

지하의 도시 생명선을 지키는 디지털 트윈 표준화

신동빈 안양대학교 도시정보공학과 교수

1. 머리말

도시의 생활을 위해 필요한 상하수도, 전기, 가스, 열 수송, 통신, 송유관 등 선형의 시설물들을 도시 생명선(Life line)이라고 한다. 도시의 생명선을 지하공간에 공동으로 수용하여 관리하는 도시기반시설물인 지하공동구는 미관 개선, 도로 구조의 보전 및 교통의 원활한 소통을 가능하게 하며, 시설물을 설치 및 보수할 때 반복 굴착을 피할 수 있도록 해준다.

지하공동구에 재난 상황이 발생하면 지하공동구는 물론 연결된 지상의 도시 부분까지 피해가 확산하여 큰 혼란을 초래할 수 있다. 2018년도 아현동 통신구 화재 발생으로 케이블 150m, 건물 내부 300m² 그을림 등 소방 당국 추산 약 80억 원의 재산 피해가 발생하였다. 통신선로 단절로 인한 간접 피해도 발생하였다. 통신선로가 손실되면서 통신이 마비되고 유선 및 온라인 서비스가 중단되면서 현금 입출금 및 결제 등 금융서비스 중단으로 이어졌으며, 금융서비스 중단은 지역 상권에 크게 영향을 주었다. 또한 112, 119 등 사회 기반 서비스 장애가 발생하면서 119에 전화를 하지 못해 70대 노인이 사망하는 등의 간접 피해가 발생하였다.

지하공동구 피해 재발 방지 및 도시의 생명선 기능 유지를 위해 24시간 모니터링 기술 및 점검체계 등 지하공동구 관리 방안 마련이 시급하다. 이러한 측면에서 시설물 점검 및 관리, 모니터링과 시뮬레이션 등이 가능한 디지털 트윈 기술이 주목받고 있다. 또한 지하공동구마다 개별적으로 관리되는 특성상 무분별한 지하공동구 관리 기술개발이 진행될 수 있어 예산 낭비를 줄이기 위한 표준화된 기술 개발이 필요하다.

본고에서는 지하공동구 관리를 위한 기반 데이터인 공간정보의 측면에서 표준화 방향에 대해 알아보고자 한다.

2. 지하공동구 디지털 트윈

제조업에서 시작된 디지털 트윈은 3차원 기술의 발전으로 모니터링 및 시뮬레이션 등의 역할을 수행하게 되면서 도시 분야의 새로운 패러다임으로 자리 잡았다. 디지털 트윈 관련 기술들이 스마트시티와 함께 재난, 안전, 시설물 관리 등의 이슈로 공간정보 측면에서도 함께 연구되고 있다. 이중 도시 생명선을 수용하고 있는 지하공동구에 맞춰 기술을 개발하는 것이 지하공동구 디지털 트윈이다.

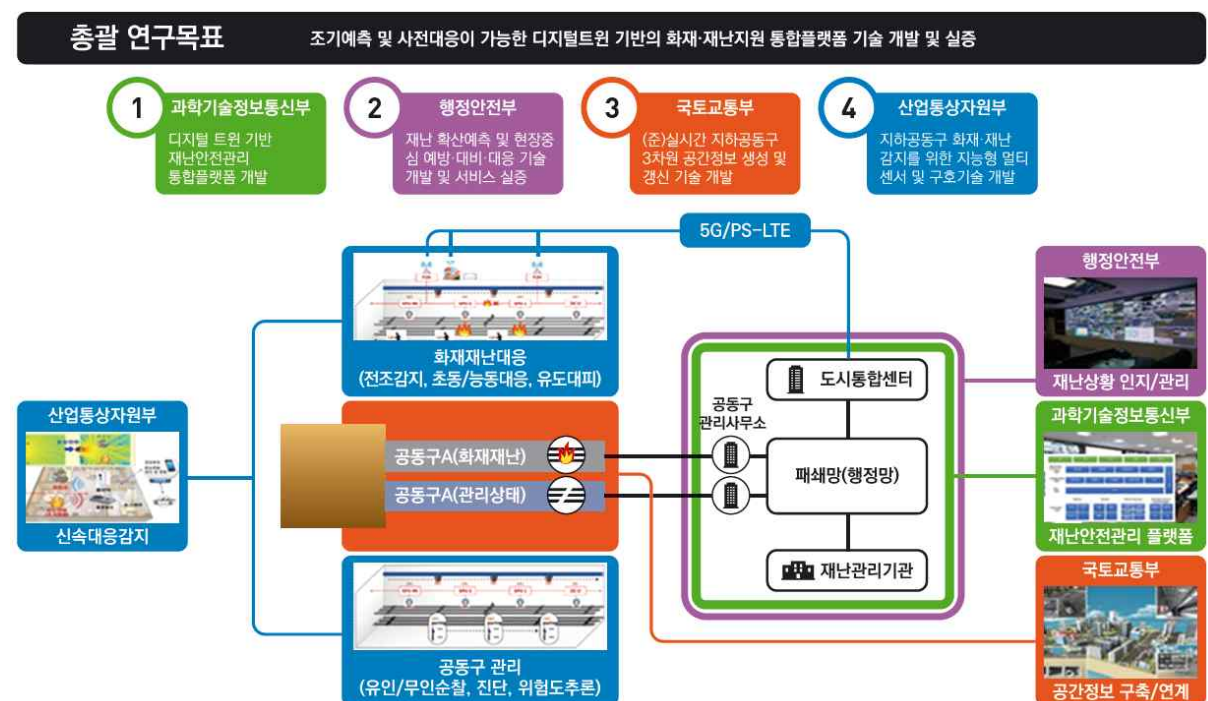
지하공동구 디지털 트윈과 관련된 연구들은 다양하게 진행 중이며, 대형 재난에 의한 피해 저감을 위해 재난안전관련 기술들을 접목할 수 있는 디지털 트윈 기반의 플랫폼 기술들을 개발

하고 있다.

지하공동구 디지털 트윈의 대표적인 연구개발과제로는 과학기술정보통신부, 행정안전부, 국토교통부, 산업통상자원부 등 4개 부처 과제로 수행 중인 '디지털 트윈 기반의 지하공동구 화재·재난 지원 통합플랫폼 기술개발'이 있다.

과학기술정보통신부에서는 디지털 트윈 기반 화재·재난 지원 통합플랫폼 기술개발, 행정안전부에서는 재난 확산예측 및 현장 중심 예방·대비·대응 기술개발, 국토교통부에서는 (준)실시간 지하공동구 3차원 공간정보 생성 및 갱신 기술개발, 산업통상자원부에서는 지하공동구 화재·재난 감지를 위한 지능형 멀티센서 및 구호 기술개발을 진행하고 있다.

디지털 트윈 기반 지하공동구 화재재난 대응지원 통합플랫폼은 크게 통합플랫폼, 공동구 관리, 화재재난대응, 3차원 공간정보로 구분할 수 있다.



※ 출처: "디지털 트윈 기술, 재난안전 새로운 패러다임 제시" 세이프투데이, <http://m.safetoday.kr/news/articleView.html?idxno=54814>

[그림 1] 디지털 트윈 기반 지하공동구 화재재난 대응지원 통합플랫폼 개념

통합플랫폼은 데이터 수집 및 전송, 모형 생성·관리·분석·표출, 의사결정 지원으로 구성된다. 통합플랫폼은 아카이빙, 자원관리 등을 포함하고 있다. 데이터 수집 및 전송은 네트워크, 보안, 부하를 최적화하기 위한 요소로 구성된다. 모형생성, 관리, 분석, 표출은 모형생성 및 동기화, 정보 태깅, 가시화 등으로 구성된다. 의사결정 지원은 환경·예측 분석, 재난 상황 인지, 위험도 추론 등의 요소로 구성된다.

공동구 관리에 해당하는 요소들은 이상 상황 감지, 고정형 멀티센서 관리 및 대응 등이 있다. 이상 상황 감지는 형상감지센서, 다중센서를 통한 공간정보 취득, 센서 간 연계를 위한 요소이다. 고정형 멀티센서는 멀티센서를 통합할 수 있는 모듈을 기반으로 저전력 통신기술, 센서 데이터 수집 요소가 있다. 관리 및 신속 대응에는 화재 및 재난 정보 전달 기술, 위치추적 및 지

하공간 내비게이션 기능 등이 있다.

화재재난대응은 이동형 지능 시스템, 통합관리, 예측 관리 요소들이 포함되어 있으며, 이동형 지능 시스템은 지능형 로봇 시스템, 시설물 제어 관리를 위한 요인으로 구성되어 있다. 상황실과 연계하여 시설물을 관리하기 위한 서비스를 제공하는 통합관리와 예측 관리 기술은 분석을 통해 도출된 데이터를 기반으로 규모를 산정하고 취약성을 평가하기 위한 시뮬레이션 요소이다.

3차원 공간정보 요소로는 공간정보 구축 및 관리, 공간정보 갱신, 시공간 데이터 모델링 등이 있다. 공간정보 구축 및 관리는 공간정보 수집 및 연계를 바탕으로 정보의 생성, 구축, 관리 등으로 구성된다. 공간정보 갱신은 시계열 영상에서 변화를 찾아 데이터를 갱신하는 것이고, 시공간 데이터 모델은 공간정보에 대한 3차원 데이터 모델링, 인터페이스 등으로 구성된다.

지하공동구를 대상으로 하는 디지털 트윈 기술이 실용화되고 국내 지하공동구에 적용하기 위해서는 표준화된 데이터가 필요하며, 특히 가장 기반이 되는 공간정보 표준화가 선행될 필요가 있다. 앞으로 사용될 기술에 맞춰 표준화가 진행되어야 해서 디지털 트윈 공간정보 표준화에 대해 국제표준 및 국내외 현황들을 면밀하게 검토할 필요가 있다.

3. 지하공동구 디지털 트윈 공간정보 표준화 추진방향

3.1 지하공동구 디지털 트윈 표준 필요성

지하공동구는 전력, 통신, 수도, 난방, 쓰레기 수송관 등 다양한 분야의 시설을 수용하고 있다. 국가 보안시설물로서 보안시스템, 운영 및 활용을 위한 시스템, 관리를 위한 시스템 등 다양한 시스템이 공간정보를 기반으로 디지털 트윈에 융합되어야 한다. 이를 위해서는 각 분야의 표준을 침해하지 않고 상호호환성을 제공할 새로운 표준이 필요하다.

3.2 관련 표준화 동향

3.2.1 해외 표준화 동향

OGC(Open Geospatial Consortium)에서는 관련 표준과의 상호운용성의 필요성이 증대되고 있음을 반영하여 CityGML(City Geography Markup Language) 2.0을 CityGML 3.0으로 전면 개정하였다. CityGML 3.0 모델의 수정은 CityGML 1.0 및 2.0과의 역호환성을 보장하는 방식으로 수행되어, 모든 CityGML 1.0 및 2.0 데이터셋을 구문 변환만 적용하면 새로운 모델로 변환할 수 있다. 역호환성은 모든 사람에게 제공되는 CityGML 도구, 데이터셋 및 확장에 대한 투자를 보존하기 위한 CityGML 3.0의 주요 요건이다. IFC(Industry Foundation Classes)를 CityGML에 보다 직접적으로 용이하게 매핑하기 위해 새로운 유형의 장애물 구축 요소를 도입하고 건물, 다리, 터널 구축 요소 모듈을 정의하였다.

OGC는 MUDDI(Model for Underground Data Definition and Integration)를 위한 표준 워킹그룹을 구성하였다. 지하 데이터 정의 및 통합을 위한 그룹으로 지하 기반 시설을 나타내는 지리 공간 데이터에 대한 개념 모델, 프레임워크, 논리적 모델, 사양 및 다른 모델과의 연관성 등에 대한 표준화를 목적으로 한다. MUDDI 표준은 CityGML 및 LandInfra(Land and Infrastructure)와 같은 건축과 관련된 OGC 표준과 연계되도록 하며, GeoSciML(Geoscience Markup Language) 및 WaterML(Water Markup Language) 2.0과 같은 자연환경 모델링 표준도 활용한

다. MUDDI 개념 모델 사양, MUDDI 로드맵 및 프레임워크에 대한 확장성, GML 및 CityGML에 대한 데이터 언어 및 인코딩 구현 등에 대해 표준화 하였으며, 지하 건설 환경 데이터 사용 사례에 대한 정리와 공공시설물을 위한 지하 및 지상 환경을 연결하는 인터페이스 기능 등에 대해 표준화를 진행하고 있다.

ISO(International Organization for Standardization)/TC(Technical Committee) 184/SC(Sub Committee) 4(산업 데이터)에서는 디지털 트윈 제조 프레임워크 시리즈(ISO 23247 Automation systems and integration — Digital twin framework for manufacturing) 4건이 개발되고 있다. ISO TC 184/AhG(Ad Hoc Group)는 제조 측면의 디지털 트윈 아키텍처 개념에 대한 초안, 조직 구조, ISO/TC 184에 대한 권장 사항을 만드는 것을 목적으로 한다.

JTC(Joint Technical Committee) 1은 정보기술에 대한 광범위한 표준화를 수행하는 표준화 단체이다. 그중 ISO/IEC JTC 1/SC 41 사물 인터넷 및 디지털 트윈은 사물 인터넷 및 디지털 트윈 관련 애플리케이션을 개발하는 JTC 1, ISO, IEC(International Electrotechnical Commission) 및 기타 기관에 지침을 제공하기 위한 표준화를 목적으로 한다. 디지털 트윈 참조 아키텍처, 사물 인터넷과 디지털 트윈 유스케이스에 대한 지침 등 디지털 트윈과 관련된 프로젝트를 진행하고 있다.

또한 국가마다 특성 및 요구사항을 반영한 표준을 개발하고 있다. 중국의 경우 '제14차 국가 경제 사회 개발 5개년 계획과 2035년 장기 비전 목표 제안'에서 디지털 트윈 시티 발전과 가속화 필요성을 제안함에 따라 중국정보통신기술아카데미에서 디지털 트윈 시티 발전 추세 및 전략을 담은 '디지털 트윈 시티 백서'를 출간하였다. 디지털 트윈 시티 육성을 위해 '① 데이터 융합 및 응용 프로그램 개발 촉진을 위한 데이터 표준 제정, ② CIM(City Information Model) 표준 수립 가속화, ③ 다계층 데이터의 융합 및 처리를 위한 표준 개발, ④ 도시 수준 대용량 공간정보 실시간 접근, 데이터 공급 및 서비스에 대한 표준 개발' 등을 핵심 전략으로 선정하였다(中国信息通信研究院, 数字孪生城市白皮书(2020年), 2020.12.17.).

일본은 시맨틱 3D 도시 모델링을 통해 도시의 사회적 문제를 해결하기 위한 목적으로 주요 도시를 대상으로 'Project PLATEAU'를 수행하였다. Project PLATEAU는 일본 마을 만들기의 디지털 트랜스포메이션 사업으로써 건물, 도로 등의 객체에 3차원 속성 정보를 부여하여 재현 및 시뮬레이션할 수 있다. Project PLATEAU의 성과품은 데이터 표준, 데이터 구축 및 절차, BIM 데이터 통합 매뉴얼 등으로 구성되어있다. Project PLATEAU 데이터 표준은 일본 도시의 다양한 유스케이스 분석을 통한 요구사항을 바탕으로 OGC의 CityGML 2.0을 확장한 것으로, 건물이나 도로 등을 포함한 도시 단위 객체에 대한 데이터 모델(i-UR ADE) 및 제품 사양서를 개발하였다. 데이터 표준을 기반으로 주요 도시 전역에 대한 건물, 교량, 교통 등 주요 도시 객체에 대한 데이터 및 응용 서비스를 웹사이트에서 제공한다.

유럽에서는 국가별 구축되는 공간정보의 상호운용성을 확보하기 위해 INSPIRE와 ISO, OGC에서 규정된 공간정보표준을 기반으로 네덜란드, 독일, 스웨덴 등에서 국가표준을 개발하고 있다. INSPIRE에서는 2013년부터 공공 서비스에 대한 데이터 사양에 대해 정의하고 있다. 공공 서비스는 3개의 하위 도메인으로 구분하였다. 유틸리티 네트워크, 행정 및 사회적 공공 서비스, 환경관리시설로 구분하였으며, 각각 서로 독립적인 모델을 가지고 있다. 유틸리티 네트워크는 노

드 구조 및 노드 간의 네트워크에 적용되며, 네트워크 확장을 위한 상세한 속성 및 값으로 구성되어 있다. 행정 및 사회적 공공 서비스에서는 위치나 서비스 정보 유형, 자원 및 기타 세부 설명을 포함하도록 되어 있다. 환경관리시설은 일반적으로 기하학적인 참조와 함께 생산 및 산업시설과 농업 및 양식 시설에 대한 표준 유형과 연계되도록 하였다. 특히 EU 국가 간 공간정보의 통일된 체계를 구축하기 위해 건물과 도로 등에 대한 공통 데이터 모델, 메타데이터, 데이터 품질 등으로 구성된 제품사양 표준을 구축하였다. 네덜란드는 OGC의 CityGML 2.0을 기반으로 건물에 대한 공통 데이터 모델(IMGeo CityGML)을 개발하였으며, 테스트 데이터, 3D 유효성 검사, 구축 지침 등을 웹 사이트에서 서비스하고 있다. 독일은 3차원 건물정보의 다양한 응용 도메인에 대한 요구사항을 분석하여 OGC의 CityGML 2.0을 기반으로 데이터 모델 'AvD-CityGML'을, 터키는 전국적인 3차원 지리 데이터 모델을 생성하기 위해 OGC의 CityGML 2.0을 기반으로 데이터 모델 'CityGML-TRKBIS'을 개발하였다. 특히 스웨덴은 BIM과 GIS 연계 및 3차원 지적정보 시스템 구현을 위해 OGC의 CityGML 3.0을 기반으로 국가의 특성을 고려하여 ①2D와 3D 건물 표현 지원 ②ISO와 OGC에서 제정한 국제표준 준수 ③건물 부문의 모든 속성정보 포함 ④건물 부문의 다양한 데이터 융합 및 변환 고려 등이 담겨있는 데이터 모델 (CityGML Sve-Test)을 개발하였다(Eriksson et al., 2020).

3.2.2 국내 표준화 동향

우리나라에서도 디지털 트윈에 대한 관심이 높아지면서 다양한 디지털 트윈 구축 사업이 진행되었다. 서울시는 2019년 서울시 전역의 건물, 실내정보, 교량 등을 3차원 공간정보로 구현하여 도시계획, 안전, 건축설계 등 다양한 분야에서 활용하기 위한 '디지털 트윈 S-MAP'을 구축하였다. 또한 국토교통부와 한국국토정보공사는 디지털 트윈국토 시범사업 실증을 위해 '기반 구축 분야'와 '균형 발전 분야'로 구분, 총 10개의 지자체를 대상으로 지역적 특성에 따라 도시 및 사회적 문제에 대한 맞춤형 솔루션 모델의 개발을 추진하고 있다.

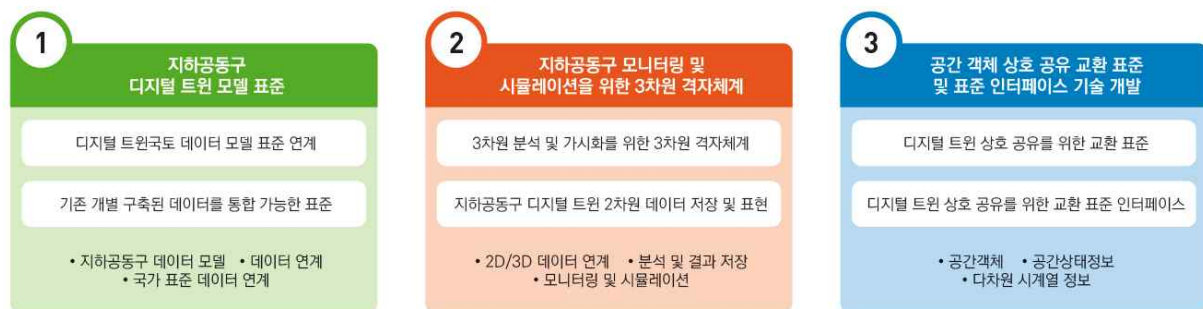
디지털 트윈 모델을 구축하면서 이러한 데이터들이 서로 융합될 수 있도록 공간정보 표준도 개발되고 있다. 국토교통부는 '지상·지하 통합관리 디지털 트윈 체계 정보화 전략 계획 수립' 연구를 통해 디지털 트윈국토 공간정보표준 표준화전략을 마련하였다. 표준화 전략에는 디지털 트윈국토 체계를 구축하기 위한 3차원 데이터 구축 전략, 3차원 데이터 활용 전략, 지상/지하 공간정보 연계, 2차원 및 3차원 데이터 연계 방안 등이 포함되어 있다. 또한 한국국토정보공사와 함께 디지털 트윈국토의 상호운용성을 확보하기 위한 목적으로 유기적인 협력 체계를 구축, 디지털 트윈국토 건물에 대한 공간정보표준 연구를 수행하면서 OGC의 CityGML 3.0을 기반으로 핵심 데이터 모델 표준을 개발하였다. 디지털 트윈국토 건물 데이터의 규격 및 구성항목을 정의한 제품사양 표준도 마련하였다. 그리고 디지털 트윈국토 건물데이터를 기반으로 교통 분야, 실내공간정보, 지하공간정보 등 각 공간정보 부문별로 표준화를 추진하고 있다.

3.3 지하공동구 디지털 트윈 공간정보 표준화 방향

국내외 표준화 동향을 살펴보았을 때, 핵심적인 부분은 국제 표준을 기반으로 국가별 현황에 맞춰 디지털 트윈 표준을 구축하고 있는 점이다. 현재 우리나라에서도 KS 표준을 추진하고 있

으며, 건물 데이터를 시작으로 교통, 실내, 지하 등 각 분야에서 일관된 디지털 트윈국토 데이터를 구축하기 위한 디지털 트윈국토 표준을 진행하고 있다.

기존 지하공동구는 관리 주체에 따라 개별적으로 시스템이 구축되기 때문에 시스템의 유지보수 및 업데이트에 어려움이 있었다. 공간정보 분야에서 이들의 통합이 필요하며, 국내 통신구와 전력구 등 모든 지하공동구의 데이터를 디지털 트윈으로 통합 구축하기 위한 표준화가 필요하다.



[그림 2] 지하공동구 디지털트윈 공간정보 표준화 방향

지하공동구 디지털 트윈 데이터 모델 표준은 첫째로 지하공동구라는 특수한 상황을 고려하여 모니터링과 시뮬레이션 등이 가능하도록 구축되어야 한다. 또한 이렇게 구축된 데이터 모델은 국내 상황을 반영하여 개발 중인 디지털 트윈국토 데이터 모델 표준과 연계되어야 한다. 도시 관리 측면에서 비상 상황에 지하공동구의 상황을 모니터링 할 수 있어야 하기 때문에 보안시설임에도 국가 표준을 준수하여 표준을 구축할 필요가 있다.

데이터 모델 표준이 완료되면 지하공동구 디지털 트윈에서 모니터링 및 시뮬레이션 기능에 활용될 3차원 분석을 위한 방안이 필요하다. 지하공동구 모니터링 및 시뮬레이션에 디지털 트윈을 활용하기 위해 분석 데이터를 3차원으로 저장하는 방안이 필요하다. Vector로 표현되는 3차원 객체뿐 아니라 2차원에서는 Raster 방식으로 표현되는 3차원 데이터를 담을 틀이 필요하다. 그리고 2차원의 분야별로 구성된 데이터가 이미 구축되어 있는 바, 이를 디지털 트윈에 효과적으로 표현하기 위한 3차원 격자체계가 필요하다. 예시로 지하공동구에서 벽면 구조체에 대한 지진피해 시뮬레이션을 위한 데이터의 간격이 30~40cm이며, 침수와 관련된 피해는 지하공동구 바닥으로부터 cm단위로 분석한다. 지하공동구에 설치되는 화재와 관련된 온도 센서는 수직 간격과 수평 간격이 다르기 때문에 범위를 표현하기 위해서 정육면체의 격자는 활용하기 어렵다. 이러한 지하공동구 재난 유형별 특성을 표현할 수 있는 지하공동구 3차원 격자체계에 대한 표준이 필요하다.

마지막으로 지하공동구 디지털 트윈 공간정보와 지하공동구 인프라 설비, 지하공동구 디지털 트윈 플랫폼, 디지털 트윈 운영시스템 간의 상호연결성을 보장하기 위해 지하공동구 디지털 트윈 상호 공유 교환 표준 및 인터페이스 개발이 필요하다.

4. 맺음말

지하공동구 디지털 트윈 표준은 국가기반시설인 전체 지하공동구의 수요뿐만 아니라 전력구, 통신구 등 민간 개별 공동구에 대한 재난안전관리 서비스의 적용 및 확산을 가능하게 한다. 이미 구축된 공동구와 추후 지속적으로 구축될 예정인 공동구에 대해 지하공동구 디지털 트윈과 관련 표준의 적용이 가능하다.

이후 전력, 통신 등의 개별 민간 공동구에 대한 표준 적용을 통해 개별 구축된 지하공동구 디지털 트윈 통합이 용이하게 이뤄질 것으로 예측된다.

지하공동구에 디지털 트윈 표준이 정착하면 최종적으로는 디지털 트윈을 통해 도시 생명선의 관리 자동화 및 스마트시티와의 상호호환성이 제공되고, 이를 통해 공공시설 및 보안시설에 대한 관리 업무가 단순해지고 공공안전이 향상될 것이다. 이로 인해 시민들의 안전과 편의를 보장할 수 있을 것이다.

※ 본 연구는 2022년도 정부(과학기술정보통신부, 행정안전부, 국토교통부, 산업통상자원부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2020-0-00061, 디지털 트윈 기반의 지하공동구 화재·재난 지원 통합플랫폼 기술개발)

[참고문헌]

- [1] 지하공동구 디지털 트윈 공간정보 표준화 방향(기술보고서), TTAR-10.0161
- [2] 공동구 설계기준(KDS 29 00 00), 국토교통부고시 제2021-688호, 2021. 5. 12., 일부개정
- [3] OGC CityGML 3.0 Website <https://www.ogc.org/standards/citygml>
- [4] OGC MUDDI SWG Website <https://www.ogc.org/projects/groups/muddiswg>
- [5] WaterML 2.0 SWG Website <https://www.ogc.org/projects/groups/waterml2.0swg>
- [6] ISO/TC 184/SC 4 Website <https://www.iso.org/committee/54158.html>
- [7] ISO/IEC JTC 1 Website <https://www.iso.org/committee/45020.html>
- [8] 数字孪生城市白皮书(2020年), 中国信息通信研究院, 2020.12.17.
- [9] Project PLATEAU Website <https://www.mlit.go.jp/plateau/about/>
- [10] INSPIRE Data Specification on Utility and Government Services – Technical Guidelines Website <https://inspire.ec.europa.eu/id/document/tg/us>
- [11] Eriksson, H., Johansson, T., Olsson, P. O., Andersson, M., Engvall, J., Hast, I. and Harrie, L., 2020, Requirements, Development, and Evaluation of A National Building Standard—A Swedish Case Study, Vol. 9, No. 2, pp. 1-27
- [12] S-MAP Website <https://smap.seoul.go.kr/>
- [13] 스마트시티 종합포털 Website <https://smartcity.go.kr/>

※ 출처: TTA 저널 제202호