

스마트 도시 실현을 위한 디지털 트윈 기술 동향

Technology Trends in Digital Twins for Smart Cities

장윤섭 (Y.S. Chang, ychang76@etri.re.kr)

도시·공간·ICT연구실 책임연구원

장인성 (I.S. Jang, e4dol2@etri.re.kr)

도시·공간·ICT연구실 책임연구원/실장

ABSTRACT

Digital twins are digital replicas of objects and systems in the real world. These digital replicas in a virtual environment can be connected with smart sensors and a variety of analyses, and simulations of real-time data from these sensors enable effective the operation, rapid feedback, and future predictions of real world phenomena. Until now, digital twins have been adopted and used mainly in the field of manufacturing, especially for smart factories. As digital twins are expected to be useful not only for productivity improvement but also for social problem solving, it is predicted that they will be extended to other fields such as those of transportation and cities. Digital twins will especially help realize smart cities through real-time monitoring, operation, and predictions using virtual digital twin cities. This paper summarizes the trends in digital twins for smart cities, the concept of digital twins, their application to smart cities, the strategies of various countries, and the development status of companies.

KEYWORDS 스마트 도시, 디지털 트윈, 사이버물리시스템, 4차 산업혁명

1. 서론

디지털 트윈은 실세계의 객체 및 시스템을 가상
의 디지털 쌍둥이로 구현하고 센서를 이용해 실
간 데이터를 취득하며, 이에 대해 분석 및 시뮬
이션을 수행하여 효과적인 운영과 예측을 가능
하게 하는 기술이다. 이러한 디지털 트윈 기술은
가트너가 선정한 10대 전략기술에 2017년부터 2019

년까지 3년 연속 포함될 정도로 세계적으로 주목
받아 왔다. IDC(International Data Corporation)는
2020년까지 세계 상위 2,000개 기업의 30%가 디
지털 트윈을 구현해 활용하고, 이를 통해 25%까지
생산성 향상을 얻을 것으로 예측하였다[1]. 디지털
트윈 기술은 제조 분야에서 시작하여 전 산업으로
확대되어, 이제는 교통 및 도시 분야에까지 적용되
고 있다. 본 고에서는 도시 분야에서, 특히 스마트

* DOI: <https://doi.org/10.22648/ETRI.2021.J.360111>

* 본 연구는 '수요처 맞춤형 실감형 3D 공간정보 갱신 및 활용지원 기술 개발(20DRMS-B147287-03) 과제'의 연구비 지원에 의해 연구되었음.



본 저작물은 공공누리 제4유형

출처표시+상업적이용금지+변경금지 조건에 따라 이용할 수 있습니다.

©2021 한국전자통신연구원

도시 실현과 관련해 주목받고 있는 디지털 트윈 기술의 동향을 살펴보고자 한다.

본 고의 내용 구성은 다음과 같다. II장에서는 스마트 도시와 디지털 트윈의 개념에 대하여 알아보고, III장에서는 디지털 트윈이 스마트 도시 실현에까지 적용되어 온 경과를 살펴본다. IV장과 V장에서는 이와 관련된 국가별 추진 현황과 주요 기업별 개발 현황을 소개하고, VI장에서 결론을 맺는다.

II. 스마트 도시와 디지털 트윈 개념

1. 스마트 도시 정의

국토교통부의 스마트시티 종합포털에 스마트 도시는 4차 산업혁명 시대의 혁신기술을 활용해 시민들의 삶의 질을 높이고, 도시의 지속가능성을 제고하며, 새로운 산업을 육성하기 위한 플랫폼으로 정의되고 있다[2]. 그러나 이 밖에도 스마트 도시에 대한 정의는 매우 다양하며 국가별로 대표적인 정의를 모아보면 표 1과 같다. 4차산업혁명위원

표 1 국가별 스마트 도시 정의

| 국가 | 스마트 도시 정의 |
|-------------|--|
| 한국 [4] | 건설 및 정보통신기술을 융·복합해 건설된 도시 기반시설을 바탕으로 다양한 서비스를 제공하는 지속 가능한 도시 |
| 유럽연합 [5] | 디지털 및 통신기술을 활용해 전통적인 네트워크와 서비스를 보다 효율적으로 만드는 장소 |
| 미국(IDB) [6] | ICT 기술을 도시 관리에 결합해 효과적인 정부를 설계하는 도구로 이용되는 도시 |
| 싱가포르 [7] | 기술에 기반해 사람들이 의미 있고 성취된 삶을 살 수 있으며, 모두에게 흥미로운 기회를 제공 |
| 영국 [8] | 시민참여, 사회기반시설, 사회자본, 디지털 기술의 증가로 살기에 적합하고 탄력적인 도시 |
| 스페인 [9] | 삶의 질과 접근성을 향상시키고, 지속 가능한 경제, 사회, 환경 개발을 위해 ICT 기술을 적용한 도시 |

출처 스마트시티 종합포털, <https://smartcity.go.kr>

회의 스마트시티 추진전략에서는 스마트 도시를 ICT 기술을 활용해 도시 문제를 해결하고 삶의 질을 높이며 제4차 산업혁명에 대응하기 위한 미래 성장동력으로 여기고 있다[3].

2. 디지털 트윈 정의

디지털 트윈의 개념은 2003년에 미시간 대학교의 경영 수업에서 최초로 언급되었으며[10], NASA는 2012년에 비행 물체 제조에 디지털 트윈이 미치는 영향을 연구하였고[11], 2015년에는 기술전략 로드맵에 디지털 트윈을 포함해 활용할 것임을 밝혔다[12]. 2016년에 GE(General Electric)는 기계에서 발생하는 대규모 데이터를 분석, 수집하고 사물인터넷으로 연결해 디지털 트윈을 구현해 주는 플랫폼인 Predix를 공개하였다. 이어서 2017년부터 가트너의 10대 전략기술에 디지털 트윈이 선정되며 본격적으로 주목을 받기 시작하였다.

스마트 도시와 마찬가지로 디지털 트윈의 경우에도 조금씩 다르게 다양한 방식으로 정의되고 있다. 우선 위키백과에 의하면 디지털 트윈은 컴퓨터에 현실 속 사물의 쌍둥이를 만들고, 현실에서 발생할 수 있는 상황을 컴퓨터로 시뮬레이션하여 미리 예측하는 기술이다[13]. TTA 정보통신용어 사전에도 디지털 트윈은 물리적인 사물과 컴퓨터에 동일하게 표현되는 가상 모델의 쌍으로서 이에 시뮬레이션을 수행함으로써 실제 자산에 대한 정확한 정보를 얻을 수 있는 기술로 정의되어 있다[14]. 도입 효과에 주목한 정의로는 Weekes가 디지털 트윈을 물리적 자산(Asset)에 대한 디지털 모델로서 센서를 통해 정보를 수집 및 분석하고, 기계 학습 등 인공지능을 적용하여 해당 물리적 자산의 성능, 운영, 수익성에 대한 실시간 통찰(Insight)을 얻기 위한 기술로 정의하였다[15]. Graham도 물리

적 객체의 가상 복제물(Virtual Replica)을 만들고 센서로 연결해 실시간 데이터를 전송하며 모니터링, 진단, 예측을 수행해 시스템 운용을 최적화하고, 숨겨진 정보를 도출하기 위한 기술로 정의하였다[16]. 복제에 중점을 두는 경우 디지털 트윈은 실제의 물체 및 시스템을 디지털 세계에 고스란히 재현하는 방식[17] 또는 사물, 시스템, 환경 등을 가상의 공간에 형상만이 아닌 동작까지 동일하게 구현하는 기술로도 정의된다[18].

3. 디지털 트윈과 가상물리시스템

디지털 트윈과 함께 살펴보아야 할 개념으로 가상물리시스템(CPS: Cyber Physical System)이 있다. 두 개념은 매우 유사하면서도 서로 구분이 필요하며, 두 개념도 마찬가지로 각각 조금씩 다르게 정의하고 구분해왔다.

가상물리시스템은 인더스트리 4.0과 함께 등장한 개념이다. 인더스트리 4.0은 미국, 독일, 일본과 같은 제조 선진국에서 제조 산업의 경쟁력 강화를 위해 등장한 개념으로서 2011년에 독일공합협회에 의해 처음 제시되었다. 독일은 2012년에 ‘하이테크 전략 2020’에 인더스트리 4.0을 편입하였다. 독일의 인공지능연구소는 노동력이 사람에게서 기계로 대체되는 시기를 인더스트리 1.0, 전기의 등장으로 대량생산이 가능해진 시기를 인더스트리 2.0, 인터넷 기술의 적용으로 부분 자동화가 이뤄진 시기를 인더스트리 3.0, 그리고 완전 자동화가 이루어지는 시기를 인더스트리 4.0으로 구분하였다[19].

가상물리시스템은 인더스트리 4.0의 완전 자동화를 위한 핵심 기술이다. Edward Lee는 2008년에 가상물리시스템을 물리 프로세스와 컴퓨팅의 결합체로 보았다[20]. 보다 구체적으로 가상물리시

스템은 현실의 정보를 가상에 투여하고 가상의 정보를 현실에 반영할 수 있는 현실과 가상을 이어주는 기술로 정의될 수 있다[19]. 다시 말해 가상물리시스템은 가상과 물리를 연결하고 현실의 정보를 가상공간에 전달하며, 이를 시각화하여 관리자에게 보여주거나 운영에 이용할 수 있다[21].

앞서 살펴본 바와 같이 가상물리시스템은 디지털 트윈과 그 개념이 매우 유사하다. 다만 이 둘을 구분하는 경우에 있어서 가상물리시스템을 개념적인 모델로, 디지털 트윈을 이에 대한 응용 기술 또는 고급형 기술로 보는 견해가 보편적이다. 일례로 가상물리시스템을 가상의 제어요소가 현실의 물리 시스템과 연결되어 동작하는 포괄적 의미의 시스템으로 보고, 디지털 트윈을 이러한 시스템의 고급형 기술 유형으로 본 견해가 있다[22]. 가상물리시스템은 추상적인 개념 기술에 불과하며 디지털 트윈이 실질적으로 적용되는 기술이라고 보는 견해도 있다[19]. 반면 가상물리시스템을 현실과 가상을 동기화하고 시각화는 피드백 시스템으로, 디지털 트윈을 현실과 1:1로 대응되는 가상의 쌍으로 보기도 하였다[23].

4. 디지털 트윈 요소기술 및 구현단계

디지털 트윈의 구현에 필요한 요소기술과 그 구현단계에 따른 구분에 대하여 살펴보자. 디지털 트윈의 구현에 필요한 요소들을 각각 기술과 소프트웨어 측면으로 나누어본 사례들이 있다. 표 2는 디지털 트윈 구현에 필요한 요소들을 기술 측면에서 [24], 표 3은 이들을 소프트웨어 측면에서 나누어본 예이다[22].

디지털 트윈 플랫폼은 구현 정도에 따라 다음과 같이 3가지 레벨로 나누어 볼 수 있다. 레벨 1은 현실 객체의 기본적 속성을 반영한 디지털 객체, 레

표 2 디지털 트윈의 요소기술

| 기술 | 내용 |
|-----------|--|
| 사물 인터넷 | 물리적 객체의 실시간 데이터 수집과 물리-가상 객체 간 데이터의 원활하고 정확한 양방향 전송 촉진 |
| 인공지능 | 새로운 데이터로부터 학습을 촉진하고 예측 모델을 지속적으로 개선 |
| 빅데이터 | 패턴 유추 및 유용한 정보 발굴을 위한 양적 데이터 제공 |
| 클라우드 | 센서 및 다양한 플랫폼으로부터 오는 엄청난 양의 데이터를 담아 유연성, 확장성 지원 |
| 5세대 통신 | 실시간 정보 전송 능력으로 디지털 트윈의 반응성 향상 |
| 증강현실/혼합현실 | 실제 물리적 환경과 함께 가상환경의 디지털 트윈 인식 지원 |
| 모델링 | 제품, 공정, 시스템 등의 형상을 가상공간에 구현 |

출처 장예지, "디지털 전환의 핵심, 디지털 트윈," ICT SPOT Issue, 2019. 12, 공공누리 1유형.

표 3 디지털 트윈의 구성 소프트웨어

| 소프트웨어 | 내용 |
|----------------|----------------------------------|
| 수집/전달/저장/처리 SW | 현식의 객체 운용에서 발생/관찰되는 의미 있는 데이터 |
| 모델링 및 튜닝 SW | 해당 객체에 대한 진화/변경 가능한 디지털 모델 |
| 런타임 엔진 및 연동 SW | 디지털 모델들의 실행/시뮬레이션 환경 |
| 응용 SW | 응용 목적에 따른 진단/분석/예측 결과 산출 응용 모듈 |
| 결정/제어 SW | 진단/분석/예측 결과의 현실 반영을 위한 제어정보 |
| 2D/3D 그래픽스 SW | 3D 객체 설계 및 운용/결과 시각화를 위한 그래픽스 모듈 |

출처 이광기, 유호동, 김탁곤, "디지털 트윈 기술 발전방향," KEIT PD 이슈리포트, 2018

벨 2는 실세계와 연결되어 모니터링 및 제어 가능한 수준, 레벨 3은 인공지능 등을 적용해 고급 분석과 시뮬레이션이 가능한 수준이다[24,25]. 조금 더 자세히 살펴보면 3차원 시각화만 하거나 속성을 변경하여 사전 시뮬레이션이 가능하면 레벨 1, 실시간 센싱 데이터를 받으며 1:1 매칭되고 모니터링 되면 레벨 2, 예측 및 분석하면서 시뮬레이션하고

실제 사물의 제어까지 가능하면 레벨 3이라 볼 수 있다[18].

III. 스마트 도시 실현과 디지털 트윈

1. 디지털 트윈의 적용 확대

디지털 트윈은 현재 제조 분야, 특히 스마트 팩토리 분야에서 도입이 활발하나, 생산성 향상은 물론 사회문제 해결에 도움이 될 것으로 기대되면서 향후에는 제조 외에 교통 및 도시 분야에까지 도입이 확대될 것으로 예상된다[26]. 결과적으로 디지털 트윈은 사물인터넷, 증강현실, 가상현실, 인공지능 등의 기술 발전에 힘입어 제조, 전력, 항공, 자동차, 의료, 교통, 도시 등 산업 전반에 걸쳐 활용이 가능할 전망이다.

특히 도시 분야에서는 도시화에 따른 교통, 주택, 환경, 에너지 등 도시 문제 해결을 위해 일종의 테스트베드로서 가상환경에 디지털 트윈 도시를 구현하고 위 문제들에 대한 의사결정에 도움을 주는 방향으로 활용될 전망이다. 보다 구체적으로는 도시의 계획, 실행 및 관리를 위해 3차원 도시모델과 이와 연계된 센서 및 행정정보를 이용해 디지털 트윈을 구현하고, 분석과 시뮬레이션을 통해 도시 문제를 모니터링, 예측, 사전 검증함으로써 스마트 도시를 실현하여 시설물 관리, 재난재해 대응 등에 활용하여 도시를 효율적으로 운영할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 디지털 트윈 적용 사례

이미 디지털 트윈 기술을 스마트 도시 실현에 적용한 여러 사례가 선보여져 왔다. 이에 이 절에서는 이들 중 대표적인 사례들을 소개하여 참고할 수 있도록 하였다.

표 4 버추얼 싱가포르의 주요 기능

| 구분 | 기능 예 |
|-----------|---|
| 가상실험 | 교통약자 이동경로 설계, 위험 분석, 공기흐름 분석, 오염 분석 |
| 가상 테스트베드 | 건물 대피 시뮬레이션, 교통 시뮬레이션, 태양열 설치 검증, 소음분석 |
| 계획 및 의사결정 | 도로계획 수립, 풍량을 고려한 건물 배치, 이동 경로/시간에 따른 도시 개발, 육교 연결 도로 결정 |
| 연구개발 | 데이터 통합, 시민참여 및 제안, 학생 행태 연구, 자전거길 안전 평가 |

출처: 다쏘시스템, "미래도시 건설을 위한 디지털도시플랫폼 구축," 2018

가. 버추얼 싱가포르

버추얼 싱가포르(Virtual Singapore)는 2014년 12월에 시작하여 2018년까지 약 7,300만 달러를 투입한 프로젝트로서 정부가 주도하고 다쏘시스템(Dassault Systems), ESRI, 지멘스(Siemens) 등 글로벌 기업들이 참여하였다[24]. 이 프로젝트는 도시의 모든 구조물과 대응되는 디지털 트윈을 구현하고, 전기 및 교통 등 인프라와 기상정보, 인구통계, 시설물 및 건물 내부까지의 데이터를 수치화하여 시뮬레이션을 수행할 수 있도록 하여 도시계획, 교통, 환경 등 다양한 분야의 테스트베드로 활용할 수 있도록 하였다[27]. 나아가 프로젝트 결과물은 정부만이 아니라 시민, 기업, 연구기관도 접근하고 참여하여 도시계획 및 운영에 활용할 수 있도록 하였다.

버추얼 싱가포르의 주요 기능은 표 4와 같이 가상실험(Virtual Experimentation), 가상 테스트베드(Virtual Testbed), 계획 및 의사결정(Planning and Decision-Making), 연구개발(Research and Development)의 4가지 분류로 나눌 수 있다[28].

나. VU.CITY

VU.CITY는 런던, 맨체스터, 버밍엄 등 영국의

주요 도시들뿐만 아니라 전 세계 주요 도시들에 대하여 가상의 도시모델, 즉 디지털 트윈을 구현하여 도시를 효율적으로 운영하고, 다양한 데이터를 기반으로 시민들에게 유용한 서비스들을 제공할 수 있도록 한 프로젝트이다[29]. 원래는 Vertex Modeling이라는 회사가 자사 내 하나의 솔루션으로서 영국의 주요 도시들을 가상의 도시모델로 만든 것이 시초였는데, 현재는 전체를 VU.CITY라는 이름의 프로젝트로 수행하고 있다. VU.CITY는 도시들을 3차원 모델로 구축하고 교통, 날씨, 에너지, 환경정보 등 실시간 데이터를 연동하여 시각화하고 도시를 효율적으로 운영할 수 있도록 하고 있다.

다. 인도 아마라바티

인도의 안드라프라데시(Andhra Pradesh) 주정부는 65억 달러를 투자하여 주의 수도인 아마라바티(Amaravati) 개발에 앞서 디지털 트윈으로 구현함으로써 기존에 농작물을 재배하던 낙후된 도시를 친환경적인 최첨단 도시로 변모시키고자 하였다[24]. Cityzenith사의 Smart World Pro 소프트웨어를 이용해 아마라바티의 3차원 도시 프로토타입을 구축하였으며, 도시건설 결과를 최적화하기 위해 여러 가지 시나리오가 이 위에서 미리 수행되도록 하였다[15]. 해당 프로젝트에서는 또한 포털 서비스를 제공하여 정부의 정보, 공지, 각종 양식, 활용 등에 관한 정보를 제공하여 시민과 민간의 참여를 유도하고 관계를 개선하고자 하였다.

라. 미국 로스앤젤레스

Itron Ideas Lab 팀은 자사의 디지털 트윈 기술과 함께 마이크로소프트의 홀로렌즈 및 Azure Digital Twins 서비스를 활용하여 로스앤젤레스(LA) 다운타운 지역의 건물별 건축재료, 기반시설, 지역 내 설치된 다양한 센서들 사이의 관계를 가상으로 표

현하는 데 혼합현실 방식을 도입하였다[15]. 해당 디지털 트윈을 통해 계획입안자와 관리자들은 시뮬레이션된 가상의 환경에서 스마트 센서 설치, 지붕 재료 변경, 교통 패턴 변경, 나무 심기 등을 수행하며 시민, 자동차, 학교 및 건물들에 미치는 영향 등을 파악할 수 있었다.

마. 영국 뉴캐슬

영국의 뉴캐슬(Newcastle) 대학과 Northumbrian Water사는 도시 내 사고와 재난에 보다 잘 대응하기 위해 뉴캐슬시의 디지털 트윈 구현을 시도하였다[15]. 구현된 디지털 트윈 가상 모델은 관파열, 폭우, 홍수 등 사고와 재난에 대해 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하여 시민들과 사회에 어떠한 영향을 줄지 24시간 중 언제나 몇 분 안에 파악할 수 있도록 하였다.

3. 디지털 트윈 도입 효과

도시 분야, 특히 스마트 도시 실현에 디지털 트윈 기술을 도입할 경우에 기대할 수 있는 효과에 대하여 살펴보자. 디지털 트윈은 스마트 도시의 설계, 건설, 운용 전 주기에 걸쳐 어느 시점, 어느 단계에서나 관련자들이 원활히 참여할 수 있도록 해 줄 것이다. 디지털 트윈은 도시와 그 안의 사회(커뮤니티)를 가상에 복제하여 분석, 관리함으로써 도시와 사회의 지속 가능성을 크게 향상시킬 것이다. 또한 그 과정에서 계획입안자나 관리자뿐만 아니라 일반 시민과 민간의 접근을 용이하게 함으로써 스마트 도시 프로젝트의 참여 확대를 가져올 수 있다.

디지털 트윈은 도시의 교통, 주거, 안전, 공중보건, 에너지, 환경 등 주요 문제들을 해결하는 데 있어서 가상 및 실제 세계를 함께 고려해 의사결정을

표 5 디지털 트윈 도입 효과

| 구분 | 도입 효과 |
|----|--|
| 사회 | <ul style="list-style-type: none"> • 이해관계자들의 투명한 참여 가능 • 대중에게 보다 나은 산출물 • 사용자 경험성 및 만족도 개선 |
| 경제 | <ul style="list-style-type: none"> • 기반시설 관리로 국가생산성 향상 • 성과 측정방법 개선 • 비용 대비 생산성 개선 |
| 산업 | <ul style="list-style-type: none"> • 신규 시장, 서비스, BM, 참여자 • 비즈니스 효율 개선 • 건설분야 벨류체인 최적화 • 불확실성 감소, 위기관리 개선 |
| 환경 | <ul style="list-style-type: none"> • 환경파괴 및 폐기물 감소 • 재사용성 및 자원효율 증대 • 건설 환경의 순환경제 실현 |

출처 Centre for Digital Built Britain, "National Digital Twin Program," <https://www.cdbb.cam.ac.uk/what-we-do/national-digital-twin-programme>

돕고, 위험을 줄여줄 것이다. 디지털 트윈은 도시 문제에 특히, 사고 및 재난 등에 대해 실시간 대응이 가능하게 해 줄 뿐만 아니라 미래의 사태를 미리 예측해 대비할 수 있도록 하는 미래 경쟁력 확보에 도움을 줄 것이다. 디지털 트윈은 향후 지속 가능하고 강건한 건물 및 도시를 만들고, 기후위기와 탄소절감 문제를 해결해 줄 것이다. 디지털 트윈을 이용해 시민, 교통흐름, 에너지, 쓰레기, 자원과 관련된 다양하고 효과적인 정책 개발 또한 가능할 것이다.

영국의 CDBB(Centre for Digital Built Britain)는 도시에서 나아가 건설 분야에 국가적인 디지털 트윈을 도입했을 때 가져올 효과를 크게 사회, 경제, 산업, 환경 측면으로 나누었다[30]. 표 5는 이를 다시 한번 정리한 내용이다.

4. 디지털 트윈 도입 시 고려사항

디지털 트윈을 도입하는 데 있어서 미리 주의하고 염두에 두어야 할 사항들도 함께 살펴보도록 하

자. 우선 개인정보 보호를 가장 심각한 문제로 보는 경우가 있는데, 이는 디지털 트윈으로 복제된 대상이 개인정보 유출 위험이 더 높을 수 있으며, 디지털 트윈과 연결된 센서가 많아질수록 오작동 확률도 높아지기 때문이다[31]. 스마트 도시의 디지털 트윈 프로젝트를 수행하는 데 있어서 이를 뒷받침할 법제도 제정의 문제와 참여자들 간의 비용 배분 문제, 그리고 하나의 도시공간을 두고 서로 다른 사용자별 요구사항을 충족시키는 문제 등도 다루어졌다[32]. 디지털 트윈 프로젝트를 수행함에 있어서 시범사업 수행과 산업화, 그리고 그 확대로 이어지는 과정이 필요함이 제시되기도 하였는데[33], 이러한 과정을 위해서는 정부가 주도하고 민간이 참여하는 협력 방안의 마련도 중요할 것이다.

IV. 국내외 추진 현황

1. 국외 주요 국가별 추진 현황

미국은 여러 도시의 문제 해결을 위해 디지털 트윈을 활용하고 있다. 교통 문제와 관련하여 Open Mobility Foundation은 도시 교통 시스템의 안전하고 효율적인 실시간 관리 및 시뮬레이션을 위해 디지털 트윈 개발을 계획 중이며[34], Smart America는 도로 교통 시스템을 디지털 트윈화하여 여정 시간 및 안전 개선, 도로 혼잡도 감소, 도로 시스템의 성능 개선을 위해 노력 중이다[35]. 보스턴의 Withrop Square Tower 건설 때 Boston Planning Development Agency는 디지털 트윈 시뮬레이션을 활용하여 주변 공원에 미치는 일조권 영향을 확인하였다. 미시간 주의 Ontwa는 파열 등에 대비한 폐수관 유지보수를 위해 디지털 트윈을 활용하여 실시간 정보 업데이트를 통해 작업 흐름의 투명성을 강화하였다[36].

영국은 도시 범위에서 나아가 국가 인프라를 디지털 트윈으로 구현하려 추진 중이다. 영국 국가인프라위원회(British National Infrastructure Commission)는 데이터 공유와 함께 디지털 트윈의 필요성을 강조하며 ‘국가 디지털 트윈(National Digital Twin)’을 주창하였다[24]. 구체적으로는 국가 디지털 트윈 구축을 위해 2018년 7월에 CDBB 내에 Digital Framework Task Group이 발족되었다[30]. 추진 중인 국가 디지털 트윈은 국가 인프라의 성능, 서비스, 가치 향상을 통해 영국 사회, 기업, 환경 및 경제에 혜택을 제공하는 것을 목표로 하고 있다.

핀란드는 가상현실을 이용해 수도 헬싱키를 디지털 트윈으로 구축하여 관광, 쇼핑, 훈련, 콘서트, 시뮬레이션, 가상 시민권 등에 활용하고자 하였다[37]. 또한 칼라사타마(Kalasadama) 도시 환경을 개선하기 위해 디지털 트윈을 도입하여 도시 전체 라이프 사이클을 설계, 테스트, 적용 및 서비스하는데 활용하였다[38].

싱가포르는 앞서 소개한 바와 같이 2014년 12월에 시작하여 2018년까지 약 7,300만 달러를 투입하여 버추얼 싱가포르 프로젝트를 수행하였다[24]. 이 프로젝트를 통해 싱가포르의 도시의 모든 구조물에 대응되는 디지털 트윈을 구현하고, 전기 및 교통 등 인프라와 기상정보, 인구통계, 시설물 및 건물 내부까지의 데이터를 수치화하여 시뮬레이션을 수행함으로써 도시계획, 교통, 환경 등 다양한 분야에서 개선을 이루고자 하였다.

중국은 항저우를 시작으로 알리바바(Alibaba) 클라우드 기반의 ET City Brain을 중국 내 여러 도시에 적용하고 있다. ET City Brain은 도시 인프라의 효과적인 관리 및 도시 문제 해결을 위해 디지털 트윈, 사물인터넷, 인공지능 등 첨단기술을 접목한 플랫폼이다[39].

인도는 100개 도시를 대상으로 33조 원 이상 규

모의 자금을 투자하여 개발하고 있다[24]. 대표적으로 안드라프라데시의 아마라바티에 대하여 디지털 트윈 구현을 위해 65억 달러를 투자하였다.

2. 국내 추진 현황

국토교통부는 디지털 트윈을 한국판 뉴딜 10대 과제 중 하나로 추진 중이며[40], 2022년까지 전국 3차원 디지털 지도 등 디지털 트윈의 핵심 기반을 구축할 계획임을 발표하였다. 보다 구체적으로는 도심지에 대해 수치표고모형과 12cm급 고해상도 영상지도를, 전국 일반국도 14,000km 대상으로 정밀도로지도를, 그리고 전국 시·군 지역에 대해 지하 공간 3차원 통합지도를 구축할 계획이다. 그리고 스마트시티 국가시범도시인 세종과 부산에 대해 디지털 트윈 플랫폼을 구축하여 다양한 대민 서비스를 제공할 계획이다.

세종시는 ETRI와 함께 5-1 생활권에 디지털 트윈을 구축해 안전, 환경, 복지, 교통 등 다양한 분야에 활용할 예정이며, 부산 에코델타시티는 디지털 트윈상의 3D 설계를 통해 가상 도시를 구축하고 향후 도시통합운영센터와 연계해 도시 관리에 활용할 예정이다. 서울시는 국내 기업 솔루션을 이용해 3D 기반의 디지털 트윈을 구축해 정책 결정 지원 및 도시 문제 해결에 활용할 계획이다. 한국 국토정보공사(LX)는 전주시와 업무협약을 맺고 디지털 트윈의 가상환경에서 다양한 모의실험을 수행할 수 있도록 하기에 앞서 디지털 허브 구축을 위해 LOD 0~LOD 4의 공간정보 구축을 진행하였다[41].

국토교통부와 한국토지주택공사(LH)는 3기 신도시의 사전청약 전에 '3차원 가상체험 플랫폼'을 구축하여 디지털 트윈 서비스를 제공할 계획이다[42]. 해당 서비스는 디지털 트윈을 활용해 건물구

조를 디지털로 구현함으로써 청약 희망자들이 사전청약 전에 가상의 환경에서 동과 층을 선택해 베란다나 안방에서의 조망을 미리 확인하고, 일조권 분석 결과를 확인할 수 있게 할 예정이다.

과학기술정보통신부는 95억 원 규모로 '5G 기반 디지털트윈 공공선도' 2개 과제를 선정하여 추진을 시작하였다[42]. 경남의 창원 NC 파크 등 27개 시설물에 대해 디지털 트윈을 구축하여 건물 안전 모니터링, 재난관제, 시뮬레이션 서비스와 5G 특화 서비스를 제공할 예정이며, 광주 및 대구 지역의 민관군 25개 시설물을 대상으로 고효율, 저비용 시설 센싱 환경 구축 및 사용자 맞춤형 지능형 서비스를 제공할 계획이다.

V. 기업별 개발 현황

1. 국외 주요 기업별 개발 현황

GE는 2016년에 사물인터넷을 기반으로 기계에서 발생하는 대규모 데이터를 수집, 분석하여 디지털 트윈으로 구현하고 모니터링 및 컨트롤이 가능하게 하는 Predix[43] 플랫폼을 발표하였다. 이를 실제로 자사의 네바다 주 공장의 디지털 트윈을 구축하는 데 적용하여 경영진의 의사결정에 도움을 주도록 하였다. 다쏘시스템의 3D 익스피리언스(3DEXPERIENCE)[44] 플랫폼은 현실 세계의 제품, 시스템, 시설, 환경을 3차원 디지털 트윈으로 구현하고 라이프사이클 전 단계에서 모델링과 시뮬레이션을 수행하고 테스트 및 검증할 수 있도록 해 준다. 지멘스의 마인드스피어(MindSphere)[45]는 자동화 사물인터넷 플랫폼으로서 각 설비에 부착된 센서를 통해 데이터를 수집하고, 이를 디지털 트윈과 연결함으로써 실시간으로 피드백하여 생산성을 향상시킨다. PTC는 산업용 사물인터넷 플랫폼인 Thingworx에서 3차원 설계 소프트웨어

Creo[46]를 이용해 디지털 트윈을 구축하여 물리적 세계와 디지털 세계를 연결하도록 하였다. 마이크로소프트는 자사의 Microsoft Azure 클라우드에 디지털 트윈 구현을 돕는 사물인터넷 솔루션 Azure Digital Twins[47]를 추가해 제공하고 있다. 해당 솔루션은 가상의 환경에서 실세계의 사람, 장소, 그리고 기기 사이의 관계를 모델링하여 모니터링 및 예측이 가능하도록 하였다.

2. 국내 기업별 개발 현황

국내에서 솔루션 개발 등 디지털 트윈 구현과 직접 관련된 기업들은 주로 대기업과 통신사업자이며, 이들을 중심으로 시장이 성장하고 있다. 그 외 디지털 트윈을 도입해 활용하는 기업들은 주로 외산 플랫폼을 들여와 디지털 트윈을 구현하는 방식을 선호해왔다. 이는 외산 플랫폼이 기존 설비와의 호환이 용이하고, 신속하게 도입해 적용할 수 있기 때문이다. 디지털 트윈 구현을 통한 스마트 도시 구축은 주로 공기업을 중심으로 추진되고 있다. 한국국토정보공사는 전주시와 업무협약을 맺고 ‘디지털 트윈 사업’에서 가상 플랫폼을 구축하여 시뮬레이션을 통해 도시 문제 해결과 의사결정 지원을 해결하려 추진 중이며, 한국토지주택공사는 3기 신도시를 가상화해 디지털 형태로 구축하는 방안을 추진하고 있다[24].

VI. 결론

본 고에서는 스마트 도시 실현에 필요한 디지털 트윈 기술의 동향과 관련하여 디지털 트윈 개념, 스마트 도시 분야 적용 경과, 국가별 추진 현황, 그리고 주요 기업별 개발 현황을 살펴보았다. 디지털 트윈은 도시화 심화에 따른 교통, 주택, 환경, 에너

지 등의 도시 문제에 대하여 실시간 대응이 가능하도록 해 줄 뿐만 아니라, 미래의 사태를 미리 예측해 대비할 수 있도록 하여 미래 경쟁력 확보에 도움을 줄 것으로 기대된다.

용어해설

스마트 도시 건설 및 정보통신기술을 융·복합해 건설된 도시기반시설을 바탕으로 다양한 서비스를 제공하는 지속 가능한 도시
디지털 트윈 컴퓨터에 현실 속 사물의 쌍둥이를 만들고, 현실에서 발생할 수 있는 상황을 컴퓨터로 시뮬레이션하여 미리 예측하는 기술

약어 정리

| | |
|------|----------------------------------|
| CDBB | Centre for Digital Built Britain |
| CPS | Cyber Physical System |
| IDB | Inter-American Development Bank |
| IDC | International Data Corporation |
| LOD | Level of Detail |

참고문헌

- [1] IDC, “IDC futureScape: worldwide IoT 2019 predictions,” Oct. 2018, <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=US44390618>
- [2] 스마트시티 종합포털, <https://smartcity.go.kr>
- [3] 4차산업혁명위원회, “도시혁신 및 미래성장동력 창출을 위한 스마트시티 추진전략,” 2018. 1.
- [4] 스마트시티 조성 및 산업진흥 등에 관한 법률, <https://www.law.go.kr/LSW/lsinfoP.do?lsiSeq=200214>
- [5] 유럽연합위원회, <https://ec.europa.eu>
- [6] M. Bouskela et al., “The road toward smart cities: Migrating from traditional city management to the smart city,” 2016, p. 16.
- [7] Smart Nation Singapore, <https://smartnation.gov.sg>
- [8] BIS, “Smart cities: background paper” 2013, p. 7.
- [9] MINETAD, “Plan nacional de ciudades inteligentes 2015-2017,” 2017, p. 3.
- [10] M. Grieves, “Origins of the Digital Twin Concept,” Aug. 2016.
- [11] E. H. Glaessgen and D. S. Stargel, “The Digital Twin Paradigm for Future NASA and U.S. Air Force Vehicles,” in Proc. Struct. Struct. Dyn. Mater. Conf.: Spec. Session. Digital. Twin.

- (Honolulu, HI, USA), Apr. 2012, doi: 10.2514/6.2012-1818
- [12] NASA, "NASA technology roadmap-TA 11: Modeling, simulation, information technology and processing," July. 2015.
- [13] 위키백과, "디지털 트윈," 2020. 11, https://ko.wikipedia.org/wiki/디지털_트윈
- [14] 정보통신용어사전, "디지털 트윈, digital twin," http://terms.tta.or.kr/dictionary/dictionaryView.do?word_seq=099931-7
- [15] S. Weekes, "The rise of digital twins in smart cities," SmartCitiesWorld, Jan. 2019, <https://www.smartcitiesworld.net/special-reports/special-reports/the-rise-of-digital-twins-in-smart-cities>
- [16] S. Graham, "What do digital twins mean for the built environment?," BIMTODAY, Oct. 2019, <http://www.pbctoday.co.uk/news/bim-news/digital-twin-4-0/64519/>
- [17] KB금융지주 경영연구소, "KB 지식 비타민: 미래를 이끄는 기술, 디지털 트윈의 진화와 적용 사례," 2019. 4.
- [18] LG CNS 엔트루컨설팅 스마트엔지니어링그룹, "물리적 세계와 디지털 세계의 통합, Digital Twin," 2018. 11, <https://blog.lgcns.com/1864>
- [19] 유성민, "CPS를 뒷받침하는 디지털 트윈," 사이언스타임즈, 2019. 4, <https://www.sciencetimes.co.kr/news/cps를-뒷받침하는-디지털-트윈>
- [20] E. A. Lee, "Cyber physical systems: Design challenges" in Proc. IEEE Int. Symp. Object Component-Oriented Real-Time Distribut. Comput. (Orlando, FL, USA), May 2008, doi: 10.1109/ISORC.2008.25
- [21] 유성민, "인더스트리 4.0으로 살펴본 디지털 트윈," KISA Report, 2019.
- [22] 이광기, 유호동, 김탁근, "디지털 트윈 기술 발전방향," KEIT PD 이슈리포트, 2018.
- [23] 이민화, "[이민화의 혁신경제 훈수두기] '디지털트윈'으로 문제를 푼다," 디지털타임스, 2019. 6, http://www.dt.co.kr/contents.html?article_no=2019062402102269061001&ref=naver
- [24] 장예지, "디지털 전환의 핵심, 디지털 트윈-제조와 도시를 중심으로," ICT SPOT Issue, 2019. 12.
- [25] Gartner, "Use the IoT platform reference model to plan your IoT business solutions" Sept. 2016, <https://www.gartner.com/en/documents/3447218/use-the-iot-platform-reference-model-to-plan-your-iot-bu>
- [26] 김영훈, "디지털 트윈 어떻게 전개될 것인가?," POSRI 이슈리포트, 2018. 12.
- [27] Virtual Singapore 프로젝트 홈페이지, <https://www.nrf.gov.sg/programmes/virtual-singapore>
- [28] 다쏘시스템, "미래도시 건설을 위한 디지털도시플랫폼 구축," 2018.
- [29] VU.CITY 프로젝트 홈페이지, <https://vu.city/>
- [30] Centre for Digital Built Britain, "National digital twin program" <https://www.cdbb.cam.ac.uk/what-we-do/national-digital-twin-programme>
- [31] 최재홍, "디지털 트윈, 지금이야말로 허실(虛實) 따질 때," 삼성 뉴스룸, 2018. 5. 24., <https://news.samsung.com/kr/디지털트윈-지금이야말로-허실虛實-따질-때>
- [32] J. Morley, "'Digital twin' is the new 'smart city,'" Ordnance Survey, Oct. 2017, <https://www.ordnancesurvey.co.uk/blog/2017/10/digital-twin-new-smart-city/>
- [33] A. Parrott and L. Warshaw, "인더스트리 4.0과 디지털 트윈," Deloitte Anjin Review, 2017.
- [34] Open Mobility Foundation, "Open mobility foundation white paper," https://members.openmobilityfoundation.org/wp-content/uploads/2019/06/OMF-White-Paper.pdf?silverid=%2525RECIPIENT_ID%2525
- [35] Smart America, "Smart roads," <https://smartamerica.org/teams/smart-roads/>
- [36] 김윤지, "[Case Study] 미국 미시간주 Ontwa의 페수 네트워크 '디지털 트윈'," 2018. 12, <https://www.esrikr.com/blog/data-management/>
- [37] Virtual Helsinki 프로젝트 홈페이지, <https://www.virtualhelsinki.fi/>
- [38] Kalasatama digital twins 프로젝트 홈페이지, <http://www.kiradigi.fi/en/experiments/ongoing-projects/kalasatama-digital-twins.html>
- [39] Alibaba Cloud, "City brain: Empower cities to think with data-driven governance" <https://www.alibabacloud.com/et/city>
- [40] 국토교통부 보도자료, "한국판 뉴딜 대표과제, '디지털트윈' 정부와 산업계 힘 모은다," 2020. 7. 30.
- [41] LX 국토정보실, "LX공사 스마트시티 디지털트윈 사업 소개," 2019. 7.
- [42] 과학기술정보통신부 보도자료, "5G기반 디지털트윈 기술로 혁신성장 주도," 2020. 5.
- [43] GE Predix Platform 홈페이지, <https://www.ge.com/digital/iiot-platform>
- [44] 다쏘시스템 3DEXPERIENCE 플랫폼 홈페이지, <https://www.3ds.com/3dexperience/>
- [45] 지멘스 MindSphere 제품 홈페이지, <https://siemens.mindsphere.io/en>
- [46] PTC Creo 제품 홈페이지, <https://www.ptc.com/en/products/creo/>
- [47] Azure Digital Twins 제품 홈페이지, <https://azure.microsoft.com/ko-kr/services/digital-twins/>