

디지털트윈을 활용한 건축물 시설안전대응 통합관리체계 구축 필요성에 관한 연구

염상국* · 박영준**

Yum, Sang-Guk* · Park, Young-Jun**

Investigating on the Necessity of Integrated Project Management System for Effective Facility Management Utilizing Digital Twin Technology

ABSTRACT

Due to a long-term pandemic of COVID-19 since 2019, our society finally goes into 'un-tact (non-contact) era' in earnest by increasing an importance of non-contacted activities which are able to live without contacts among people. Un-tact era has influenced to generate a huge structural change with digitalization in our daily life as well as industrial society based on digital twin as an essential technology. As a technology representing real world in virtual digital world by integrating various technologies applied to 4th industrial revolution, digital twin leads an innovation in industrial society with diverse industrial processes. But this technique isn't actively used across all industries due to structural limitations and environmental restrictions of digital twin. Especially, the field of construction and facility is necessary to use digital twin because it requires periodic managements of buildings in daily life and is directly connected with casualties in cases of disaster. But issues faced in reality are acting as an obstacle for applying digital twin. Therefore, this study suggests the necessity applying digital twin in facility safety response based on these issues and emphasizes active applications of digital twin by describing the expected effects being created. Furthermore, it connects to create demands of digital twin by overcoming current issues and suggesting high sustainable development.

Key words : Digital twin, Digital transition, Facility safety response, Sustainable development

초록

2019년 발생한 코로나라는 팬데믹 영향의 장기화로 인해 사람들 간 접촉을 하지 않고도 생활이 가능한 비대면 활동의 중요성이 증대되면서 우리 사회는 본격적인 언택트(untact) 시대로 진입하게 되었다. 언택트 시대는 우리의 일상생활뿐만 아니라 산업사회를 디지털화로 재편하는 거대한 구조적 변화를 초래하는데 영향을 미쳤는데, 그 중심의 핵심기술에 디지털트윈(digital twin)이 있다고 해도 과언이 아니다. 디지털트윈은 4차 산업혁명에 접목되고 있는 다양한 기술력을 융합하여 현실세계를 가상의 디지털 세계에 그대로 재현해내는 기술로, 다양한 산업 공정 전반에 관여하여 산업 사회에서의 혁신을 선도하고 있다. 그러나 디지털트윈이 갖는 구조적 한계 및 환경적 제약으로 인해 동 기술은 모든 산업 제반에 걸쳐 적극적으로 활용되고 있지는 않다. 특히 건축 및 시설물 분야는 일상에서 건물의 주기적 관리가 요구되고 재난 발생 시 인명피해와도 직결되는 분야이기 때문에 디지털트윈의 접목 필요성이 더욱 제기되고 있는 분야지만 현실적으로 직면한 사항들이 디지털트윈의 적용에 있어 장애물로 작용하고 있다. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제점에 착안하여 건축물 시설안전대응분야에서 디지털트윈 기술의 적용 필요성을 제시하고,

* 정희원 · 강릉원주대학교 토목공학과 교수 (Gangneung-Wonju National University · skyeom0401@gwnu.ac.kr)

** 교신저자 · 현대건설 기술연구원 스마트건설연구실 상무 (Corresponding Author · Hyundai Engineering and Construction · youngp@hdec.co.kr)

Received April 6, 2022/ revised May 6, 2022/ accepted June 9, 2022

그로 인해 창출 가능한 기대효과를 기술함으로써 디지털트윈의 적극적 활용을 강조한다. 더불어 디지털트윈이 현재 직면한 문제를 극복하고 향후 지속발전가능성이 높음을 시사하여 디지털트윈의 수요 창출을 견인하도록 연계짓는다.

검색어 : 디지털트윈, 디지털 전환, 건축물 시설안전대응, 지속발전가능성

1. 서론

코로나-19라는 팬데믹 확산의 장기화로 인해 현재 우리사회는 경제 양극화, 고용불안 등 사회 전반에 걸친 기능 쇠퇴 현상에 직면해있다. 따라서 사회 도처에 산재해 있는 불확실성을 해소하고 사회적 안정성을 도모하기 위해 최근 디지털화를 중심으로 한 산업재편이 진행되고 있는 추세이다. 특히 정부는 지난해 코로나-19가 불러온 경제위기를 극복하고 사회적 안전망을 강화하기 위한 방안으로 ‘한국판 뉴딜 정책’을 발표하면서 경기회복을 위한 10대 대표과제를 제시했다. 한국판 뉴딜은 경제 전반의 디지털 혁신과 역동성 촉진 및 확산을 선도하는 ‘디지털 뉴딜’과 탄소중립 지향, 경제기반을 저탄소 및 친환경으로 전환하는 ‘그린 뉴딜’이 중심이 되어 추진되고 있는데, 디지털 뉴딜은 팬데믹 현상으로 인해 언택트(untact) 사회로 전환한 현 상황을 여실히 반영하고 있는 정책이라고 할 수 있다.

그 가운데 ‘디지털트윈(digital twin)’은 한국판 뉴딜 정책의 10대 대표과제 중 디지털-그린 융복합 분야의 대표과제로 제시되면서 ‘지속가능발전을 위한 디지털 혁명(digital revolution for sustainable development)’의 주요 기술로 각광받고 있다(Sachs et al., 2019). 디지털트윈이란 현실세계의 사물을 가상세계에 동일하게 구현하는 기술을 의미하는데, 특히 동 기술을 활용하면 현실에서 발생할 수 있는 상황을 시뮬레이션하여 향후 발생 가능한 상황에 대해 선제적으로 대응할 수 있기 때문에 다양한 산업 및 사회 문제를 해결할 수 있는 기술로 주목받고 있다. 디지털트윈은 특히 4차 산업혁명의 핵심기술인 인공지능이나 빅데이터 등 다양한 기술들과 융합되면 기술의 확대 적용이 가능해지기 때문에 향후 세계가 직면한 모든 분야에 다방면으로 활용될 수 있을 것으로 예상된다. 그러므로 팬데믹의 영향으로 인해 발생하고 있는 세계적 디지털 전환(digital transformation)의 구조적 변화에 신속하게 대응하기 위해서는 디지털트윈의 핵심 기술에 대한 이해와 동 기술 적용의 필요성에 대한 인식의 수행이 필수적으로 진행되어야 한다(KAIST, 2021).

따라서 전술한 내용을 바탕으로 본고에서는 디지털트윈 기술 적용의 중요성을 강조하고, 다양한 산업 분야 가운데 특히 건축물 시설안전대응과 관련해 해당 기술을 접목했을 때 기존 시설 관리 대비 비용 절감 및 시간 절약 등 관리의 효율성 측면을 비교하고자 한다. 본 연구는 건축물 시설안전대응을 위한 재난대응 서비스

구현 방안을 제시하기 위해 이어지는 2장에서 관련 분야의 선행연구를 분석하고 3장에서는 디지털트윈을 활용하여 건축물 시설관리 및 안전대응을 진행한 케이스 스터디를 분석한다. 그리고 4장에서는 건축물 시설관리 및 안전대응을 위해 디지털트윈을 적용했을 때 어떤 기대효과가 발생하는지를 기술하고 마지막 5장에서는 본 연구의 결론을 도출하며 디지털트윈 활용 필요성에 대한 논지를 마무리 한다.

2. 디지털트윈의 이론적 논의

2.1 디지털트윈의 정의

디지털트윈 개념의 시초는 2002년 마이클 그리브스(Michael Grieves)가 제품생애주기관리(PLM: Product Lifecycle Management)에 대한 개념을 제시하였던 것에서부터 출발한다. 그리브스는 미시간 대학교에서 새로운 개념이자 기술로써 PLM이라는 용어를 발표했는데, 당시 그리브스는 PLM을 현실공간(real space)과 가상공간(virtual space), 그리고 현실공간과 가상공간 간 데이터 및 정보를 연결하는 연계성 등의 요소를 바탕으로 현실세계와 가상세계 간 미러링 모델(mirroring model)을 구현하는 기술로 개념화했다(Grieves, 2014). 그리브스의 발표 이후 PLM은 몇 년 간 개념적 정의로만 존재하고 있다가 2010년 미 항공우주국(NASA)이 항공우주 산업에 새로운 기술을 접목하기 위해 최초로 동 개념을 다루기 시작하면서 본격적으로 구체화되기 시작했다.

NASA는 항공 우주 분야에서 자사의 기술 로드맵을 발표하기 위해 PLM 개념에 주목했는데, 당시 PLM은 디지털트윈 기술이 갖춰야 할 모든 요소를 이미 포함하고 있었기에 본 특징에 착안하여 동 모델은 현재의 ‘디지털트윈(digital twin)’의 개념으로 발전하게 되었다. 디지털트윈은 NASA 보고서에서 “최고의 물리적 모델(physical models), 센서 업데이트(sensor update) 등을 사용하는 차량 또는 시스템의 통합된 다중 물리(multi-physics), 다중 스케일(multi-scale), 확률론적 시뮬레이션”의 개념으로 정의되었다. 이를 바탕으로 NASA가 디지털트윈 기술을 항공 우주 분야의 개념적 기반으로 채택하게 되면서 이후 NASA의 로드맵은 항공우주 분야에서 연구자들이 디지털트윈을 정의하는데 있어 중요한 기준점이 되었다(Shafto et al., 2012).

그러나 항공 우주 분야에만 국한되어 활용되고 있던 디지털트윈 기술이 2015년에 이르러 항공 산업 외에도 모든 생산물(product)에

통합된다는 개념이 적용되면서 디지털트윈에 대한 인식의 전환점이 발생하기 시작했다. 예컨대 그리브스는 디지털트윈을 “물리적 시스템(physical system)에 대한 디지털 정보 구조(digital informational construct)가 개체로써 스스로 생성될 수 있다는 아이디어에 기초하여 디지털 정보가 물리적 시스템 자체에 내장되어 연결됨으로 정보의 쌍둥이(twin)로써 역할을 수행”한다고 정의하며 개념의 확장을 도모했다(Grievess and Vickers, 2017). 아래 Fig. 1은 디지털트윈에 대한 그리브스의 정의를 도식화한 것으로, 현실세계에 존재하는 사물이나 시스템, 환경을 가상세계에 동일하게 모사(virtualization) 및 모의(simulation)하고 그 결과에 따른 최적의 상태를 현실 세계와 가상세계에 적용 및 전달되게 함으로써 끊임없이 최적화된 체계를 구현하는 특징을 표현한 것이다(Kim, 2021).

디지털트윈에 대한 그리브스의 정의를 기점으로 각종 산업 분야에서 동 기술의 활용 관심도 증대와 함께 관련 분야의 전문가들을 중심으로 디지털트윈에 대한 다양한 정의 도출이 진행되기 시작했다. 예를 들어 디지털트윈은 “현재 상태와 실제 환경의 상호작용에 있어 굉장히 현실적인 모델”이고(Rosen et al., 2015), “물리적 제품(physical product)의 디지털 대응품(digital counterpart)”이기도 하며(Ríos et al., 2015), “실제 세계의 객체를 가상으로 대체”(Schluse and Rossmann, 2016)한 것으로 기술되었다. 더불어 “실제 제품의 가상적 표현”(Schroeder et al., 2016)이라든지, “시스템의 라이프 사이클(life-cycle) 전반에 걸쳐 기계, 전기, 소프트웨어 등 각 분야별 모델을 조정할 수 있는 통합 시스템 모델”(Bajaj et al., 2016)로써의 정의들이 진행되기도 했다.

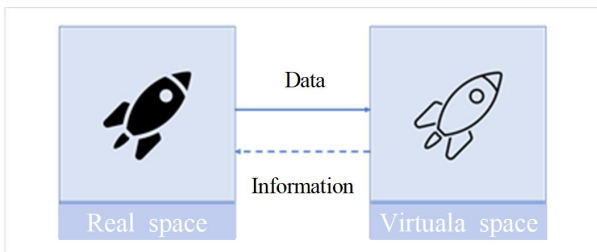


Fig. 1. Concept of Digital Twin

상기 내용을 정리해보면, 디지털트윈은 디지털 가상 모델로 연계된 현실의 개체를 실시간 모니터링이 가능하게 하는 모델로 정의할 수 있기 때문에 향후 재난방재부터 자율주행, 스마트시티 구축, 그리고 생활안전 서비스 제공까지 산업 부문에 있어 다방면의 분야로 활용성을 확대할 수 있는 핵심 기술이라고 할 수 있겠다.

2.2 디지털트윈 관련 기존연구 분석

디지털트윈 기술은 다양한 산업분야에 접목되어 산업시장의 기술발전을 선도하는데 핵심적 역할을 수행할 수 있는 모델이다. 디지털트윈 기술은 특히 사물인터넷(IoT)이나 인공지능 또는 빅데이터 등의 기술 등과 접목할 경우 다방면의 분야에서 더욱 활용성 있게 구축될 수 있기 때문에 그 잠재성과 효율성은 무한하다고 볼 수 있다. 이렇게 디지털트윈 기술이 유망한 모델로 평가받고 있는 이유는 가상 세계에서 실시간으로 데이터를 수집하여 현실 세계의 상황을 정확하게 모사하고 모방한다는 특징을 갖고 있기 때문이다. 이와 같은 특징을 기반으로 디지털트윈 모델은 오늘날 도시의 지속가능성 제고와 함께 Table 1과 같이 다양한 산업 분야에 적용되면서 국가 미래 경쟁력 확보를 위해 확대되고 있는 추세이다(Kim, 2019).

위에서 살펴볼 수 있는 바와 같이 디지털트윈 기술은 다양한 산업 분야에 접목하여 그 활용성을 극대화할 수 있다는 특징을 갖고 있다. 먼저 디지털트윈 기술을 가장 적극적으로 활용한 분야는 항공 우주 분야로 관련 산업의 모델링 및 시뮬레이션 등에 동 기술을 활용하기 시작했다(Glaessgen and Stargel, 2012). 특히 우주 공간의 경우 오랜 시간 동안 높은 하중과 극단적 조건에서 견딜 수 있는 가벼운 질량으로 구성된 비행체가 필요한데 NASA의 경우 해당 이슈에 디지털트윈 기술을 적용하여 안정성과 신뢰성을 갖춘 모델을 구현해냈다. 디지털트윈은 자동차 분야에서도 산업 전반에 걸쳐 그 기술의 적용이 진행됐다(Jeong et al., 2021). 가장 대표적 회사로써 제너럴 일렉트릭(GE: General Electric)은 자사의 엔진 및 터빈 등의 제품 개발부터 제조 및 판매의 전 과정에 디지털트윈 모델을 활용하여 실제공정과 가상공정이 일원화된 제조 시스템을 구축하여 혁신적 변화를 주도했다. 또한 디지털트윈 기술을

Table 1. Applications in Industrial Fields of Digital Twin Technology

| Applicable fields | Details |
|-----------------------------------|---|
| Establishing smart factory | Contribute to optimize manufacturing process by monitoring and controlling actual processes within factory through collecting real-time information |
| Constructing smart city | Apply to monitoring all sectors of city, planning and operating city. |
| Automobile field | Apply to increase autonomous technology and optimize managements of production equipment |
| Medical field | Progress healthcare through checking current health condition and predicting its change in future |
| Equipment management | Progress maintenance in advance prior to equipment failures with remote monitoring production equipment |
| Management of logistics operation | Apply to monitor and optimize status of logistics operation |

기반으로 장비에 부착된 센서로부터 대규모의 데이터를 수집 및 분석하고 가상의 모니터링이나 컨트롤과 같은 서비스를 제공했다. 다음으로 제조 분야는 디지털트윈 기술을 가장 활발하게 사용하는 분야 중 하나로 동 기술을 접목하여 물류 운영부터 장비 관리까지 상품 제조 과정 전반을 관리하는데 활용되고 있다(Lee et al., 2013). 예를 들어 디지털트윈 모델을 통해 물류 운영 현황을 모니터링하거나 실제 장비나 기계에 대한 접근성을 용이하게 하여 사전 정비 작업을 진행함으로써 기계 및 장비의 효율적 관리를 진행하는데 적용된다. 이와 더불어 디지털트윈은 현실 세계에 대한 시각화 기능이 가능한 특징을 바탕으로 의료분야에서도 다양한 영역에 걸쳐 적용되고 있다(Ko and Yoon, 2021). 예컨대 환자를 대상으로 과거 수술 및 치료 이력 등을 바탕으로 향후 치료에 대한 시뮬레이션을 통해 환자 맞춤형 치료를 진행한다. 또한 24시간 실시간 모니터링이 가능한 기술을 활용하여 중증환자들을 대상으로 지속적 모니터링을 실시하고 환자의 바이탈 상태에 변화가 포착될 경우 효과적 대응 및 관리를 진행한다.

위의 사례들과 같이 현재 세계 시장은 IoT 기술을 인공지능 및 XR 기술들과 결합한 다양한 형태의 방법으로 디지털트윈을 구현하여 각종 산업 분야에 동 기술을 빠르게 적용 및 활용하고 있는 추세이다. 그러나 이와 같은 산업 시장의 트렌드에도 불구하고 건설 분야에서 디지털트윈 접목 속도는 더디게 진행되고 있는 실정이다. 건설 분야에 디지털트윈 모델을 적용하면 재난안전 대응부터 실내 안전 관리, 시설 관리 등의 작업을 더 효율적으로 진행할 수 있음에도 불구하고 해당 분야에서 디지털트윈 기술의 이용은 아직 활성화되지 않고 있다. 하지만 건설 분야에서 동 기술을 접목할 경우 더욱 효과적인 건물 및 시설 관리, 재난대응 시스템 구축 등이 가능해지기 때문에 디지털트윈 접목 필요성 요구를 위해 관련 연구들이 다방면으로 진행되고 있다.

먼저 건설 분야에 디지털트윈 기술을 접목하면 실시간 시설 관리가 가능해지는데, 시설 안전 점검 작업 수행을 위해 기존 방법처럼 현장을 직접 방문하지 않고도 센서에서 수집된 데이터 및 3차원 가상 모델을 바탕으로 원격 시설 점검이 가능해진다. 원격 시설 점검의 경우 현장 관리에 있어 위험성이 도사리고 있는 시설에 적용될 경우 더욱 효율적인데 예컨대 발전소 관리 시스템의 경우가 그 적절한 사례라고 할 수 있다(Seo, 2020). 또한 시설 관리에 있어 디지털트윈 기술을 활용할 경우 센서를 통해 수집되고 축적된 빅데이터 자료를 활용하기 때문에 시설의 발전 효율을 높이고 사고를 미연에 방지하는 기능도 수행하는 장점을 갖게 된다. 디지털트윈 기술은 시설 관리 기능 외에도 재난 발생 시 효과적 대응을 위해 활용할 수 있다는 특징이 있기 때문에 재난 관리 분야에서 더욱 그 적실성을 발휘한다(Ford and Wolf, 2020). 재난관리가 효과적으로 진행되기 위해서는 다양한 조건의 데이터들이 동시다

발적으로 연결되어 해당 재난상황에 맞는 최적의 결정이 수행되어야 하는데 디지털트윈 기술을 적용할 경우 각종 재난 상황에서도 데이터 수집 및 활용 능력으로 실시간 재난 상황 전파가 가능해지고 축적된 데이터를 기반으로 재난상황에 대처하기 위한 가장 적실성 있는 대응이 가능해진다. 이는 건물 내 재난 발생 시 수집 및 축적된 데이터를 바탕으로 효과적 대피 경로를 제공하는 시스템을 구축할 수 능력으로 연계된다(Kim et al., 2020). 예를 들어 대상 건물을 디지털트윈으로 구현하면 건물 내 인구 수, 발화 지점 표시 및 대피로 안내가 3D 그래픽을 통해 표현 가능해지게 된다. 이를 통해 건물 내 화재가 발생했을 경우 화재 감시에 따른 효과적 화재 대피 경로를 도출할 수 있게 되고 더불어 가상의 화재 훈련도 가능해지게 된다.

이처럼 IoT와 BIM기술을 기반으로 한 디지털트윈 기술을 활용해 건물과 시설의 안전성 증진을 도모하는 일은 굉장히 중요하며 그 타당성이 입증되었다. 그리고 건물과 시설물 내 디지털트윈을 적용하면 재난상황 발생 시 상황에 따른 모델링 및 시뮬레이션이 가능해지고, 시설 점검 차원에서도 시설의 발전 효율을 높이며 여타 예상하지 못한 사고도 방지할 수 있기 때문에 디지털트윈은 시설안전관리에 있어 핵심적 기술이라고 할 수 있다. 그럼에도 불구하고 현재까지는 관련 기술들의 완성도가 충분하지 않아 건설 분야에서 디지털트윈 기술의 활용은 교착상태에 머물러 있다는 한계가 존재한다(Liu et al., 2020). 또한 건설 분야에서 디지털트윈에 대한 관심은 아직 저조한 상황이고 특히 기술적 미성숙도 등의 환경적 제약 등이 겹쳐 동 기술의 활용도는 아직 미약한 상태에 머물러있다. 따라서 이러한 현상에 주목하여 본고에서는 건물 재난 안전대응 및 시설 관리 등의 분야에서 디지털트윈 기술 접목의 중요성을 제시하고 동 기술을 해당 분야에 적용했을 시 어떠한 효율성을 갖게 되는지 그 현상을 분석해보고자 한다.

3. 연구방법

3.1 연구의 목적

본 연구의 목적은 디지털트윈 기술을 통한 시설물 안전관리 체계의 선도적 수요창출과 재난대응 관리체계 구축 필요성을 제시하는 것이다. 상기 전술한 사례와 같이 디지털트윈 기술은 항공, 자동차, 제조, 의료 분야 등 다방면의 산업에 적용되어 활용되고 있고 건설 및 시설물 영역에서도 디지털트윈 기술을 접목할 경우 예측 불가능한 재난 상황에 대응하고 구조적 안전성을 확보할 수 있다는 용이성이 존재한다. 그러나 실제적으로 해당 기술의 적용 및 활용은 아직 미흡한 상태에 머물러 있는 실정이다. 왜냐하면 동 분야에서 디지털트윈 기술 적용의 필요성을 절감하고 있기는 하지만 기술적 미성숙도와 함께 그에 따라 수반되는 위험성 등의

문제 요소들로 인해 여타 분야와 같이 기술 적용의 활성화가 쉽지 않은 상황이기 때문이다. 특히 건축물이나 시설물 영역에서는 소프트웨어의 상황판단성에 있어 오류가 발생할 경우 여타 분야에 비해 대규모 인명 사고로 연계될 확률이 높기 때문에 관련하여 설정된 규제 장벽을 넘지 못할 경우 디지털트윈 기술이 진입하기 쉽지 않은 상황이다(Cho, 2020). 따라서 본 논문은 건축물 시설안전 대응 분야에서 디지털트윈 기술을 적용하는데 발생하는 제한점들을 극복하기 위해 시설물 안전관리체계 마련 방안과 더불어 기술의 지속가능한 적용 방법을 모색하는데 그 세부목표를 설정하였다.

본 연구의 수행을 위해 적용할 연구 방법은 다음과 같다. 첫째, 디지털트윈을 활용한 사례연구를 수집하여 시설물 안전관리체계













구축 방안을 분석한다. 둘째, 디지털트윈 사례 분석을 통해 디지털트윈 적용 시 발생 가능한 기대효과를 도출한다. 이를 통해 향후 건축 및 시설물 분야의 디지털트윈 기술 적용 필요성을 강조하고 기술의 지속가능성을 시사하여 본 연구의 궁극적 목표인 디지털트윈의 수요 창출과 연계 짓는다.

3.2 연구 방법

3.2.1 케이스 스터디

본 연구는 디지털트윈이 기술적 한계와 환경적 제약 등으로 인해 시설 및 건축 분야에서 활발히 적용되지 못하고 있는 현상에 착안한 것이 그 시발점이 되었다. 다양한 시설물 내 디지털트윈을

Table 2. Site Investigation Result and Drawing Information in Korea Military Academy

| No. | Number of stories | | Site images and drawings | |
|-----|-------------------|--------|---|---|
| | Base | Ground | Site images | Floor plans / Elevation plans |
| 1 | 1 | 2 |  |  |
| 2 | - | 1 |  |  |
| 3 | 1 | 3 |  |  |
| 4 | 2 | 3 |  |  |
| 5 | - | 2 |  |  |
| 6 | 1 | 2 |  |  |

적용하면 이용자의 안전성과 편의성 증진에 기여할 수 있을 뿐만 아니라 운영관리의 효율성 또한 극대화시킬 수 있음에도 불구하고 현재 여러 제약 요인으로 인해 해당 기술이 활성화되지 못하고 있는 상황이기 때문이다. 따라서 디지털트윈 기술을 통한 시설물 안전관리 체계 마련의 수요창출과 재난대응 관리체계 구축에 있어 다음과 같은 사례연구 분석은 향후 디지털트윈의 지속가능한 적용을 위한 방향성 제시에 참고자료로 활용될 수 있을 것이다.

Table 2에서 볼 수 있듯이, 2020년 광주광역시와 대구광역시 및 육군사관학교 외 7개의 민·관·군으로 구성된 컨소시엄을 통해 5G와 디지털트윈을 활용하여 다중이용 건축물을 대상으로 시설안전대응 통합관리체계를 구축하기 위한 시범 사업을 진행하였다. 본 사업은 건축물 상시 시설안전관리와 더불어 내부 지진이나 화재 또는 연기 발생 시 상시 재난대응관리체계를 구축함을 목표로 하여 디지털트윈 기술을 활용한 민간주도 혁신성장을 견인하고 공공의 수요창출을 선도하기 위해 진행되었다. 사업 진행을 위해 광주광역시와 대구광역시 및 육군사관학교 내 3개 지역에 총 25개 시설물을 선정하고 계측데이터의 수집 및 저장에 위한 각종 센서들을 부착했다. 그리고 KT의 5G 클라우드 인프라 기반 GiGAsafe SOC 시설안전 서비스 및 운영 플랫폼과 더불어 KT 빅데이터 및 AI 플랫폼을 바탕으로 센싱 데이터의 수집 및 전송이 가능한 시설관리 및 재난대응 서비스 제반을 구축했다.

상기 과정을 통해 진행된 본 사업의 서비스는 크게 건축물 시설안전관리와 재난대응관리체계 서비스로써 다음과 같은 기능들을 제공하는데 주력했다. 먼저 시설안전관리 서비스 관련해서 센싱 데이터 수집 및 분석을 통해 실시간 시설 현황정보, 시설물 이상정보, 시설보수정보 등의 정보를 제공하도록 체계를 구성했다. 예컨대 클라우드 플랫폼 기반의 디지털트윈 3D 도면을 구현하여 3D 도면 내 센서 이상 알람 발생 시 이상 내역을 전송하고, 시설물 내하력 변화 추이 정보 및 시설 노후 예측 시뮬레이션 서비스 등을 제공하도록 했다. 또한 이를 통해 건물 관리자로 하여금 현장을 직접 방문하지 않고도 원격으로 실시간 건축물 관리를 가능하게 하여 건축물 관리에 있어 시간과 비용 절감에 있어 효율성을 극대화하는데 기여했다. 다음으로 재난대응관리체계 서비스와 관련하여서는 실시간 센싱 정보를 통해 시설안전계측, 위험시점예측분석, 위험전파, 재난대피경로지원, 재난위험 시뮬레이션 등의 데이터를 제공하도록 시스템을 구현했다. 예를 들어, 디지털트윈 3D 도면을 바탕으로 재난 발생 시 센서를 통해 상황을 감지하고, 화재 발생 시 화재 및 연기가 확산되는 상황이나 지진 발생 시 시설의 내하력이 변화되는 등의 영향을 시뮬레이션 하여 상황에 따른 위험전파 및 긴급대피 알람 서비스를 제공하도록 계획했다. 이를 통해 재난 발생 시 위험영역을 분석하여 안전대피경로 정보 제공과 함께 재난발생 규모를

측정하여 시설 안전성을 예측하는 시뮬레이션을 제공함으로써 재난 대응에 있어서 안전성은 높이고 소요시간은 절감한 성과를 달성했다. 특히 이와 같은 모든 과정은 KT의 5G 기반 인프라 활용을 통해 이전보다 훨씬 높은 정확성과 안전성을 탑재한 시설관리 및 재난대응 능력을 갖춘 시스템 하에 진행되었다. 또한 IoT 센서 연동에 있어 많은 경험과 기술 노하우를 축적한 회사가 참여하여 소프트웨어 오류로 인해 발생할 수 있는 안전성 문제에 대한 우려를 대폭 개선한 효과도 함께 창출하게 되었다.

상기 케이스 스터디는 시설물 또는 건축물에 디지털트윈 기술을 적용할 경우 건축물 원격 관리가 가능해지면서 관리자의 편의성은 증대되고 관리 비용 및 시간은 절감되기 때문에 시설 관리에 있어 효율성의 최대화 달성이 가능해짐을 시사한다. 또한 재난 발생 시 실시간 센싱 정보를 통해 재난대응관리체계를 작동시키면 신속하고 정확하게 사용자의 안전 확보를 도모할 수 있다는 결과를 내포하고 있다. 이와 같은 현상은 5G 통신 및 인프라 등 본 사업에 적용된 기술이 혁신적 발전을 거듭한 결과물로 평가할 수 있는데, 이미 서울을 비롯한 포항, 과주 등의 건물에는 GiGAsafe SOC 플랫폼을 활용한 시설물의 디지털화가 완료되어 디지털 내하력과 실제 측정 내하력에 있어 시설 전문가들의 긍정적 평가를 받고 있는 상황이다. 이러한 사례는 기존에 디지털트윈이 건축물에 적용되는데 제한점으로 작용했던 기술의 미성숙 및 안전성 확보 등의 문제들을 극복할 수 있는 방안에 대한 하나의 해답이 될 수 있을 것이다. 또한 디지털트윈 기술 집속을 통해 관련 기술 수준은 더욱 발전시키고 건축물의 안전성은 증대시킴으로써 향후 시설물 및 건축물 관리에 있어 지속발전가능성 향상을 도모할 수 있는 사례로도 활용될 수 있을 것이다.

3.2.2 디지털 트윈 대상건물 도면 실사화

본 연구에서는 디지털 트윈 대상건물 도면 실사화를 수행하였으며, 특히, 육군사관학교에 위치한 25개소에 대한 도면 정보를 검토하였다. 현장 실사에 앞서, 기 제공된 도면과 건축물 대장 정보를 바탕으로 25개소의 디지털 트윈 모델 적합성과 모델링 범위를 정의하였다.

그 결과, 육군사관학교의 경우 대다수 건축물이 2000년대 이전에 준공된 것으로써, 단면도, 입면도 확보가 용이하지 않은 관계로 현장 실사를 진행하였다. 또한, 육군사관학교 6곳의 디지털 트윈 모델 구축을 위해 세부 공간별 도면 정보 확인 및 사진 촬영을 통한 현장 실사를 진행하였다. 본 실사에서, 디지털 트윈 서비스 구축을 목적으로 사전에 공유된 설계도와 완공된 건축물 간의 구조부 일치 여부 및 특이사항 등을 분석하였으며, 현장 실사 결과를 기반으로 설계 변경사항을 도면에 반영하여 대상건물별 실사화 도면을 제작하였다.

3.2.3 디지털 트윈 재난 특화 공간정보 구축

본 연구에서는 25개소 실내의 3차원 공간정보 DB 구축을 위하여, 디지털 트윈 모델은 실내 공간정보의 기본이 되는 기본모델을 중심으로 디테일모델, 영역정보 설정, Topology 지정, POI 설정 등의 작업으로 진행하였으며, 25개소를 대상으로 공간정보 DB를 구축하였다.

모델링은 초기 성과 목표인 LOD 1에서 LOD 4 수준으로 상향 조정함에 따라 현장 실사 정보를 반영하여 벽체, 기둥, 문, 엘리베이터, 계단실 등의 건축요소와 맵핑 작업을 추가해 층별 공간정보를 구축하였다. 또한 공간정보, Topology 및 현장센서와 연동되는 POI 적용하였다.

대상건물별 실내 공간 Topology 구축을 위하여, 실내 공간간의 위계 관계를 통해 자동으로 Topology를 생성하는 기능을 활용하였으며, 25개소의 실내 공간 Topology를 구축하였다. 해당 기능은 일정 면적 이상의 영역과 Node 간격 설정하면 Node와 링크를 자동으로 생성 가능할 수 있어 본 연구와 같이 다수의 건축물을 기획하는데 용이하였다.

Topology는 건물 내 재실자 측위정보를 표출함과 동시에 재난 및 위험 발생 시 3차원 공간모델과 연계하여 정확한 대피로를 제공하는데 활용 될 수 있으며, Node는 재실자가 체류 가능한 모든 실내 공간에 2 m 간격으로 배치되고, 재실자의 수평 및 수직 동선을 고려하여 Node 간 모든 Topology를 연결하여 25개소에 적용하였다.

현장 센서는 광 센서(시설계측), 화재 센서, 유동인구 센서, 지진 센서 등으로 구분되며 센서별 표출되는 서비스와 데이터 정보가 상이하므로, 이에 센서별 데이터 특성을 고려하여 각각의 POI를 적용하였다. POI는 KSIM 모델러 툴을 활용하여 기본모델에 지정할 수 있고, 지정 시 현장 센서 정보(코드명)를 기입하여 실시간 데이터 수신이 가능하도록 설정하여 활용하였다. 건물 모델 좌표계와 GIS 좌표정보 정합 체계 마련하고 변환 좌표(Anchor Node)를 통해 GIS 좌표와 모델 내부좌표 간의 변환 체계를 활용하였으며, 외부 위치 데이터(구글 좌표기준) 연계 시 모델상의 위치 정합 가능하도록 25개소 건축물을 대상으로 GIS 좌표 정보를 적용하였다.

4. 결과

21세기에 접어들며 세계 시장은 제조공정의 디지털화를 통해 제품 생산부터 건설에 이르기까지 다양한 분야에서 디지털트윈 기술을 접목하여 생산 공정의 효율성을 극대화하고 있다. 생산 공정 과정에 디지털트윈 기술을 적용하게 되면 제품 관리에 있어서 제조 공정부터 생산 관리에 이르기까지 누적된 데이터를 바탕으로 가장 효율적이고 발전적인 경로를 제공하기 때문에 최적화된 방향

으로의 사업 운영이 가능하게 된다. 또한 제조과정 과정 가운데 부착된 수많은 센서들을 통해 제품의 상태부터 주변 환경 조건까지 다양한 데이터를 수집할 수 있기 때문에 센서에서 측정되는 값을 통해 실시간으로 제품이나 주변 환경에서 발생하는 일을 파악할 수 있다.

이와 같이 디지털트윈은 현실세계와 가상세계 간 실시간 정보 전달을 통해 기존의 방법으로는 불가능했던 근본적 공정 과정에 대한 변화를 주도하며 각종 산업의 운영 및 발전을 용이하게 하고 있다. 이는 제품의 품질 향상, 운영비용 감축 및 제품의 서비스 효율성 개선 등으로 연계되기 때문에 현재 그리고 미래 산업시장에서 디지털트윈의 가치는 더욱 증대되고 있다(Parrott and Warshaw, 2017). 그러나 증대되는 디지털트윈의 가치에도 불구하고 전술한 바와 같이 시설 및 건축 분야에서는 일부 한계점으로 인해 디지털트윈 기술의 적용이 제한되고 있다. 따라서 이어지는 챕터에서는 3장에서 기술한 케이스 스터디를 활용하여 시설 및 건축 분야에 디지털트윈 기술을 접목할 경우 향후 어떠한 기대효과들을 도출할 수 있는지 기술하고자 한다.

4.1 위험전파 소요시간 절감

재난안전 분야에서 위험전파는 사고 및 재난 발생 시 빠른 시간 내에 관리자 혹은 관련된 사람들에게 위험 발생 내용을 전달하는 것을 핵심 골자로 한다. 위험전파 상황 발생 시 기존 서비스를 이용하게 될 경우 관제실 운영이나 외부인 접속 등에 대한 제한이 발생하기 때문에 분초를 다투는 상황에서 원활한 서비스 제공에 장애 요소로 작용해왔다. 그러나 5G 기반 디지털트윈 기술을 접목한 시설물의 경우 재난 상황 발생 시 신속하고 정확한 위험전파 서비스를 제공하기 위해 클라우드 서비스를 활용하여 재난대피 매뉴얼과 관련하여 최적화 시스템을 구축하기 때문에 기존 시스템 대비 짧은 시간 내 위험을 전파하여 안전성을 확보할 수 있다는 장점이 있다.

따라서 이와 같은 특징을 바탕으로 시설물에 디지털트윈 기술을 적용할 경우 위험 전파 분야에 있어서 기존 서비스 대비 어느 정도의 효율성을 갖는지를 측정하기 위해 몇 가지 평가요소를 기준으로 시뮬레이션을 실행했다. 그 결과 아래 Table 3와 같은 값을 산출하게 되었으며 디지털트윈 적용 시 기존 서비스 대비 위험전파 소요시간을 50 % 가까이 단축할 수 있다는 수치가 도출되었다.

4.2 재난대응 소요시간 절감

재난안전 분야에서 재난대응은 위험전파 발생 이후 해당 장소에서 발생하는 위험 상황이 사람들의 안전 또는 재산을 위협하는 상황을 최소화하기 위해 신속하게 대응하는 것을 목표로 한다.

Table 3. Comparisons of Calculating Time Required for Danger Propagation

| Evaluation Factor | Existing Service | This Project | Simulation | | Saving Rate |
|--|--|--|------------------|--------------|---------------|
| | | | Existing Service | This Project | |
| Monitoring System Facility | Real-time operation monitoring in control room | Control room + Internet connect | 30 Sec. | 30 Sec. | Same |
| Monitoring based on PC | Management in limited space | Regular external accessibility through security connection | 30 Sec. | 30 Sec. | Same |
| SMS Transmission | Transmission after individual writing by cases | Even automatic dispatch to manager and interested person | 2 Min. | 1 Min. | 50 % |
| Mobile App | Not supported | Mobile App support | None | Support | 50 % Expected |
| Mobile Push Message | Not supported | Automatic alarm service support in Mobile App | None | Support | 50 % Expected |
| CCTV Screen Transfer | Possible only inside control room | Internal and external monitoring through Internet | None | Support | 50 % Expected |
| Situation Propagation to related organizations | Situation propagation through wire | Automatic or manual SMS transmitting | 2 Min. | 1 Min. | 50 % |

Table 4. Comparisons of Calculating Time Required for Disaster Response

| Evaluation Factor | Existing Service | This Project | Simulation | | Saving Rate |
|---|--|---|------------------|--------------|----------------|
| | | | Existing Service | This Project | |
| Risk propagation | Checking risk factors in control room | Checking risk factors at internal-external uncertain sites (based on Cloud) | 1 Min. | 30 Sec. | 50 % |
| Situation propagation to disaster response related organization | Situation report in wire and SMS | Situation report in automatic, manual MMS message and wire | 2 Min. | 30 Sec. | 50 % |
| Sharing information of target facility (Drawing) | Opening city hall and construction data, 'Seumteo' application | Providing facility information in 3D using digital twin | Partial support | Support | 50 % Expected |
| Evacuation guidance | Not supported (On-site response) | Providing evacuation route for fire and disaster responses | None | Support | 100 % Expected |
| Checking personnel information in disaster areas | Not supported (Witness statement) | Expression of personnel information of fire/disaster space using floating population sensor | None | Support | 50 % Expected |
| Sharing building CCTV screen | Not supported (On-site response) | Internal CCTV link | None | Support | 50 % Expected |
| Fire/smoke diffusion | Not supported (On-site response) | Simulation checking of fire/smoke diffusion | None | Support | 100 % Expected |
| Shelter information | Not supported (On-site response) | Information of adjacent evacuation facility based on GIS (Daegu City) | None | Support | 100 % Expected |

재난 발생 시 신속하게 대응하기 위해서는 유관기관의 적절한 상황판단과 함께 각종 인적/물적 자원의 위치요소 확인이 필수적이다. 그러나 기존 서비스의 경우 각종 자료 및 현황의 데이터 수집에 많은 시간이 소요되었다는 한계가 지적되면서 디지털트윈을 접목한 안전대응 관리의 필요성이 대두되었다. 따라서 디지털트윈을 접목한 시설물을 구축 시에는 기존 서비스에서 지원되지 않았던 여러 기능들을 추가하여 화재 및 재난대응을 효율적으로

지원할 수 있도록 설계했다.

이와 같은 특징을 바탕으로 재난대응 분야 또한 디지털트윈 기술을 접목했을 때 기존 서비스 대비 어느 정도의 효율성을 갖는지 판단하기 위해 관련하여 시뮬레이션을 진행했다. 그 결과 Table 4과 같은 값을 도출하게 되었으며 기존 서비스 대비 재난대응 소요시간을 70 % 가까이 단축할 수 있다는 결과가 산출되었다.

Table 5. Comparisons of Maintenance Costs for Old Facilities

| Section | Safety inspection & diagnosis costs for 2019 | Saving Rate |
|------------|--|-------------|
| Diagnosis | 135.7 Billion Won | 31 % |
| Inspection | 293.3 Billion Won | 69 % |
| Total | 429.0 Billion Won | |

Table 6. Saving Rates of Sensing Environment Costs

| Sensor Types | This Project | | Project of Company P | | Saving Rate |
|---------------------|---------------|----------|----------------------|----------------------------|-------------|
| | Cost | Quantity | Cost | Cost compared this project | |
| Acceleration Sensor | 1,100,000 Won | 75 | 1,500,000 Won | +400,000 Won | 26.7 % |
| Angle Sensor | 1,100,000 Won | 50 | 1,700,000 Won | +600,000 Won | 35.3 % |
| Crack Sensor | 1,100,000 Won | 49 | 1,300,000 Won | +200,000 Won | 15.4 % |
| Strain Sensor | 1,100,000 won | 76 | 1,300,000 Won | +200,000 Won | 15.4 % |

4.3 노후시설 유지보수 비용 절감

노후시설 유지보수는 오늘날 시설물들의 초고층화, 대형화 현상에 따라 증대되어 가는 노후화 된 시설물들의 효율적 유지관리 필요성이 부각되면서 대두된 내용이다. 기존 시설물들의 관리 또는 유지보수 시 가장 큰 문제는 비용절감으로 효과적으로 비용 관리를 위해 디지털트윈 기술을 적용한 것이 동 분야의 가장 큰 특징이라고 할 수 있다. 기존의 시설물 안전점검 방식은 시설물 안전 확보에 있어 주기적 안전 진단이 수반되어야 하므로 시설물 상시 안전성 확보가 불가능했다. 그러나 디지털트윈 기술을 접목할 경우 디지털 센서를 기반으로 실시간 안전점검이 가능해지기 때문에 시설물 안전관리에 요구되는 현장업무를 대폭 감소시킴으로 효율적 비용 절감에 기여할 수 있다.

따라서 디지털 센서를 적용하여 노후시설 유지보수를 진행할 경우 2019년에 실시한 기존 서비스 대비 노후시설 유지비용을 70 % 가까이 단축한 결과가 도출되었는데 그 구체적 수치는 아래 Table 5와 같다.

4.4 센싱 환경 구축비용 절감

센싱 환경 구축은 디지털트윈 기술에 있어 가장 핵심이 되는 항목이라고 할 수 있다. 빅데이터 기반의 지능형 시설관리 및 재난대응 서비스 구축에 있어 활용되는 센싱 종류는 시설안전계측센서, 화재 및 연기 감지 센서, 유동인구센서 등으로 구성된다. 따라서 시설물의 실시간 안전점검의 효율성 증대를 위해 이와 같이 다양한 센서를 건물 내 구축하는 것은 본 기술의 핵심 요소라고 할 수 있다. 그러나 사업의 경제성을 위해 센싱 환경 구축비용 절감에 대한 요구가 증가하면서 센서 구축비용 절감을 위한 다양한 방법이 시도되었다. 그 결과 기존 회사들이 생산하고 있는 센서 비용 대비 가격을 절감할 수 있는 방안을 도출하였는데, 예컨대 타사업 구축비용 대비 시설안전

계측센서는 23.6 %, 화재 및 연기 감지 센서는 32 %, 그리고 유동인구 센서는 74.5 %를 감축할 수 있다는 수치가 도출되었다. 즉, 이는 기존 서비스 비용 대비 센싱 환경 구축비용을 평균 43 % 가까이 단축할 수 있다는 점을 시사하는 것으로 분석할 수 있다(Table 6).

5. 결론

디지털트윈 시스템은 도시, 환경, 교통, 경제 등 우리 생활과 밀접한 모든 분야에 적용되어 활용 가능하기 때문에 사회 전반에 걸친 대변혁을 주도할 수 있는 미래지향적인 핵심 기술이라고 평가할 수 있다. 특히 디지털트윈 기술은 사회 안전부터 산업 혁신에 이르기까지 분야 전반에 걸쳐 안전 사각지대를 해소하고 예측되는 위협으로부터 선제적 대응을 수행할 수 있기 때문에 해당 기술의 대상 적용범위 확대 및 지속발전가능성 주도는 우리가 직면한 사회 문제 해소에 있어 중요 과업이다.

따라서 전술한 바와 같이 디지털트윈 기술을 구축하여 빅데이터 기반의 지능형 시설관리 및 재난대응 서비스를 구현하게 될 경우 그에 따라 파생되는 사회적 효과는 다음과 같이 막대한 것으로 예상된다. 첫째, 복합재난 상황으로부터 안전한 사업장 환경을 구축할 수 있다. 빅데이터 기반의 시설안전과 재난대응 데이터 수집 및 축적을 통해 재난상황 발생 시 예측 학습 모델을 제시하여 안전 확보가 가능해지는 것이다. 둘째, 시설안전 및 재난대응 서비스에서 제공하는 정보를 바탕으로 재난상황 발생 시 작업자 안전 확보를 통한 인명 손실을 최소화할 수 있다. 재난 발생 시 IoT 센서와 실내 3D 도면을 활용하여 실시간 상황 파악을 통해 대피 경로 제공이 가능해졌기 때문이다. 셋째, 노후화 된 도시 또는 군 시설물 및 SOC 인프라에 대한 실시간 관제가 바탕이 된 통합플랫폼 체계로 국민의 안전을 확보할 수 있게 되었다.

또한 디지털트윈 기술을 활용한 지능형 시설관리 및 재난대응 서비스를 실시하게 될 경우 기존의 관리 방법 대비 경제적 차원에서 더욱 높은 효율성을 발현할 수 있게 된다. 첫째, 노후시설 및 SOC 등 시설물 관리를 광센싱 환경을 활용하여 진행하므로 기존 방법 대비 소요예산을 절감할 수 있게 되었다. 둘째, 시설물 안전관리 및 재난안전 분야의 플랫폼에서 제공하는 의사결정지원 정보를 바탕으로 시설관리 예산의 효율적 운영계획 수립이 가능해졌다. 셋째, 센싱 환경을 활용한 모니터링 기술 발달로 인한 관련 산업 분야의 경제 활성화 및 일자리 창출에 기여할 수 있다. 센싱 환경을 기반으로 한 기술은 다양한 분야에 다채롭게 적용 가능하지만 특히 제조 설비 분야에서 센서 모니터링 기술이 적용되면 일자리 수요 증가로 인한 고용 창출 효과를 발생시킬 수 있게 되기 때문이다.

디지털트윈 기술을 재난 또는 시설관리에 접목하면 상기한 바와 같이 사회, 경제적 효과를 창출함과 동시에 기술적 효과도 추동하여 다음과 같이 관련 산업 분야의 기술적 발전을 도모할 수 있다. 첫째, 실시간 모니터링을 통해 시설물에서 발생 가능한 위험 요소를 사전에 예방하고, 사고 발생 시 효과적 대응 방안 마련에 기여한다. IoT 센서 기반 모니터링 기술 활용에 따른 산업 현장 작업자의 안전을 확보할 수 있기 때문이다. 둘째, 원천기술 기반 산업시설 및 다중이용시설 등 다양한 시설물의 안전사고 관리 및 공정 모니터링 기술 노하우를 획득할 수 있게 되었다. 셋째, 산업시설의 모니터링 원천기술을 바탕으로 타 산업 영역에 파생기술로써 점진적 적용이 가능하다. 예컨대 동 기술에서 사용되는 시설 안전성, 화재/연기 확산예측, 화재전조감지, 유동인구 추이변화 등의 복합 센서 데이터 및 비정형데이터 분석 기술을 바탕으로 타 응용 기술 산업으로의 분야 확장이 가능해진다.

한마디로 디지털트윈 시스템은 사회, 경제, 기술 분야 전반에서 발현될 기대효과가 매우 높고 이를 통해 발생하는 파급효과를 극대화하여 사회 제반활동의 안전과 효율성을 확보할 수 있는 주요한 기술이다. 따라서 사회 전반에 걸쳐 해당 기술의 활용 필요성을 적극적으로 추진해야 하며 시설 및 건축 분야와 같이 상황의 제약이 존재할 경우 신속히 문제 해결 방안 마련을 도모해야 한다. 그러나 본 연구만을 통해 건축물 시설관리 및 안전대응 분야에 디지털트윈의 보편적 적용을 적극 추진하기에는 한계가 존재한다. 본 연구에서 건축 및 시설 분야에 디지털트윈을 적용하는데 장애가 되었던 기술적 제약 사항에 대한 해답은 제시하였으나, 현재 건축분야에 디지털트윈을 적용할 수 있는 법적, 제도적 근거는 미비한 상황이기 때문이다. 정부는 지난해 한국판 뉴딜 정책의 발표를 통해 디지털트윈에 대한 재정투입을 계획하고 있지만 정책 실행을 위한 정확하고 구체적인 가이드라인 설정은 부재한 상황이다. 따라서 건축 및 시설 분야에서 디지털트윈 기술의 활발한 접목을 위해서는 정부와 지자체, 그리고 민간의 적극적 주도 하에 해당 기술을 추진할

수 있는 전략적이고 제도적인 근거 마련이 필요하며, 이를 위해 기술 구현 및 가치 실현을 위한 추가 연구의 필요성이 요구되는 바이다.

현재 시설 및 건축 분야에서는 기술적 한계 및 환경적 문제 등으로 디지털트윈 시스템 구축이 미흡한 상황이지만, 본 논문에서 제시한 케이스 스터디와 같이 5G 기술을 연계하고 추가 연구의 진행을 통해 기술 적용의 법적, 제도적 근거가 마련된다면 기술의 정확성과 안전성을 확보하여 향후 동 분야에의 기술 활성화가 가능해질 것으로 예상된다. 이를 통해 5G 융합 서비스의 기반이 잘 마련된다면 디지털트윈은 현재의 기술적 한계와 안전성 문제를 극복하고 미래의 지속발전 가능한 기술로써 우리 생활에 접목되어 생활 및 산업 전반에 시설 안정성과 업무 효율성은 높이고 비용 절감을 선도하는 혁신적 기술 모델로써 안착하게 될 것이다.

감사의 글

이 성과는 정보통신산업진흥원의 2020년 정보통신방송사업인 지능정보서비스 확산(5G기반 디지털트윈 공공선도)사업과 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2021R1C1C2003316).

References

- Bajaj, M., Cole, B. and Zwemer, D. (2016). "Architecture to geometry-integrating system models with mechanical design." *Conference of the In AIAA SPACE 2016*, Long Beach, California, USA, 5470.
- Cho, G. H. (2020). *Smart monitoring technology of SOC facilities using digital twin*, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, KICT.
- Ford, D. N. and Wolf, C. M. (2020). "Smart cities with digital twin systems for disaster management." *Journal of Management in Engineering*, Vol. 36, No. 4, 04020027.
- Glaessgen, E. and Stargel, D. (2012). "The digital twin paradigm for future NASA and US air force vehicles." *In 53rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference Special Session on the Digital Twin*, Honolulu, HI, USA, pp. 1.
- Grieves, M. (2014). "Digital twin: manufacturing excellence through virtual factory replication." *White Paper*, Vol. 1, pp. 1-7.
- Grieves, M. and Vickers, J. (2017). "Digital twin: Mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems." *Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems*, Springer, Cham, Vol. 94.
- Jeong, D. Y., Kim, S. T. and Kim, Y. B. (2021). *Technological definition of digital twin and detailed development of five-step model*, Institute of Information & Communications Technology Planning & Evaluation, IITP, Vol. 17 (in Korean).

- KAIST (2021). *Moon soul graduate school of future strategy reasearch center, KAIST Future Strategy 2021*, Gimm-Young Publishers, inc., Seoul, Korea, pp. 120-128 (in Korean).
- Kim, H. J., Yoo, S. Y., Im, H. G., Kim, K. G., Yun, N. R., Moon, Y. M. and Ha, O. K. (2020). "A design of guidance system for effective fire escape path based on digital twin." *In Proceedings of the Korean Society of Computer Information Conference*, pp. 383-384 (in Korean).
- Kim, H. M. (2019). *Technology that will lead the future, evolution and application of digital twin*, KB Financial Group, pp. 1-11 (in Korean).
- Kim, Y. W. (2021). *The concept of digital twin and example of use in technology and industrial fields*, Intelligence Information Technology Trend, pp. 31-47 (in Korean).
- Ko, D. S. and Yoon, S. K. (2021). *Digital twin in the medical sector*, Intelligence Information Technology Trend, pp. 50-53 (in Korean).
- Lee, J., Lapira, E., Bagheri, B. and Kao, H. A. (2013). "Recent advances and trends in predictive manufacturing systems in big data environment." *Manufacturing Letters*, Vol. 1, No. 1, pp. 41.
- Liu, Z., Zhang, A. and Wang, W. (2020). "A framework for an indoor safety management system based on digital twin." *Sensors*, Vol. 20, No. 20, pp. 1-2.
- Parrott, A. and Warshaw, L. (2017). *Industry 4.0 and digital twin*, Deloitte Anjin Review, Deloitte, New York, United States, pp. 64-73
- Ríos, J., Hernández, J. C., Oliva, M. and Mas, F. (2015). "Product avatar as digital counterpart of a physical individual product: Literature review and implications in an aircraft." *Transdisciplinary Lifecycle Analysis of Systems*, Vol. 2, pp. 657-666.
- Rosen, R., Von Wichert, G., Lo, G. and Bettenhausen, K. D. (2015). "About the importance of autonomy and digital twins for the future of manufacturing." *IFAC-PapersOnLine*, Vol. 48, No. 3, pp. 567-572.
- Sachs, J. D., Schmidt-Traub, G., Mazzucato, M., Messner, D., Nakicenovic, N. and Rockström, J. (2019). "Six transformations to achieve the sustainable development goals." *Nature Sustainability*, Vol. 9, pp. 805-814.
- Schluse, M. and Rossmann, J. (2016). "From simulation to experimentable digital twins: Simulation-based development and operation of complex technical systems." *In 2016 IEEE International Symposium on Systems Engineering (ISSE)*, Edinburgh, Scotland, pp. 1-6.
- Schroeder, G. N., Steinmetz, C., Pereira, C. E. and Espindola, D. B. (2016). "Digital twin data modeling with automationml and a communication methodology for data exchange." *IFAC-Papers OnLine*, Vol. 49, No. 30, pp. 12-17.
- Seo, Y. J. (2020). "Real-time facility management based on digital twin." *Korea Information Processing Society Review*, Vol. 27, No. 2, pp. 48-49 (in Korean).
- Shafto, M., Conroy, M., Doyle, R., Glaessgen, E., Kemp, C., LeMoigne, J. and Wang, L. (2012). "Modeling, simulation, information technology & processing roadmap." *National Aeronautics and Space Administration*, Vol. 32, pp. 1-38.