

특집 02

SOC 디지털트윈(Digital Twin) 국내외 동향

길흥배 | 한국도로공사 도로교통연구원 ICT융합연구실장

1. 서론

디지털 트윈(Digital Twin)은 일반적으로 3D 디지털 모델을 기반으로 현실 세계의 물리적 객체(자산, 시설물, 프로세스, 시스템 등)와 정해진 주기와 정확도로 동기화되는 가상 세계의 디지털 복제(쌍둥이)를 의미한다. 2002년에 미국의 Grieves 박사¹⁾에 의해 개념이 제안된 디지털 트윈은 초반에는 항공우주산업을 중심으로 적용되기 시작하였다. Grieves는 디지털 트윈의 주요 구성요소를 물리적 객체, 가상 객체, 물리적 객체와 가상 객체를 연결시키는 데이터 및 정보로 제시하였다. 물리적 객체 혹은 제품의 수명 예측, 신뢰성 향상, 품질 최적화, 유지관리 개선, 데이터 수집 및 융합을 위해 항공기, 발전소, 풍력타워, 원전구조물 등을 중심으로 디지털 트윈이 적용되고 있으며, 도로 및 교량과 같은 사회기반시설과 스마트시티에도 디지털 트

윈 도입이 다양하게 시도되고 있다. 2018년과 2019년에는 세계적인 기술 컨설팅 업체인 Gartner社²⁾가 디지털 트윈을 10개의 혁신적인 기술로 선정하였으며, 근시일 내로 수십조의 사물(things)에 디지털 트윈이 구축될 것으로 예상하였다. 최근에는 인공지능(AI), 기계학습(ML), 사물인터넷(Internet of Things, IoT), 증강현실 및 가상현실 (Augmented Reality/Virtual Reality), 클라우드 등의 관련 기술 발전이 활발하게 이루어지고 있으며, 디지털 트윈과 융·복합되고 있다. 복잡도 혹은 성숙도에 따라 디지털 트윈은 다음과 같이 5단계로 분류할 수 있다³⁾:

- 01 묘사적인(Descriptive) 디지털 트윈(데이터의 수집 및 표출)
- 02 정보적인(Informative) 디지털 트윈(정보를 데이터로 변환하여 통찰력 확보)

- 03 예측적인(Predictive) 디지털 트윈(실시간 데이터를 활용하여 미래 상태 예측)
- 04 통합적인(Comprehensive) 디지털 트윈(1~3 단계를 종합하여 문제를 예방하고 개선된 결과 도출을 위한 개입[intervention] 제안)
- 05 자율적이고 연결된(Autonomous & Connected) 디지털 트윈(AI, 기계학습 등을 이용하여 인간개입의 최소화)

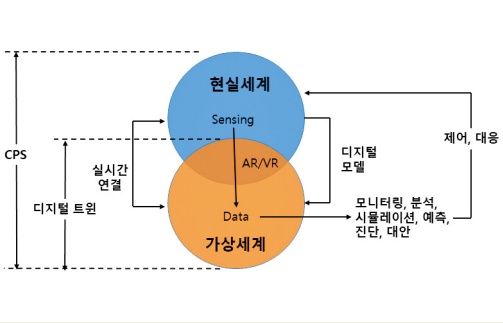


그림 1. 디지털 트윈 개념도

2. 사회기반시설의 디지털 트윈

도로, 철도, 댐과 같은 사회기반시설(SOC)의 설계부터 유지관리까지 생애주기 각 단계에 걸쳐 디지털 모델이나 디지털 트윈을 활용하기 위한 다양한 프로젝트가 진행되고 있다. 특히 SOC의 설계 및 건설을 위한 BIM(Building Information Modeling) 도입에 따라 3차원 디지털 모델이 구축되고, 유지관리 단계에서는 이들 디지털 모델을 이용할 경우 디지털 트윈의 구축이 용이한 장점도 갖고 있다. 그러나 BIM과 디지털 트윈은 다음과 같은 차별성⁴⁾을 갖고 있다.

BIM	디지털 트윈
정적 데이터	정적 및 동적 데이터
데이터로 구성	물리적인 객체의 거동을 설명하기 위한 데이터와 알고리즘 포함
네트워크 연결성 없음	네트워크 연결 가능
수동개입 없이는 갱신(Update) 불가	물리적인 객체와 상시적으로 연결되어있으며 갱신됨
실시간 운영 모니터링을 위한 고려 없음	실시간 데이터가 공급됨

사회기반시설의 디지털 트윈은 다음과 같이 각 생애주기 단계별로 구축 및 활용 가능하지만, 현재는 주로 운영 및 유지관리 단계에서의 활용에 초점이 맞추어져 있다.

- 설계 : 다양한 설계 모델(기본 설계, 경관 설계, 구조 설계 등)의 융합을 통해 설계 최적화, 재설계, 성능평가 및 장애 요인 사전 해결
- 건설 : 4D BIM 모델(3D 디지털모델+공정)과 실제 건설 현장과의 실시간 연동을 통해 효율적인 공정, 자재 및 장비관리와 안전 모니터링
- 유지관리: 디지털 트윈 관련 연구개발이 가장 활발한 분야로, 설계 및 건설 관련 정보와 IoT를 활용한 실시간 데이터의 연동을 통해 시설물의 상태 파악 및 운영 최적화, 예방적 유지관리 가능. 설계 및 건설 BIM 모델이 없는 시설물은 DSM(Digital Surface Model)이나 역설계 등을 활용해 준공(As-built) 디지털 모델을 구축하여 유지관리 디지털 트윈으로 활용

1) Michael Grieves, "Origins of the Digital Twin Concept", Florida Institute of Technology, 2016
2) Gartner, "Top 10 Strategic Technology Trends for 2018", 2017, 10
3) Royal Institution of Chartered Surveyors, "Digital twins from design to handover of constructed assets", 2022

4) Mahmoodian, M.;Shahrivar, F.; Setunge, S.; Mazaheri, S., "Development of Digital Twin for Intelligent Maintenance of Civil Infrastructure, Sustainability 2022, 14, 8664.

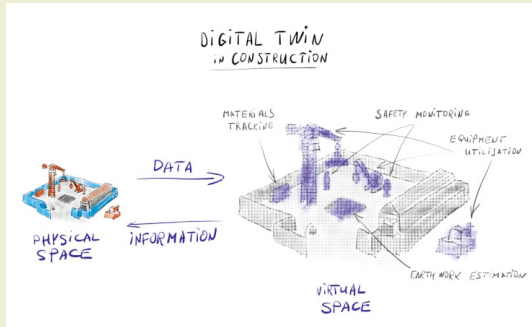


그림 2. 건설 디지털 트윈 개념⁵⁾

3. 해외 동향

CAD 및 BIM 솔루션 업체인 미국의 Autodesk, Bentley 등은 시설물 및 건축물의 생애주기 관리에 디지털 트윈 적용 활성화를 위해 2020년에 Digital Twin Consortium⁶⁾을 조직했으며, 디지털 트윈 플랫폼(Autodesk Tandem, Bentley iTwin) 출시와 함께 IoT 센서를 통해 측정된 빅데이터 관리를 위해 Amazon, Microsoft 등의 클라우드 컴퓨팅 서비스 업체와 연계된 서비스를 제공하고 있다. BIM의 IFC(Industry Foundation Class) 기준을 관리하는 기구인 bulidingSMART International(bSI)은 빌딩과 인프라 분야에 디지털 트윈의 적용 확대와 최적의 성과 도출을 모색하는 Digital Twin Working Group⁷⁾을 운영 중이다.

미국의 연방도로청(FHWA)은 2020년 11월에 발표한 향후의 6대 혁신과제⁸⁾ 중 하나로 시설물의 유지

관리 및 자산관리를 위해 디지털 트윈 구축을 선정하였다. Utah주 도로국(DOT)은 연방도로청의 예산 지원을 받아 디지털 기반으로 유지관리 시에 필요한 건설 관련 정보를 식별하기 위한 프로젝트를 시작하였다. 궁극적으로는 UDOT가 관리하는 각종 자산의 디지털 트윈을 구축하여 이력 정보와 현황 등을 관리하고 의사결정에 활용하는 것을 목적으로 하고 있다⁹⁾. 2021년 말에 통과된 미국의 인프라 투자법안(Infrastructure Investment and Jobs Act)은 디지털 건설 관리시스템과 기술개발 예산을 포함하고 있으며, 3D 모델링과 디지털 트윈 관련 기술 개발 분야에도 투자가 이루어질 것으로 예상된다¹⁰⁾. 영국은 University of Cambridge와 정부(Department of Business, Energy and Industrial Strategy)의 협업을 통해 사회기반시설과 건설 산업의 디지털 전환을 위한 National Digital Twin programme(NDTp)을 2018년부터 시작하였으며, 관련 전문가와 이해당사자들 간의 교류협력을 위한 Digital Twin Hub(digitaltwinhub.co.uk)를 운영 중이다. 런던의 대중교통과 주요 도로를 운영 중인 Transport for London(TfL)은 올해 1월부터 런던 지하철(London Underground)의 디지털 트윈 구축 프로젝트¹¹⁾를 시작하였다. 터널과 레일을 모니터링하고 지하철의 소음 수준, 열(heat) 수준, 탄소 배출 데이터를 수집하는 것을 주목적으로 하고 있다.

독일에서는 “SmartBRIDGE Hamburg”¹²⁾ 프로젝



그림 3. Köhlbrand Bridge 전경 (출처: HPA AöR & MKP GmbH*)

* <https://www.hamburg-port-authority.de/en/themenseiten/the-new-koehlbrand-crossing>

트를 통해 Hamburg 항구에 위치한 Köhlbrand Bridge의 디지털 트윈이 2020년부터 운영되고 있다. Köhlbrand Bridge는 Hamburg 항구의 기능 유지에 필수적인 교량으로 1974년에 건설되었으며 사장교 구간(연장: 520m)을 포함하여 전체 길이는 3.6km이다. 교량이 노후화되고 교통량(36,000대/일)이 증가함에 따라 교량의 안전성을 실시간으로 확인하고 예방적(predictive) 유지

관리를 위해 준공(As-built) BIM 모델, 500여 개의 센서를 활용한 IoT 기반 모니터링 시스템, 점검 및 유지관리 데이터 등으로 구성된 디지털트윈이 구축되었다.

노르웨이의 공공도로청(Norway Public Road Administration, NPRA)은 80년 된 Stavå Bridge의 안전모니터링을 위해 디지털 트윈을 구축하였다. 2020년 4월에 Stavå Bridge에 설치된



그림 4. Köhlbrand Bridge 디지털 트윈 화면 (출처: smartBRIDGE Hamburg*)

* <https://future.hamburg/en/artikel/smartbridge-hamburg-communicative-bridge-tomorrow>

5) <https://www.intellectsoft.net/blog/advanced-imaging-algorithms-for-digital-twin-reconstruction>

6) <https://www.digitaltwinconsortium.org/>

7) buildingSMART International, "Enabling an Ecosystem of Digital Twins", 2020

8) <https://highways.dot.gov/newsroom/fhwa-announces-support-seven-innovations-nation-move>

9) Federal Highway Administration, Innovator, Issue 86, Vol. 15, FHWA-21-CAI22, 2021

10) <https://www.constructiondive.com/news/construction-tech-praise-110-million-infrastructure-bill-push-for-more/610126/>

11) <https://www.newcivilengineer.com/latest/tfl-to-create-digital-twin-of-london-underground-to-monitor-track-and-tunnels-11-01-2022/>

12) Wener, M., Meyer-Westphal, M., Herbraud, M., Ullerich, C., "The Concept of Digital Twin to Revolutionize Infrastructure Maintenance: the Pilot Project smartBridge Hamburg", 27th ITS World Congress, Germany, 2021

디지털 트윈의 IoT 센서에서 기준치를 초과하는 값이 측정되어, 교량 차량을 통제하고 구조적인 손상을 발견한 사례가 있다¹³⁾.



그림 5. Stava Bridge 전경 및 디지털 트윈 (출처: NPRA)

4. 국내 동향

SOC의 건설 및 관리를 담당하는 국가기관, 지자체, 공공기관을 중심으로 디지털 트윈을 활성화하기 위한 연구개발과 시범 사업 등이 다양하게 진행되고 있다. 2021년 9월에 발표된 정부의 ‘디지털 트윈 활성화 전략’에 따르면 디지털 트윈은 디지털 전환을 위한 핵심 기술로 도시·산업 혁신, 안전 등 다양한 분야에 적용할 수 있으며, 정부 차원의 구체적이고 체계적인 발전 계획의 수립이 필요한 것으로 제시되어 있다. 국토교통부는 3D 지도 기반의 ‘디지털 트윈국토’, ‘정밀도로지도’ 구축 등의 디지털 트윈과 관련된 공간정보구축 사업을 추진 중이다. ‘디지털 트윈국토’는 실제와 동일한 가상 국토를 3차원 모델로 구현한 것을 의미하며, 1차 시범 사업을 완료하였으며 지자체를 대상으로 2차 시범 사업을 진행 중이다. 도로 관련 시범사업으로는 경북 울진군의 ‘디지털트윈 기반 해안도로 침하예측 시스템 구축’이 선정되었다. ‘정밀도로지도’는 자율

주행차가 자신의 위치, 경로 설정·변경, 도로·교통 규제 등을 미리 인지하도록 해주는 자율주행 기본 인프라를 의미한다. 2022년 9월에 발표된 국토교통부의 ‘모빌리티 혁신 로드맵’에서는 전국 주요 도로 및 도심지역을 대상으로 고정밀 도로지도를 단계적으로 구축하고, 터널·교량 등 시설물의 3차원 고정밀 입체지도 구축을 병행하여 디지털 트윈을 구현하는 방안을 제시하였다.

과학기술정보통신부 및 한국지능정보사회진흥원(NIA)에서는 ‘5G 기반 디지털트윈 공공선도 사업’의 일환으로 ‘디지털트윈 항만물류 플랫폼 구축사업’을 추진하였으며, 디지털트윈을 통한 공공시설물의 안전관리 실증을 위해 정부 및 지자체의 공공시설물을 대상으로 ‘5G 기반 디지털 트윈 시설물 안전 실증’ 과제를 진행 중이다. 또한 디지털 트윈을 활용한 사회 기반시설의 운영 효율성 제고 및 안전 강화를 위한 ‘국가 인프라 지능정보화’ 사업도 추진 중이다. 2023년 3월에는 케이블 교량을 대상으로 한 ‘2023년 기반시설 디지털 트윈 확산(대형 교량 안전 및 유지관리)’ 사업을 발주하였으며, 2023년 말까지 교량 상태평가, 위험도 관리, 선제적 유지관리 등을 위한 디지털 트윈을 구축할 예정이다.

한국수자원공사는 물관리 및 댐과 관련된 디지털트윈 사업을 활발하게 추진 중이다. 댐과 하천의 실시간 기상 및 수문 데이터 등을 연계한 디지털트윈 기반의 물관리 플랫폼인 ‘Digital GARAM+’(디지털가람플러스)를 섬진강 유역 대상으로 시범 구축하였으며, 실시간 지능형 감시 및 드론 기반 안전 점검 기능이 탑재된 ‘스마트 댐 안전관리시스템’도 개발 중이다. 국토교통부로부터 디지털 트윈국토

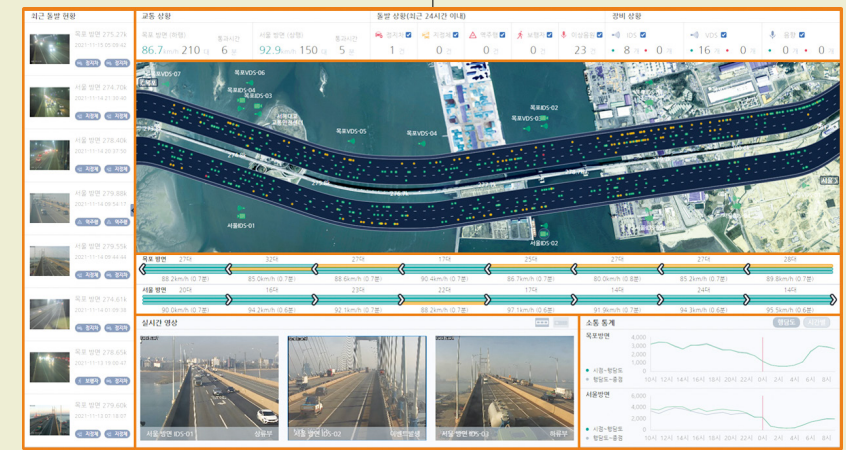


그림 6. 서해대교 디지털 트윈 플랫폼

시범사업 관리기관으로 지정된 LX공사는 지자체 행정 정책 의사결정 지원을 위한 도시단위의 디지털트윈 플랫폼을 공개하였다. 이 플랫폼은 도시 단위 디지털 트윈 모델을 활용해 3차원 지형분석 서비스, 실시간 건물 모니터링, 드론 비행 시뮬레이션 등의 기능이 있다.

한국도로공사에서도 다양하게 디지털 모델과 디지털 트윈을 활용하려는 시도가 이루어지고 있다. 디지털고속도로추진단은 ‘디지털 시범지사’ 도입 추진 등의 고속도로 디지털화를 추진 중이며, ‘4차 산업기반 ICT 프로세스 및 기술로드맵’의 주요 실행과제로 디지털 트윈 기반 유지관리를 제시하였다. 설계처에서는 2020년부터 동광주~광산 고속도로 확장구간의 기존도로와 신설도로를 대상으로 BIM 기반 디지털모델 시범 구축사업을 수행하였다. 기존도로는 정밀도로지도를 기본으로 구조물의 역설계를 통해 디지털 모델을 구축하고 신설도로는 유지관리를 고려한 BIM 모델을 구축하는 것으로 추진되었다. ITS처에서는 서해대교를 대상으로 레이더검지기 기반의 디지털트윈

플랫폼을 구축하였으며, 이 플랫폼을 통해 교통상황을 모니터링하고 있다.

5. 시사점

실물 객체, 디지털 모델, 사물인터넷(IoT), AI 및 기계학습, 빅데이터의 융합을 통해 건설 및 유지관리 비용을 절감하고, 상태에 대한 이해도를 증진하는 것이 디지털 트윈의 기본적인 목적이다. 성공적인 디지털 트윈의 개발 및 활용을 위해서는 정확한 물리적 객체, 디지털 복제 혹은 모델, 실물 객체와 디지털 모델의 연결 시스템이 기본적으로 필요하다. 그러나 SOC 분야의 디지털 트윈 인식 및 활용 관련한 국내외 조사 결과¹⁴⁾에 따르면 실물 객체의 ‘디지털 모델’을 ‘디지털 트윈’으로 이해하는 경우도 많은 것으로 판단된다. 고도화된 디지털 트윈의 개발에 상당한 예산이 소요되는 것을 고려하여 도입 초기에는 중요 시설물의 유지관리 위주의 선도 실증 사업을 통하여 효율성 등을 검증하는 것이 필요할 것으로 판단된다. 🇰🇷

13) <https://news.sap.com/2021/10/npra-bridge-distress-warning-iot-sensor>

14) Gautam, B., “Adoption and Implementation of Digital Twin in the Construction Industry”, University of Washington, 2022