

스마트시티 발전과 디지털트윈의 잠재성

국토교통과학기술진흥원 | 조대연

1. 서론

최근 들어 스마트시티와 디지털트윈은 도시의 혁신 측면에서 가장 많이 거론되는 용어이기도 하다. 도시는 문명의 상징이기도 하고, 도시의 숨은 가치를 유구한 역사속에서 조망해 볼 수도 있고, 도시의 정체성은 지역과 공동체의 문화와 깊은 관계를 가지고 있다. 현대에 들어서 도시화는 발전하는 문명에 동참하는 과정이며, 효율성과 생산성을 극대화시키는 과정으로 개발도상국이나 선진국이나 도시문제는 여전히 뜨거운 이슈 중의 하나이다. UN의 전망에 의하면, 2050년까지 지구상의 70% 이상이 도시에서 거주하게 될 것이라고 전망하고 있다[1]. 전세계에 매주 백오십만인구의 도시가 하나씩 생긴다는 것을 의미하며, 대부분 개발도상국에서 발생할 것으로 전망된다. 도시면적은 전세계에서 3%정도 차지하는데 비해, 도시의 총생산량이 전세계 총생산량의 80%를 차지할 정도로 지역적으로 가장 높은 생산성을 보여준다[2]. 특히, 미국 뉴욕시의 총생산규모는 세계 5위의 경제력을 갖는 영국과 비슷하다[3]. 하지만, 전세계적으로 각 도시들은 교통혼잡, 주택공급부족, 교육 및 문화에 대한 지역격차, 일자리부족, 복지빈곤, 범죄발생, 재해재난 안전사고 등을 다양하게 겪고 있다. 제프리웨스트는 도시의 사회관계망 등을 분석하면서, 도시의 크기와 사건들이 기하급수적인 증가와 연관되는 것을 실증적으로 파악하기도 하였다[4]. 즉, 도시의 발전성숙도, 인프라 안정성, 행정시스템, 시민들의 참여와 인식도, 정치환경에 따라 대륙별로, 지역별로 국가별로 도시가 직면한 이슈와 해결방식에 많은 차이를 보여주고 있다. 이러한 도시의 다양한 문제를 해결하기 위해서는 복잡계로서의 도시 속성상 인문·사회학, 경제학적, 공학적, 생태학적으로 다각도의 접근이 필요하다. 이를 위한 해결수단으로 2010년 이후 스마트시티 모델이 주목을 받고 있다. 스마트시티는 당장은 근본적인 해결책이 될 수는 없지만, 도시의 다양한 시스템에 ICT기술

을 접목하여 도시관리의 효율성을 높이고, 시민의 삶의 질을 향상시키기 위한 노력측면에서 현재까지 도시에 대한 접근방식 중에서는 가장 탁월하다고 볼 수 있다. 이상적인 도시의 모델은 공학적인 측면에서 볼 때도 도시공간의 활용을 최적화하고, 교통수단과 솔루션을 통한 이동성을 향상시키며, 환경을 보호하고 자원을 관리하며, 도시의 건축환경(Built Environment)을 효율적으로 구축하고 관리할 수 있어야 한다. 이를 위해 최근에는 도시데이터의 중요성이 강조되며, 스마트시티는 IoT센서, AI, 클라우드, 드론, 5G, 자율주행 등 4차산업혁명 기술이 접목되어 더욱 발전하고 있는 상황이며, 물리적인 시스템을 사이버 시스템으로 구현하는 디지털모델을 실제 적용할 수 있는 디지털트윈기술과의 접목으로 새로운 국면을 맞이하고 있다. 전세계적으로 싱가포르, 런던, 서울, 뉴욕 등 주요 대도시들이 디지털트윈 기술을 활용하여 스마트시티의 효율성을 가시적으로 보여주고 있는 사례는 시사하는 바가 클 것이다. 기술의 발전궤도와 도시의 진화과정을 예상해 보건데, 갈수록 디지털트윈과 스마트시티는 상호작용이 활발해지면서 궁극적으로 모든 것을 초월해 나가는 메타 스마트시티로 발전해 나가지 않을까 전망해 본다. 본 투고에서는 스마트시티의 지향점을 고찰해보고, 디지털트윈 기술의 잠재성을 바탕으로 디지털트윈 기술이 스마트시티에 어떻게 접목될 수 있는지 살펴보고, 궁극적으로 디지털트윈 기반의 스마트시티가 나아가야 할 방향을 전망해 보기로 한다.

2. 스마트시티의 진화

2.1 스마트시티의 개념

스마트시티는 기존 도시 또는 신도시의 각종 시설물과 인프라에 정보시스템과 첨단기술을 접목하여 효율적인 관리와 시민들의 삶의 만족도를 높이기 위한 포괄적인 노력을 고려한다. 스마트시티를 통해 도시

운영관리의 효율성, 정책의 신뢰성, 삶의 안전성과 만족도 등을 더욱 향상시키는 도시의 진화과정의 일부로도 볼 수 있다. 스마트시티 개념정립은 전세계가 최악의 경제위기에서 벗어나기 위해 애쓰고 국가가 생존을 위해 서로의 도움과 협력이 필요한 시기인 2008년경에 본격화되었다. 2008년 IBM은 스마트시티의 다양한 구성요소간의 상호작용을 제안하는 스마트 플래닛(Smarter Planet) 개념을 시작했고[5], 유럽에서는 인구밀도가 높고 대중교통이 발달되어 있어 지속가능성과 저탄소배출에 중점을 두고 스마트시티를 비판적으로 도입하기 시작하였다.

지속가능한 도시의 모델을 생각해 볼때, UN이 정한 2030년 글로벌 의제는 지속가능성을 강조하며, 생산활동 및 폐기물 관리, 도시인프라, 에너지 및 수자원관리, 도시 및 교통이동성과 관련하여 지속가능성에 관한 다양한 지표를 제시하고 있다. 특히 도시민들이 공유하는 미래비전은 지속가능하고 포용적이며, 안전한 도시로서 더 나은 삶의 질을 제공하고 미래세대의 번영과 복지의 기회를 확대하는 것을 포함하고 있다. 21세기 초반의 U-city를 통한 도시관제형의 모델은 이제는 보다 이상적인 도시로서 지속가능한 스마트시티로 제시하고 있다[6]. 따라서, 지금까지 진행해온 ICT기술위주의 스마트시티는 보다 친환경적인 도시를 지향해야 하며, 스마트시티 개념이 사회적으로나 환경적으로나 진화되고 있다고 볼 수 있다.

하지만, 이러한 새로운 스마트시티 개념에 대한 명확한 정의는 아직 학계에서 정리되어 있지 않다. 간단히 말하자면, 스마트시티는 기존의 전통적인 네트워크 단위의 시스템을 보다 편리하고 효율적이며, 유익하게 변환시켜 디지털 및 통신기술을 사용하여 시민의 삶의 질 향상 및 효율적인 도시운영을 이끌어내는 도시의 모델이라고 볼 수 있다[7].

2.2 국내 스마트시티 동향

국내에서는 2017년 스마트도시법을 시행한 이후에 국토부를 중심으로 도시문제해결형 실증사업을 적극적으로 도입하고 있다. 또한, 국가시범도시, 국가전략프로젝트, 스마트시티 챌린지 사업 등을 시행하면서 민간주도의 상향식 실증사업을 확대해 오고 있다.

표 1 국토부의 스마트시티 추진 방향

[도시문제 해결형 실증사업 도입]

국가시범도시 (신도시 대상)	국가전략 R&D (기술 실증)	스마트 챌린지 사업 등 (기존도시 실증)
백지상태의 부지에 세계적 수준의 스마트도시 조성 (세종, 부산)	스마트도시 R&D 기술개발 성과의 도시 실증 (대구, 시흥)	공공과 민간이 시민 수요를 반영하여 신규 솔루션 발굴 및 실증

2018년부터 세계적 수준의 스마트선도도시 조성을 목적으로 세종, 부산의 백지상태 부지를 “스마트시티 국가시범도시”로 지정·추진해 오고 있다. 민간 합작법인 주도로 개발되는 선도지구는 스마트 건축물 서비스 등을 집중도입하여 시범도시의 랜드마크로 조성할 예정이다. 세종에는 SPC 주관으로 5개의 모빌리티 서비스를 제공하고 있는데, 자율주행셔틀과 수요응답형 버스를 운영하고 있다. 부산에는 “스마트빌리지”를 신기술 우선적용 대상지로 운영하고, 로봇 순찰 서비스 등 다양한 신기술을 도입하고 검증하고 있다.



그림 1 세종 국가시범도시 전경



그림 2 부산 국가시범도시 전경

국가차원의 대형 연구개발사업인 스마트시티 국가전략프로젝트는 2018년부터 지속가능 성장을 위한 데이터 기반의 스마트시티 혁신모델을 구현하기 위하여 '22년말까지 추진되었으며 정부출연금인 843억원이 투자된 대형사업이었다. 이를 통해 스마트도시 데이터허브 기술을 개발하고, 10가지의 Usecase 모델을 실증도시인 대구와 시흥에 적용하였다. 특히 이 사업을 통해서 개발된 세계최초의 스마트시티 데이터허브 모델은 2020년 코로나 19에 대비하여 역학조사지원시스템(EISM)을 개발하는데 핵심적인 역할을 함으로써 우리나라에서 코로나 확산을 방지하는데 기여하여 월드뱅크 등 세계적으로 주목을 받기도 하였다[8].



그림 3 스마트시티 국가혁신성장동력 사업단 개요

국도교통부에서는 스마트시티 챌린지 사업을 비롯하여 '18년부터 45개 광역 및 기초지자체에 스마트시티를 구축하기 위한 다양한 지원을 진행하여 왔다.

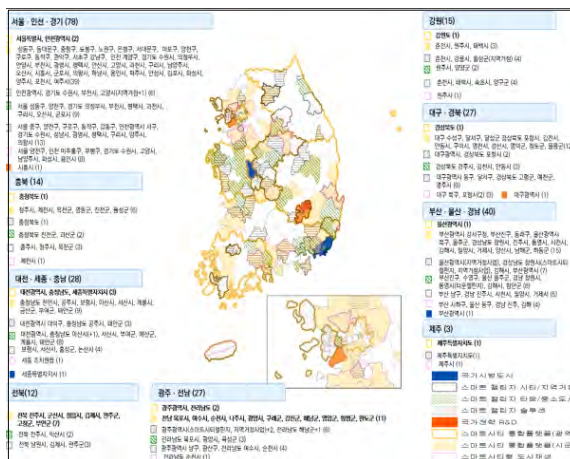


그림 4 국내 스마트시티 사업 추진 현황

그러나 이와 같은 많은 투자에도 불구하고 2024년 5월에 새롭게 발표된 ‘제4차 스마트도시 종합계획[9]’에 따르면, 그동안 축적된 경험 및 성과를 바탕으로 실증된 솔루션을 타지역에 적극적으로 확산하고 활성화하는 노력이 더욱 필요하다고 보고 있다. 도시데이터를 기반으로 AI, 디지털트윈 등과 접목하여 스마트시티를 고도화할 필요가 있으며, 스마트시티 산업생태계를 주도할 수 있는 스타트업 기업 육성을 위한 정보제공 및 해외진출을 활성화가 필요한 것으로 진단하고 있다. 특히, 스마트시티의 지속가능성과 확산성을 고려해볼 때, 기후위기 대응 및 디지털포용성을 반영한 스마트시티 사업모델 발굴이 필요한 것으로 파악하고 있다.

실질적으로 스마트시티가 추진되어온 과정을 보면, 정부주도의 사업이 대부분이다 보니, 스마트시티를

주도하는 국도교통부의 프레임에 갇혀서, 유연하고 포용적이며, 시민참여형의 스마트시티의 모델로 성장하는데는 한계가 있었다. 특히, 에너지나 환경과 같이 지속가능한 도시의 중요한 이슈들에 대해서는 부처간의 영역이 구분되거나 중첩되어 오히려 통합적이고 체계적인 스마트시티를 추진하는데 장애가 되었다고 볼 수 있다. 국가차원에서는 데이터에 대한 거버넌스가 확립되지 못하고, 중앙정부와 지방정부의 역할관계상 중앙정부 의존도가 높고, 재정적인 여건으로 인하여 사업의 일관성과 연속성을 유지하기 보다 일회성 실증사업에만 치중하는 한계도 보였다. 그럼에도 불구하고, 인공지능기술의 발달, 도시데이터의 다양화, 디지털트윈기술의 발전은 스마트시티를 여전히 도시의 혁신을 이끌어내는 동력으로 인식되고 있는 것이 사실이다.

2.3 해외 스마트시티 동향

시장조사기관별로 다소 차이는 존재하지만, 대부분 기관들은 글로벌 스마트시티 시장규모가 급격히 성장할 것으로 예상하고 있다. 2023년 Markets and Markets의 분석[10]에 따르면, '22년 스마트시티 시장은 5,116억달러 규모에서 '27년 1조 244억달러 규모로 성장할 것이며, 교통, 빌딩, 유틸리티, 시민서비스, 플랫폼 분야가 주목을 받을 것으로 보고 있다. Insight Partners (2023)는 인프라를 포함할 경우에 '28년 3조 1,110억달러 규모까지 성장할 것으로 내다보고 있다[11].

세계 지역별로는 유럽지역의 스마트시티 시장규모가 제일 크며, 아시아-태평양 지역이 가장 빠르게 성장하는 것으로 예측하고 있다[12].

글로벌 스마트시티 정책 동향을 보면, 코로나19 이후에는 도시데이터와 플랫폼 중심의 스마트도시로 전환되는 것이 본격화 됨을 파악할 수 있다. 특히 싱가포르르는 2015년부터 최근까지 스마트시티를 국가차원으로 확대적용하여 ‘스마트네이션’ 건설을 국가비전으로 제시해 오고 있는데, 정부기관간 데이터공유를 위해 데이터표준을 제정하고, 센서 및 데이터활용 등을 통해 공공서비스를 제공하는 국가플랫폼을 운용중에 있다. 특히, 훨씬 저렴한 비용을 국민을 지원하기 위하여 CODEX라는 플랫폼을 운용중인데, 이 플랫폼을 이용하여 데이터를 수집하고, 국가차원의 지자체 서비스, 계획, 보안을 포함한 도시차원에서 통합적인 기능을 강화하도록 광범위한 센서 플랫폼들과도 연계하고 있다. 또한, 싱가포르르는 Virtual Singapore 프로젝트를 통해 전세계에서 최초로 디지털트윈을 접목한 이후 세부적인 Usecase 모델개발에 집중하고 있다.

EU에서는 바르셀로나, 암스테르담 등 특징적인 스마트시티 모델로 주목을 받은 바 있으며, 최근에는 미래에 대한 사회적 도전과제를 암, 기후변화, 해양-물, 스마트시티, 토양-식품 등 5가지 아젠더로 설정하고 그중에서도 스마트시티를 중요한 아젠더로 설정한 바 있다. 이를 Horizon Europe 프로그램에 적극 반영하여 2030년까지 유럽내 총 100개 도시에 대하여 기후중립적인 스마트시티(100 Climate Neutral Cities)로 전환되도록 적극적인 지원을 진행하고 있다.

중국은 도시화 산업화에 따른 다양한 도시문제 해결 및 내수 진작을 위한 성장동력 차원에서 2012년부터 스마트시티 정책을 추진하였으며, 2024년에는 12차 5개년 계획을 통해 중국 전역에 스마트시티를 개발하겠다는 계획을 발표했으며, 중앙정부가 개발과 실행에 중요한 역할을 담당하고 있다. 중국은 5G, AI, 신에너지자동차, 클라우드 등 기술혁신을 촉진하는데 상당한 자원을 투입하고 있다.

3. 디지털트윈

3.1 디지털트윈의 정의

디지털트윈 개념은 NASA가 1970년에 진행된 아폴로 13호 임무 중에 활용되었는데, 지구에서 달나라의 탐사선 착륙에 대한 시뮬레이션 등을 통해 많은 도움을 얻은 바 있다. Michael Grieves는 2002년 미시간 대학교 제조 엔지니어 협회회의에서 디지털트윈 모델을 PLM(Product Lifecycle Management)의 개념으로 도입했다. 실제적으로 디지털트윈이라는 용어는 NASA의 John Vickers가 로드맵 보고서에 언급하면서 본격화 되었다. 디지털트윈은 다양한 종류의 어플리케이션이 있으며, Industry 4.0에서 볼 수 있듯이 제조분야에서 특히 디지털 트윈의 성장이 빠르게 이루어졌다. 또한, 정보통신기술의 활용이 증가함에 따라 제품 및 생산프로세스에서의 디지털트윈이 적극적으로 이루어졌으며, 디지털혁신의 중요한 원동력으로 알려졌다.

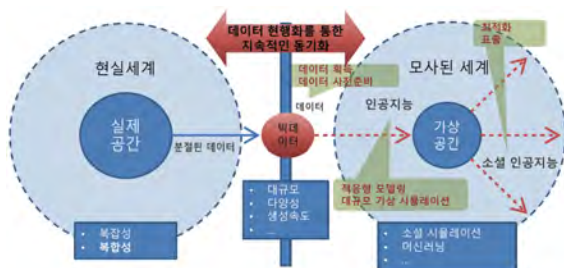


그림 5 디지털트윈의 일반적 개념[13]

디지털트윈에 대한 정의는 다양하게 존재하며, 장인성, 주인학[14] 등은 디지털트윈을 ‘현실세계에 존재하는 사물, 시스템, 환경 등을 가상공간에 동일하게 표현하고, 현실세계와 가상세계를 통합하여 연결하여 모니터링, 운영, 제어 등 상호작용이 가능하게 하는 기술’로 포괄적으로 정의하고 있다. ISO DIS23247-1에서는 디지털트윈을 ‘현실 인스턴스와 디지털 인스턴스 간 적절한 속도의 동기화를 통해 융합함으로써 실물 또는 프로세스가 목적에 맞게 디지털로 표현된 것’이라 하고 있다.

3.2 디지털트윈의 활용

디지털트윈 활용분야는 다양하게 살펴볼 수 있는데, 제조 및 프로세스, 에너지, 스마트시티, 농업, 건축물, 보건 및 의료, 기상, 교육, 교통 등 광범위하다.

디지털트윈 기술은 CAD, GIS, 컴퓨터 그래픽, 멀티미디어 기술 등과 함께 진화해 왔으며, 최근 들어서는 메타버스, 인공지능, 로봇, 사물인터넷, 클라우드 컴퓨팅, 블록체인, 5G/6G 기술들과 융복합적으로 구현되면서 가상현실, 증강현실, 혼합현실, 확장현실의 서비스를 제공하는 플랫폼 사업들의 미래 신성장 동력원으로 급부상하고 있다.

시장조사기관인 ‘루츠 애널리시스’는 전세계 디지털트윈 시장이 2026년 33억달러에서 2035년 1,153억 달러 규모로 크게 성장할 것으로 전망했다. 미국 GE는 자사제품의 디지털트윈 구현으로 약 1조 2,000억 원의 비용을 절감했으며, 영국 또한 국가 디지털트윈 프로그램을 통해서 노후화된 국가 기반시설물을 디지털트윈 기반의 스마트 인프라로 구축함으로써 연간 약 500억 파운드의 경제적 이익을 창출하였다.

디지털트윈 기술은 사이버-물리시스템(Cyber-Physical System)을 구현하는 핵심기술로 인식되고 있다. 최근에는 건설분야에서도 적용이 확대되고 있는데, 디지털트윈의 건축환경에서의 대표적인 모델은 Building Information Modelling이다. BIM을 통해 계획, 설계, 건설, 운영 및 유지관리 활동이 점점 디지털화되고 있다. 디지털트윈의 초기 사례 중 하나는 1996년 히드로 공항의 제1터미널의 히드로 익스프레스 시설을 건설하는 동안에 이루어졌으며, Mott MacDonald와 BIM 선구자인 Jonathan Ingram이 코퍼퍼덱과 시추공의 움직임 센서를 디지털객체 모델에 연결하여 모델의 움직임을 표시한 것이 중요 사례로 제시될 수 있을 것이다.

스마트시티는 사이버-물리시스템을 활용해 도시기능, 일자리 창출, 시민들의 만족도를 향상시키는 것이고 이를 위한 도시혁신을 창출하는 것이 핵심인데, 결과적으

로 디지털 트윈의 기술은 도시의 모든 영역과 시스템에 플랫폼 형태로 도시의 가시성, 구현성, 운용성을 향상시킬 수 있어 스마트시티 발전을 이끌 것으로 기대된다. 즉, 디지털트윈을 활용한 도시는 도시관리 및 운영을 강화하여 보다 스마트하고 지속가능한 도시를 구현하고 시민의 삶의 질을 향상시킬 것으로 기대된다.

3.3 스마트시티에서의 디지털트윈 잠재성

스마트시티를 위한 디지털트윈의 잠재력을 탐색하려면 스마트시티가 갖는 이점을 조명해야 한다. 스마트시티 접근방식은 환경적으로나 경제적으로 도시의 지속가능성을 향상하고 주민에 대한 서비스 제공을 개선하는데 기여하는 것으로 인식되었다. 스마트시티 개발은 삶의 질, 사회경제적 발전, 천연자원을 향상하고 보존하기 위하여 도시의 경제, 사회, 제도적 인프라 역량을 구축하는 과정으로 인식된다.

디지털트윈을 활용한 스마트시티의 잠재력을 인식하려면 무엇보다 AEC(Architecture, Engineering, Construction) 및 도시계획 분야에서 디지털트윈과 정통 3D모델을 명확하게 구분하는 것이 필요하다. 디지털트윈은 가상의 객체와 물리적 대상간의 데이터 통합수준이 완전하고 상호통합되는 수준을 추구하는데 반해 일반적으로 BIM으로 대표되는 3D 모델의 경우 건물, 인프라시설, 도시 등 물리적 대상물을 디지털로 시각화한 수준인 경우가 많다. 현재 BIM과 지리정보시스템(GIS)의 통합은 건물과 주변환경 모델링의 이점을 통합할 것으로 예상되지만, 도시전체 규모의 응용 프로그램은 아직 널리 활용되지 않고 있으며, 데이터 상호운용성, 개방성 표준 및 시각화 통합 등의 문제를 노출하고 있다.

디지털트윈은 통합적인 접근을 통해 도시계획 및 운용성을 향상시킬 수 있는 기회로 인식될 수 있다. 이러한 인식은 도시를 구성하는 모든 요소가 해당 가상모델로 표현될 수 있는 도시의 가상적인 미래이미지를 개발한다는 개념에 기반을 두고 있다. BIM에서의 3D 모델은 물리적 개체의 기하학적, 시간적 정보를 포함하지만, 디지털모델과 물리적 개체간의 연결이 부족하여 업데이트를 위한 수동 데이터 삽입이 필요한 반면 디지털트윈의 경우에는 두 개체간의 상호작용을 제공하는데 중점을 두고 있다. 예를 들면, 센서와 사물인터넷 기술을 사용하면, 실제 상대이 실시간 데이터 업데이트에 따라 가상모델을 업데이트 하는 정보전송이 가능하다.

하지만, 도시의 경우 복잡성으로 인해 디지털트윈을 각 영역에서 구현하려면 극복해야할 이슈들이 있다.

도시에 대한 거대한 디지털모델은 데이터 구축과 처리와 관련하여 많은 문제를 야기할 수 있는데, 도시내 다양한 활동과 관계되는 데이터들은 일반적인 공장에서 발생하는 제조공정과 제조된 제품의 데이터 수집 및 해석과는 규모나 난이도, 복잡도 측면에서 차원이 다른 문제가 존재한다. 아직까지 도시 디지털트윈에 대한 연구는 초기 단계이지만, 이에 대한 해결을 위해서는 전체적인 접근 방식이 필요하다. Shahat의 연구[15]에 따르면, 42개 논문을 분석하여 디지털트윈에 대한 관심이 최근들어 높아지고 있음을 보여주고 있다. 이 분석을 통해 도시에 대한 디지털트윈에 대한 주제별 분석에서 도시데이터관리, 시각화, 상황인식, 계획 및 예측, 통합 및 협업이 중요한 주제가 됨을 파악하였다.

또한, 기술적인 측면에서 디지털트윈을 포함하여 다양한 기술을 동반한 사이버 시스템과 도시 고유의 물리적 인프라를 구성하거나 연관되는 다양한 요소들을 결합하면, 스마트시티는 4차산업혁명기술의 경연장이라고 할 정도로 기술적인 발전요인도 무척 높다고 볼 수 있다.

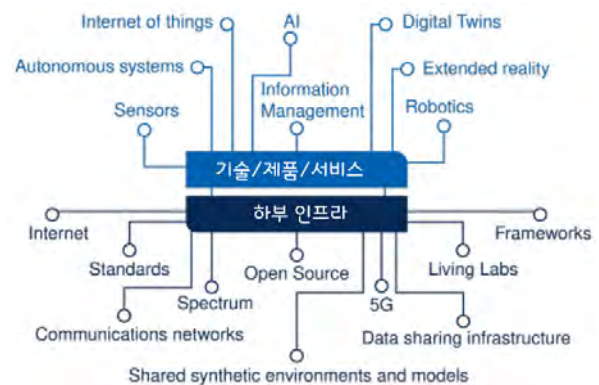


그림 6 스마트시티와 기술적 Framework

4. 스마트시티와 디지털트윈의 콜라보레이션

4.1 국내 주요 도시들의 디지털트윈의 활용사례

디지털트윈은 스마트시티의 설계, 건설, 운용에 있어 어떤 단계이든지, 어느 기능이든지 활용될 수 있을 것으로 예상되는데, 디지털 트윈은 도시와 도시내의 현상과 활동들을 가상으로 복제하여 분석하고 의사결정을 이끌어 냄으로써 도시와 사회의 잠재력을 크게 끌어올릴 수 있을 것으로 기대된다. 도시에 디지털트윈을, 교통, 안전, 보건, 에너지, 환경 등의 문제를 다루는데 있어 가상세계와 실세계를 동시에 구현하여 주요 의사결정을 위한 위험요인을 사전에 제거할 수 있으므로 도시운영과정에서 도시계획가나 관리자 뿐

만 아니라 일반 시민도 접근이 용이하게 되어 스마트 시티 프로젝트에 대한 참여를 확대할 수 있을 것이다. 즉, 디지털트윈을 적용한 도시는 도시에 발생할 수 있는 사고나 문제해결에 적극적으로 대처할 수 있도록 미래경쟁력 확보에 도움을 줄 수 있게 할 것이며, 도시의 배치 및 건강한 도시구성, 위기와 자원활용 문제를 해결하는데 기여할 것이며, 교통흐름, 에너지, 쓰레기, 자원과 관련된 서비스를 보다 다양화하고 효과적으로 개발할 수 있을 것이다.

국토교통부는 디지털 트윈을 한국판 뉴딜 10대 과제 중 하나로 추진 중이며, 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 통합 지도를 구축할 계획이다. 그리고 스마트시티 국가시범도시인 세종과 부산에 대해 디지털 트윈 플랫폼을 구축하여 다양한 대민 서비스를 제공할 계획이다.



그림 7 디지털트윈 기술의 도시정책사례(세종시)

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 결정지원 및 도시 문제해결에 시범적으로 활용하고 있다. 한국 국토정보공사(LX)는 전주시와 업무협약을 맺고 디지털 트윈의 가상환경에서 다양한 모의실험을 수행할 수 있도록 하기에 앞서 디지털 허브 구축을 위해 LOD 0~LOD 3의 공간정보 구축을 진행하였다.

국토교통부와 한국토지주택공사(LH)는 3기 신도시의 사전청약 전에 '3차원 가상체험 플랫폼'을 구축하여 디지털 트윈 서비스를 제공할 계획이다. 해당 서비

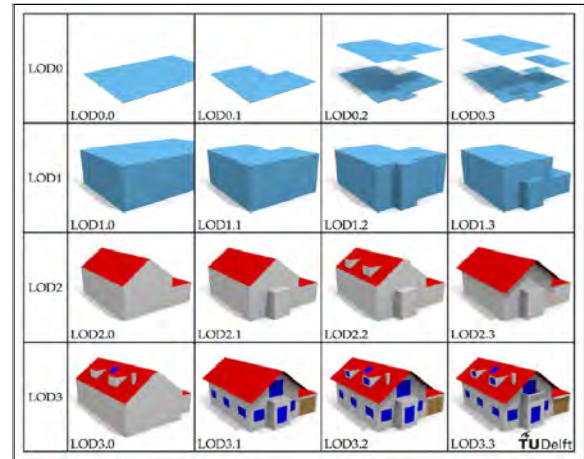


그림 8 CityGML의 세밀도 수준(LoD)에서[16]

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

4.2 해외 주요 도시들의 디지털트윈의 활용사례

영국은 도시단위에서 디지털정책을 강력하게 추진하고 있다. 영국 국가인프라위원회(British National Infrastructure Commission)는 데이터공유와 함께 디지털트윈의 필요성을 강조하며 '국가디지털트윈(National Digital Twin)'을 주장하였다. 국가 디지털트윈 구축을 위해 2018년 7월에 CDBB(Center for Digital Build Britain)내에 Digital Framework Task Group을 발족시켰으며, 국가 구성의 역량, 서비스, 가치향상을 통해 영국사회, 기업, 환경 및 경제에 이익을 제공하는 것을 목표로 하고 있다.

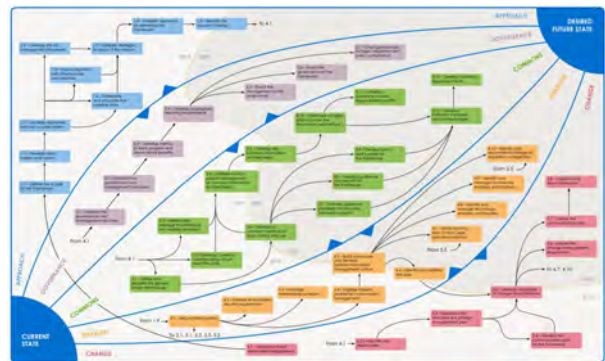


그림 9 영국의 국가 디지털트윈 정보프레임워크 추진을 위한 로드맵(2021년 2월)

핀란드 헬싱키에서는 2015년 제21차 유엔기후변화

협약 당사국 총회이후에 노후건축물의 에너지 효율성을 개선하고, 신재생에너지 채택을 통한 탄소중립목표달성을 위해서 헬싱키의 에너지와 탄소저감을 모니터링 할 수 있는 디지털트윈 모델을 구축하였다. 칼라사타마(Kalasatama)는 도시환경을 개선하기 위해 디지털트윈을 결합하여 도시전체 랑도이프 사이클을 설계, 테스트, 적용 및 서비스에 활용하였다.



그림 10 핀란드 헬싱키의 탄소중립을 위한 건축물 보수 시뮬레이션

싱가포르에서는 2014년 12월에 시작하여 2018년까지 약 7,300만 달러를 투입하여 버추얼 싱가포르 프로젝트를 추진하였다. 이 프로젝트를 통해 추구한 것은 도시의 모든 구조에 대응하는 디지털트윈을 구현하고, 전기 및 교통과 함께 사용하는 정보, 인구통계, 시설 및 건물 내부까지의 데이터를 제어하고 데이터 생산을 통해 설도시계획, 교통, 환경 등 다양한 분야에 사용하고자 하였다.

중국에서는 알리바바가 클라우드 기반으로 ET City Brain을 여러도시에 적용하고 있다. ET City Brain은 도시내 상황에 대해서 실시간으로 컨트롤하고 도시문제 처리를 위해 디지털트윈, 인터넷, 인공지능 등 최첨단 기술을 결합한 플랫폼이다.

미국은 여러도시의 문제 해결을 위해 디지털트윈을 활용하고 있다. 교통문제와 관련하여 Open Mobility Foundation은 도시교통시스템의 안전하고 효율적인 관리 및 시뮬레이션을 위해 디지털트윈개발을 계획 중이며, Smart America는 교통시스템을 디지털트윈화하여 이동시간 및 효율성을 개선하여 예측과 시스템의 성능개선에 기여하고자 하였다. 보스턴의 Withrop Square Tower 건설당시 보스턴 기획개발청은 디지털트윈 시뮬레이션을 활용하여 공원에 일부분 일조권 영향을 확인하였다. 미시간 주의 Ontwa는 폐수관 보존을 유지하기 위해 디지털 트윈을 활용하여 최신 정보를 제공하고 있다.

4.3 도시공간의 재해석

스마트시티에 있어 도시공간의 활용성이 중요해지고 있는데, 도시 공간 또는 도시 공공공간은 대체로 도시의 모든 개인에게 개방되고 접근가능한 영역이다. “공공공간”이라는 용어는 대부분 잘못 해석되는 측면이 있는데, 공원, 공공도서관과 같이 일반적으로 대중들이 이용할 수 있는 접근성이 제한된 보호지역으로 인식되는 측면이 강하다. 하지만, 공공공간은 사회적 공간의 측면이 강해 도로, 보도 등 도시 공간내에서 시민들의 신체적, 정신적 웰빙에 영향을 미치는 공공에서 관리하는 모든 공간을 공공공간으로 정의할 수 있다. 따라서, 스마트시티에서 공간에 대한 의미를 재해석하고, 공간의 효율성을 높이며, 시민들의 행동주의 특성에 따른 패턴인식을 통해 사회적으로, 경제적으로, 지리적으로 많은 효율을 높일 수 있을 것이다. 따라서, 디지털트윈을 통해서 도시공간에 대한 전반적인 재해석과 이를 통한 효율을 높이는 접근이 필요할 것이다.

스마트시티에 디지털트윈을 접목하게 되면, 도시에 대한 디지털모델링의 주요 역할은 시각화를 향상시키는 것이다. 시각화가 향상되면 도시공간과 환경에 대한 이해가 향상되고 설계 및 운영관리상의 오류가 줄어들 수 있다. 서로 다른 디지털모델링 및 시각화 어플리케이션을 활용하고 통합하는 디지털트윈의 기능은 디지털트윈의 시각적 경험을 향상시킬 수 있으며, 도시 디지털트윈 모델의 시각화를 향상시키기 위해서는 지형 및 동적식생과 같은 다양한 도시요소를 통합, 기존 및 계획된 건축환경을 시각화, 도시전체 또는 일부를 시각화하는 등 다양한 시도가 가능하다. 따라서, 도시공간에 대한 가상공간의 다양한 시뮬레이션을 통해 공간활용의 최적화가 가능해 질 것이다.

스마트시티에 활용되는 디지털트윈은 실제 도시 또는 물리적 도시와의 가상 도시의 디지털모델과 연계체계를 구축해서 도시전반에 대한 가시성을 높이고 도시의 사건과 운영에 대한 이해와 분석을 강화할 것으로 기대된다. 도시에 대한 디지털트윈은 도시관리를 위한 상황인식을 촉진하고 도시정보모델을 제공하는 기술을 가능하게 하는 것으로 인식되며, 도시에서 발생하는 다양한 도시데이터를 수집, 모니터링 및 관리할 수 있을 것이다. 또한, 휴먼 디지털트윈 모델을 통해서 시민의 행동패턴도 파악할 수 있는데, 예를 들면, 시민의 건강상태나, 에너지소비데이터, 이동패턴, 도시공간 및 교통혼잡 분석이 가능해 질 것이다.

최근들어 도시내에서의 열린공간이 큰 관심사가 되

고, 협업 및 공유를 위한 공간의 개방성과 친환경성 강화는 미래 스마트시티모델에서 중요한 요소가 되고 있다. 즉, 바쁜 일상속에서도 상쾌한 순간을 즐길 수가 있고, 탄소배출을 줄이고 무공해 환경을 누리는데 도움이 될 수 있다.

도시공간에 대한 도심융합공간의 활용은 스마트시티에서 더욱 부각되는 추세이다. 일반적으로 혁신지구(Innovation District)이라고 불려지기도 하는데, 도심 내 혁신지구에는 새로운 도시산업생태계가 만들어지는 경우가 많다. 2014년 Brookings 연구소에서 ‘혁신지구의 부상’이라는 보고서를 통해 도시의 혁신의 중요한 동력으로 장소를 강조하고 있는데[17], 디지털산업이나 바이오 등 도시내 시민의 집적도가 높고 활성화되어 있는 곳에서 집단지성이 발휘되는 산업군이 형성되는 추세로 전통적인 실리콘밸리, 보스턴 바이오 클러스터, 런던의 T-City, 우리나라의 판교 등이 대표적인 공간이다. 따라서, 디지털트윈을 이용하여 도시내에 각종 정보를 쉽게 공유하고 공개할 수 있는 결합모델이나 플랫폼 모델이 혁신공간내에서 새로운 산업생태계를 구성하는 허브로서 지속적으로 주목을 받을 것이다.

4.4 복잡계 도시와 디지털트윈

도시는 기본적으로 교통시스템, 상하수도시스템, 전력망, 통신시스템 등 다양한 시스템이 중첩되어 작동되는 System of Systems 형태의 복잡계이다. 따라서, 도시의 과거의 이력과 현재상황, 미래에 대한 예측을 통해 도시에 존재하는 사물과 진행프로세스 및 시민들의 행동패턴은 시·공간적으로 디지털트윈 모델로 잘 포착될 수 있다. 또한, 도시데이터에 대한 수집과 가공, AI 등을 이용한 분석을 통해 도시가 어떻게 운영되는지 더 잘 이해할 수 있으며, 디지털트윈을 활용하면, 미래 도시패턴과 계획에 대한 유용한 통찰력을 제공할 수 있을 것이다. 또한, 도시 기능을 최적화하기 위해 가능한 계획과 미래 도시 운영 시나리오를 개발하는 것이 상당한 이점이 될 수 있다. 예를 들면, 도시계획 영향을 테스트하기 위해 교통시나리오 및 대기오염 시뮬레이션을 개발하기도 하고 도시의 디지털트윈을 통해 전기자동차의 충전위치와 부문간 영향에 대한 다양한 시나리오 평가도 가능하다.

최근 주요도시에서는 자율차와 UAM 등 첨단 모빌리티에 대한 상용화 가능성이 거론되고 있다. 우리나라의 경우 실질적으로 자율차의 경우에는 서울의 상암, 청계천, 판교, 세종시 등 다양한 장소에서 시범운영중이며, 자율차에 대한 정보교환 및 모빌리티 상태

는 디지털트윈으로 사전에 시뮬레이션을 통해 최적의 운영환경을 조성할 수 있을 것이다.

이와같이 도시의 복잡성, 도시요소(인간, 인프라, 기술)간의 상호의존성 및 영역간의 관련성은 모든 영역의 정보를 가능하면 통일된 하나의 플랫폼에 통합하고 공동작업 환경을 제공해야 하는 과제가 주어진다. 따라서, 디지털트윈 도시의 모델 생성 및 공동개발 및 통합은 우선 3D 모델 자체를 구축하는 것이며, 이를 위해서는 여러 종류의 디지털트윈을 개발하는 것이 효과적이라고 보고 있다. 한편으로는 다중도메인의 복잡성을 극복하기 위해 느슨하게 결합된 3D 모델을 사용할 수도 있을 것이다.

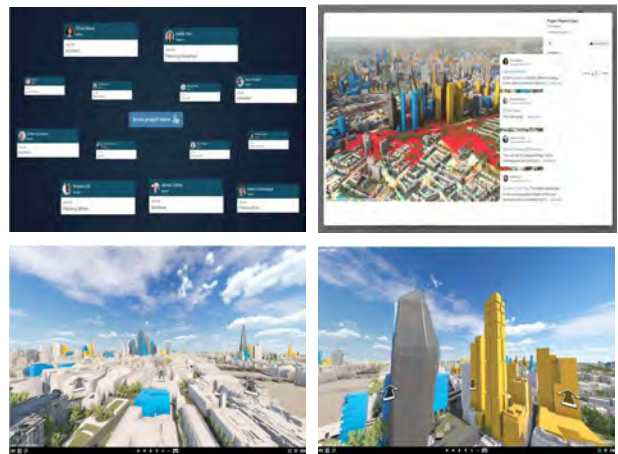


그림 11 VU.City를 활용한 시민참여 디지털트윈

또한, 도시의 다양한 이해관계자들 사이에 협력적인 환경을 제공하는 것이 중요한데, VU.City에서 보여주는 것처럼 온라인 및 개방형 플랫폼을 활용하면 데이터공유가 가능하고 도시계획, 정책설계 및 평가에 이해관계자의 참여가 촉진될 수 있으며, 공공의사결정을 향상시키는데 시민들을 참여시킬 수 있다. 이



그림 12 도시 디지털트윈의 구성요소

와 같이 도시 디지털트윈을 위해서는 도시데이터의 관리, 도시에 대한 상황인식, 도메인간의 통합과 연계, 개방, 사전시나리오 수립 및 예측을 위한 시물레이션, 결과의 가시화 등이 중요하다고 볼 수 있다.

4.5 디지털트윈 기반 스마트시티의 방향성

글로벌 도시들은 스마트시티의 본질적인 개념에 덧붙여서 친환경 혁명을 기대하고 있으며, 스마트시티는 인공지능, 센서네트워크, ICT를 통해 더욱 가속화되는 시대로 진입하고 있다. 앞으로 도시는 극심한 기후변화를 견뎌내야 하고, 자연을 파괴하지 않고 환경을 보존하는데도 결정적인 역할을 해야 할 것이다. 이를 위해서는 시스템적인 접근을 하여야 하는데, 수없이 많은 센서와 데이터와 시스템이 원활하게 접목되고 활용되기 위해서는 복잡계를 풀어내는데 디지털트윈의 역할은 더욱더 강화될 수 밖에 없을 것이다.

하지만, 도시규모에서 디지털트윈의 완전한 활용을 방해하는 몇가지 이슈가 존재한다고 본다. 첫째, 디지털트윈 측면에서 가장 큰 우려사항은 도시데이터의 규모가 크고 복잡하며, 이질적이라는 점이다. 따라서, 도시데이터 모델 및 설계 스키마에 대해 널리 수용되는 표준을 개발할 필요성이 있다. 둘째는 시간, 비용, 오류, 또한 소유권 등의 문제로 인해 데이터 접근성이 어려울 수도 있다. 이로 인한 모델링의 부정확성과 오류는 시각적 경험 뿐만 아니라 도시의 상황인식에도 영향을 미친다. 또한, 인프라 및 기술에 대한 부적절한 상황인식으로 인해 디지털트윈의 계획 및 예측 기능의 품질이 저하될 수 있다. 즉, 정확한 데이터가 부족하거나 시각화되는 방식으로 인해 도시 모델의 불완전성이 유용한 계획 결정 또는 미래 시나리오 예측을 제공하는 디지털트윈도시의 능력에 영향을 미칠 것이다. 셋째는 완전한 디지털트윈 도시 모델을 개발하려면 다양한 도시 도메인과 정보로 인해 높은 수준의 통합이 필요하며, 다양한 부문과 이해관계자 간의 이질적인 혁신의 데이터를 쉽게 생성할 수 있도록 도시시스템과 프로세스에 대한 통찰력이 필요할 것이다. 특히, 시민들이 도시의 다양한 부문에 참여하고 모델에 대한 접근성을 제공할 필요성이 있지만, 거버넌스 구조, 데이터 공유프레임워크의 구축, 참여자의 선별과 준비, 인식 및 의지의 부족과 관련된 문제에 대한 해결책이 필요하며, 도시디지털 트윈의 통합 및 협업을 통한 품질 향상 뿐만 아니라 개인정보 보호 및 보안에 대한 신중한 접근도 필요하다.

이런 장애에도 불구하고, 스마트시티에서 디지털트윈의 중요성은 갈수록 강조될 수 밖에 없는데, 디지털

트윈의 주요 이점 중 하나는 과거와 현재의 정보와 미래 시나리오를 연결할 수 있는 가장 강력한 수단이라는 점이다. 시간과 공간에 걸쳐 여러 데이터 모델을 통합하고, 단일 3D 모델에 대한 정보를 제공하는 능력은 도시운영의 현재 및 미래 동향에 대한 탐구, 이해 및 예측을 풍부하게 해줄 것이다.

5. 결 론

본 고에서는 디지털트윈의 스마트시티의 활용가능성을 조심스럽게 진단해보고, 한편으로 스마트시티의 진화과정과 발전방향을 함께 살펴보았다. AI와 통신 기술, 클라우드컴퓨팅, IoT, 디지털트윈 기술의 발달은 이제 스마트시티 모델이 도시에 대한 모니터링과 관제, 도시에서 발생하는 Usecase에 대한 대응수준에 머무르지 않고, 적극적으로 도시의 문제를 진단하고 해결하며, 미래를 예측할 수 있는 수준까지 도달해 있다. 또한, 디지털트윈 기술을 이용하면 도시의 복잡한 문제의 핵심을 쉽게 이해하고, 접근할 수 있어 도시운영관리의 강력한 해결수단으로 자리매김하고 있다.

그럼에도 불구하고, 디지털트윈이 제대로 작동하기 위해서는 많은 추가적인 노력이 필요한 것으로 판단이 된다. 즉, 디지털트윈의 잠재성은 높으나 도시의 진화궤적에 맞게 적응성을 높이려면, 무엇보다도 방대한 도시데이터를 효율적으로 처리하는 기술을 확보하는 것은 스마트시티의 디지털트윈 적용에 있어 결정적인 요인으로 작용할 것으로 본다. 도시데이터 품질과 정확성 유지는 도시를 위한 통합적이고 효과적인 디지털 플랫폼을 개발하는데 핵심적인 과제이며, 생성된 이기종 데이터와 여러 소프트웨어 응용프로그램간의 융합이 필요한 도시의 다양한 영역을 고려할 때 디지털트윈을 위한 데이터 표준 개발의 필요성이 상당히 높을 것이다.

따라서, 복잡계인 도시의 속성상 다양한 시스템과 영역을 나타내는 복잡한 중층적 모델이 필요하며, 사회 경제적 과정이나 활동과 같은 비물리적 시스템의 통합은 디지털트윈의 모델을 이용하여 복잡한 도시시스템을 시각화하고 실현하는데 있어 가장 어려운 일이 될 것이다.

스마트시티에서 정치환경, 거버넌스 구조, 문화 등 상황적 요인을 고려하는 것 외에도 사회경제적 행동 및 활동에 대해서 디지털트윈을 통해 생성된 모델링과 결과에 따른 상황인식 기능은 도시를 더 잘 이해하고 보다 심층적인 분석 및 미래 시나리오 시물레이션을 통해 더 나은 통찰력을 제공할 것이다.

앞으로 스마트시티와 디지털트윈과의 만남은 필연적이며, 디지털트윈 기반의 스마트시티 관련 사업은 꾸준히 증가할 것이다. 디지털트윈의 잠재성을 고려해볼 때, 디지털트윈의 다양한 솔루션을 통해 도시공간에 대한 재해석을 통해 도시의 생산성과 편의성, 안전성, 지속가능성 등을 높일 수 있는 최적의 공간배치 및 운영이 가능해 질 것이다. 특히 도시의 빅데이터를 디지털트윈을 통해서 좋은 데이터(good data) 또는 스마트데이터(smart data)로 전환시킬 수 있을 것이다. 이를 위해서는 이해관계자의 참여가 절대적으로 필요한데, 이를 위해서는 디지털트윈이 신뢰성과 투명성, 공정성을 확보할 수 있는 제도적 장치와 운영기준이 정립되어야 할 것이다. 영국의 Geminine Principle처럼 스마트시티를 위한 디지털트윈이 공공선, 가치창출, 통찰력을 목적으로, 보안과 개방성, 품질이 보장될 수 있는 신뢰성과 연합과 양생, 진화를 통해 스마트시티에서 제반 기능을 발휘하게 된다면, 스마트시티의 급속한 발전을 견인할 것으로 보인다.

다만, 이를 위해서 국가차원에서 부처간의 협력과 전문가의 참여를 통해서 전략적이고 통합적인 프레임워크를 제시하고, 합리적인 운영기준을 갖고 갈 것인지에 대해서는 진진한 논의와 정책개발이 이루어져야 할 것이다. 또한, 디지털트윈에 해당되거나 연관되는 기술적 인프라 구축과 개발인력의 확보, 비즈니스 창출, 시민참여를 통한 스마트시티의 질적인 성장은 앞으로 꾸준히 추구해야 할 방향이 될 것이다. 최근에 대통령직속 디지털플랫폼위원회에서 ‘디지털트윈 코리아전략’을 수립중에 있으므로 이를 통해 스마트시티가 발전할 수 있는 화수분이 마련되기를 기대해 본다.

참고문헌

- [1] UN Habitat, World Cities Report 2022, Envisaging the Future of Cities, 2022.
- [2] 매일경제, [특별기고] “미래도시 성공하려면 시민참여 뒷받침돼야”, <https://www.mk.co.kr/news/special-edition/5488129>, 2013.3.21.
- [3] 매일경제, ‘세계경제 수도’ 뉴욕, 글로벌 경기회복 ‘바로미터’, <https://www.mk.co.kr/news/world/9382441>, 2020.6.11.
- [4] 제프리웨스트, 스케일-생물,도시, 기업의 성장과 죽음에 관한 보편법칙, 김영사, 2018.
- [5] Ball, Matt., “IBM Takes Aim at Creating a Smarter Planet: Interview with Richard Lechner, IBM Vice President, Energy & Environment”. V1 Magazine. Retrieved 2010.8.8.
- [6] Yigitcanlar, Tan, and Md Kamruzzaman., “Does smart city policy lead to sustainability of cities?” Land Use Policy 73, p49~58, 2018.
- [7] Gabrys, Jennifer., “Programming environments: Environmentality and citizen sensing in the smart city,” Environment and Planning D: Society and Space, 32, no. 1, p30~48., 2014.
- [8] 대한민국 정책브리핑, “스마트시티 기술 기반 코로나19 역학조사 지원시스템, 국토교통부, <https://www.korea.kr/multi/mediaNewsView.do?newsId=148871550>, 2020.4.14.
- [9] 국토교통부, 제4차 스마트도시 종합계획, 2024.5
- [10] Markets and Markets, : “Smart Cities Market by Focus Area, Smart Transportation, Smart Buildings, Smart Utilities, Smart Citizen Services (Public Safety, Smart Healthcare, Smart Education, Smart Street Lighting, and E-Governance) and Region - Global Forecast to 2027”, 2023.
- [11] The Insight Partners, New Yor, Feb. 20, 2034(Globe Newswire), <https://www.globenewswire.com/en/news-release>
- [12] Technavio, Smart City Market by Application and Geography - Forecast and Analysis 2021-2025, 2020.
- [14] 정영준 외, 디지털트윈 기술의 도시정책 활용사례, 전자통신동향분석 제36권 제2호, 2021.
- [14] 장인성, 주인학, “디지털트윈 기반의 스마트시티에서의 공간정보 기술,” 한국통신학회지, Vol. 37, No. 12, p.64, 2020.
- [15] Shahat, E.; Hyun, C.T.;Yeom, C., “City Digital Twin Potentials:A Review and Research Agenda”, 2021.
- [16] 서기환, 정예진, 성혜정, 홍상기, “디지털트윈 국토 추진을 위한 전략연구”, 기본21-12, 국토연구원, 2021.
- [17] Bruce Katz and Julie Wagner, “The Rise of Innovation Districts: A New Geography of Innovation in America,” Metropolitan Policy Program, 2014.



조 대 연

1987 서울대학교 토목공학부 졸업(학사)
 1989 서울대학교 토목공학 석사(구조공학전공)
 1994 서울대학교 토목공학 박사(구조공학전공)
 1995~2005 한국도로공사 수석연구원
 2005~2010 한국건설교통기술평가원전략기획실장
 2010~2015 국토교통과학기술진흥원 본부장
 2016~2018 국토교통과학기술진흥원 단장
 2018~2021 스마트시티 국가혁신성장동력 프로젝트 사업단장
 2021~현재 국토교통과학기술진흥원 선임연구위원
 2018~2020 대통령직속 4차산업혁명위원회 스마트시티위원
 2023~현재 대통령직속 디지털플랫폼정부위원회 전문위원
 2015~현재 한국공학한림원 건설환경분과 일반회원
 관심분야 : 스마트시티, CPS, 디지털트윈, 넷제로, 혁신클러스터
 Email : doholcho@kaia.re.kr