교통 분야 디지털트윈 기술 현황 및 활용 방안

박세현 KICT 건설시험인증본부 수석연구원

들어가며

교통은 국민의 일상과 가장 밀접하게 맞닿아 있는 분야 중 하나이다. 교통사고와 교통혼잡, 환경문제 등 교통 분야에서 발생하는 다양한 문제들은 국민의 안전과 이동 편의에 직접적인 영향을 미친다. 이러한 교통문제를 해결하기 위해서는 인프라 구축을 위한 자본과 시간, 사회적 합의를 이끌어내기 위한 설득 과정 등 상당한 사회적 비용이 수반되며, 이로 인해 실제 실행에 앞서 충분한 검증 과정이 요구된다. 이를 위해 교통 분야에서는 전통적으로 시뮬레이션 기법을 활용하여 다양한 문제 해결 방안을 모색해 왔다. 도로와 철도 등 비교적 명확한 인프라 체계를 중심으로 교통 문제가 형성되던 시기에는, 교통 현상을 가상에 모사하고 예측하는 데 있어 일정 수준의 한정된 변수만을 고려하는 것으로도 의미 있는 분석이 가능했다.

그러나 최근 기술의 변화는 교통 문제의 양상을 빠르게 변화시키고 있다. 우버와 같은 플랫폼 기반 이동 서비스나 전동킥보드로 대표되는 공유서비스의 확산은 교통 행태를 다양화시키는 동시에, 기존에 고려하지 않았던 새로운 문제를 만들어 내고 있다. 이러한 변화는 교통문제의 복잡성을 더욱 높이고 있다.

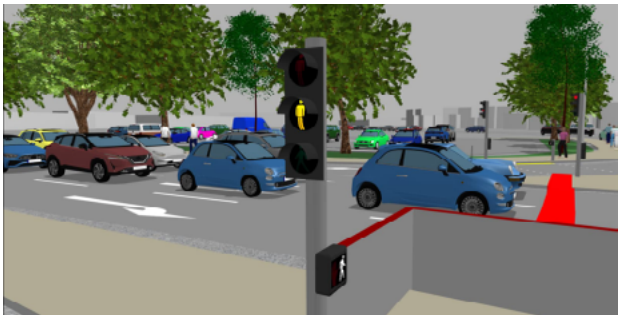
더 나아가 자율주행, MaaS(Mobility as a Service)[1], UAM(Urban Air Mobility)[2]과 같은 새로운 패러다임은 앞으로의 교통문제를 한층 더 복합하게 만들 것으로 예상된다. 이에 따라 시뮬레이션 역시 보다 현실을 정밀하게 반영하고, 다양한 상황을 종합적으로 고려할 수 있는 방향으로 고도화되어야 한다.

이러한 흐름 속에서 디지털트윈(Digital Twin) 기술은 교통 분야에서 주목받는 기술 중 하나로 자리 잡고 있다. 디지털트윈은 현실의 교통 환경을 가상 공간에 구현하고, 다양한 데이터를 연계하여 교통 상황을 보다 입체적으로 이해할 수 있도록 돕는 기술이다. 최근에는 실시간 데이터와 인공지능 기술이 결합되면서, 단순한 시각화를 넘어 교통 운영과 의사결정을 지원하는 도구로 활용 범위가 점차 확대되고 있다. 본 글에서는 교통 분야 디지털트윈 기술의 관련 동향과 사례를 살펴보고, 활용 가능성과 향후 방향에 대해 살펴보고자 한다.

1 하나의 앱에서 다양한 교통수단과 서비스를 검색·예약·결제할 수 있는 플랫폼 기술(K-패스, 기후동행카드, 카카오모빌리티, 티맵 등이 MaaS 개념을 활용한 대표적인 예시)

2 도심에서 사람이나 화물을 운송하는 항공교통 수단 및 체계

[그림 1] 교통 시뮬레이션 사례(출처: PTV GROUP 블로그)



디지털트윈 기술 현황

디지털트윈은 현실 세계의 객체와 환경을 가상 공간에 동일하게 구현하고, 이를 통해 상태를 모니터링하거나 미래 변화를 예측 및 분석하는 기술로 정의된다. 초기에는 제조·플랜트 분야를 중심으로 활용되어 왔으나, 최근에는 도시·교통·인프라 전반으로 적용 범위가 빠르게 확장되고 있다. 특히 교통 분야에서는 교통 안전, 혼잡 완화, 유지관리 효율화 등 복합적인 문제를 다루는 핵심 도구로 주목받고 있다(길흥배, 2023; 연치형, 2023; 유재두, 2022).

싱가포르는 디지털트윈을 실시간 데이터와 3D/GIS 모델, AI 분석의 통합 플랫폼으로 활용하여 도시 인프라 전반의 운영성과 최적화를 도모하고 있다(AEC Technical, 2025). 핀란드 헬싱키에서는 다양한 데이터를 통합해 가상 공간에 재현하고 교통 흐름, 보행자, 자전거를 포함한 디지털트윈을 개발하여 교통 예측 및 도시 계획에 활용하고 있다(Jokiniemi, 2022). 미국 뉴욕에서는 스마트 카메라와 센서 데이터를 활용해 디지털트윈 형태의 도시 교통 모델을 구축하고, 이를 기반으로 실시간 신호제어 및 교통 흐름 분석을 위한 네트워크 적응 신호 제어 시스템을 개발하고 있다(Robert L. Reid, 2022).

디지털트윈은 최근 들어 새로운 개념으로 인식되고 있으나, 이를 구성하는 기반 기술 자체는 이미 오래전부터 교통 분야에서 활용되어 왔다. EMME4, VISSIM, SUMO와 같은 교통 시뮬레이션 도구들은 도로 구조, 신호 운영, 교통 수요를 가상의 환경에 구현하여 차량과 보행자의 이동을 모사하고, 이를 통해 다양한 교통 문제를 분석하는 데 활용되어 왔다. 다만, 전통적인 시뮬레이션은 특정 시점과 조건을 가정한 오프라인 분석에 기반한다는 점에서, 현실 교통 환경의 지속적인 변화와 즉각적인 운영 의사결정을 반영하는 데에는 한계를 가진다.

이와 달리 교통 디지털트윈은 다음의 세 가지 측면에서 기존 교통 시뮬레이션을 한 단계 고도화한 개념으로 이해할 수 있다. 첫째는 실시간성이다. 디지털트윈은 IoT 센서, CCTV, 차량 검지기, 신호 정보 등 현장에서 수집되는 데이터를 가상 모델에 지속적으로 반영함으로써, 현실 교통 시스템과 동기화된 상태를 유지한다(Dasgupta et al., 2021; UK Parliamentary Office of Science and Technology, 2021). 이러한 구조는 기존 오프라인 시뮬레이션과 달리, 변화하는 교통 상황에 대한 즉각적인 모니터링과 예측 기반 운영을 가능하게 한다.

두 번째는 미시적 분석부터 거시적 정책 분석까지를 하나의 환경에서 수행할 수 있는 다층성이다. 디지털트윈은 개별 도로 수준의 미시적 교통 흐름 분석과 도시 단위의 거시적 정책 효과 평가를 통합적으로 수행할 수 있다(Nag et al., 2025). 이는 기존처럼 분석 목적에 따라 서로 다른 시뮬레이션 도구를 분리해 사용하는 방식에서 벗어나, 교통 문제를 보다 일관된 구조로 이해하고 해석할 수 있도록 한다.

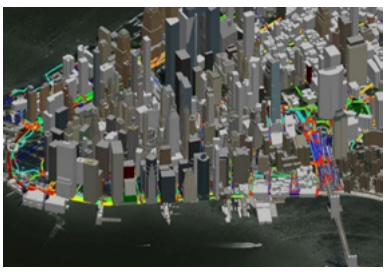
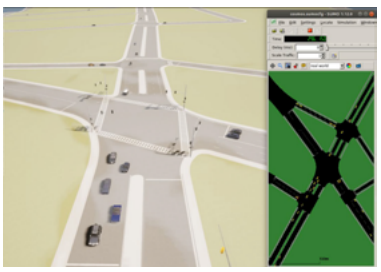
세 번째는 교통을 넘어 도시·환경·안전 등 타 분야와 연계 가능한 융합적 확장성이다. 교통 디지털트윈은 도시공간 정보, 환경 정보, 재난·안전 정보 등과 결합될 수 있으며, 스마트도시 통합 플랫폼의 핵심 구성 요소로 기능할 수 있다(국토교통부·국토연구원·스마트도시협회, 2024).

이러한 확장성은 교통 문제를 단일 분야의 문제가 아닌, 도시 시스템 전반의 맥락 속에서 분석하고 대응할 수 있는 기반을 제공한다.

향후 디지털트윈 활용 방안

교통 분야에서 디지털트윈은 실시간 데이터와 인공지능 기술을 결합함으로써, 기존 교통 시뮬레이션이 갖는 정적 분석 중심의 한계를 보완하는 운영형 분석 도구로 활용될 수 있다. 특히 실시간성을 기반으로 현실 교통 상황과 동기화된 상태에서 교통 흐름을 분석할 수 있다는 점은, 돌발 상황 대응과 정책 효과의 즉각적 검증을 가능하게 한다. 대규모 교통 데이터가 축적됨에 따라 디지털트윈은 단순한 교통량

[그림 2] 싱가포르, 핀란드 헬싱키, 미국 뉴욕의 디지털 트윈 구축 사례(출처: Amusement Logic; Gulf Business; FHWA)

예측을 넘어 사고 위험도 분석, 이상 상황 탐지, 대안별 성과 비교 등 보다 고차원적인 의사결정을 지원하는 플랫폼으로 발전할 수 있다.

또한 디지털트윈은 미시적 분석부터 거시적 분석까지를 하나의 가상 환경에서 수행할 수 있는 구조를 갖춤으로써, 앞으로 도래할 혁신적 교통 환경 변화에 효과적으로 대응할 수 있다. 자율주행 기술과 같은 파급력 높은 변화는 도로 위 차량 간 상호작용과 같은 미시적 변화뿐 아니라, 자율주행 택시 등 새로운 교통수단의 확산에 따른 거시적 수요 구조의 변화를 동시에 초래할 것으로 예상된다. 이러한 상황에서 디지털트윈은 자율주행 차량과 일반 차량이 혼재하는 환경을 가상 공간에 재현하고, 보급률 변화, 전용 차로 운영, 신호 제어 전략 조정 등에 따른 교통 흐름과 안전성의 변화를 단계적으로 분석할 수 있다. 이를 통해 정책 대안을 보다 체계적으로 비교·검증하는 기반을 제공한다.

더 나아가 디지털트윈은 교통을 넘어 도시·환경·안전 등 타 분야와 연계될 수 있는 융합적 확장성을 갖는다. MaaS 환경에서는 다양한 교통수단이 하나의 플랫폼에서 연계되면서 특정 환승 거점과 모빌리티 허브에 교통 수요가 집중될 가능성이 높으며, UAM 버티포트의 도입은 지상 교통 체계에 새로운 접근 교통 수요를 발생시킬 수 있다. 디지털트윈은 이러한 변화가 부동산 수요, 인파사고, 대기환경 등 다양한 분야에 미치는 영향을 통합적으로 분석함으로써, 교통 정책을 도시 시스템 전체의 관점에서 검토할 수 있는 기반을 제공한다.

이처럼 교통 디지털트윈은 실시간성, 다층성, 확장성을 바탕으로 미래 교통 환경의 불확실성을 관리하고 정책 대안을 사전에 검증하는 전략적 분석 플랫폼으로 기능할 수 있다. 이는 자율주행, MaaS, UAM 등 교통 패러다임 전환기에 교통 정책과 인프라 계획의 리스크를 줄이고, 보다 합리적이고 단계적인 의사결정을 지원하는 핵심 기술로서 그 활용 가치를 더욱 부각시킨다. **KICT**

참고자료

- 길흥배(2023), "SOC 디지털트윈(Digital Twin) 국내외 동향," 『도로교통』, 제170호, 한국도로공사 도로교통연구원, pp. 30-37, 2023.
- 연치형(2023), "디지털 트윈을 이용한 영국·일본 도로 관리 사례," 『도로정책 Brief』, 제155호, 국토연구원, pp. 1-6, 4월, 2023.
- 유재두(2023), 『교통안전을 위한 디지털 트윈 대책 연구』, 연구보고서, 한국교통안전공단, 2023.
- 박준호(2024), "Transportation AI Technology for Smart Road 1편," 기술 리포트, KT Enterprise, 9월, 2024.
- 국토교통부·국토연구원·스마트도시협회(2024), 『지속가능한 미래로, K-스마트도시』, 사례집, 국토교통부, 2024.
- AEC Technical (2025), "Singapore's Digital Twin Revolution: Reimagining Infrastructure and Asset Management for a Smart Nation," AEC Technical Advisory, July 10, 2025. Available at: https://www.aectechnicalsg.com/singapores-digital-twin-revolution/
- Amusement Logic (2024), "Digital Twins: The Urban Revolution of the 21st Century," Amusement Logic. Available at: https://amusementlogic.com/general-news/digital-twins-the-urban-revolution-of-the-21st-century/
- Dasgupta, D., et al. (2021), "A Conceptual Framework for Digital Twins," IEEE Internet of Things Magazine, Vol. 4, No. 2, pp. 8-13, 2021.
- Federal Highway Administration (FHWA) (2022), Developing Future Traffic Management Systems Using Hybrid Twins, Exploratory Advanced Research Program, U.S. Department of Transportation, Washington, DC, 2022.
- Gulf Business (2024), "A Case Study from Helsinki Seeking Sustainable Solutions Using Digital Twins," Gulf Business. Available at: https://gulfbusiness.com/a-case-study-from-helsinki-seeking-sustainable-solutions-using-digital-twins/
- Jokiniemi (2022), "Helsinki's Digital Twin for Mobility Lays Foundation for Innovations," Forum Virium Helsinki. Available at: https://forumvirium.fi/en/helsinkis-digital-twin-for-mobility-lays-foundation-for-innovations/PTV Group (2025), "From Gridlock to Flow: PTV Vissim Transforms Traffic in Marrakesh," PTV Group Blog, May 22, 2025. Available at:https://blog.ptvgroup.com/en/user-insights/from-gridlock-to-flow-ptv-vissim-transforms-traffic-in-marrakesh/
- PTV Group & Ramboll (2024), "Modelling Dynamic Traffic Management at Luton Airport with PTV Vissim," PTV Group Blog. Available at: https://blog.ptvgroup.com/de/einblicke/modellierung-des-dynamischen-verkehrs managements-am-flughafen-luton-mit-ptv-vissim/
- Reid, R. L. (2022), "In NYC, Digital Twin Project Tackles Traffic," Civil Engineering Magazine, American Society of Civil Engineers, September 2022. Available at: https://www.asce.org/publications-and-news/civil-engineering-source/civil-engineering-magazine/article/2022/09/in-nyc-digital-twin-project-tackles-traffic/
- UK Parliamentary Office of Science and Technology (2021), Digital Twins, POSTnote No. 635, UK Parliament, June 2021.