

디지털 트윈 기반 지능형 산업 안전 관리 플랫폼

권준형, 윤성진, 권진우, 김원태

한국기술교육대학교 컴퓨터공학과 미래융합공학전공

jhkwn0512@koreatech.ac.kr, hiysr0308@koreatech.ac.kr, qwedddww@koreatech.ac.kr,
wtkim@koreatech.ac.kr

A Digital Twin-based Intelligent Industrial Safety Management Platform

Junhyung Kwon, Seongjin Yun, Jinwoo Kwon, Won-tae Kim

Future Convergence Engineering, Department of Computer Science,

Korea University of Technology and Education

요 약

본 논문에서는 산업재해와 안전사고에 대한 근본적인 대책 마련을 위하여, 현장 데이터 기반 디지털 트윈 모니터링을 통해 위험 정보를 실시간으로 분석 및 시각화하여, 산업 현장과 관리자에게 실시간으로 위험 상황을 전파하고 산업 안전을 확보하는 기능을 제공하는 디지털 트윈 기반의 산업 안전 관리 플랫폼을 소개한다. 대한민국의 산업재해 사고는 선진국들에 비해 같은 유형의 사고가 반복적으로 발생하는 재래식 사고의 발생이 많아, 근본적인 대책 마련이 필요하다. 본 논문에서 제안하는 디지털 트윈 기반의 산업 안전 관리 플랫폼은 현장 데이터를 기반 실시간 모니터링과 사고 전파를 통한 산업재해 피해 최소화 뿐 아니라, 디지털 트윈의 시각화 기능과 모델링 기술을 활용해 사고 상황을 정밀하게 재연하여 사고 원인을 상세히 분석하고, 시뮬레이션 기술을 활용해 아직 발생하지 않은 사고 시나리오에 대해 분석, 검증하여 안전한 작업 절차를 수립하고 산업 현장의 안전성을 확보하는데 목적이 있다. 본 논문에서는 디지털 트윈 기반 산업 안전 관리 플랫폼의 구조를 소개하고, 현장 데이터 기반의 디지털 트윈 생성 절차와 고정밀 디지털 트윈 모델을 활용한 사고 재연 및 분석 방법에 관하여 서술한다.

I. 서 론

2022년 11월 10일, 고용노동부는 “중대재해 감축 로드맵”을 발표하여 2026년까지 대한민국의 사고사망만인율(근로자 1만명 당 산업재해로 인한 사망자 수)을 OECD 평균 수준으로 감축하겠다는 계획을 발표했다 [1]. 21세기 이후, 대한민국의 산업재해 발생 건수와 사망자 수는 꾸준히 감소하고 있지만, 여전히 다른 선진국에 비해 사고사망만인율이 높고, 동일한 유형의 사고가 반복되는 재래식 사고에 의한 사망사고가 이어지고 있다 [2]. 산업 현장에서 발생하는 사고 및 재해는 노동자 개인과 그 가족에게 큰 경제적 손실과 영구적인 노동력 상실을 초래하며, 기업에 막대한 경제적 손실과 함께 이미지 제고에 큰 영향을 미친다. 산업재해로 인한 피해를 최소화하고 산업 현장의 안전 확보를 위하여 근본적인 대책이 필요하다. 산업재해로 인한 피해를 최소화하고 산업 현장의 안전 확보를 위하여, 기업들은 안전 관리 시스템을 도입한다. 기존의 산업 안전 시스템은 IoT, 빅데이터 등 ICT 기술을 활용해 현장으로부터 데이터를 수집하고 데이터 마이닝 혹은 빅데이터 분석을 통해 사고를 예측하는 데 사용해왔다 [3],[4]. 기존에 사용하는 산업 안전 관리 시스템은, 사업장 및 작업 현장에 설치된 센서로부터 발생한 데이터를 이용해 안전 사고 상황을 감지, 대처하고 과거에 발생한 사고 사례로부터 사고 발생을 예측하는 데 강점을 보인다 [5]. 대한민국에서는 산업안전보건법을 시행하며, 앞서 언급한 안전 관리 체계와 시스템을 사업장 및 현장에 도입하도록 법적으로 의무화하여 관리하고 있다. 하지만, 이런 노력에도 불구하고 여전히 중대재해를 비롯한 안전사고가 끊이지 않으며, 동일 유형의 사고가 반복되다가 사망 사고로까지 이어지는 사례도 나오고 있다. 산업 현장의 안전 확보와 산업재해 및 안전사고 근절을 위해서는 보다 체계적인 안전 관리 시스템이 필요하다.

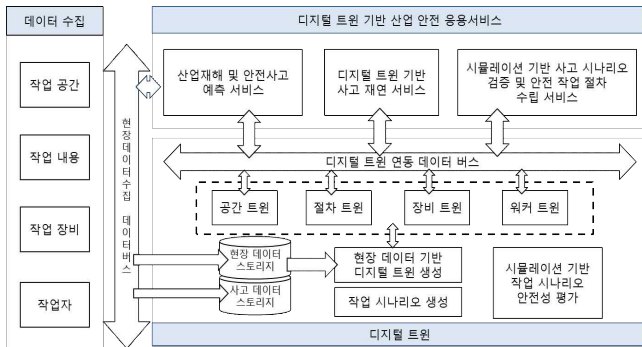
본 논문에서 제안하는 디지털 트윈 기반 산업 안전 관리 플랫폼은, 안전성 분석과 사고 예측을 위해 현장에 설치한 센서로부터 발생하는 데이터 뿐 아니라, 디지털 트윈을 활용해 가상 작업 현장에서 발생하는 데이터를 함께 사용한다. 작업 현장을 구성하는 요소인 작업 공간, 작업 설비, 작업 절차(작업 내용), 작업자 등을 IoT 센서, 카메라 등을 활용해 가상 공간에 구축된 디지털 트윈과 연결하고, 이들과 연결된 디지털 트윈과 플랫폼의 시뮬레이션 도구 등을 활용해 가상 작업 현장에서 작업 시뮬레이션을 수행하며 데이터를 취득한다. 현실에서 물리적 요인 혹은 경제적 요인 등으로 인해 센서 데이터를 얻기 어려운 장소에 대한 데이터는 가상 공간에서 얻을 수 있으며, 현실 세계에 많은 센서를 설치하지 않아도 고해상도 모델을 생성하여 시각화하여 작업 관리자 및 현장 책임자에게 인사이트를 제공할 수 있다. 현실 세계에 대한 모사성이 뛰어난 디지털 트윈 기술을 활용하여, 보다 효과적으로 안전 보장 서비스를 제공하고, 적은 센서를 사용해도 효율적으로 산업 현장 안전성 확보가 가능하다.

다음 장에서는 디지털 트윈 기반 산업 안전 관리 플랫폼의 구조와 기능에 관해 설명한다.

II. 본론

제안하는 방법은 디지털 트윈의 시각화 기능과 예지보전 기능, 현실에 대한 뛰어난 모사성을 활용한다. 물리 시스템에 대한 모사성을 활용하면 현실 세계에 충분히 많은 센서를 설치하기 어려운 경우에도, 고정밀 시뮬레이션을 사용해 데이터를 생성할 수 있다. 데이터 분석을 통한 안전 관리 시스템은 사용자 혹은 작업 책임자에게 제한적인 인사이트를 제공하지만, 3D 시뮬레이션을 사용한 디지털 트윈 기반의 안전 관리 시스템은 직관적

인 정보를 제공해 안전 관리를 위한 결정을 내리는 데 도움을 줄 수 있다. 데이터 분석 역량이 부족한 사람에게는 3D 시뮬레이션을 통해 인사이트를 제공한다. 디지털 트윈과 시뮬레이션 도구를 사용한 예지보전 기능을 통해, 아직 발생하지 않은 사고 시나리오나 작업에 대해 사고 위험 요소를 발굴하고 분석할 수 있다. 또한, 시뮬레이션과 디지털 트윈 모델을 활용해 기존에 발생한 사고 사례를 재현하여 더욱 상세한 분석을 통해 사고의 원인을 명확히 규명하고 대책을 마련해 사고 재발을 막을 수 있다. 사고 요소를 발굴, 사전에 대처하여 산업 현장 안전을 확보하고, 센서를 많이 설치하지 않아도 안전 관리 서비스를 효율적으로 제공할 수 있다.



[그림 1] 디지털 트윈 기반 산업 안전 관리 플랫폼 구조

본 논문에서 제안하는 디지털 트윈 기반 안전 관리 플랫폼의 구조는 그림1과 같다. 디지털 트윈 기반 산업 안전 관리 플랫폼은 현장 데이터 취득 및 처리를 위한 데이터 수집 모듈, 각 디지털 트윈이 실행되는 디지털 트윈 실행 공간, 안전 관리 서비스를 제공하는 디지털 트윈 기반 산업 안전 응용 서비스 모듈로 이루어진다. 현장 데이터 수집은 기존의 산업 안전 관리 시스템과 유사하며, IoT 센서, 카메라(CCTV, 드론 등)를 비롯 각종 센서를 사용해 현장의 데이터를 수집한다. 수집한 데이터는 디지털 트윈 공간으로 전달된다. 현장에서 발생하 데이터는 스토리지에 저장되며, 특히 사고 발생 상황의 데이터는 별도의 사고 데이터 스토리지에 저장한다. 디지털 트윈 실행 공간은 현장 데이터를 이용해 디지털 트윈을 생성하며, 디지털 트윈은 작업 현장 요소에 연결되어 작업 현장 공간을 표현하는 공간 트윈, 작업 내용 및 프로세스를 모사하는 절차 트윈, 작업 설비 및 기계장비와 연결된 장비 트윈, 작업자의 행위 및 상태 정보를 표현하는 워커 트윈으로 나뉜다. 작업 시나리오 생성 모듈은 작업 내용을 기반으로 작업 절차를 생성한다. 시뮬레이션을 통해 생성한 작업 절차를 평가하여 안전성을 검증한다. 디지털 트윈 기반 산업 안전 응용 서비스와 디지털 트윈 실행 공간은 데이터 베이스로 연결되며, 이 데이터 베이스는 이중 디지털 트윈 사이에 대한 연동성과 확장성을 제공한다. 디지털 트윈 응용 서비스에는 현장 요소와 연결된 디지털 트윈을 모니터링하고 현장 데이터를 기반으로 판단하여 산재 사고를 예측하는 산업재해 및 안전사고 예측 서비스, 사고 상황에 대한 상세한 분석을 위한 디지털 트윈과 시뮬레이션 기반의 사고 재현 서비스, 작업 전에 작업 시나리오를 생성, 사고 발생 요인을 발굴하는 사고 시나리오 생성 및 안전 작업 절차 수립 서비스 등이 있다.

III. 결론

본 논문에서는 사업장 및 산업 현장에서 발생하는 산업재해 및 안전사고를 체계적으로 관리하고 사고 발생 전 예방책을 마련하여 사업장 및 작업 현장 안전성 확보를 위한 디지털 트윈 기반 산업 안전 관리 플랫폼에 대해 제안하였다. 제안하는 산업 안전 관리 플랫폼은 현장 데이터 모니터링과 사고

감지 기능, 데이터 기반 안전성 분석과 사고 예측, 작업 현장에 대한 고정밀 3D 모델을 사용한 작업 현장 위험도 시각화 기능, 고정밀 시뮬레이션 기반 사고 상황 재현과 작업 시나리오 생성 및 안전성 검증 기능을 제공한다. 현장에서 사고가 발생하면, 디지털 트윈을 활용한 고정밀 상황 재현을 통해 사고의 원인을 상세히 분석, 규명하여 사고 재발을 방지한다. 나아가, 작업 수행 전에 작업 중에 발생할 수 있는 사고 위험 요소를 발굴하여 선제적으로 대응함으로써, 사고 발생을 사전에 방지하는 데 목적이 있다. 향후 연구로는 현장 데이터를 사용한 디지털 트윈 생성 프로세스에 대한 상세한 설계와 다중 디지털 트윈들이 안전 관리 응용서비스와 어떻게 연계되는지 상세한 설계와 개발을 진행할 계획이다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2022 년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원(No.2022-0-00866, 대규모 확장성 및 고신뢰 분산 시뮬레이션을 지원하는 제2 디지털 트윈 프레임워크 기술 개발)의 지원으로 수행된 연구임

참 고 문 헌

- [1] 고용노동부, "중대재해 감축 로드맵", 2022.
(https://www.moel.go.kr/policy/policydata/view.do?bbs_seq=20221201442).
- [2] 고용노동부, "산업안전보건본부 출범식 개최", 2021
(https://www.moel.go.kr/news/enews/report/enewsView.do?news_seq=12487).
- [3] Im, Seok-Bin, et al. "[III 중점분야] 스마트 안전 통합 관제기술." *Construction Engineering and Management* 21.4 (2020): 16-24.
- [4] Liu, Zimei, et al. "A paradigm of safety management in industry 4.0." *Systems Research and Behavioral Science* 37.4 (2020): 632-645.
- [5] 김충한, et al. "스마트 안전장비를 활용한 건설현장 재해예방 사례 연구." *한국품질경영학회 추계학술발표논문집* 2020 (2020): 117-117.