

스마트 도시 고도화를 위한 디지털 트윈 정책 추진 방향*

김익회**

The Policy Direction for Advancing Smart Cities based on Digital Twin*

Ick-Hoi Kim**

요약 : 본 연구는 디지털 트윈을 기반으로 스마트 도시의 고도화를 위한 정책 추진 방향을 제시한다. 이를 위해 스마트 도시와 디지털 트윈의 개념 및 발전단계들을 검토하고 두 개념과 발전단계들을 융합하여 디지털 트윈 기반 스마트 도시 고도화의 이론적 배경을 제시하였다. 이와 더불어 도시의 디지털 트윈 구현 현황을 국내외 도시들을 통해서 살펴보았으며, 관련 전문가들을 대상으로 개념, 구성 요소별 중요도 및 장애요인 등을 설문하였다. 분석 결과, 도시 디지털 트윈 서비스, 거버넌스, 표준 관련 문제들이 주요 장애요인을 나타냈으며, 장애요인과 관련된 요소들과 더불어 재정, 전문인력, 소프트웨어 기술의 발전이 중요한 것으로 나타났다. 이러한 분석 결과를 토대로 본 연구는 각각 추진되어 온 국내 스마트 도시 정책과 디지털 트윈 정책들을 통합하여 추진하기 위한 방향을 제시하였다.

주요어 : 스마트 도시, 디지털 트윈, 데이터 허브, 플랫폼, 디지털 뉴딜

Abstract : This study presents policy directions for the advancement of smart cities through the utilization of digital twins. It begins by reviewing the concepts and development stages of smart cities and digital twins. The study then provides a theoretical framework for the enhancement of smart cities through digital twins, emphasizing the integration of these two concepts and their developmental phases. Furthermore, the study investigates the current status of digital twin implementations in both domestic and international cities and includes surveys conducted among relevant experts to assess the concepts, the importance of each component, and the hindering factors. The analysis identifies significant obstacles related to urban digital twin services, governance, and standards. Additionally, it highlights the importance of financial resources, professional personnel, and advancements in software technology as crucial factors. Based on these findings, the study suggests directions for integrating and promoting domestic smart city and digital twin policies that have been pursued independently.

Key Words : Smart city, Digital twin, Data hub, Platform, Digital new deal

I. 서론

스마트 도시에 대한 개념 및 정의는 통일된 의견은 없으나, 대체로 정보통신기술을 활용하여 도시문제를 해결하고 시민들의 삶의 질을 향상시키며 지속 가능한 도시를 목

표로 한다는 데에 공통된 인식이 있다(Hollands, 2008; 이희연, 2018; 김익회 등, 2019; 박배균, 2020). 스마트시티 연구 유형과 관련하여 Meijer and Thaens(2021, 노재인 등, 2022에서 재인용)는 기술 낙관론, 신자유주의적 접근, 사회-기술적 이해의 세 가지 유형으로 구분하였다(Meijer

*이 원고는 국토연구원의 연구 “디지털 트윈 기반 스마트시티 고도화 방안(김익회 등, 2022)”의 일부를 바탕으로 작성되었음.

**국토연구원 스마트도시·방재연구센터 연구위원(Research Fellow, Smart City Research & Disaster Prevention Center, Korea Research Institute for Human Settlements, kimikhoi@krihs.re.kr)

and Thaens, 2021; 노재인 등, 2022). 기술낙관론은 도시보다는 정보화 기술에 대한 높은 확산에 초점을 맞추며, 일반적인 스마트도시에 대한 관점이라고 볼 수 있다. 신자유주의적 접근은 기술낙관론과 정부주도의 비판으로 볼 수 있다. 마지막으로 사회-기술적 이해는 이해관계자의 참여와 같은 최근 스마트도시가 추구하는 방향이라고 할 수 있다. 즉 스마트도시에 대한 연구의 추세는 기술중심적 사고와 이를 비판적으로 바라보는 시각으로 크게 구분된다고 볼 수 있다.

하지만 여전히 전반적인 추세로 보았을 때, 스마트 도시에서 중요한 핵심 요소는 정보통신기술의 활용과 융합이며, 이에 따라 스마트 도시의 고도화는 정보통신기술의 발달과 밀접한 관련이 있다. 최근 전 세계적으로 수치자료화(digitization)와 디지털화(digitalization)를 넘어 디지털 기술을 토대로 조직의 변화까지 도모하는 디지털 전환(digital transformation)이 중요한 주제로 부상하고 있으며, 스마트 도시의 고도화도 이러한 맥락에서 이해할 필요가 있다(이정훈·이재혁, 2023; van Bronkhorst and Choi, 2023).

특히, 디지털 트윈은 기술 발전 측면에서 스마트 도시 고도화의 주요 요소로서 자리 잡고 있다. 디지털 트윈은 현실 세계를 모사하여 가상 세계에서 실험을 진행하고 그 결과를 현실 세계에 적용하는 기술이다. 디지털 트윈을 활용하면 새로운 도시 인프라를 현실 세계에 구축하기 전, 가상도시에서 인프라를 구현하고 시뮬레이션을 통해 도시 변화를 예측함으로써 최적화된 도시 계획을 실현할 수 있으며, 현실 도시에서 인프라 구축의 실패 가능성을 낮추고 예산 낭비를 방지할 수 있다. 이와 더불어 효율적인 도시 운영도 가능하다. 이러한 측면에서 도시 국가인 싱가포르 정부는 2014년 ‘스마트 국가(Smart Nation)’ 정책을 추진하면서 핵심 사업으로 디지털 트윈을 도입하였으며, 이후 전 세계적으로 도시의 디지털 트윈 구축이 확산하고 있다.

디지털 트윈 기반 스마트 도시는 데이터 기반 스마트 도시의 연장선상에서 논의될 수 있는데, 데이터 기반 스마트 도시는 지난 문제인 정부에서 스마트 도시를 본격적으로 추진하게 된 계기인 4차 산업혁명의 등장과 밀접한 관련성이 있다. 2016년 Klaus Schwab(2016, 송경진 역, 2016)이 세계 경제 다보스 포럼에서 제시한 4차 산업혁명은 3차 산업혁명의 연장선으로 보는 견해도 존재하지만, 4차 산업혁명은 3차 산업혁명과 달리 정보화 뿐 아니라,

디지털, 물리, 바이오의 기술이 경계를 허물고 확장과 융합된 기술로 정의된다(Schwab, 2016, 송경진 역, 2016). 4차 산업혁명의 등장은 우리 정부의 혁신성장동력 정책으로 이어지게 되고 정부는 13개 혁신성장동력을 선정하게 되며, 스마트 도시는 이들 중 하나로서 선정된다(관계부처 합동, 2018:2). 13개 혁신성장동력들 중 스마트 도시와 밀접한 관련이 있는 빅데이터, 인공지능, 가상증강현실이 가장 핵심 분야라고 할 수 있다. 이와 더불어 스마트 도시가 선정된 이유는 혁신성장동력 산업의 대부분이 도시라는 공간에서 구현되고 실증되어야 하기 때문이다. 즉 스마트 도시는 단순히 도시라는 공간을 넘어서 첨단 기술의 구현과 실증을 위한 공간이며 동시에 혁신성장동력 산업의 한 분야로서 인식되고 있음을 의미한다.

국내 스마트 도시의 발전은 도시 데이터의 수집과 활용에 기반한 서비스를 제공하는 방향으로 이루어져 왔다. 국내 스마트 도시 모델의 전신이라고 할 수 있는 유비쿼터스 도시 구축 시기부터 국내 스마트 도시들은 다양한 센서 및 CCTV를 통해 도시데이터를 수집·가공·활용하고 이를 활용한 서비스를 제공함으로써 안전한 도시의 구현과 효율적 도시 운영에 기여해 왔다. 중앙정부 차원에서도 스마트도시 통합플랫폼 기반 구축 사업을 진행하여 CCTV 영상을 포함한 각종 도시 정보의 융복합을 추진해 왔다(김익희·이재용, 2019). 하지만 유비쿼터스 도시에서의 데이터 수집은 주로 CCTV 영상에만 머물러 있었으며, 도시 데이터를 기반으로 한 의미 있는 서비스의 구축은 미흡했다(김익희·이재용, 2019; 유은정, 2022). 이러한 문제를 해결하기 위해 최근 도시데이터를 수집 및 관리하고 이를 도시 서비스와 연계하기 위한 데이터허브가 개발되었으나, 이를 넘어 도시 데이터의 수집, 저장, 관리뿐 아니라 분석과 시뮬레이션을 포함하는 도시 서비스의 개발과 이를 통합하여 연계하는 플랫폼으로서 디지털 트윈에 기반한 스마트 도시의 고도화에 대한 구체적인 정책 수립과 사업 추진이 필요하다.

데이터 기반 스마트 도시 구현과 디지털 트윈의 구현은 이미 지난 문제인 정부부터 논의되어 왔으나, 국내 스마트 도시 정책과 디지털 트윈 정책은 별개로 진행되어 왔다. 디지털 트윈은 한국판 뉴딜 정책의 10대 대표과제 중 하나로 추진되고 한국판 뉴딜 2.0 ‘디지털 초혁신 프로젝트’ 과제에 포함되었으나(관계부처합동, 2021:1), 스마트 도시 정책과의 연결고리는 미흡했다. 즉 완전히 통합되지 못한 디지털 트윈과 스마트 도시의 정책을 하나로 묶어

도시의 디지털 트윈 구축을 통한 스마트 도시의 고도화와 관련된 중앙정부 차원의 종합적인 정책 수립이 필요하다. 이는 단순히 이전 정부의 정책들을 보완하는 것이 아닌 스마트 도시 정책 한계를 검토하고 극복함으로써 실질적인 디지털 플랫폼으로서 도시 및 국토의 효율적 운영을 위해 디지털 트윈을 구현한다는 점에서 의미가 있다고 할 수 있다.

따라서 본 연구는 스마트 도시와 디지털 트윈의 기존 정책의 문제점을 진단하고, 국내외 스마트 도시들의 디지털 트윈 구축 현황을 파악하였다. 이와 더불어 분석 방법으로서 스마트 도시, 디지털 트윈 전문가들을 대상으로 스마트 도시 고도화를 위해 디지털 트윈을 도입하는 데 있어 장애요소와 중요요소에 대한 의견을 설문하였다. 본 연구는 이러한 기존 연구들에 대한 분석과 설문 결과를 토대로 스마트 도시의 고도화를 위한 디지털 트윈 정책 추진 방향을 제시하였다.

II. 이론적 배경

1. 스마트 도시의 개념과 발전단계

스마트 도시라는 용어의 등장은 1990년대로 거슬러 올라가지만, 주류 논의에 편입된 시기는 2010년 IBM의 스마트 시티 챌린지(Smarter Cities Challenge)가 계기가 되었다(Shipra *et al.*, 2023). 스마트 도시에 대한 명확하게 합의된 정의는 없지만, 일반적으로 정보통신기술(ICT)을 활용하여 도시 문제를 해결하고 효율적 도시 관리 및 운영

을 통해 시민들의 삶의 질 향상시키는 도시로 널리 인식된다(Hollands, 2008; 이재용 등, 2018; 김익희 등, 2019). 이와 같은 정의는 도시의 물리적 인프라보다는 데이터와 애플리케이션 서비스 같은 디지털 인프라의 발전과 밀접한 관련이 있다. 스마트 도시는 뉴어버니즘과 스마트 성장, 기후변화 대응, 4차 산업혁명 대응 등 다양한 관점들이 존재하지만(Vanolo, 2014; 박배균, 2020; European Commission, 2021), 스마트 도시 개념의 근간은 정보통신기술이며, 국내의 경우 4차 산업혁명 기술들을 실현하기 위한 공간으로서 추진된다고 할 수 있다. 즉 스마트 도시의 개념은 단지 살기 좋은 도시 구현이 아닌 정보통신기술을 활용하여 도시 문제를 해결함으로써 더 나은 도시를 구현하는 것이라고 할 수 있다.

이러한 스마트 도시의 발전과 관련하여 Cohen(2015)의 스마트 도시 발전단계를 참고할 필요가 있다(표 1). 그는 스마트 도시의 발전단계를 3단계로 제시하였는데, 기술에 기반한 스마트 도시 구현 단계를 1단계로, 스마트 도시 기술에 기반하여 정책결정자들에 의해 도시 정책들이 하향식으로 추진되는 스마트 도시를 2단계로, 마지막으로 시민 참여에 의한 상향식 의사결정에 기반한 도시 정책 추진 및 운영이 가능한 단계를 3단계로 보고 있다. Cohen의 주장에서 중요한 점은 스마트 도시의 최종 발전단계가 단순히 기술의 발전이 아닌 시민의 참여와 다양한 주체들의 합의에 있다는 점이다(이재용 등, 2021, 김익희 등에서 2022 재인용). 1, 2단계가 기술의 발전에 기반한 스마트 도시의 추진이라고 본다면, 3단계는 최근 논의되고 있는 디지털 기술에 기반하여 조직·사회 문화의 변화를 이끄는 디지털 전환과 맞닿아 있다고 할 수 있다.

표 1. 스마트 도시 발전 단계

구 분	내 용	사 례
Smart Cities 1.0: Technology Driven	- 주요 정보통신업체를 중심으로 첨단기술 기반의 도시 문제 해결 - IBM, CISCO등을 중심으로 글로벌 스마트 도시 컨설팅 및 사업 추진	- IBM, CISCO의 스마트 도시 컨설팅
Smart Cities 2.0: Technology Enabled, City-Led	- 첨단 기술에 대한 신뢰 및 정부 마스터플랜을 기반으로 시의 정책결정자들이 주도하는 스마트 도시 추진 - 하향식 정책 결정	- IBM 지원하의 브라질 리오 데 자네이루의 통합운영센터 등
Smart Cities 3.0: Citizen co-creation	- 시민들이 스마트 도시에 투자자 및 결정자로 참여하며 사람중심, 포용성 등에 대한 개념의 적극적 도입 - 상향식 정책 결정 및 시민참여 기반의 사용자 중심 스마트 도시 실증과 사용자의 합의	- 캐나다 토론토 사이드워크랩의 좌절 - 시민참여 리빙랩 등

출처 : Cohen, 2015; 이재용 등, 2021:21; 김익희 등, 2022:18에서 재인용.

2. 디지털 트윈의 개념과 발전단계

디지털 트윈(Digital Twin) 개념은 NASA가 우주선 개발 과정에서 테스트와 유지보수를 가상 시뮬레이션을 통해 효율적으로 수행하기 위해 시작되었으며, 2000년대 초반 Michael Grieves가 제품 설계 및 생산 분야에서 처음으로 이 용어를 제시한 것으로 알려져 있다(Grieves, 2016; Batty, 2018; Cureton and Dunn, 2021; Goodchild *et al.*, 2024). 이러한 디지털 트윈은 현실 세계의 물리적 객체와 동일한 가상 객체를 통해 현실에서 구현하기 어려운 다양한 시나리오를 미리 예측하고 분석함으로써 미래의 상황에 대비하는 기술로 발전해 왔다(정보통신기획평가원, 2021).

디지털 트윈의 발전 단계에 대한 논의는 다양하지만, 일반적으로 모사(Mirroring), 관제(Monitoring), 모의(Modeling & Simulation), 연합(Federation), 자율(Autonomous)의 단계로 보고 있다(정보통신기획평가원, 2021; 한국전자통신연구원, 2022). 초기 단계에서는 물리적 시스템과 가상 시스템 간의 실시간 데이터 교환과 모사가 이루어지며, 이후 관제 및 모의실험을 통해 시스템의 성능을 분석하고 개선하는 단계로 나아간다. 궁극적으로는 연합 및 자율 단계에서 복수의 디지털 트윈 시스템이 상호작용을 하며, 자율적으로 문제를 해결하는 과정을 가장 이상적인 단계로 보고 있다.

3. 디지털 트윈에 기반한 스마트 도시의 고도화

도시 분야에서 디지털 트윈 적용은 2014년 발표된 싱가포르의 스마트 국가 계획(Singapore's smart nation initiative)을 시초로 볼 수 있다. 이후 디지털 트윈의 도시 적용은 전 세계적으로 확산 중에 있으나, 성공적인 사례를 찾기는 어렵다. 국내의 경우 국토·도시 측면에서는 국토교통부를 중심으로 추진된 “디지털 트윈국토 시범사업”이 있다. 이를 위해 국토교통부(2023)는 디지털 트윈을 “실제 사물을 가상세계에 동일하게 3차원 모델로 구현하고, 시뮬레이션을 기반으로 한 분석, 예측, 최적화 등을 적용하여 다양한 의사결정을 지원하는 기술”로 정의한다. 이 정의는 도시 공간의 입체적 시각화와 시뮬레이션을 통한 예측 가능성의 중요성을 강조하고 있다.

스마트 도시 고도화는 디지털 트윈의 기술적 발전 단계

와 Cohen(2015)이 제시한 스마트 도시 발전단계를 함께 고려할 필요가 있다. 디지털 트윈 발전단계를 토대로 국내 스마트 도시의 발전 흐름을 살펴보면, 현재의 국내 스마트 도시 현황은 CCTV 영상에 기반한 관제 단계에 머물고 있다고 할 수 있다. 1단계 모사 단계와 관련하여, 현재 국내 공간정보는 2차원으로 상당히 세밀한 데이터가 구축되었다고 할 수 있으며, 3차원 데이터로 브이월드가 구축되어 있다. 즉 현실세계의 가상세계로의 외형적·시각적 모사는 어느 정도 수준까지 올라와 있다고 할 수 있다. 다만 실시간 및 정교한 현실 세계의 실질적인 모사는 매우 부족한 실정이라고 할 수 있다. 현실세계의 가상세계로의 모사는 3차원 시각화도 중요하게 다룰 수 있지만, 얼마나 실시간으로 동적인 데이터를 수집하여 분석할 것인가도 현실 세계의 모사 측면에서 생각해 볼 수 있다. 이러한 데이터의 수집과 분석 차원에서 그 결과의 예측성은 디지털 트윈의 스마트 도시 계획·운영 측면에서 중요하기 때문이다.

이러한 디지털 트윈의 발전단계와 Cohen(2015)의 스마트 도시 발전단계를 비교했을 때, 디지털 트윈 발전의 1, 2단계는 스마트 도시 발전의 1단계와 연관된다. 그리고 디지털 트윈의 3단계는 시뮬레이션에 의한 분석 결과를 토대로 정책결정자들을 지원해 준다는 점에서 스마트 도시 발전의 2단계와 연관된다. 한편 스마트 도시 발전의 3단계는 시민 참여가 핵심이라고 할 수 있는데, 디지털 트윈이 가상공간에서 다양한 도시 주체들이 모여서 함께 혁신적인 아이디어로 도시 문제를 해결해 나가는 플랫폼으로서 역할을 할 수도 있다.

III. 도시의 디지털 트윈 구축 국내외 현황 검토

1. 국내 현황

1) 디지털 트윈 관련 중앙정부 사업

(1) **스마트 도시 혁신성장 동력 R&D와 데이터 허브**
2018년 스마트 도시 통합 플랫폼의 한계를 극복하고 4차 산업혁명에 대응하기 위해, 도시 정보를 수집·분석하고 시뮬레이션을 기반으로 도시를 운영하기 위한 데이터 허브의 개발 및 실증이 R&D 사업으로 추진되었다(스마트 도시 혁신성장동력 R&D, 2024). 데이터 허브는 디지털

트윈을 일부 포함하고 있으며, 데이터 기반 스마트 도시에서 디지털 트윈이 플랫폼으로서 역할을 하기 위한 전 단계라고 볼 수 있다. 스마트 도시 혁신성장동력 R&D 사업은 세 개의 세부 사업단으로 구성되었다. 1세부 사업단은 데이터 허브 및 스마트 도시 기반 기술을 개발하였으며, 2세부 사업단은 대구시를 대상으로 데이터 허브에 대도시 빅데이터 수집을 통한 도시 운영을 실증하였다. 3세부 사업단은 시흥시에서 소규모 시민들을 대상으로 데이터 중심 리빙랩을 통해 데이터 허브를 실증하였다. 특히, 1세부 사업단의 한국전자기술연구원(KETI) 컨소시엄은 4년간 개발한 스마트 도시 데이터 허브를 오픈소스로 공개하였다. 스마트 도시 혁신성장동력 R&D를 통해 실시간 IoT와 같은 기반 기술 개발이 완료되었으며, 모빌리티, 주차, 도시 행정 고도화, 에너지 관리 등 23개의 다양한 서비스가 대구와 시흥에서 실증되었다. 데이터 허브는 국토교통부의 지원 아래 전국적인 보급·확산을 도모하고 있다. 대표적인 사업으로 “지역 거점 스마트 도시 조성 사업”이 있다.

(2) 디지털 트윈국토 시범사업

국내에서 국토와 관련된 디지털 트윈이 사업이 본격적으로 추진된 시기는 2021년부터로 볼 수 있다. 이전에는 디지털 트윈의 기반이자 핵심 데이터인 3차원 공간정보, 실내공간정보, 지하공간통합지도 구축 등의 사업이 주로 시행되었다. 대체로 2021년부터 “디지털 트윈” 용어를 사용한 사업들이 본격적으로 추진되었으며 2022년에는 다양한 부처에서 다수의 디지털 트윈 관련 사업을 추진하였다.

디지털 트윈은 디지털 대전환을 위한 한국판 뉴딜의 10대 과제로 선정되었으며(관계부처합동, 2020), 한국판 뉴딜 2.0에서 “디지털 초혁신 프로젝트” 과제로 포함(관계부처합동, 2021)되어 관련 부처에서 본격적으로 정책들을 추진하게 된다. 즉 정부는 디지털 뉴딜을 통한 디지털 전환의 핵심으로 디지털 트윈에 주목했다고 볼 수 있으며, 공간정보 측면에서 국가SOC를 중심으로 디지털 트윈화를 본격적으로 추진하게 되었다고 볼 수 있다.

디지털 트윈을 국토 및 도시의 관점에서 바라보았을 때, 주요 부처는 국토교통부이다. 국토부는 디지털 트윈 국토를 표방하며 BIM과 공간정보를 주축으로 국가 인프라의 트윈화를 추진하고, “제3차 공간정보산업진흥 기본계획”(국토교통부, 2021b)과 “2022년도 국가공간정보정책 시행계획”(국토교통부, 2022)을 발표하여 디지털트윈을 연계한 공간정보산업의 발전방향을 제시하였다. 그 외에도 지상·지하 통합관리 공간정보체계 구축, 공간정

보기반 실감형 콘텐츠 융복합 및 혼합현실 제공 기술개발, 실내 공간정보 구축사업 등 다양한 디지털 트윈 사업을 추진하였다(국토교통부·국토연구원, 2022). 한편 국토부의 대표 사업인 “디지털 트윈국토 시범사업”(국토교통부, 2023)은 3차원 지도, 행정정보 등의 데이터를 기반으로 행정업무 효율화, 지역현안 해결을 위한 디지털 트윈국토 시범사업이다. 해당 사업으로 2021년 10곳, 2022년 7곳, 2023년 7곳의 지자체들이 공모사업에 선정되어 디지털 트윈을 시범 구축하였다(표 2).

표 2 디지털 트윈 국토 시범 사업

연도	지자체명	사업명
21년	인천	실감형 화재진압 시물레이션
	제주	소규모 환경영향평가 지원
	장성	건축물 색채디자인 분석
	아산	홍수예측 시물레이션
	울진	해안도로 침수·침하 시물레이션
	남해	관광객 방문정보 가시화 및 방문패턴 시물레이션
	진천	농지·산지 전용 인허가지원 시스템
	곡성	관광 인프라 운영관리 시물레이션
	기장	교통량을 반영한 최적 신호체계 시물레이션
	완주	활용부지, 비용 등 주차공간 분석 시물레이션
22년	서초	교통영향평가 지원 모델 개발
	청주	스마트 교통 분석시스템 구축사업
	충남	문화재 보존 지원시스템 구축
	영광	3차원 시물레이션을 통한 실시간 재난대응체계 구축
	속초	편리하고 안전한 미래관광도시 구현
	춘천	효율적 내수면 관리를 위한 의암호 디지털트윈 구축
	울산	디지털트윈 기반 탄소중립 활용모델 구축
23년	대전	디지털트윈 기반 지하시설물 통합 안전관리 체계 구축
	용인	사람길 용인행정 DT로 르네상스 실현
	광명	디지털트윈으로 그리는 광명의 미래
	안동	기후위기를 고려한 안동시 스마트 맑은물 관리 체계 구축
	진주·사천	도로 안전성 평가 및 선형개량 시물레이션 모델 개발
	울산	인공지능과 공간정보를 융합한 신개념 공공정보 검색모델 구축
	경주	디지털트윈브릿지: 경주의 과거와 현재를 여행하다

출처 : 국토교통부, 2023.

2) 지자체별 디지털 트윈 사업

중앙정부에서 추진하고 있는 시범사업과 달리, 서울, 인천, 전주와 같은 도시들은 자체적으로 디지털트윈을 본격적으로 구축하였다. 이들은 전체 도시를 디지털 트윈으로 구축하고, 중앙정부의 지원 없이 사업들을 진행하였다는 점에서 지자체들의 디지털 트윈의 수요를 반영하고 있다고 볼 수 있으며, 이들의 구축 현황을 면밀히 검토할 필요가 있다.

(1) 서울시

서울시는 행정서비스 확대 및 민간과 소통하고 공감하는 시민중심 스마트 서울 구현을 위하여 3D 디지털트윈 공간정보 플랫폼인 버추얼 서울(Virtual Seoul)플랫폼을 구축하였다(그림 1). 2020년 6월 “3D기반 Virtual Seoul 종합계획,” 2021년 8월 “3D기반 Virtual Seoul 구축계획”을 수립하고, 버추얼 서울을 활용한 행정혁신과 시민서비스 확대를 추진하고 있다고 2022년 현재 3D 데이터 구축과 도시

분석 시뮬레이션(계획심의, 바람길) 모델을 개발 중이다.

행정혁신은 가상공간에서 수행한 모의실험을 통하여 최적 행정모델을 도출하는 것을 목표로 추진되며, 시민서비스 확대는 가상공간과 시정 콘텐츠를 결합한 시민체감 활용모델 발굴을 목표로 추진되고 있다. 서울시는 가상공간을 구축하기 위하여 항공사진과 라이다데이터를 기초데이터로 3차원 공간정보, 자율주행 기본데이터, XR메타버스를 구축하고 활용하는 방식으로 추진하고 있다.

(2) 인천광역시

인천광역시도 디지털 트윈 기술을 활용하여 스마트 도시 구축을 추진하고 있다. 인천시는 도시의 주요 인프라와 건축물, 도로, 교통 시스템을 디지털화하여 실시간으로 관리하고 분석할 수 있는 디지털 트윈 플랫폼을 개발하였다(그림 2). 이 프로젝트는 도시의 교통 혼잡 문제를 해결하고, 재난 대응 및 환경 관리를 개선하는 데 큰 도움을 줄 것으로 기대되고 있다. 인천의 디지털 트윈 프로젝트는



그림 1. 서울특별시 디지털 트윈 S-Map

출처 : S-MAP, <https://smap.seoul.go.kr/>.



그림 2. 인천광역시 디지털 트윈

출처 : Incheon Metropolitan City, <https://smart.incheon.go.kr/portal/apps/sites/#/smartgis/apps/a0a4995c49df4517ab5cd01891ab69da>.

특히 환경 모니터링과 재난 관리에 중점을 두고 있으며, 이를 통해 공공 서비스의 효율성을 높이고 시민의 삶의 질을 향상하는 것을 목표로 하고 있다. 즉 인천시는 디지털 트윈을 통해 실시간 데이터를 수집하고 분석하여 도시 관리의 효율성을 극대화하고, 예측 가능한 문제를 미리 식별하고 이에 대응할 수 있는 시스템을 구축하고 있다.

(3) 전주

한국국토정보공사(LX)는 2018년 전주시 디지털 트윈 구축 시범사업을 시작으로 스마트 도시의 디지털 트윈 구축에 앞장서 오고 있다. 전주시 디지털 트윈 시범사업은 도시사회 문제해결을 위하여 데이터와 공간분석 모형을 결합한 디지털 허브와 공간정보 기반으로 현실세계와 일치하도록 구축된 디지털 트윈을 결합하여 지역 현안 과제를 해결하기 위한 플랫폼을 구축하는 사업이다.

더불어 LX는 2019년부터 스마트 도시 서비스 지원기관으로 지정되어 한국형 지자체 디지털 트윈 서비스모델 확산을 추진하고 있다. 2021년부터는 디지털 트윈 국토 지자체 시범사업 관리기관으로 지정(국토교통부, 2021a)되

어 범용 2D/3D 공간정보 입출력·변환 및 가시화, 3차원 공간분석 및 도시 시뮬레이션, 행정업무지원 특화 서비스 모델 개발(건축 인허가) 등의 서비스를 제공하는 플랫폼 개발 중으로서 2021년 시범사업부터 한국형 지자체 디지털 트윈 서비스모델 확산을 추진 중이다.

2. 해외 사례

1) 싱가포르

도시 국가인 싱가포르는 2014년부터 국가 정책으로 스마트 네이션 계획(Singapore's smart nation initiative)를 진행 중이며, 공공부문의 핵심 사업으로 버추얼 싱가포르(Virtual Singapore)로 명명된 도시 국가 디지털 트윈을 구축하고 있다(Virtual Singapore, 2024). 싱가포르 정부는 도시(국가) 전체를 3차원 모델 기반의 디지털 트윈으로 구축함으로써 도로, 건물, 공원, 교량, 가로수 등 도시의 자연 및 인공 객체를 가상세계로 미리링하였다(그림 3). 버추얼 싱가포르의 구축 목적은 가상도시 환경에서 도시 계획 및 정책 추진을 위한 의사결정지원과 데이터의 공



그림 3. 버추얼 싱가포르

출처 : NRF Singapore, <https://www.nrf.gov.sg/programmes/virtual-singapore>.

개·공유를 통해 더 나은 도시 서비스를 개발하여 시민 삶의 질 향상을 도모하는 것이다. 이러한 버추얼 싱가포르 는 첨단 기술을 활용한 혁신적인 도시 운영 플랫폼으로서, 싱가포르의 스마트 국가 비전을 실현하고, 인공지능 과 같은 지속적인 기술 발전과 데이터 통합을 통해 미래의 도시 문제 해결에 중요한 도구가 될 것이다.

2) 중국

중국은 자연재해, 인구 이동, 실내 이동 등 다양한 분야에서 디지털 트윈 기술을 활용하고 있다(그림 4, 그림 5).

도시의 3차원 구축뿐 아니라, 로봇을 이용한 전기 시설의 실시간 관리에 기반한 도시 전력 관리(스마트 그리드), UAV를 이용한 자연재해(태풍, 홍수, 안개, 냉해 등) 관리, 교통 관리, 인구가동 패턴, 무인 창고 관리, 코로나 팬데믹 관리 등 다양한 분야에서 디지털 트윈 기술을 적용 중이다(Li, 2022).

특히 알리바바 항저우 시티브레인 프로젝트는 알리바바가 인공지능 기술을 활용하여 도시 운영을 시도하는 민간주도의 스마트 도시 구축 사례로서 국내에서 친숙한 스마트 도시 모델이라고 할 수 있는 디지털 플랫폼으로서의



그림 4. 스마트 선전 3차원 모델

출처 : Li, 2022:39.

City's Travel Track Big Data

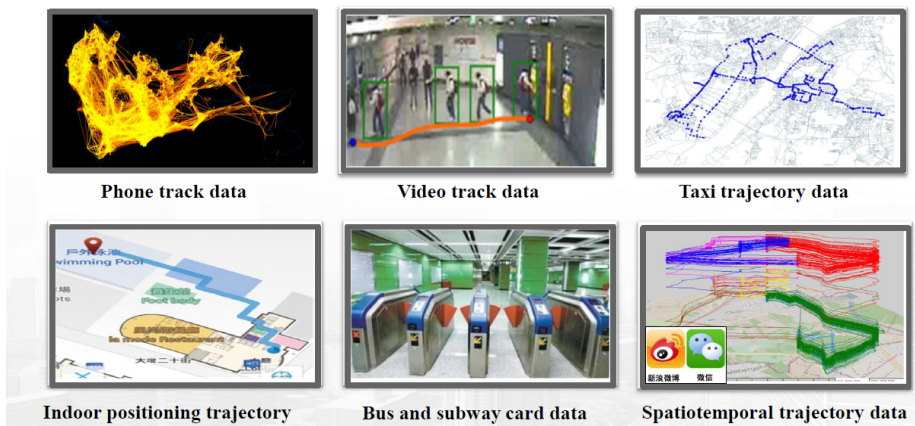


그림 5. 인구 이동 모니터링

출처 : Li, 2022:51.

도시 구현과 밀접하게 연관되어 있다. 시티 브레인 프로젝트는 2016년부터 시행되었는데, 도시 교통에 대한 정보를 수집하고, 인공지능을 활용하여 도시 교통을 분석하고 개선점을 제시하여 도시에 반영하는 도시 교통 운영과 관련된 프로젝트이다(노수연·김성욱, 2017)(그림 6).

3) 일본

일본은 국토교통성이 주축이 되어 3D 도시모델 기반의 오픈데이터 플랫폼을 구축하고, 활용모델을 개발·공유하기 위한 프로젝트 플라토(Project PLATEAU)를 추진하고 있다(국토교통성, 2020, 이영주 2022:7에서 재인용)

(그림 7). 프로젝트의 목적은 Society 5.0으로 도시의 지속 가능성, 인간 중심 도시, 커뮤니티 디자인을 세부 전략으로 구성하고 있는데, 이 프로젝트에서 3D 도시모델은 도시공간에 존재하는 건물 등 도시를 구성하는 객체와 도시 활동 정보를 포함한 도시공간 자체를 3차원으로 재현하기 위해 구축한 데이터이다. 3D 도시모델은 3D 도시공간 정보플랫폼에 탑재되어 물리공간과 사이버공간을 고도로 융합하며, 이를 통해 도시계획 수립 고도화, 분석 및 시뮬레이션 등을 수행한다.

일본의 플라토는 지자체별 다양한 디지털 트윈을 통합하기 위한 디지털 트윈의 플랫폼으로서 역할을 한다. 플

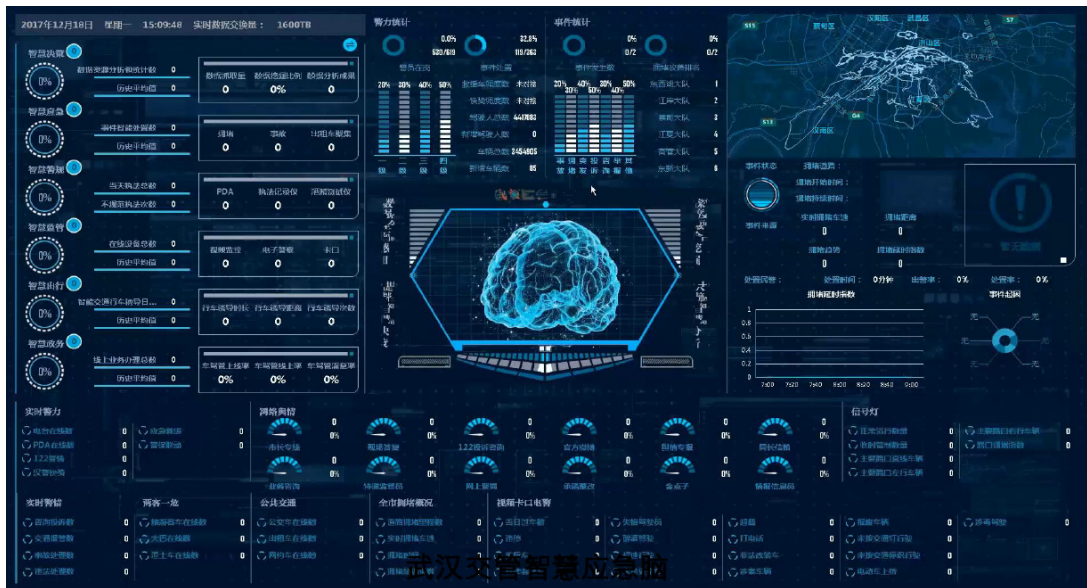


그림 6. 알리바바 항저우 스마트 도시 브레인

출처 : Li, 2022:52.

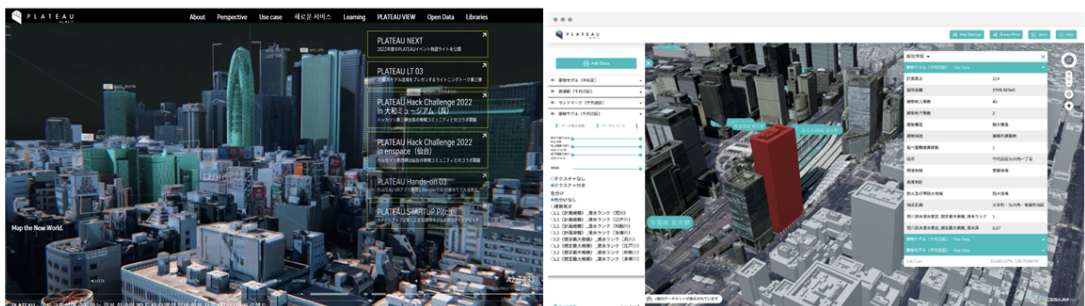


그림 7. 프로젝트 플라토 웹사이트 메인화면 및 플라토 뷰(PLATEAU View)

출처 : PLATEAU, <http://www.mlit.go.jp/plateau/>.

라토에 다양한 지자체별 프로젝트를 공개하고 해당 객체와 데이터를 유동사이트에서 바로 다운로드할 수 있도록 구축하며, 데이터는 오픈소스 표준을 적용해 작성되므로 필요시 확장 가능하며, 다양한 활용사례들을 만들어 가고 있다(그림 8).

일본은 프로젝트 플라토를 통해 전국 56개 도시의 3D 도시모델을 정비하고, 이를 이용해 인간 중심의 도시만들기(마치즈쿠리 디지털 전환) 정책이라는 더 큰 목표를 설정하여 추진하고 있다. 프로젝트 플라토의 특징은 기존 일본에서 추진해 오던 '도시계획 GIS의 움직임'과 '지리공간정보(GIS)의 활용' 정책의 연장선에서 추진하는 사업이며, 3D 도시모델로 기존에 구축해 온 GIS 기반 데이터 인프라를 더 확장 적용하는 개념이다.

3. 국내외 현황의 시사점

한국에서는 스마트 도시 관련 디지털 트윈 사업이 2021년부터 국토교통부 국토정보정책과와 한국국토정보공사에 의해 "공간정보 기반 디지털 트윈 시범사업"으로 수행되고 있다. 이 사업은 스마트 도시와 밀접한 연관성이 있으나, 스마트 도시를 주로 담당하는 국토교통부 도시경제과에서는 디지털 트윈을 스마트 도시 사업에 적극적으로 반영하지 못하고 있다. 이러한 중앙부처의 거버넌스

부재는 디지털 트윈과 스마트 도시의 연계에 장애로 작용할 수 있다.

디지털 트윈 기반 스마트 도시를 구현하기 위해서는 도시 데이터의 수집 및 활용이 필수적이며, 도시의 설계부터 건설, 인프라, 운영 및 스마트 서비스 제공까지 도시 생애주기 전반에 걸쳐 데이터를 중심으로 한 ICT의 도입이 필요하다. 현실 데이터 수집의 어려움과 미흡한 현실 세계의 모사는 상위 단계로의 고도화에 장애가 된다. 현실 세계를 모사하기에는 충분하지 않은 데이터 문제는 모의 단계에 해당하는 디지털 트윈에 기반한 모델링과 예측을 위한 시뮬레이션의 어려움으로 이어진다. 더불어 4단계와 5단계에 해당하는 디지털 트윈의 연합과 실시간 자율 단계의 구현은 아직 현실적으로 어려운 수준이다.

한편 국내 현황에서 살펴보았듯이, 현재 지자체별로 도시의 디지털 트윈 구축이 산발적으로 이루어지고 있으며, 서로 다른 플랫폼의 적용으로 특정 지자체에 적용된 인프라나 솔루션이 다른 지자체로 확산되기 어려울 수 있다. 또한 디지털 트윈 시범사업들에서 의미있는 성과를 찾기 어려우며, 디지털 트윈에서 추구하는 현실 세계의 실시간 가상화 보다는 이미 존재하는 3차원 시각화 또는 2차원 GIS 분석에 머물러 있는 경우가 다수이다(정다운 등, 2024). 이는 기존 3차원 공간정보에서 디지털 트윈으로 한 단계 도약하기 위한 점진적인 과정으로서 디지털 트윈

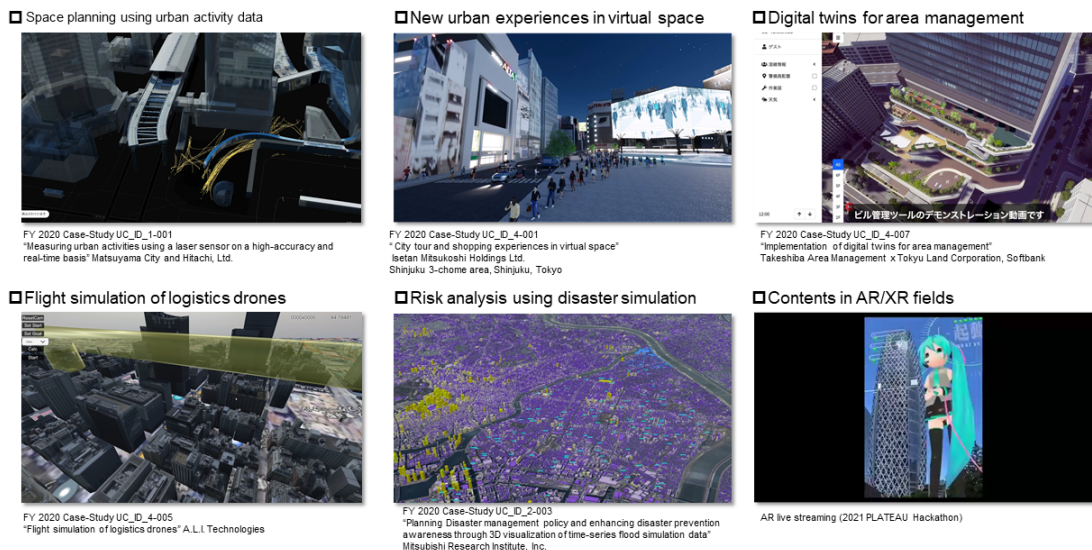


그림 8. 플라토 활용사례

출처 : Yuya, 2022:82.

도시 구현의 활성화를 위해 많은 노력이 필요함을 알 수 있다. 특히 싱가포르, 중국, 일본의 사례들에서 볼 수 있듯이, 3차원 시각화를 벗어나 현실과 가상을 연결하는 디지털 트윈의 특성을 반영할 수 있는 다양한 서비스를 발굴하기 위한 지속적인 노력을 경주할 필요가 있다.

IV. 디지털 트윈 기반 스마트 도시 고도화 장애요인 및 방향 분석

1. 분석 방법

1) 설문 조사 대상

본 연구에서는 디지털 트윈 개념과 관련하여 데이터의 입체성, 처리·분석의 실시간성, 시물레이션에 의한 예측성을 주요 요소로 선정하고 스마트 도시 및 디지털 트윈 전문가들에게 의견을 설문하였다. 더불어 제도, 자원, 데이터, 서비스 등 다양한 요소들에 대한 중요성 및 장애요인 정도에 대한 의견들을 수렴하였다.

설문조사는 2022년 10월 19일부터 11월 3일까지 관련 전문가 50여명에게 요청하였으며, 이들 중 총 30인이 설문에 응하였다. 설문 내용은 기존 디지털 트윈 관련 연구들에서 도출된 항목들을 대상으로 스마트 도시와 연관성

이 있는 문항들을 포함하고, 신규로 필요하다고 판단되는 문항들을 추가하였다. 이와 더불어 각 전문가들이 필요하다고 판단되는 의견들을 기타 의견으로 수렴하였다.

응답자는 지자체 공무원 9명, 기업체 8명, 학계 및 연구원 13명이었다. 종사 분야는 중복 답변으로 질의하였는데, 스마트 도시 분야 21명, 디지털 트윈 분야 24명, 공간정보 분야 22명으로 응답자의 대부분이 스마트 도시, 공간정보, 디지털 트윈 유경험자였다.

2) 설문 도구 및 절차

설문은 첫째, 스마트 도시와 디지털 트윈의 개념, 둘째, 스마트 도시의 한계와 디지털 트윈의 중요도와 장애요소의 두 가지 범주로 실시하였다(표 3). 설문은 온라인 설문조사 플랫폼인 모아폼(Moaform)으로 진행하였다. 첫 번째 범주인 스마트 도시와 디지털 트윈의 개념과 관련하여, 응답자들에게 전문가로서 생각하는 스마트 도시를 위한 디지털 트윈의 정의를 주관식으로 작성하도록 요청하였으며, 디지털 트윈의 특성과 관련하여 “데이터의 입체성,” “처리 분석의 실시간성,” “시물레이션에 의한 예측성” 중 어떠한 항목이 중요한지 선택하도록 하였다. 이 문항은 일반적으로 생각하는 디지털트윈의 3차원 시각화와 실시간성, 시물레이션 중 어떠한 항목이 더 중요한지를 비교하기 위한 질문이다. 두 번째 범주는 스마트 도시 고

표 3. 설문조사 문항

구 분	설문 문항 요지
스마트 도시와 디지털 트윈의 개념과 중요 특성	- 스마트 도시를 위한 디지털 트윈 정의 관련 주관식 답변 - 스마트 도시와 관련된 디지털 트윈의 특성에 대한 ① 입체성, ② 실시간성, ③ 예측성의 중요도
스마트 도시의 한계와 디지털 트윈의 중요도와 장애요소	- 국내 스마트 도시의 도시 데이터의 수집 정도 - 정밀한 도시정보의 스마트 도시운영에 미치는 영향 - 국내 스마트 도시에서 도시 데이터의 활용도 - 도시 문제 해결을 위한 도시데이터 활용의 중요도 - 도시 데이터를 활용한 스마트 도시 서비스 구축 정도 - 데이터를 활용한 스마트 도시 플랫폼 확산 정도 - 데이터를 활용한 스마트 도시 플랫폼 구축 정도 - 플랫폼 기반 스마트 도시 서비스 연계·통합정도 - 스마트 도시 한계 극복 및 고도화를 위한 디지털 트윈의 중요도 - 지속가능한 스마트 도시를 위한 디지털 트윈의 필요성 관련 주관식 답변 - 규제·법제도, 거버넌스, 재정, 인프라, 데이터, 서비스, 표준, 전문인력 및 S/W 항목별 스마트 도시 고도화를 위한 디지털 트윈 구축에 장애 정도와 관련하여 선택형 및 주관식 - 규제·법제도, 거버넌스, 재정, 인프라, 데이터, 서비스, 표준, 전문인력 및 S/W 항목별 스마트 도시 고도화를 위한 디지털 트윈 구축에 중요도와 관련하여 선택형 및 주관식

도화를 위해 디지털 트윈이 필요한 이유와 장애 요인들을 파악하기 위해 다양한 구성요소들을 대상으로 설문을 진행하였다.

2. 분석 결과

1) 스마트 도시를 위한 디지털 트윈의 개념과 중요 특성

설문 중 스마트 도시를 위한 디지털 트윈의 개념과 관련하여 입체성, 실시간성, 예측성 중 어떠한 요소가 중요하다고 생각되는지를 질의하였으며, 응답 결과는 그림 9와 같다. 그 결과 3차원 시각화와 관련된 “입체성” 요소는 중요하다(14명, 46.7%) 및 매우 중요하다(9명, 30%)가 다수였으나, 보통이다 및 중요하지 않다는 의견이 23.3%(7명)이었다. 반면 실시간성과 예측성이 중요하다는 의견과 관련하여 매우 중요하다는 응답이 둘 다 19명(63.3%)이 매우 중요하다는 선택하였다. 실시간성 및 예측성과 관련하여 중요하다는 의견과 매우 중요하다는 의견을 더할 경우, 예측성은 28명(93.3%), 실시간성은 25명(83.3%)으로 나타난다. 이러한 설문 결과는 디지털 트윈을 3차원 구현으로 인식하는 일반적인 통념과 달리, 전문가들은 3차원 시각화보다는 상대적으로 데이터의 실시간성으로 연결되는 도시 데이터를 공간에 표출, 분석, 시뮬레이션화하는 의사결정 지원 기술을 디지털 트윈 개념에서 중요한 요소로 보고 있다고 할 수 있다.

2) 디지털 트윈 기반 스마트 도시 조성의 장애 요소와 중요요소

기존 연구들에서 장애 요소로 규제 및 법제도 미비, 거버넌스, 예산, 인프라, 도시 데이터, 도시 서비스, 표준, 전문인력, 기술적 문제들이 제기되었다(서기환 등, 2021; 성

혜정·임은선, 2021). 이러한 문제들을 토대로 좀 더 구체적인 요소들을 선정하여 스마트 도시 고도화를 위한 디지털 트윈을 구축함에 있어서 장애가 되는 요소들이 무엇인지를 설문조사를 통해서 살펴보았다(표 4). 그 결과 5점 척도 중 평균이 4.0 이상인 답변은 “부처 간 협력 부족,” “부처내 부서 간 협력 부족,” “도시 운영 분야 디지털 트윈 서비스 부족,” “분석·시뮬레이션 디지털 트윈 서비스 부족,” “디지털 트윈 서비스 활용 및 실증 사례 부족,” “스마트 도시 표준 미흡,” “도시 데이터 공유 표준 미흡”이었다. 이러한 설문 결과는 거버넌스, 디지털 트윈 기반 스마트 도시 서비스 부족, 연계를 위한 표준 미흡으로 요약될 수 있다.

다음은 장애요소들의 문제를 극복하고 디지털 트윈에 기반한 스마트 도시를 고도화하기 위해 중요한 요소들에 대한 설문이었다(표 5). 설문 결과 주요 장애요소로 언급된 요인들을 포함하여, 정부의 재정적 지원, 플랫폼으로서의 디지털 트윈 구축, 도시 데이터의 수집, 전문 인력 양성 등의 높은 평균 점수를 보여주고 있다. 이러한 결과는 장애요소에서 언급되었던 거버넌스, 서비스, 표준과 더불어 재정적 지원과 전문인력 양성이 중요함을 알 수 있다.

3) 설문결과와 시사점

(1) 디지털 트윈 서비스 부족

스마트 도시 고도화 관련 디지털 트윈 장애요소 설문 결과, 가장 문제 있는 장애요소¹⁾로 응답자 30명 중 27명(90%)이 “분석 및 시뮬레이션과 관련된 디지털 트윈 서비스 부족”을 선택하였으며, “도시운영 분야 디지털트윈 서비스 부족”을 26명(87%), “디지털 트윈 서비스 활용 및 실증 사례 부족”을 24명(80%)이 선택하였다. 중요요소 역시 분석·시뮬레이션 뿐 아니라 도시계획 및 운영을 위한 서비스가 높게 나타났다. 현재 디지털 트윈이 스마트 도시를 구현된 실제 사례를 찾기 어려우며, 정책 수립 및 사업

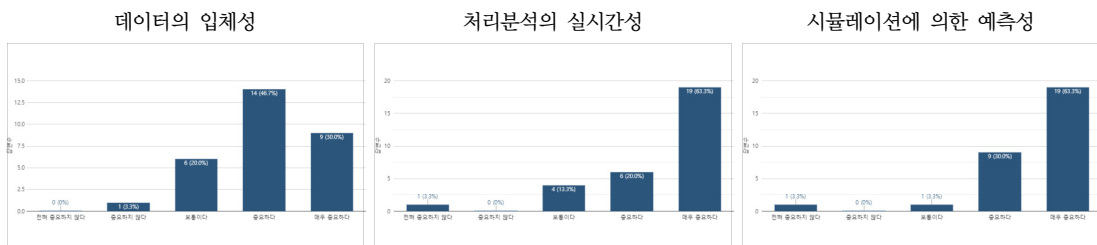


그림 9. 디지털 트윈 특성 중요도 비교

* 각 항목별 좌측부터 “전혀 중요하지 않다,” “중요하지 않다,” “보통이다,” “중요하다,” “매우 중요하다”

표 4. 디지털 트윈 기반 스마트 도시 고도화 장애요소

장애요소		척도 평균	상위 2(%)
규제 및 법제도	규제	3.6	19(63)
	법·제도 지원 미비	3.7	20(67)
거버넌스	부처간 협력 부족	4.1	25(83)
	부처내 부서간 협력 부족	4.1	26(87)
	중앙정부와 지방정부간 협력 부족	3.7	18(60)
	정부와 기업간 협력 부족	3.6	16(53)
	정부와 시민간 협력 부족	3.6	16(53)
재정	정부의 지원 사업 부족	3.8	18(60)
	연구개발 R&D 지원 부족	3.8	18(60)
인프라	스마트 도시 플랫폼 문제	3.6	17(57)
	도시 모니터링 센서 설치 부족	3.7	18(60)
	3차원 데이터 부족	3.7	20(67)
	무선 네트워크 인프라 부족	3.1	10(33)
	실외 공간정보 부족	3.4	15(50)
	실내 공간정보 부족	3.8	22(73)
	시설물 도면정보 부족	3.8	21(70)
데이터	도시데이터 수집 부족	3.8	20(67)
	공공 데이터 개방 및 공유 문제	3.7	18(60)
	민간 데이터 개방 및 공유 문제	3.9	18(60)
서비스	도시계획 분야 디지털트윈 서비스 부족	3.8	21(70)
	도시운영 분야 디지털트윈 서비스 부족	4.1	26(87)
	대시민 디지털트윈 서비스 부족	3.8	22(73)
	분석·시뮬레이션 디지털트윈 서비스 부족	4.2	27(90)
	디지털트윈 서비스 활용 및 실증 사례 부족	4.0	24(80)
표준	스마트 도시 표준 미흡	4.0	22(73)
	도시 데이터 공유 표준 미흡	4.0	23(77)
전문인력	스마트 도시 전문인력 부족	3.9	22(73)
	도시 데이터 분석·처리 인력 부족	3.9	22(73)
S/W 기술	디지털트윈 서비스 기술의 한계	3.6	17(57)
	디지털 트윈 데이터 구축 및 활용 기술의 한계	3.6	19(63)

추진을 위한 레퍼런스 부족으로 인한 문제로 판단된다. 디지털 트윈이 스마트 도시 서비스로 활용되고 있는 사례는 한정적으로서, 다양한 사례들이 부족하다는 지적으로 풀이할 수 있다. 따라서 정책의 추진 원동력을 얻기 위해서는 다양한 활용 사례들을 토대로 그 효용성이 입증되어야 하지만, 현재로서는 다양한 실증 사례들이 시도되고 있을 뿐 실질적인 효용성을 확인하기 어렵다.

(2) 거버넌스 문제

다수의 전문가들이 스마트 도시 고도화를 위한 디지털 트윈 구축 장애요소와 관련하여 “부처 내 부서 간 협력 부족”과 “부처 간 협력 부족(25명)”을 선택하였다. 이는 중요 요소 설문 결과에서도 반복되어 나타난다. 즉 거버넌스는 스마트 도시 관련 디지털 트윈을 추진함에 있어 중요한 걸림돌인 것으로 판단된다. 대부분의 스마트 도시 사업

표 5. 디지털 트윈 기반 스마트 도시 고도화를 위한 중요요소

중요도		척도 평균	상위2(%)
규제 및 법제도	규제	3.9	22(73)
	법·제도 지원	4.2	26(87)
거버넌스	부처간 협력	4.5	29(97)
	부처내 부서간 협력	4.5	30(100)
	중앙정부와 지방정부간 협력	4.3	26(87)
	정부와 기업간 협력	4.3	25(83)
	정부와 시민간 협력	4.2	24(80)
재정	정부의 지원 사업	4.6	30(100)
	연구개발 R&D 지원	4.4	27(90)
인프라	디지털 트윈 플랫폼	4.3	28(93)
	도시 모니터링 센서 설치	4.1	25(83)
	3차원 데이터 구축	4.2	24(80)
	무선 네트워크 인프라 구축	3.9	22(73)
	실외 공간정보 구축	4.1	24(80)
	실내 공간정보 구축	3.9	20(67)
	시설물 도면정보 확보	4.2	24(80)
데이터	도시데이터 수집	4.6	29(97)
	공공 데이터 개방 및 공유	4.3	26(87)
	민간 데이터 개방 및 공유	4.2	24(80)
서비스	도시계획 분야 디지털트윈 서비스	4.3	29(97)
	도시운영 분야 디지털트윈 서비스	4.6	30(100)
	대시민 디지털트윈 서비스	4.2	25(83)
	분석·시뮬레이션 디지털트윈 서비스	4.6	30(100)
	디지털트윈 서비스 활용 및 실증 사례	4.4	26(87)
표준	디지털 트윈 플랫폼 표준	4.3	26(87)
	도시 데이터 공유 표준	4.5	29(97)
전문인력	디지털 트윈 구축 전문인력 양성	4.4	28(93)
	도시 데이터 분석·처리 인력 양성	4.4	27(90)
소프트웨어 기술	디지털트윈 서비스 기술 발전	4.3	28(93)
	디지털트윈 데이터 구축 및 활용 기술 발전	4.4	29(97)

들은 서비스 인프라 및 서비스 분야 담당 부처/부서 간의 업무 연계를 조율할 거버넌스의 부재로 스마트 도시 서비스 실증 이후 스마트 도시 솔루션의 지속가능성이 어렵다. 이러한 스마트 도시의 문제는 디지털 트윈을 추진함에 있어서도 동일하게 반영되는 것으로 보인다.

대부분 스마트 도시 기술 및 솔루션, 서비스는 다양한 부처 및 부서에서 연계되고 있으나, 상호협력 및 조율 등

을 담당할 거버넌스는 부재하다. 스마트 도시 관련 기술 개발 및 서비스 실증이 진행되었으나, 시범서비스에 종료되지 않고 관련 부서의 솔루션 도입 및 지속까지 확장되는 경우는 매우 제한적이다. 데이터 기반의 스마트 도시 구축을 위해서는 도시의 설계 단계부터 건설·인프라·운영 및 서비스 제공까지 도시 생애 주기 전반에 걸쳐 데이터를 중심으로 각종 ICT 기술의 접목 및 도입이 필요하나, 부처

및 부서의 업무 파편화로 개별적 업무가 추진됨으로써 이와 관련된 데이터 및 서비스 또한 연계가 어렵다. 부처 및 부서 간의 업무 중복이 있는 부분의 중복 추진이나 공백이 발생²⁾하고 있으며, 정부의 부처/부서 간 스마트 도시에 필요한 공통적인 업무인 수평적 기능을 담당하는 부서와 서비스별 업무인 수직적 기능을 담당하는 부서 간 협력 필요하다.

(3) 기타

기타 장애요소 관련 20명 이상이 응답한 답변들을 살펴 보면, 재정, 표준, 실내 공간정보 부족, 전문인력 부족, 법·제도 지원 미비, 3차원 데이터 부족, 도시 데이터 부족이 있었다. 특히 재정과 관련하여 정부의 지원사업이 중요하다고 모든 응답자가 답변한 사실은 스마트 도시 고도화를 위해 디지털 트윈을 구축을 위한 중앙정부의 지원이 지속되어야 함을 의미한다. 한편 설문조사 내용 중 스마트 도시 고도화를 위한 디지털 트윈 구축에 필요한 항목들을 질의하는 내용들이 있었는데, 주관식 답변 중 아래와 같이 디지털 격차를 우려하는 응답자가 있었다.

“스마트 도시, 디지털 트윈 등 고도화된 기술을 통하여 도시 공공서비스를 향상시킬 수 있으나, 첨단 기술에 익숙하지 않은 그룹(노인, 저소득층 등)을 위한 보완책이 마련되어야 스마트 도시의 제도적 고도화를 달성할 수 있다고 판단됨”

스마트 도시의 디지털 트윈은 제조업과 같은 타 분야 디지털 트윈과 달리 시민들의 서비스 활용이 고려되어야 한다는 점에서 디지털 트윈 사용자들의 폭이 넓다고 할 수 있다. 따라서 디지털 격차 문제는 디지털 트윈에 기반한 스마트 도시 고도화를 위해 함께 고려해야 할 문제인 것으로 해석된다.

V. 디지털 트윈 기반 스마트 도시 고도화를 위한 정책 방향

1. 기본 방향

본 연구의 현황 분석 및 설문 결과를 토대로 보았을 때, 디지털 트윈 기반 스마트 도시 고도화를 위한 개념도는 그



그림 10. 디지털 트윈 기반 스마트 도시 고도화 방안 개념도

림 10과 같이 도식화할 수 있다. 즉 정책 방향의 가장 핵심은 기존 스마트 도시 정책과 디지털 트윈 정책의 융합이며, 이를 위한 기술 및 연구개발, 실증사업 추진, 인재양성 정책을 지속적으로 추진해야 한다. 특히 스마트 도시 정책으로 추진되고 있는 데이터 허브와 공간정보 정책으로 추진 중인 디지털 트윈을 통합할 필요가 있다. 정책의 통합 추진을 위해서는 거버넌스 문제가 해결될 필요가 있다. 이러한 정책들의 추진을 위한 사업발굴과 동시에 도시 데이터 구축과 서비스 개발을 위한 노력이 필요하다.

2. 실효성 있는 디지털 트윈 서비스 발굴

설문조사 결과 디지털 트윈 기반 스마트 도시 구현의 가장 큰 걸림돌로 “분석 및 시뮬레이션 관련 서비스 부족”이 지적되었으며, 이는 스마트 도시 고도화를 위해 실질적으로 도움이 될 수 있는 디지털 트윈 구축 사례가 부족함을 의미한다. 국내외에서 디지털 트윈은 주로 도시 계획을 보조하는 수단으로 활용되고 있지만, 현실 도시를 반영한 복잡한 분석 및 시뮬레이션 사례는 매우 부족하다. 이에 따라 스마트 도시 고도화를 위해 도시계획 및 운영, 시민들의 이동, 재난 대응과 같은 도시 시뮬레이션과 도시 시설의 가상 체험 등 다양한 디지털 트윈 서비스 사례를 발굴할 필요가 있으며, 적은 예산을 분산하기보다는 주요 도시에 대규모 예산을 투입하는 방식으로 실증 사업을 확대해야 한다.

디지털 트윈 기반 스마트 도시 모델은 교통과 안전 분야를 넘어, 보건·의료, 복지, 환경 에너지 등 다양한 실감형 서비스를 제공할 수 있는 플랫폼으로 자리 잡을 수 있다. 또한, 디지털 트윈이 수집한 데이터를 활용하여 공공 차

원에서는 도시 계획, 관리, 운영, 정책 수립에 기여할 수 있으며, 민간 차원에서도 새로운 서비스 발굴이 가능하다. 해외에서도 디지털 트윈의 도시 계획 분야 활용성이 입증되고 있는 만큼, 이러한 사례를 참고해 스마트 도시에서 디지털 트윈의 효과를 입증하고, 이를 기반으로 더 다양한 활용 서비스를 모색할 필요가 있다.

특히 해외 사례에서 일본의 플라토를 눈여겨 볼 필요가 있다. 플라토는 중앙정부가 디지털 트윈 플랫폼을 제공하고, 지자체들이 다양한 활용 사례를 제시하도록 하고 있다. 이러한 사업은 중앙정부의 하향식 사업이 아닌, 지자체들의 아이디어를 토대로 상향식으로 새로운 서비스들을 발굴할 수 있는 방안이다. 국내의 경우 LX에서 구축한 디지털 트윈 플랫폼을 주축으로 지자체들의 아이디어들을 평가하여 실증 서비스들을 발굴하는 사례들을 발굴했지만, 플라토처럼 그 실증 결과를 확인할 수 있는 플랫폼이 존재하지 않는다는 점에서 사업들의 지속성을 확인하기 어렵다. 즉 국내 시범 사업이 성공적이지 못했던 이유들에 대한 검토와 플랫폼의 문제점들을 보완하고 사업의 지속성을 위한 성과도 보여 줄 수 있는 방안이 마련되어야 한다.

3. 거버넌스 체계 확립

디지털 트윈 뿐 아니라 근간이 되는 데이터 기반 스마트 도시 구현을 위해서는 민간 데이터의 활용이 필요함에도 불구하고 공공 및 민간 데이터의 연계가 부족하다. 총체적으로 중앙 부처 간, 지방 정부 내 부서 간, 공공 및 민간의 거버넌스 추진 필요하며, 디지털 국토가 국정과제로서 역할을 다하기 위해서는 통합된 총괄 조직이 상위 단계에서 필요하다. 그리고 분산된 도시 데이터를 통합하기 위해 범부처 조직과 지자체별 도시 데이터 관리기관을 구축해야 한다. 이 기관은 다양한 데이터 플랫폼을 하나로 통합하고, 스마트 도시 사업과 연계하여 데이터를 수집·관리하는 역할을 수행해야 한다. 또한 법제도 정비와 협력 체계 구축을 통해 특정 서비스에 필요한 데이터를 정책적으로 지원해야 한다. 해당 관리기관이 디지털 트윈 기술 측면만이 아닌 활용 측면에서 스마트 도시와 관련된 다양한 분야의 전문가들을 포함하여 활용 측면에서의 거버넌스를 강화해 나갈 필요가 있다.

이를 위해 지금은 해체된 “스마트 도시 특별위원회” 재조직하고 이를 중심으로 거버넌스 체계를 구축할 필요가 있다(그림 11). 한편 도시 데이터는 이중 데이터가 많

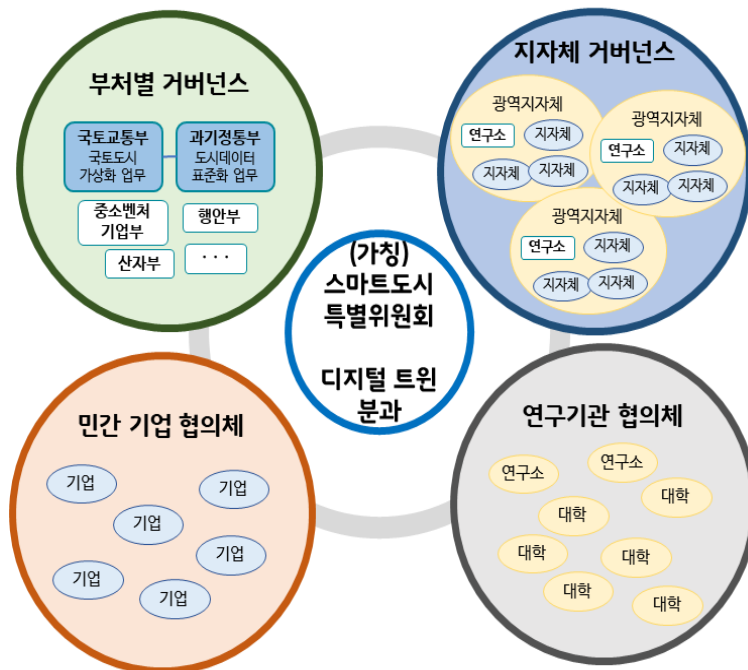


그림 11. 디지털 트윈 기반 스마트 도시 추진을 위한 거버넌스 체계(안)

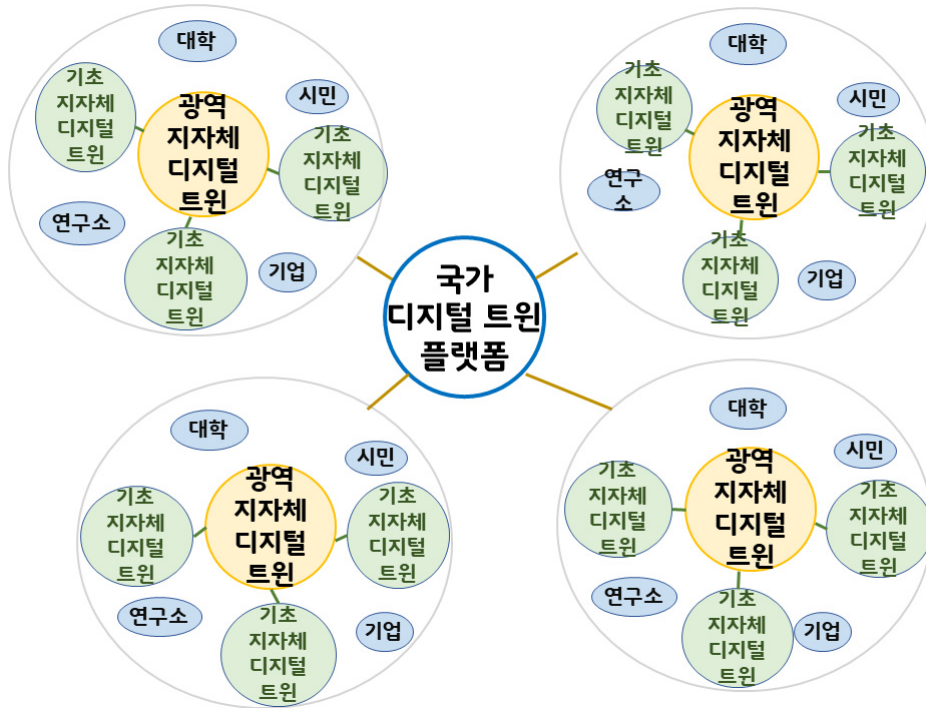


그림 12 디지털 트윈 통합을 위한 국가 디지털 트윈 플랫폼(안)

은데, 이중 데이터를 융복합해서 데이터·기관 간 연결하고 통합할 수 있는 디지털 트윈 플랫폼이 필요하며 최종적으로 다양한 디지털 트윈들이 통합될 수 있는 국가 디지털 트윈 플랫폼을 구축하여 데이터 거버넌스 환경을 조성할 필요가 있다(그림 12).

4. 스마트 도시 데이터 구축과 데이터 허브의 활성화

스마트 도시의 고도화를 위해 데이터 허브와 디지털 트윈의 유사성에 주목하고 두 시스템의 연계 및 발전이 필요하다. 데이터 허브는 데이터의 수집과 관리에 초점을 두고 있으나, 그 기능을 확장하여 디지털 트윈의 3차원 시각화, 실시간 데이터 처리, 시뮬레이션 및 예측 기능을 포함시키는 것이 중요하다. 이를 통해 스마트 도시는 단순한 데이터 관리 시스템을 넘어 도시 계획과 운영을 위한 지능형 플랫폼으로 진화할 수 있다.

현재 도시 데이터는 개인 및 사물의 위치정보와 동적 정보가 부족하므로, 스마트 도시 기반 시설의 구축이 필요하다. 예를 들어, 스마트 횡단보도에 센서를 설치하여 보

행자 및 차량 정보를 수집하고, 전력 및 상하수도 사용을 실시간으로 모니터링하는 자동원격검침시스템을 구축하고, 환경, 에너지, 폐기물 등 다양한 도시 요소를 모니터링할 수 있는 센서를 설치하여 디지털 트윈 기반 스마트 도시 구현을 위한 기반을 마련해야 한다.

디지털 트윈은 3D 지도 구축을 넘어 실시간 위치 및 공간 정보를 활용하여 도시 문제를 인지하고 분석하는 종합적인 플랫폼으로 발전해야 한다. 이는 다양한 데이터의 실시간 융합과 분석이 가능한 고도화된 데이터 허브 구현으로 이어질 수 있다. 디지털 트윈 기반 스마트 도시 모델은 교통과 안전 분야뿐만 아니라 보건·의료, 복지, 환경 에너지 등 다양한 실감형 서비스를 제공하는 플랫폼으로 자리매김할 수 있다.

현재 데이터 허브는 전국 지자체에 보급되고 있으며, 일부 기능으로 포함된 디지털 트윈도 함께 고도화되어야 한다. 두 시스템은 데이터 수집, 인공지능 기반 분석, 시뮬레이션 등에서 유사성을 지니므로, 연계를 통해 스마트 도시의 고도화를 추구할 수 있다. 국토교통부의 디지털 트윈 정책도 데이터 허브 보급사업과 연계되면, 디지털 트윈에 기반한 스마트 도시 고도화가 추진될 수 있을 것이다.

5. 기타 방안

스마트 도시의 고도화를 위해 디지털 트윈 정책 추진을 위해서 규제, 법, 제도는 다른 요소들에 비해서 상대적으로 중요도가 낮은 것으로 나타났다. 오히려 재정적 지원과 기술 개발을 위한 R&D의 지원이 중요한 것으로 나타났으며, 특히 정부의 지원은 모든 응답자들이 중요하다고 답변하였다. 이와 관련해서 전문인력 양성 및 소프트웨어 기술 발전도 필요한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 디지털 트윈 관련 기술의 지속적인 발전이 필요하며, 이를 위한 재정적 지원이 요구되는 것으로 이해될 수 있다. 따라서 도시의 디지털 트윈의 구축을 위한 지속적인 중앙정부 차원의 사업이 요구되며, 아울러 R&D 사업의 중요성도 부각된다.

VI. 요약 및 결론

본 연구는 디지털 트윈을 기반으로 스마트 도시의 고도화를 위한 정책 추진 방향을 제시하였다. 설문 결과 3차원 시각화보다는 실시간성과 예측성이 중요한 것으로 나타나 디지털 트윈을 3차원 도시 표현으로 생각하는 일반적인 통념과는 다른 결과로 도출되었다. 이와 더불어 도시의 디지털 트윈 서비스 사례가 부족한 것이 가장 큰 장애요인으로 지적되었으며, 거버넌스 및 표준화 등도 문제였으며, 정책방향과 관련하여 재정, 전문인력, 소프트웨어 기술의 발전 등이 중요한 것으로 나타났다. 특히 설문 결과에서 디지털 트윈 서비스 사례의 부족 문제를 눈여겨 볼 필요가 있는데, 이러한 결과는 디지털 트윈의 성과를 보여줄 수 있는 사례가 제시되어야 관련 정책 및 재정적 지원이 가능한 현실을 반영한다고 볼 수 있다. 디지털 트윈 서비스 사례 부족 문제는 정부가 디지털 트윈 플랫폼을 제공하고 지자체들이 다양한 디지털 트윈 구축 사례를 제공하는 일본의 플라토 사례를 참고할 필요가 있다.

한편 본 연구는 국내 디지털 트윈들의 사례들도 살펴봤는데, 여러 지자체들이 정부의 지원 사업 또는 자체 사업을 통해서 디지털 트윈을 구축하고 있음을 확인할 수 있었다. 이러한 사실은 지자체의 디지털 트윈 사업에 대한 수요를 보여주며, 중앙정부가 더욱 관련 정책·사업들을 발굴 및 추진해야 함을 의미한다. 그리고 본 연구에서는 스마트 도시와 디지털 트윈의 개념 및 발전단계들을 검토

하고 두 개념과 발전단계들을 융합하여 디지털 트윈 기반 스마트 도시 고도화의 이론적 배경을 제시하였다. 이러한 개념 및 현황들을 종합해 볼 때, 디지털 트윈의 발전 단계는 스마트 도시 고도화와 깊이 연관되어 있으며, 기술적 발전뿐만 아니라 사회적 변화까지 함께 고려해야 한다. 하지만 본 연구에서는 시민의 참여와 관련된 디지털 트윈 기반 스마트 도시 고도화를 다루지 못했다는 점이 연구의 한계라고 할 수 있다.

디지털 트윈의 발전 단계를 고려했을 때, 향후 자율적으로 도시를 운영하는 시스템으로 발전할 것으로 예상된다. 이러한 발전은 빅데이터 분석 및 인공지능 관련 기술의 발전이 이루어져야 가능하다. 따라서 설문 결과에서 나타났듯이, 이를 위한 재정 지원, 전문 인력 양성, 기술 발전을 위한 R&D 투자와 같은 정책들도 함께 뒷받침되어야 한다. 궁극적으로, 스마트 도시의 고도화는 기술과 시민 참여가 조화를 이루어야 하며, 디지털 트윈이 이러한 조화를 이끄는 중요한 도구가 되어야 한다. 즉 디지털 트윈은 단순한 도시 기능에 한정 지어서 도시를 자율적으로 운영하는 역할을 할 수도 있으며, 가상공간에서 다양한 도시 주체들이 모여서 함께 혁신적인 아이디어로 도시 문제를 해결해 나가는 플랫폼으로서도 역할을 할 수 있으며, 이러한 디지털 트윈이 구현될 때 스마트 도시가 고도화되었다고 할 수 있다.

註

- 1) 설문 응답 중 “문제 있다”와 “매우 문제 있다”를 선택한 응답자 수.
- 2) 사례로 스마트 도시의 중요한 분야인 교통 및 물류, 국가 공간 정보체계 등을 다루는 담당부서가 별도로 존재하고 스마트 도시를 총괄하는 부서와의 중복되는 업무의 경우 일부 중복되어 별도로 추진하거나 아예 추진되지 않아 공백이 발생.

참고문헌

- 관계부처합동, 2018, 「혁신성장동력 시행계획」, 세종: 관계부처합동.
- 관계부처합동, 2020, 「한국판 뉴딜 종합계획」, 세종: 관계

부처합동.
관계부처합동, 2021, 「한국판 뉴딜 2.0 - 미래를 만드는 나라 대한민국 -」, 세종: 관계부처합동.
국토교통부, 2021a, 「디지털 복제를 국토 향한 첫 걸음... 10개 시범사업 선정·발표 - 인천·제주 등 10개 지역 선정, 국비 35억 포함 1년간 50억 원 지원 -」, 세종: 국토교통부.
국토교통부, 2021b, 「제3차 공간정보산업진흥 기본계획」, 세종: 국토교통부.
국토교통부, 2022, 「2022년도 국가공간정보정책 시행계획」, 세종: 국토교통부.
국토교통부, 2023, 「제3차 디지털트윈 시범사업 공모 결과... 7개 지자체 선정」, 7월 3일, 보도자료.
국토교통부·국토연구원, 2022, 「한일 디지털 트윈 포럼」, 세종: 국토연구원.
김익희·서기환·허용·임룡혁·성혜정, 2022, 「디지털 트윈 기반 스마트시티 고도화 방안」, 세종: 국토연구원.
김익희·이재용, 2019, 「공공 방법 CCTV의 국내 확산을 위한 방안 연구」 한국지리학회지, 8(1), 79-93.
김익희·이재용·서연미·이정찬·정미애·김부연, 2019, 「스마트도시의 혁신생태계 활성화 방안 연구」, 세종: 국토연구원.
노수연·김성욱, 2017, 「항저우시의 스마트도시 건설 메커니즘 연구」 중국과 중국학, 32, 57-86.
노재인·박형수·명승환, 2022, 「디지털 트윈을 활용한 스마트시티 재난관리 방안 연구: 인천광역시 사례를 중심으로」 한국지역정보학회지, 1(3), 1-33.
박배균, 2020, 「스마트 도시론의 급진적 재구성: 르페브르의 ‘도시혁명’론을 바탕으로」 공간과 사회, 30(2), 141-171.
서기환·정예진·성혜정·홍상기, 2021, 「디지털 트윈 국토 추진을 위한 전략 연구」, 세종: 국토연구원.
성혜정·임은선, 2021, 「디지털 트윈 국토의 가치와 추진 원칙 연구」, 세종: 국토연구원.
이영주, 2022, 「도시의 디지털전환(UDX)을 위한 일본 플라토 프로젝트(Project PLATEAU) 추진전략」, 세종: 국토연구원.
이재용·이미영·이정찬·김익희, 2018, 「스마트시티 유형에 따른 전략적 대응방안 연구」, 세종: 국토연구원.
이정훈·이재혁, 2023, 「디지털 전환 이후 미래 2023 스마트시티 동향」 국토교통과학기술진흥원 편집 「Smart

City Top Agenda」, 안양: 국토교통과학기술진흥원, 256-267.
이희연, 2018, 「경제지리학」, 경기: 법문사.
정다운·박정호·서진재·신우형·장환영, 2024, 「디지털 트윈국토 시범사업의 추진 현황과 향후 발전 방향」 대한공간정보학회지, 32(3), 51-63.
정보통신기획평가원, 2021, 「디지털 트윈 기술 K-로드맵」, 대전: 정보통신기획평가원.
한국전자통신연구원, 2022, 「디지털 트윈의 꿈」, 대전: 한국전자통신연구원.
Batty, M., 2018, Digital twins, *Environment and planning B: Urban analytics and City Science*, 45(5), 817-820.
Cureton, P. and Dunn, N., 2021, Digital twins of cities and evasive features, in Aurigi, A. and Odendaal, N., eds., *Shaping Smart for Better Cities*, Cambridge, MA: Academic Press, 276-282.
European Comission, 2021, *EU Mission Climate-Neutral and Smart Cities Implementation Plan*, Brussels, Belgium: European Comission.
Goodchild, M.F., Connor, D., Fotheringham, A.S., Frazier, A., Kedron, P., Li, W., and Tong, D., 2024, Digital twins in urban informatics, *Urban Infomatics*, 3(16), 1-16.
Hollands, R.G., 2008, Will the real smart city please stand up? Intelligent, progressive or entrepreneurial?, *City*, 12(3), 303-320.
Li, D., 2022, Smart City Based on Digital Twins, *Proceedings, 2022 International Conference on Geospatial Information Science*, November 3, Gyeonggido, Korea, 34-72
Meijer, A. and Thaens, M., 2021, Path dependency of smart cities: How technological and social legacies condition smart city development, in Esteves E., Pardo, T.A., and Scholl, H.J., *Smart Cities and Smart Governance, Public Administration and Information Technology*, 37, Switzerland: Springer Nature, 31-42.
Shcwab, K., 2016, *The Fourth Industrial Revolution*, New York: Crown Currency(송경진 역, 2016, 「클라우드 슈밥의 제4차 산업혁명」, 서울: 메가스터디).
Shipra, N.S., Westerberg, P., and Son, D., 2023, Putting people at the entre of smart cities, in Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement, eds.,

- Smart City Top Agenda*, Anyang: Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement, 74-104.
- van Bronkhorst, B. and Choi, N., 2023, Smart Journey of Developing Cities: Key Takeaway from the World Bank's Smart City Engagement, in Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement, eds., *Smart City Top Agenda*, Anyang: Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement, 106-122.
- Vanolo, A., 2014, Smartmentality: The smart city as disciplinary strategy, *Urban Studies*, 51(5), 883-838.
- Yuya, U, 2022, Project PLATEAU: The initiatives of Japanese digital twin, *Proceedings, 2022 International Conference on Geospatial Information Science*, November 3, Gyeonggido, Korea, 73-83.
- 스마트 도시 혁신성장동력 R&D, smartcity.go.kr/rd/스마트시티-혁신성장동력-rd/혁신성장동력-소개/
- 유은정, 2022, 데이터가 도시를 움직인다? '유시티'→'스마트시티'로의 진화, <https://www.lgcns.com/blog/cns-tech/smartcity/37208/>
- Cohen B., 2015, "The 3 Generations of Smart Cities: Inside the development of the technology driven city..", <https://www.fastcompany.com/3047795/the-3-generations-of-smart-cities>
- Grieves, M., 2016, *Origins of the Digital Twin Concept*, <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26367.61609> Available at www.researchgate.net/publication/307509727_Origins_of_the_Digital_Twin_Concept
- Incheon Metropolitan City, <https://smart.incheon.go.kr/portal/apps/sites/#/smartgis/apps/a0a4995c49df4517ab5cd01891ab69da>
- NRF Singapore, <https://www.nrf.gov.sg/programmes/virtual-singapore>
- PLATEAU, <http://www.mlit.go.jp/plateau/>
- S-MAP, <https://smap.seoul.go.kr/>
- 교신 : 김익희, 30147, 세종특별자치시 국책연구원로 5 도시연구본부 스마트도시·방재연구센터(이메일: kimikhoi@krihs.re.kr)
- Correspondence: Ick-Hoi Kim, 5 Gukchaegyonguwon-ro, Sejong-si, 30147, Smart City & Disaster Prevention Research Center, Urban Research Division, Korea Research Institute for Human Settlements (Email: kimikhoi@krihs.re.kr)
- 투고접수일: 2024년 8월 21일
심사완료일: 2024년 11월 7일
게재확정일: 2024년 11월 26일