되기 위해서는 다음의 요소를 고려하여 개발되어야 한다. 먼저 대부분의 건설현장 운영 기간은 2년 정도로 짧으므로 복잡

한 설치가 필수적인 IoT 기술의 경우 실용성이 크게 떨어지게 된다. 따라서 시스템은 설치 및 운영이 간단하게 개발되어야 한다. 또한, 건설사업은 유형 및 형태가 다양하므로 안전관리 시스템은 건설현장별 특성에 맞게 유연한 변경 및 적용을 할 수 있는 형태로 개발되어야 한다. 마지막으로 시스템은 건설현장 안전관리에만 머무는 게 아닌 공정/원가관리 시스템과 같은 기존 시스템과 통합될 수 있어야 하며, 개인정보와 같은 보안이 필요한 정보를 다루기 때문에 데이터 보안과 개인 프라이버시를 고려하여 설계되어야 한다. 이와 같은 사항들을 고려한 IoT 기반 안전관리 기술은 건설현장 발생 산업재해를 줄이고 높은 프로젝트 성과를 달성하는 데 크게 기여할 것이다.

참고문헌

1. 장상춘, 임형철, 2020, 건설업 산업재해 감소를 위한 산업구조 및 고용구조 개선 방안, 산업안전보건연구원, <https://oshri.kosha.or.kr/oshri/publication/researchReportSearch.do?mode=download&articleNo=419749&attachNo=237052> (2021.05.10)
2. Hwang, S., & Lee, S. (2017). Wristband-type wearable health devices to measure construction workers' physical demands. *Automation in Construction*, 83, 330-340.
3. Jebelli, H., Hwang, S., & Lee, S. (2018). EEG-based workers' stress recognition at construction sites. *Automation in Construction*, 93, 315-324.
4. Kim, D., Lee, S., & Kamat, V. R. (2020). Proximity Prediction of Mobile Objects to Prevent Contact-Driven Accidents in

- Co-Robotic Construction. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 34(4), 04020022.
5. Nath, N. D., Behzadan, A. H., & Paal, S. G. (2020). Deep learning for site safety: Real-time detection of personal protective equipment. *Automation in Construction*, 112, 103085.
 6. Smartvid.io, <https://www.smartvid.io/safety-monitoring> (2021.05.10)
 7. Soltanmohammadlou, N., Sadeghi, S., Hon, C. K., & Mokhtarpour-Khanghah, F. (2019). Real-time locating systems and safety in construction sites: A literature review. *Safety science*, 117, 229-242.
 8. Triax Technologies, <https://www.triaxtec.com> (2021.05.10)
 9. Yang, K., & Ahn, C. R. (2019). Inferring workplace safety hazards from the spatial patterns of workers' wearable data. *Advanced Engineering Informatics*, 41, 100924.
 10. Yang, K., Ahn, C. R., & Kim, H. (2020). Deep learning-based classification of work-related physical load levels in construction. *Advanced Engineering Informatics*, 45, 101104.