

디지털 트윈 기반의 시설물 관리를 위한 AI기반의 스마트 관리 플랫폼 설계 연구

김유두*

*동양미래대학교

*kimyudoo@dongyang.ac.kr

Design of an AI-Based Smart Management Platform for Facility Management Using Digital Twin Technology

Yudoo Kim*

*Dongyang Mirae Univ.

요 약

최근 급격한 도시화와 노후화된 사회 기반 시설의 증가로 인해 시설물의 안전하고 효율적인 관리에 대한 수요가 높아지고 있다. 이에 따라 기존의 수동적이고 주기적인 유지관리 방식에서 벗어나, 실시간 데이터 기반의 지능형 관리 시스템 도입이 요구되고 있다. 이에 본 연구에서는 시설물 전주기 스마트 관리 플랫폼 기반으로 단계별 시스템으로 구성하여 단계별 이해관계자 업무에 적용할 수 있는 플랫폼을 설계하는 방안에 대하여 연구를 수행하였다.

I. 서론

급속한 도시화와 복잡한 지하 인프라 구조의 확산으로 인해, 시설물의 효율적이고 안전한 관리의 중요성이 날로 증가하고 있다. 기존의 시설물 관리 방식은 단편적이며 수작업에 의존하는 경우가 많아, 시설물의 생애 주기 전반에 걸친 통합적이고 스마트한 관리의 한계가 지적되어 왔다 [1][2]. 이에 따라, 최신 ICT 기술을 기반으로 한 디지털 트윈(Digital Twin), 인공지능(AI), BIM(Building Information Modeling), 머신비전, QR 코드 기반 추적 시스템, ERP·MES 연계 시스템 등의 첨단 기술을 융합하여 전주기적인 관리 체계를 구현하려는 시도가 활발히 이루어지고 있다 [3-6].

본 연구는 설계부터 자재 생산, 시공, 유지관리에 이르기까지 시설물 관리의 전 생애주기를 통합적으로 지원하는 AI 기반의 스마트 관리 플랫폼을 설계하고, 각 단계별로 적용 가능한 핵심 기술 및 시스템을 제안한다. 특히, 각 단계별 이해관계자들이 수행하는 업무에 최적화된 기능을 중심으로, 자동화, 예측성, 실시간 대응 능력 향상에 중점을 두었다. 이를 통해 지하시설물의 품질, 안전성, 유지관리 효율을 극대화하는 차세대 스마트 인프라 관리 패러다임을 제시하고자 한다.

II. 본론

급변하는 도시 환경과 노후화된 인프라 문제에 효과적으로 대응하기 위해서는 시설물의 전 생애주기를 통합적으로 관리할 수 있는 스마트한 관리 체계가 필수적이다. 본 장에서는 디지털 트윈과 인공지능(AI) 기술을 중심으로 구성된 스마트 관리 플랫폼의 구조와 핵심 기술 요소를 단계별로 분석하고, 각 이해관계자에게 최적화된 기능을 중심으로 실제 적용 방안을 제시하고자 한다. 이를 통해 시설물 관리의 효율성, 예측성, 신뢰성을 향상시킬 수 있는 구체적인 설계 방향을 도출한다.

1. 스마트 관리 플랫폼의 구성 개요

디지털 트윈 기반의 스마트 관리 플랫폼은 시설물의 생애주기 전 단계를 통합적으로 연계하는 구조로 설계된다. 플랫폼은 다음과 같은 4단계 핵심 구성 요소로 나뉜다

1.1 설계 및 계획 단계

BIM을 기반으로 한 3D 시설물 모델링, 시뮬레이션 및 시공성 검토 기능을 제공한다. 설계단계에서 생성된 데이터는 이후 모든 단계에서 핵심 참조 정보로 활용된다.

1.2 자재 생산 및 공급 단계

자재 생산 이력과 품질 정보를 QR 코드 기반으로 추적하며, ERP·MES 시스템과 연계하여 실시간 생산 현황을 파악하고 자재의 적시 공급을 가능하게 한다.

1.3 시공 단계

현장 모니터링을 위한 머신비전 기술, 시공 정확도 자동 검수 기능, 시공 진행 상황의 디지털 트윈 시각화 등을 통해 품질관리 및 공정관리를 지원한다.

1.4 운영 및 유지관리 단계

IoT 센서와 AI 알고리즘을 통해 시설물의 상태 데이터를 수집 및 분석하며, 이상징후 예측, 유지보수 일정 자동 제안 등의 기능을 제공한다.

이러한 구성은 각 단계별 데이터가 상호 연계되는 구조로 설계되어, 시설물의 라이프사이클 전체에 걸쳐 통합적이고 연속적인 관리가 가능하도록 한다.

2. 주요 기술 요소 및 기능

2.1 디지털 트윈

디지털 트윈은 물리적 시설물과 동일한 가상 모델을 통해 실시간 데이터를 동기화하고 시각화함으로써, 설계-시공-운영 간 데이터 단절 문제를 해소한다. 실제 시설물의 상태 변화가 디지털 트윈 모델에 즉각 반영되어 문제 탐지, 예측 유지보수, 긴급 대응에 유리하다.

2.2 인공지능(AI)

AI는 수집된 센서 데이터를 분석하여 시설물의 구조적 이상, 침하, 누수, 균열 등 다양한 상태를 자동으로 탐지하고 예측한다. 딥러닝 기반의 이상 패턴 탐지, 강화학습 기반 유지관리 최적화, 자연어 기반 현장 보고 자동화 등 다양한 기술이 활용될 수 있다.

2.3 BIM (Building Information Modeling)

BIM은 시설물의 정밀한 3차원 정보와 속성을 기반으로, 설계 충돌 분석, 자재 산출, 시공 계획 수립, 유지보수 정보 저장 등 다양한 기능을 제공한다. 특히 공정 시뮬레이션과 시설물 전체에 대한 종합적인 이해를 통해 관리 효율성을 향상시킨다.

2.4 QR 코드 및 생산 이력 추적

자재에 부착된 QR 코드를 통해 생산자, 제조일, 품질검사 결과, 공급 이력 등을 조회할 수 있으며, 이는 시공 현장에서의 자재 신뢰성과 품질 관리를 높인다. 또한 ERP·MES 시스템과 연계함으로써 생산 및 공급 체계를 디지털화하고 자동화할 수 있다.

2.5 머신비전 기반 시공 검사

시공 중 설치된 시설물의 위치, 방향, 치수 등을 실시간으로 인식하여 설계 정보와 자동 비교함으로써 시공 정확도를 향상시킨다. 카메라 영상 분석을 통해 균열 여부, 설치 누락 등을 자동 검출하는 것도 가능하다.

3. 단계별 이해관계자 중심 기능 설계

스마트 관리 플랫폼은 다양한 이해관계자들의 역할에 맞춘 맞춤형 기능을 제공함으로써 실질적인 업무 지원을 가능하게 한다.

표 1. 시스템의 역할 구성

역할	기능
설계자	BIM 기반 도면 검토 및 시뮬레이션, 설계 변경 자동 추적 시공사 및 현장 관리자: 자재 관리, 시공 상태 실시간 모니터링, 시공 오류 자동 감지
공공기관 및 발주처	시설물 상태 실시간 확인, 유지보수 계획 수립 지원, 품질 인증 이력 확인
유지 관리자	AI 기반 이상징후 알림, 유지보수 이력 관리, 실시간 상황 대응 지원

각 사용자별 인터페이스(UI)는 역할 중심으로 구성되어 있어 정보 과부하를 방지하고, 사용자 경험(UX)을 향상시키는 데 초점을 맞추어 설계한다.

III. 결론

본 연구에서는 디지털 트윈과 인공지능(AI)을 중심으로 한 스마트 관리 플랫폼을 통해 시설물의 전 생애주기를 통합적으로 관리할 수 있는 체계를 제안하였다. 제안된 플랫폼은 설계, 자재 생산, 시공, 유지관리의 전 과정에서 다양한 첨단 기술을 융합하여 자동화, 예측성, 실시간 대응 역량을 강화한다.

이를 통해 관리의 효율성은 물론, 시설물 안전성과 업무 투명성을 획기적으로 향상시킬 수 있으며, 데이터 기반의 지속가능한 인프라 운영이 가능해진다. 특히, 중복 작업의 제거, 실시간 상태 감시 및 이상 징후 조기 경고, 품질 이력의 체계적 관리 등을 통해 유지보수 비용을 절감하고, 인적

오류를 최소화할 수 있다.

또한, 제안된 플랫폼은 지하시설물뿐 아니라 도로, 교량, 상하수도 등 다양한 인프라로의 확장 적용이 가능하며, 향후 스마트시티 구현의 기반 기술로서의 활용 가능성도 높다. 앞으로는 실제 현장 적용을 통한 실효성 검증과 함께, 사용자 경험(UX) 향상 및 법제도적 연계 방안에 대한 후속 연구가 필요할 것이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 2025년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국산업기술포럼협회의 협력·융합 과학기술사업화 촉진지원사업을 통해 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] Huang, M. (2022). BIM for underground stations: Supporting decision making on lifecycle stages [Master's thesis, Monash University]. Monash University Research Repository.
- [2] Sepasgozar, S. M. E., Khan, A. A., Smith, K., & Romero, J. G. (2023). BIM and digital twin for developing convergence technologies as future of digital construction. Buildings, 13(2), 441.
- [3] Agostinelli, S. (2024). Optimization and management of microgrids in the built environment based on intelligent digital twins [Doctoral dissertation, Sapienza University of Rome]. Uniroma1 Repository.
- [4] Wang, L., Teng, D., Jin, R., Guo, X., & Meng, X. (2025). The development of prefabricated buildings and intelligent construction based on digital twins. Journal of Intelligent Construction.
- [5] Hu, W., Zhang, T., Deng, X., Liu, Z., & Tan, J. (2021). Digital twin: A state-of-the-art review of its enabling technologies, applications and challenges. Journal of Intelligent Manufacturing and Special Equipment, 13(1), 12 - 34.
- [6] Venter, J. (2019). Leadership capabilities and opportunity realisation in the Fourth Industrial Revolution [Doctoral dissertation, University of Johannesburg]. UJ Institutional Repository.