

디지털 트윈 국토 참조 모델 및 데이터 모델 표준 구축을 위한 기초 연구*

A Fundamental Study on the Standardization of Reference Model and Data Model in Digital Twin for Land

김병선** · 유재준*** · 홍상기****
Kim, Byeongsun · Yoo, Jaejun · Hong, Sangki

Abstract

Digital Twin for Land(DTL) is one of the national work projects in the Korean New Deal but there aren't still any standards and technical guides which would need to construct the DTL. This study presents the policies to develop reference model and data model based on geo-spatial information standards to ensure interoperability for the DTL. In this paper, we first extract the implications through reviewing definitions of Digital Twin used in various literatures and international standardization trends on Digital Twin. In addition, this study attempts to conceptualize the DTL through various ways such as defining the DTL and characterizing DTL domains. Finally, we propose three policies on the standardization of the DTS: (1) DTS reference model by using RM-ODP, (2) three-steps hierarchical data models, and (3) model registry to manage the data models efficiently. The proposed policies of the study would contribute to establish a way for DTS's standards development over the coming years.

Keywords: Geo-spatial Information, Digital Twin for Land, Korean New Deal, Reference Model, Data Model

* 본 논문은 한국국토정보공사의 '디지털 트윈 국토 표준 준거모델 개발 및 로드맵 작성(국토정보공사 2020-401)' 연구를 수정 보완하여 작성하였음

** 안양대학교 스마트 시티 공학과 조교수 Department of Smart City Engineering, Anyang University
(first author : geobskim@gmail.com)

*** 한국전자통신연구원 IoT 연구본부 책임연구원 Electronics and Telecommunications Research Institute, IoT Research Division(jjryu@etri.re.kr)

**** 안양대학교 도시정보공학과 교수 Department of Urban Information Engineering, Anyang University
(corresponding author: skhong@anyang.ac.kr)

1. 서론

디지털 트윈(Digital Twin)은 물리적 대상물에 대하여 디지털로 제작한 쌍둥이 형태의 카운터 파트(Digital Counterpart)를 의미한다(Batty 2018). 디지털 트윈은 2002년 미국의 마이클 그리브스(Michael Grieves)가 제품의 생애주기 관리(PLM: Product Lifecycle Management)의 이상적 모델을 설명하면서 등장한 개념이다(Grieves and Vicker 2017). 이후, 4차 산업혁명과 함께 빅 데이터(Big data), IoT (Internet of Thing), 클라우드(Cloud), 인공지능, 5G 등 첨단 IT 기술이 획기적으로 발전하면서, 다시금 디지털 트윈이 4차 산업혁명의 핵심 기술로 재조명받고 있다. 현재 디지털 트윈은 제조, 관광, 의료, 스마트 도시 등 다양한 분야에서 관련 연구를 진행하고 있으며, 공간정보 분야에서도 디지털 트윈은 차세대 성장 동력으로 큰 주목을 받고 있다(김민수 2020).

이러한 흐름에 따라 정부에서도 디지털 트윈을 ‘한국판 뉴딜’ 정책의 일환으로 결정하였으며, 범정부 차원에서 디지털 트윈 구축사업이 본격적으로 진행될 것을 발표하였다. 한국판 뉴딜 정책의 10대 대표 과제 중 하나인 디지털 트윈에는 3D 지도, 정밀도로지도, 공동구·댐, 스마트 항만, 스마트 도시 등이 세부 과제로 선정되었다(기획재정부 2020). 이에 따라 공간정보 기반의 디지털 트윈 구축과 관련된 사업이 중앙부처, 지자체, 공공 및 민간 기업 등에서 동시다발적으로 추진되고 있다. 디지털 트윈 구축에 대한 공간적 범위도 지상 공간에 국한하지 않고 지하 공간(국토교통과 학기술진흥원 2019), 실내 공간(서울연구원 2019)을 비롯하여 해양 공간(해양수산부 2019)까지 공간정보를 이용한 디지털 트윈 구축사업을 계획하거나 추진 중이다.

특히, 국가 공간정보 정책 수립과 기본 공간정보 등을 제작하는 국토교통부와 국토지리정보원에서는 ‘디지털 트윈 국토(DTS: Digital Twin for Land)’라는 이

름으로 3차원 공간정보 구축 등 공간정보를 활용한 디지털 트윈 사업을 계획하고 있다. 하지만 막대한 예산이 소요될 것으로 예상되는 디지털 트윈 국토 사업에 데이터 또는 관련 서비스 구축에 필요한 명확한 기술 기준이나 표준이 제정되지 않은 상태이다. 이와 같은 관련 표준의 부재는 데이터 또는 시스템 간의 상호 운용성(Interoperability)에 지장을 초래할 수 있으며, 관련 응용 시스템과 데이터의 중복 개발, 국가 예산의 중복 투자 등과 같은 심각한 단계까지 확대될 수 있다.

가령, 디지털 트윈 국토의 기본 데이터로 사용되는 3차원 공간정보와 관련하여 국제 표준인 OGC의 CityGML과 LandInfra, 국내의 3차원국토공간정보구축사업규정(국토지리정보원 2009)에서 정의한 3DF-GML, BIM 데이터 표준 모델인 IFC를 비롯하여 gITF, FBX, 3DS 등 다양한 3차원 데이터 모델(Data Model)과 구조(Data Structure)가 존재한다. 따라서 디지털 트윈 국토에서 3차원 공간정보 데이터를 구축하기 위해 사업별로 이러한 모델과 파일 구조 등을 무분별하게 선정하고 사용한다면, 향후 개별적으로 구축된 디지털 트윈 국토 정보를 통합적으로 공유하고 활용하기 위한 시스템 간의 상호 운용성 확보에 어려움이 있을 것이다. 무엇보다 디지털 트윈 국토는 공간정보의 특성상 다양한 분야에 확대 적용될 수 있으므로, 표준을 통한 상호 운용성 확보는 선택이 아닌 반드시 준수해야 할 필수 사항이라 할 수 있다(황병주 2016).

더욱이 디지털 트윈 국토와 같이 응용 범위가 넓고 다수의 이해 관계자가 존재하는 대상을 표준화하기 위해서는 좀 더 체계적인 방법을 통한 접근이 마련되어야 한다. 이를 위해서는 우선, 디지털 트윈 국토에 대한 개념을 명확하게 정립하고, 이러한 개념을 토대로 여러 이해 관계자의 공통된 요구 사항을 반영한 표준화된 참조 모델(Reference Model)을 개발해야 한다. 그리고 활용 측면에서 디지털 트윈 국토의 핵심 기능인 공간정보 데이터를 체계적으로 공유할 수 있는 데이터 모델에 대한 표준을 제정해야 한다.

이러한 배경에서 본 연구는 디지털 트윈 국토의 상호 운용성 확보를 위한 참조 모델과 데이터 모델 표준 구축 방안을 제시하는데 목적이 있다. 이를 위해 디지털 트윈에 대한 개념과 디지털 트윈과 관련된 국제 표준화 동향에 대하여 검토하고, 주요 시사점을 도출한다. 그리고 디지털 트윈 국토에 대한 개념을 정립하고, 디지털 트윈 국토 참조 모델과 데이터 모델 표준화 방안을 제시한다.

2. 디지털 트윈 개념 및 국제 표준화 동향

2.1. 디지털 트윈 개념 검토

디지털 트윈에 대한 기본 개념은 2002년 미국의 마이클 그리브스 박사가 제품 생애 주기 관리의 이상적 모델을 설명하면서 등장하였다. 이후 GE(General Electric Company)사가 자사의 엔진, 터빈 등의 제품에 디지털 트윈 모델을 적용하면서 개념이 널리 알려졌다. 특히, 2006년경 임베디드 시스템(embedded system)에서 디지털 트윈과 같은 개념인 사이버 물리 시스템(CPS: Cyber-Physical System)이 등장하면서 여러 분야에서 관련 기술이 활용되어 왔다(국가기술 표준원 2016).

사이버 물리 시스템은 디지털 트윈과 기본적으로 동일한 개념을 공유하고 있으나 기술 개발, 응용, 비즈니스에 따라 이해 관계자들이 달리 해석하고 활용하기도 한다. 그러나 디지털 트윈은 누구나 빠르게 이해할 수 있는 직관적 용어이고, 인공지능, 시뮬레이션 및 3D 시각화 등 기반 기술의 발전으로 사이버 물리 시스템보다 개념을 좀 더 구체화할 수 있게 되었다. 이러한 이유로 현재 디지털 트윈이란 용어는 사이버 물리 시스템보다 더 많이 활용되고 있는 추세이다(이현정 외 2020).

디지털 트윈은 공간정보를 비롯하여 제조, 관광, 의료, 보건 등 여러 분야에 걸쳐 폭넓게 연구되고 있으

며, 이에 따라서 디지털 트윈에 대한 정의도 연구 분야 또는 연구자의 관점에 따라 매우 다양하다. Grieves and Vicker(2017)는 미시적 수준에서부터 객체의 형태를 표현하는 거시적인 수준까지 특정 제품에 대한 가상 정보를 디지털 트윈으로 정의하였고, 이러한 디지털 트윈을 통해 물리적 제품에 대한 상세 정보를 가상 세계에서 획득할 수 있다고 하였다. Tao et al. (2018)은 제품의 생애 주기에서 발생하는 모든 요소에 대한 매핑(mapping) 결과를 디지털 트윈이라 하였는데, 이는 물리적 객체와 가상 객체 그리고 이들 객체 간의 데이터를 교환하는 상호 작용을 통해 가능하다고 하였다. Bolton et al.(2018)은 학습 가능한 실시간 데이터를 사용하여 물리적 객체의 시공간 동태성을 가상 공간에 재현한 것을 디지털 트윈이라 하였으며, Söderberg et al.(2017), Bacchiega(2017)는 디지털 트윈에서 가상 공간의 객체와 현실 공간 객체 간의 실시간 연동의 중요성을 강조하였다. 마지막으로 Saddik (2018)은 디지털 트윈은 생물체 또는 무생물체에 대한 디지털 복제품을 가리키고, 이러한 디지털 트윈은 현실 세계와 가상 세계를 하나로 연결하여 데이터를 끊임없이 전송함으로써, 가상 세계의 객체와 현실 세계의 객체가 함께 공존할 수 있다고 디지털 트윈의 개념과 특징을 정의하였다.

이상의 연구자들이 제시한 디지털 트윈의 개념적 정의를 정리하면 Table 1과 같다.

지금까지 검토한 디지털 트윈의 정의와 특징을 살펴보면, 컴퓨터를 이용하여 제작한 가상 공간인 디지털 세계(Digital World)와 디지털 트윈 간의 차이를 발견할 수 있다. 기존의 3차원 디지털 세계가 단순히 현실 세계와 유사한 가상 공간을 제작하는 것에 중점을 두었다면, 디지털 트윈은 이렇게 구현된 디지털 공간과 현실 공간이 끊임없이(Seamless) 데이터와 정보를 주고받으며, 서로 동기화하고 상호 작용한다는 점에서 이 둘 간의 차이가 존재한다. 또한 디지털 트윈으로 동기화된 현실 공간에서 수집한 데이터는 다양한 응

Table 1. Conceptual Definitions for Digital Twin

Definition	Authors
The Digital Twin is a set of virtual information constructs that fully describes a potential or actual physical manufactured product from the micro atomic level to the macro geometrical level. At its optimum, any information that could be obtained from inspecting a physical manufactured product can be obtained from its Digital Twin.	Grievies & Vickers (2017)
A Digital Twin is an integrated multiphysics, multiscale, probabilistic simulation of an as-built vehicle or system that uses the best available physical models, sensor updates, fleet history, etc., to mirror the life of its corresponding flying twin	Glaessgen & Stargel (2012)
Digital twin is a real mapping of all components in the product life cycle using physical data, virtual data and interaction data between them.	Tao et al. (2018)
A dynamic virtual representation of a physical object or system across its lifecycle, using real-time data to enable understanding, learning and reasoning.	Bolton et al. (2018)
Using a digital copy of the physical system to perform real-time optimization.	Söderberg et al. (2017)
A digital twin is a real time digital replica of a physical device.	Bacchiega (2017)
A digital twin is a digital replica of a living or non-living physical entity. By bridging the physical and the virtual world, data is transmitted seamlessly allowing the virtual entity to exist simultaneously with the physical entity.	Saddik (2018)

용 도메인으로 구성된 가상 공간에서 분석하고 가치 있는 정보를 생산하여, 다시 현실 공간의 의사결정에 사용한다는 점도 기존의 시각화 중심의 디지털 세계와의 차이점이라 할 수 있겠다.

이러한 측면에서 절대/상대 좌표 체계를 이용하여 현실 공간을 3차원 디지털 형태로 재현하는 공간정보는 다양한 도메인에 필요한 디지털 트윈의 가상 공간을 제작하고, 현실과 동기화하는 핵심 정보이다. 따라서 디지털 트윈에 필요한 소프트웨어 인프라 (Software Infrastructure)로서, 공간정보는 디지털 트윈의 중복 구축을 방지하고 응용 도메인 간의 상호 운용에 필요한 표준화 대상이라 할 수 있다.

2.2. 디지털 트윈 관련 국제 표준화 동향

2.2.1. ISO 23247-Digital Twin Framework for Manufacturing

국내에서는 디지털 트윈과 관련된 표준화가 아직 활발하게 진행되지 않고 있으나, 국제적으로는 제조 (Manufacturing) 분야에서 디지털 트윈에 대한 표준화 활동이 빠르게 추진되고 있다. 대표적으로 ISO 23247-Digital Twin Framework for Manufacturing 은 제조 분야에서 진행하고 있는 디지털 트윈 국제 표준이다. 본 표준에서 정의한 디지털 트윈 제조는 '다양한 제조 목적을 위해 사용될 수 있는 제조 자원(인력, 장비, 재료, 프로세스, 시설, 환경, 제품, 문서 등)의 디지털 복제품'으로 정의한다(ISO 2020). ISO 23247 프로젝트는 Figure 1과 같이 2017년 5월 ISO TC 184/SC4에서 진행하였으며, 현재는 DIS(Draft Inter-



Figure 1. Development Process of Digital Twin for Manufacturing Source: ISO 2020

national Standard) 단계까지 추진된 상태이다.

ISO 23247 표준은 ‘Overview and general principle’, ‘Reference architecture’, ‘Digital representation of manufacturing elements’, ‘Information exchange’ 등 4가지 부분으로 구성되며, 각 부분에서 다루고 있는 세부 항목을 정리하면 Table 2와 같다.

Figure 2와 같이 ISO 23247에서 제시한 디지털 트

윈 제조 참조 모델은 User Entity, Core Entity, Data Collection and Device Control Entity, Observable Manufacturing Elements으로 구성된다. 디지털 트윈 제조 참조 모델의 핵심은 Core Entity가 담당하는데, 여기에는 가상 공간 데이터를 운영 관리하는 ‘Operation and Management Sub-Entity’와 다양한 분석을 수행하는 ‘Application and Service Sub-Entity’, 그리고 시스템 간의 접근을 위한 인터페이스인 ‘Resource Access and Interchange Sub-Entity’ 등으로 구성하였다. 이와 같은 ISO 23247 표준은 다양한 디지털 트윈 분야 중에서 가장 빠르게 진행되고 있는 국제 표준으로써, 앞으로도 여러 분야에서 디지털 트윈 관련 표준 제정에 참고가 될 것으로 판단된다.

2.2.2. ISO/IEC JTC1-AG11

ISO/IEC JTC1(Joint Technical Committee One)에서 운영하는 Advisory Group인 AG11은 디지털 트윈 표준에 대한 워킹 그룹이다. 해당 워킹 그룹은 2019년 결성하였으며, 다수의 E-conference를 통해 관련 회의를 진행하고 있다. 특히, 2019년 하와이에서 개최한 회의에서 도출된 결의안(Resolution) 중 워킹 그룹 활

Table 2. Summary of each part in ISO 23247

	Contents
Part 1	Overview of Digital Twin for manufacturing General principles of the Digital Twin framework for manufacturing
Part 2	Digital Twin reference architecture: goal and objectives Digital Twin reference models for manufacturing Functional view of the Digital Twin reference architecture for manufacturing
Part 3	Digital representation of the observable manufacturing elements Information attributes of the observable manufacturing elements
Part 4	Networking view of Digital Twin reference architecture for manufacturing Requirements for information exchange in the User network Requirements for information exchange in the Service network Requirements for information exchange in the Access network Requirements for information exchange in the Proximity network

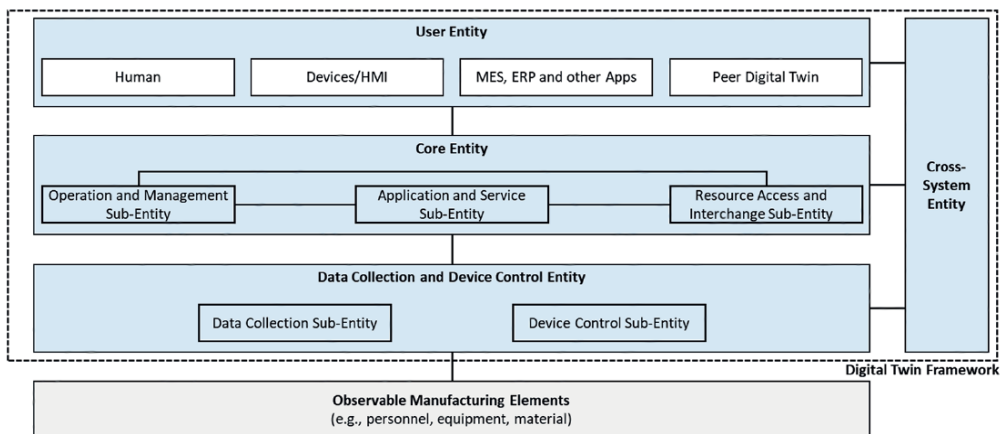


Figure 2. Digital Twin Reference Model for Manufacturing

Source: ISO 2020

동에 대한 핵심 항목은 크게 2가지로 요약할 수 있는데, 첫째는 디지털 트윈과 관련된 주요 개념과 관련 용어를 도출하고, 둘째는 디지털 트윈을 설명하기 위한 현재의 기술과 참조 모델을 제시하는 것이다(ISO/IEC 2020).

- Provide a description of key concepts and relevant terminology related to Digital Twin
- Identify current technologies and reference models that are being deployed in Digital Twin

이러한 결의안에 따라 ISO/IEC JTC1-AG11에서는 디지털 트윈과 관련된 유스 케이스(Use case)를 위원회(Committee Members)에 요청하여 23건의 다양한 디지털 트윈 유스 케이스를 수집하였다. 이러한 유스 케이스에 대한 현황을 분석한 결과, Figure 3과 같이 제조업과 관련된 유스 케이스가 14건(60%)으로 절반 이상을 차지하였고, 에너지 부분이 3건(13%) 그리고 국토와 개념적으로 유사한 스마트 도시 유스 케이스가 2건(8.6%) 수집되었다. 이러한 분석은 국제적 차원에서 디지털 트윈은 현재까지 제조 분야에서 가장 활발하게 논의되고 있다는 점을 시사한다.

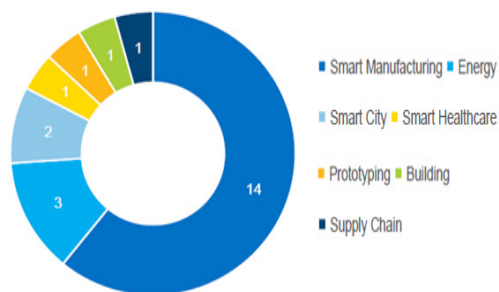


Figure 3. Status of Collected Use Cases for Digital Twin

Source: ISO/IEC 2020

이와 함께 ISO/IEC JTC1-AG11에서는 디지털 트윈과 관련된 국제 표준과 이들 간의 관계와 역할을 구분하였는데, 그 결과는 Figure 4와 같다. Figure 4에서 보듯, 공간정보 표준인 ISO/TC 211은 디지털 트윈에 필요한 지원 기술(Support Technology)로 분류된 것을 확인할 수 있다. 즉, 국제적인 관점에서도 공간정보는 디지털 트윈에 필요한 가상 세계 정보를 구축하고, 여러 응용 도메인의 서비스 및 시뮬레이션 등에 필요한 핵심 정보를 제공하는 대표적인 기반 정보라는 공감대가 형성되어 있다는 것을 의미한다.

하여 국토의 형상과 속성을 수치화한 가상 공간이라는 개념은 같지만, 표준화된 참조 모델에 기반을 두고 있다는 점에서 이 둘 간의 차이를 갖는다. 또한, 준 실시간, 수시, 정시 갱신 등 다양한 시간 축척에 따라 디지털 트윈 국토는 현실 공간과 상호 작용하고 변화된 현실 공간의 내용을 가상 공간에 반영한다.

디지털 트윈 국토에 대한 개념을 더욱 명확하게 정의하기 위해 다음과 같은 ‘디지털 트윈 국토 4요소’를 정의하였다.

- 지리 좌표로 연결된 현실 국토와 가상 국토 공간
- 현실 공간에서 가상 공간으로의 데이터 흐름
- 가상 공간에서 현실 공간으로의 정보와 프로세스의 흐름
- 디지털 트윈 국토 간의 상호 운용을 위한 참조 모델

우선, 디지털 트윈 국토가 존재하기 위해서는 현실 국토 공간과 이에 대한 수치화한 가상 국토 공간정보가 필요하며, 절대 또는 상대적 지리 좌표를 통해 위치를 참조한다. 그리고 이들 간의 상호 작용을 위해서는 물리적 공간에 설치된 센서 등을 통해 수집된 데이터(data)가 유무선 정보통신망을 통해 가상 국토로 전달되어야 한다. 이렇게 전송된 데이터는 디지털 트윈 국

토의 다양한 응용 도메인에서 처리, 분석 등의 프로세스를 거쳐 고부가가치의 정보(information)로 재생산되고, 다시 물리적 공간으로 전송되어 의사결정 지원에 활용된다. 이와 함께, 다양한 도메인에서 생산한 디지털 트윈 국토는 서로 상호 운용되어야 한다. 따라서 모든 디지털 트윈 국토는 공간정보 표준을 이용한 공통된 참조 모델을 기반으로 제작되어야 한다. 디지털 트윈 국토 참조 모델에 대한 세부 사항은 ‘4.1 참조 모델 표준 개발 방안’에서 자세히 논의한다.

3.2. 도메인별 디지털 트윈 국토

디지털 트윈 국토에 대한 개념을 구체화하기 위해 도메인별로 디지털 트윈 국토를 세분화하였다. 본 연구에서 디지털 트윈 국토는 Figure 5와 같이 현실 세계 영역과 IoT 영역, 디지털 트윈 국토 핵심 영역과 응용 영역으로 도메인을 구분하였다.

현실 세계인 관측 가능한 도메인(Observable Domain)은 국토의 자연 및 인공 지형지물의 형상과 속성을 나타내는 도메인으로 가상 공간으로 재현하고 각종 센서(stationary sensor, mobile sensor, virtual sensor)를 통해 정보를 취득하는 대상이 된다. 그리고

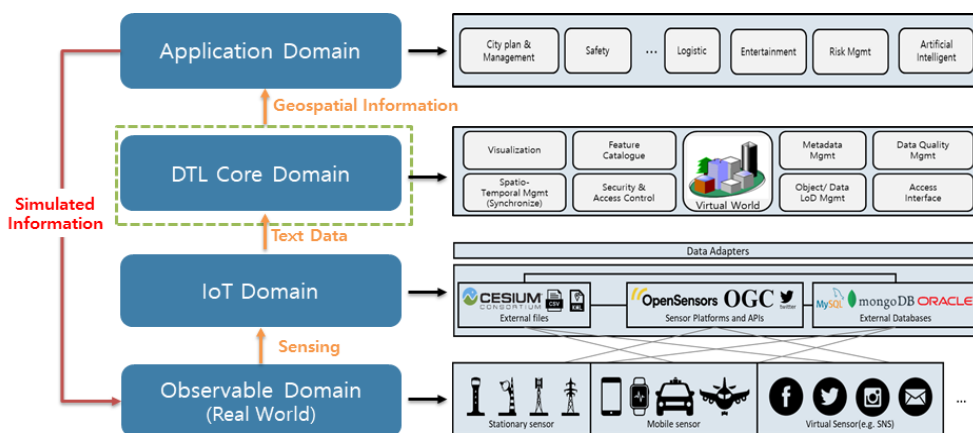


Figure 5. Domain Configuration of the DTL

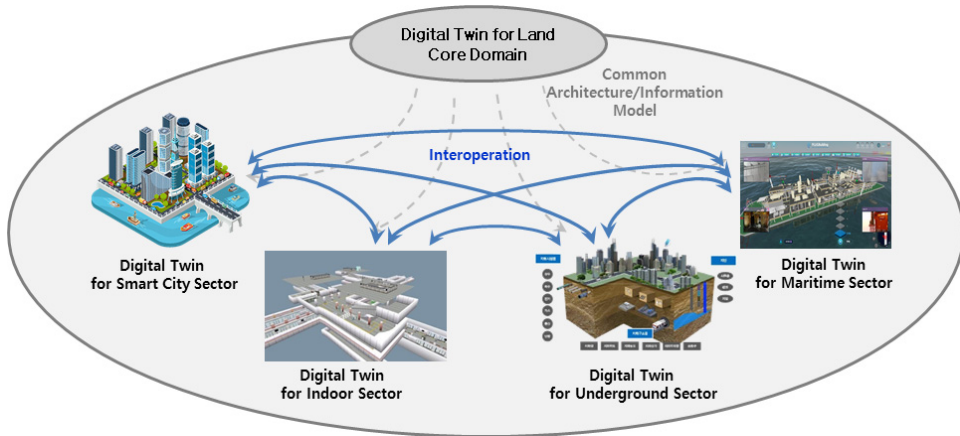


Figure 6. Interoperability between Core Domain and Application Domain of the DTL

IoT 도메인(IoT Domain)은 물리적 국토인 관측 도메인에 설치된 센서를 통해 정보를 수집하고, 이러한 정보는 파일 또는 데이터베이스와 같은 디지털 형태자료로 저장 관리된다. IoT 도메인은 디지털 트윈 핵심 도메인과 위치 정보를 이용해 서로 연계하여 현실 세계와 가상 세계를 동기화하는 임무를 수행한다.

디지털 트윈 국토 핵심 도메인(Core Domain)은 디지털 트윈 국토 데이터의 생산과 관리를 수행하며, 다양한 응용 도메인을 지원하는데 필요한 데이터 모델, 메타데이터, 데이터 품질 및 카탈로그 서비스 등과 같은 상호 운용에 필요한 서비스를 제공한다. 마지막으로 응용 도메인(Application Domain)은 핵심 도메인에서 생산한 공간정보를 이용하여 공간 분석과 시뮬레이션 등을 수행하는 도메인으로, 다른 도메인과 달리 응용 분야에 따라서 다양한 도메인으로 다시 세분화할 수 있다. 가령, 지하정보 관리 시스템, 기상 관측 시스템, 해양 관측 시스템, 스마트 도시, Geo-AI, 자율주행 자동차, 국토 및 도시 계획 관련 시스템 등 어떠한 용도로 디지털 트윈 국토를 활용하는가에 따라서 응용 도메인은 무한한 확장이 가능하다.

디지털 트윈 국토의 도메인 구성과 도메인별 역할에 대하여 살펴본 결과, 디지털 트윈 국토의 핵심 도메

인 영역이 공간정보 표준이 적용되는 대상 영역이라 할 수 있겠다. 특히, 응용 도메인에 필요한 공통된 기능과 서비스를 정의한 핵심 영역을 표준화함으로써, Figure 6과 같이 핵심 영역은 디지털 트윈 국토에서 기본공간정보와 같은 기능과 역할을 수행할 수 있을 것으로 판단된다. 즉, 표준화된 핵심 영역을 바탕으로 개발된 디지털 트윈 국토가 다양한 응용 도메인에 제공되고, 이를 통해 응용 도메인에서는 데이터와 주요 기능에 대한 중복 구축을 방지하고, 나아가 이들 간의 상호 운용성도 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 디지털 트윈 국토 표준화 방안

4.1. 참조 모델 표준 개발 방안

디지털 트윈 국토는 ‘국토(國土, Land)’라는 매우 추상적이고 포괄적인 개념을 대상으로 한다. 디지털 트윈이 연구되고 있는 제조, 관광, 보건 등과는 달리 국토는 여러 분야의 다양한 응용 도메인과 직간접적인 관계가 있으므로, 이들 각자가 바라보는 국토의 개념은 서로 간의 크고 작은 차이가 존재할 것이다. 즉, 국토의 특성상 응용 범위가 다양하고, 이해 관계자의 범

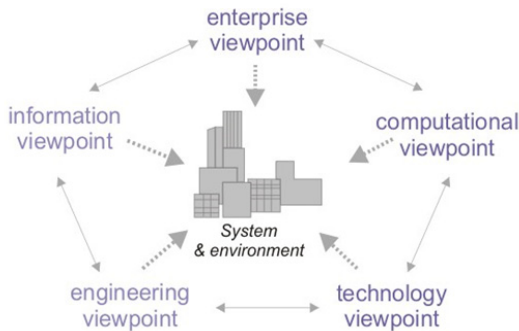


Figure 7. RM-ODP Viewpoint Model
Source: <https://en.wikipedia.org/wiki/RM-ODP>

위가 매우 포괄적이고, 이들 간의 상호 소통도 매우 어렵기 때문에, 결국은 다양한 관점과 해석이 존재할 수밖에 없다. 마치, 여러 명의 시각 장애인들이 하나의 코끼리를 만지는 것처럼, 실체는 한 마리 코끼리인 데 반해 바라보는 관점에 따라 벽, 나무, 뱀 등 서로 다르게 해석하고 정의하는 패러다임 오류에 빠질 수 있다.

따라서 개인이나 집단 등 다양한 이해 관계자의 요구 사항을 합리적으로 절충하고 공유하기 위해서는 이들의 공통된 의견이 반영된 표준화된 참조 모델이 필요하다(최재연 2020). 이러한 차원에서 디지털 트윈 국토 참조 모델(Reference Model for DTL)은 ‘디지털 트윈 국토와 관련된 이해 관계자의 다양한 관점을 종합적으로 검토하여, 디지털 트윈 국토 핵심 영역에 대한 공간정보 표준의 범위와 역할 등을 개념화한

모델’로 정의할 수 있겠다.

본 연구에서는 이러한 디지털 트윈 국토 참조 모델을 효율적으로 제작할 수 있는 방안으로 RM-ODP (Reference Model of Open Distributed Processing) 방법론을 제안한다.

RM-ODP는 ISO(International Organization for Standardization), IEC(International Electrotechnical Commission), ITU-T(The ITU Telecommunication Standardization Sector) 등에서 고안한 것으로, 이질적인 시스템 환경에서 상호 운용성을 확보하여 정보를 교환하고, 기능을 편리하게 사용하기 위한 목적으로 개발되었다. 이러한 RM-ODP는 수집된 이해 관계자의 요구 사항을 Figure 7과 같이 전사적 관점(Enterprise Viewpoint), 정보 관점(Information Viewpoint), 전산 관점(Computational Viewpoint), 공학 관점(Engineering Viewpoint), 기술 관점(Technical Viewpoint) 등 5가지의 관점을 통해 해석하고, 시스템 설계에 대한 지침을 제시한다. 각각의 관점에서 다루는 세부 내용을 정리하면 Table 3과 같다.

RM-ODP에서 정의한 5가지 관점 중에서 참조 모델과 같은 공간정보 표준 제작에는 전사적 관점, 정보 관점, 전산 관점 등의 3가지의 관점에 대한 분석을 수행한다. 공학 관점과 기술 관점은 시스템을 개발하는 측면의 관점이기 때문에, 표준 제작에서는 전사적 관점, 정보 관점, 전산 관점 분석만을 수행하는 것이 일반적

Table 3 Five Viewpoints in RM-ODP Framework

Source: OGC 2005

Viewpoint	Definition of RM-ODP Viewpoint
Enterprise Viewpoint	• Focuses on the purpose, scope and policies for that system
Information Viewpoint	• Focuses on the semantics of information and information processing
Computational Viewpoint	• Captures component and interface details without regard to distribution
Engineering Viewpoint	• Focuses on the mechanisms and functions required to support distributed interaction between objects in the system
Technical Viewpoint	• Focuses on the choice of technology

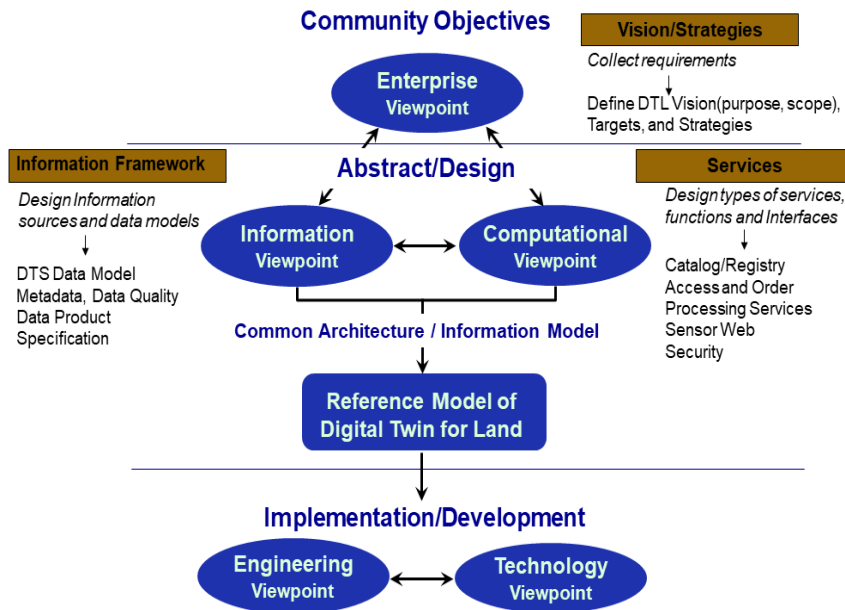


Figure 8. Developing Reference Model by using RM-ODP

이다(OGC 2005).

디지털 트윈 국토 참조 모델 제작에 필요한 RM-ODP의 각 관점별 연구 수행 내용을 정리하면 다음과 같다. 첫째, 전사적 관점에서는 이해 관계자의 요구 사항을 수집 및 분석하여, 디지털 트윈 국토 참조 모델의 비전과 요구 사항에 부합하는 정보와 계산 관점에서의 추진 전략을 도출한다. 둘째, 정보 관점에서는 전사적 관점에서 제시한 추진 전략을 바탕으로 디지털 트윈 국토에 필요한 정보 자원과 모델을 설계한다. 즉, 정보 자원 관리에 필요한 데이터 모델, 메타데이터, 데이터 품질과 명세 등 디지털 트윈 국토 정보의 생산, 관리에 필요한 표준을 제시한다. 마지막으로 전산 관점도 수립된 추진 전략에 따라 디지털 트윈 국토의 운영 관리에 필요한 서비스와 인터페이스 등을 설계한다. 가령, 카탈로그 서비스, 센서 정보를 처리하는 센서 웹 서비스, 시스템 보안 등과 같은 전산 관점에서 필요한 서비스와 기능을 정의한다. RM-ODP를 이용한 디지털 트윈 국토 참조 모델 표준 개발 방안을 도식

화하면 Figure 8과 같다.

4.2. 데이터 모델 표준 개발 방안

참조 모델과 함께 디지털 트윈 국토에서 시급하게 필요한 표준은 데이터 모델 표준이다. 전술한 바와 같이 디지털 트윈 국토는 다양한 응용 도메인 간의 데이터 공유와 관련된 복잡한 관계를 갖는다. 따라서 데이터에 대한 상호 운용성이 확보되지 않는다면, 디지털 트윈 국토에서 구축한 고가의 3차원 공간정보와 이를 처리하는 응용 시스템이 중복 구축되는 문제가 발생할 수 있다.

체계적으로 디지털 트윈 국토 데이터 모델 표준을 제작하기 위해서는 표준을 통한 상호 운용성의 수준을 먼저 파악해야 한다. Figure 9와 같이 상호 운용성은 기술의 발전과 함께 단순히 이기종 시스템 간의 데이터 공유가 아닌 시스템 스스로 데이터를 이해하고 통신을 이용해 상호 작용하는 수준으로 진화하고 있

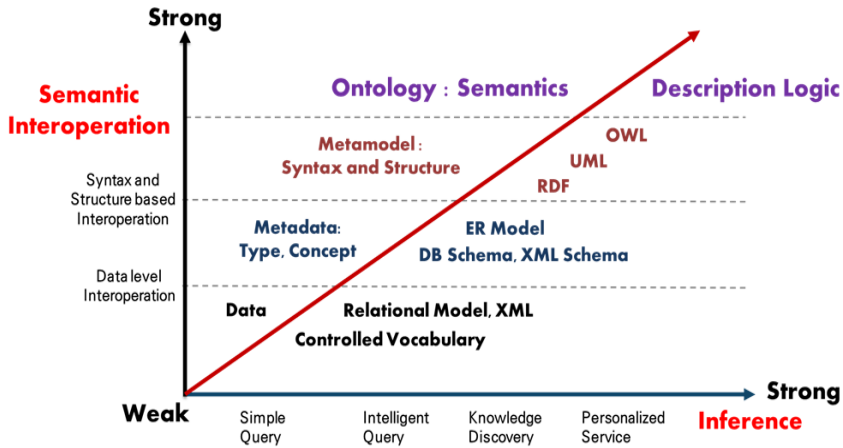


Figure 9. Information Description Language and Interoperability Source: Wang et al. 2009

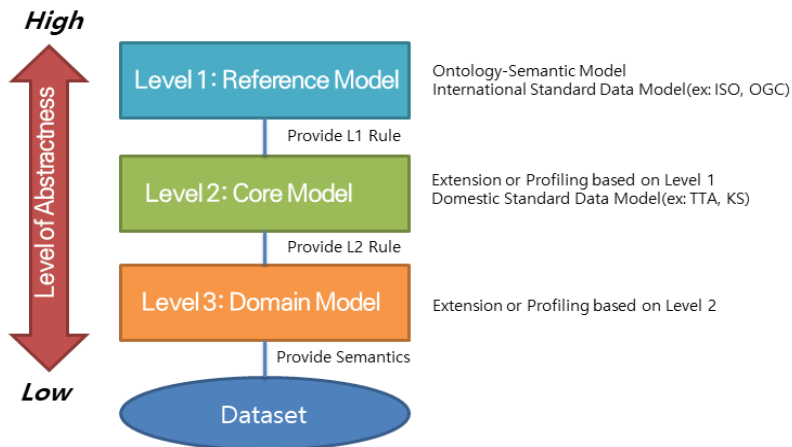


Figure 10. Three Levels of Data Model for the DTL

다. 가령, 데이터 모델 표준을 이용하여 디지털 트윈 국토의 공통된 정보 모델 구조를 정의한다면, 응용 도메인에서는 데이터 수준의 상호 운용성을 확보할 수 있다. 반면에 도메인 간 교환 메시지에 의미가 존재한다면, 이들 간에는 온톨로지/시맨틱 수준의 상호 운용 체계가 필요할 것이다. 디지털 트윈 국토의 3차원 공간정보는 기존 2차원 공간정보와 비교하여 방대하고 복잡한 기하 구조와 속성 정보를 갖는다. 또한, 이러한 정보가 여러 응용 도메인의 서로 다른 맥락(different

contexts)에서 해석되고 통합하기 위해서는 디지털 트윈 국토의 공간정보는 시맨틱/온톨로지 수준에서의 상호 운용성을 확보해야 한다.

따라서 본 연구에서는 시맨틱/온톨로지 수준에서의 표준화된 데이터 모델을 제공하고, 응용 도메인의 유연성과 확장성을 높일 수 있는 3단계 디지털 트윈 국토 데이터 모델 표준 체계를 Figure 10과 같이 제안한다. Figure 10에서 보듯, 디지털 트윈 국토 3단계 데이터 모델 체계는 계층 구조를 가지며, 상위층으로 갈

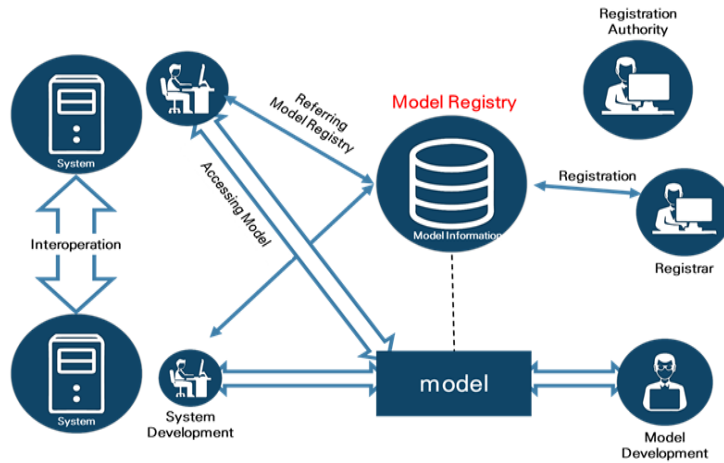


Figure 11. Basic Concept of Model Sharing through a Model Registry Source: ISO/IEC. 2015

수록 데이터 모델의 추상화 수준은 높아지고 하위층으로 갈수록 데이터 모델의 추상화 수준은 낮아지면서 데이터 모델의 내용은 응용 도메인에 따라 더욱 구체화 된다.

이러한 구조는 ISO 19101-1 - Reference Model에서 제시한 Meta-Meta, Meta, 응용 계층별로 상호 운영체계를 구조화한 공간정보 표준 체계를 참고한 것으로서(ISO 2014), 3단계 디지털 트윈 국토 데이터 모델 체계도 Level 1: Reference Model, Level 2: Core Model, Level 3: Domain Model이 서로 간의 공통된 내용에 대한 참조와 확장 규칙을 통해 시맨틱/온톨로지 수준으로 상호 운영한다.

Level 1: Reference Model은 ISO, OGC와 같은 국제 표준 기구에서 공식적으로 지정한 시맨틱/ 온톨로지 공간정보 데이터 모델인 CityGML, LandInfra, IFC와 같은 데이터 모델 등이 해당된다. 그리고 Level 2: Core Model의 데이터 모델은 Level 1: Reference Model로 지정된 데이터 모델을 국내 실정에 맞게 확장(extension)하거나 프로파일링(profiling)한 표준 데이터 모델로 구성한다. Level 1 모델을 무분별하게 확장하거나 프로파일하여 Level 2: Core Model이 중복으로 구축되는 사례를 방지하기 위해 TTA, KS와 같

은 공인된 기관의 심의를 통과해야 한다는 제약 조건을 추가하였다.

마지막으로 Level 3: Domain Model은 응용 도메인에서 제작한 데이터 모델로, Level 2 모델을 참조하여 확장 또는 프로파일링 하는 방식으로 구축된다. 이러한 체계는 결국 모델의 구조(structure)와 개념(concept), 그리고 공통된 피처(common features) 등을 상속받기 때문에 Level 1~Level 3 모델은 시맨틱/온톨로지의 수준의 상호 운용성 확보가 가능할 것으로 판단된다.

4.3. 모델 레지스트리 구축 방안

본 연구에서 제시한 3단계 디지털 트윈 국토 데이터 모델 체계를 효율적으로 관리하기 위해 ISO/IEC 19763-Information technology - Metamodel Framework for Interoperability(MFI)에서 제시한 모델 레지스트리를 관리 방안으로 제안한다. ISO/IEC 19763 모델 레지스트리(model registry)는 등록에 필요한 공통 syntax, semantic, feature와 기타 규칙 등을 Meta-model로 정의하고, 레지스트리에 등록을 원하는 데이터 모델의 규칙 준용 여부를 확인하여, 이에 부

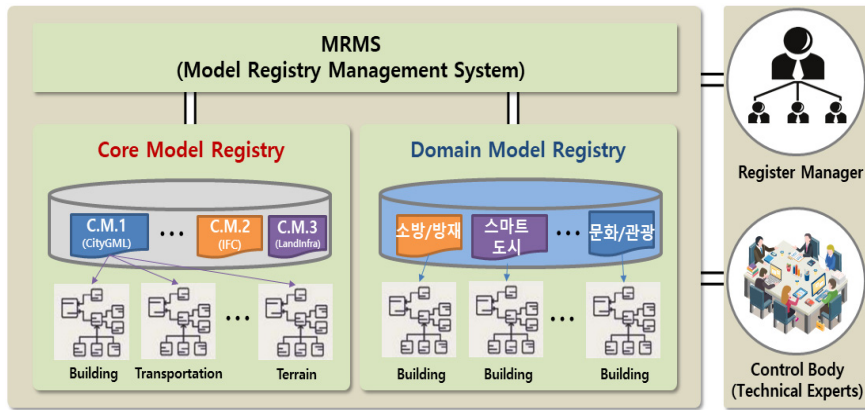


Figure 12. Model Registry for the DTL

합하면 모델을 레지스트리에 등록하는 구조를 취한다. 이러한 모델 레지스트리 방법은 센서 모델 레지스트리(이석훈 2016), 서지정보 메타데이터 모델 레지스트리(고영만 2005), ISO Geodetic Registry(ISO 2005) 등 이미 다양한 분야에서 데이터 모델을 검증하고, 모델 간의 상호 운용을 도모하는 표준화된 기술이라 할 수 있다.

Figure 11과 같이 MFI 표준에서 제시한 모델 레지스트리는 우선, 공통 레지스트리에 데이터, 서비스, 프로세스에 대한 모델과 온톨로지 모델 등을 등록한다. 그리고 정의된 표준 규칙에 따라 등록된 모델을 검토하고, 의미적으로 해석하기 위한 매핑 프로세스를 진행한다. 이렇게 등록이 완료된 데이터 모델은 공동으로 레지스트리에서 관리하고, 사용자는 레지스트리를 통해 필요한 모델을 조회하고 확인한다. 모델 레지스트리의 장점은 통합 관리를 통해 모델의 중복 구축을 방지하고, 정의된 규칙을 통해 모델 간의 상호 운용성을 확보하는 목적도 있으나, 일반 사용자가 공개된 레지스트리를 통해 다양한 모델에 접근하고 모델을 재사용할 수 있다는 장점도 있다.

본 연구에서는 이러한 ISO/IEC 19763 표준을 기반으로 디지털 트윈 국토 데이터 모델 레지스트리 구성(안)을 도출하였으며, 세부 내용은 Figure 12와 같다.

디지털 트윈 국토 데이터 모델 관리를 위한 모델 레지스트리(MRDTL: Model Registry for DTL)는 레지스트리를 관리하는 운영 관리 시스템인 MRMS(Model Registry Management System)와 Level 2 데이터 모델인 Core Model을 저장하는 Core Model Registry 그리고 Level 3 Domain Model을 저장 관리하는 Domain Model Registry로 구성된다. 최상위 모델인 Level 1은 공개된 국제 표준으로 별도의 관리가 필요 없기 때문에, Core Model과 Domain Model만을 모델 레지스트리에서 관리한다.

Figure 12에서 보듯 Core Model Registry에서는 CityGML, IFC, LandInfra 등의 국제표준 데이터 모델을 참조하여 확장한 데이터 모델이며, 공인된 기관의 승인을 받은 국내 표준 데이터 모델들이다. 그리고 Domain Model Registry는 Level 2 Core Model을 확장한 모델들을 도메인별로 구분하여 저장 관리한다.

특히, 앞서 언급했듯이 이러한 도메인 모델의 적합성을 평가하는 것은 매우 중요하다. 따라서 디지털 트윈 국토 모델 레지스트리에 관련 기술 전문가로 구성된 Control Body를 구성하였다. Control Body는 모델 레지스트리에 등록하기 위한 도메인 모델이 관련된 Level 2 모델을 올바르게 확장했는지 또는 모델의 코드 체계를 올바르게 구성하였는지 등을 평가하고, 그

결과를 디지털 트윈 국토 모델 레지스트리 관리 기관인 Register Manager에게 전달한다. 그리고 Register Manager는 이러한 평가 결과를 토대로 Level 3 도메인 데이터 모델을 등록한다.

이와 같은 관리 체계를 통해 디지털 트윈 국토 데이터 모델은 모델 간의 시맨틱/온톨로지 수준의 상호 운용성을 확보하고 데이터 모델의 중복 구축을 제거할 수 있다. 그리고 일반 사용자들은 레지스트리를 통해 필요한 데이터 모델을 쉽게 검색하고, 관련 자료를 받을 수 있기 때문에 디지털 트윈 국토 데이터 모델 정보에 대한 사용자의 접근성을 크게 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

5. 결론

정부는 디지털 트윈을 한국판 뉴딜 정책의 일환으로 결정하였으며, 이에 따라 범정부 차원에서 디지털 트윈 구축 사업이 본격적으로 진행될 것을 발표하였다. 이러한 정책에 따라 디지털 트윈 국토와 관련된 다양한 사업이 지자체, 중앙정부 등에서 동시다발적으로 추진되고 있으나, 데이터 또는 관련 서비스 구축에 필요한 명확한 기준이나 표준을 제시하지 못하고 있다. 디지털 트윈 국토에 대한 관련 표준 체계의 부재는 향후 통합적 활용에 있어서 데이터와 시스템 간의 호환성 및 상호 운용성 확보의 문제로 연결될 가능성이 매우 높다.

이러한 배경에서 본 연구는 디지털 트윈 국토의 상호 운용성 확보를 위한 공간정보 표준 구축 방안을 제시하는 데 목적이 있다. 이를 위해 디지털 트윈에 대한 개념과 디지털 트윈과 관련된 국제 표준화 동향에 대하여 검토하였고, 주요 시사점을 도출하였다. 그리고 디지털 트윈 국토와 도메인별 디지털 트윈 국토에 대한 개념을 정립하였다. 이러한 분석 내용을 기반으로 RM-ODP를 이용한 참조 모델 표준 개발 방안, 3단계 디지털 트윈 국토 데이터 모델 표준 개발 방안,

ISO/IEC 19763 기반의 모델 레지스트리 구축 방안 등 세 가지의 디지털 트윈 국토 표준화 방안을 제시하였다.

본 연구에서 제시한 디지털 트윈 국토의 개념과 표준 정책 방안은 디지털 트윈 국토 표준화의 필요성에 대한 이해 관계자의 인식을 높이고, 디지털 트윈 국토 표준 정책의 기본 방향을 제시할 수 있을 것으로 판단된다. 이와 함께 본 연구 결과물이 실용화되기 위해서는 디지털 트윈 국토 표준의 시급성을 고려한 적극적인 추진 로드맵의 개발과 실행 전략이 필요하다. 지금까지 국내에서 다양한 공간정보 표준이 개발되었으나, 실제 현장에서의 표준 적용은 매우 미흡하였다. 이러한 문제가 발생하는 이유는 다양할 수 있으나, 근본 원인은 표준이 항상 관련 사업과 병행하여 진행되거나 또는 완료 후에 제작되면서, 표준을 적용하기보다는 형식적인 수준에 그치는 구조적 한계를 보여 왔다는 점을 지적할 수 있다. 공간정보 표준을 비롯한 대부분의 표준이 실효성을 확보하기 위해서는, 표준이 관련 사업의 선두에서 이끄는 방향으로 추진되어야만 표준 정책과 관련 프로젝트 간의 시너지 효과를 얻을 수 있다.

따라서 범정부 차원에서 진행되는 디지털 트윈 국토가 서로 연계되고 상호 운용되는 조화된 체계(Harmonized Systems)가 될 수 있도록, 본 연구 성과물을 포함한 표준 개발 로드맵에 대한 적극적인 관심과 투자가 디지털 트윈 국토 정책의 최우선 과제로 추진되어야 할 것이다.

참고문헌

References

- 고영만, 서태설. 2005. 온톨로지 기반 메타데이터 명명 규칙에 관한 연구. 정보관리학회지. 22(4): 97-109.
- Ko Y, Seo T. 2005. A Study on the Naming Rules of

- Metadata based on Ontology. *Journal of the Korean Society for Information Management*. 22(4): 97-109.
- 국가기술표준원. 2016. 스마트공장 표준화 동향. Korea Agency for Technology and Standard. 2016. Smart Factory Standardization Status.
- 국토교통과학기술진흥원. 2019. 지하공간통합지도 갱신 자동화 및 탐사현장 활용지원 기술 개발. Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement. 2019. Developing Updating Automation and Technique Utilization of Field Applications for the Integrated Underground Space Map.
- 국토지리정보원. 2019. 3차원국토공간정보구축작업 규정. National Geospatial Information Institute. 2019. Regulation for constructing 3-Dimension Geospatial Information.
- 김민수, 박두열. 2020. 입체모형 활용 현황, 수요 및 구축 비용을 고려한 실현 가능한 3차원 입체모형 구축 방안 연구. *지적과 국토정보*. 50(1): 215-229.
- Kim MS, Park DY. 2020. A Study on Feasible 3D Object Model Generation Plan Based on Utilization, Demand, and Generation Cost. *Journal of Cadastre & Land InformatiX*. 50(1): 215-229.
- 기획재정부. 2020. 한국판 뉴딜 종합계획. Ministry of Economy and Finance. 2020. The Comprehensive Plan for the Korean New Deal.
- 서울연구원. 2019. 서울시 공간정보정책 개선 방안. The Seoul Institute. 2019. Improvement of the Spatial Information Policy in Seoul.
- 위키피디아. 2021. [<https://en.wikipedia.org/wiki/RM-ODP>]. 2021년 1월 22일 검색.
- 이석훈, 정동원, 정현준, 백두권. 2016. IoT 환경을 위한 센서 레지스트리 데이터 모델의 설계 및 구현. *정보처리학회논문지/소프트웨어 및 데이터 공학*. 5(5): 221-230.
- Lee S, Jeong D, Jung H, Baik D. 2016. Design and Implementation of Sensor Registry Data Model for IoT Environment. *The KIPS Tr: Software and Data Eng*. 5(5): 221-230.
- 이현정, 김성혜, 이진영, 유상근. 2020. 4차 산업혁명을 위한 제조 디지털 트윈 국제표준화 현황. *한국통신학회지*. 37(3): 43-50.
- Lee HJ, Kim SH, Lee JY, Yu SK. 2020. Trend Analysis of International Standardization in Digital Twin for Manufacturing for the Fourth Industrial Revolution. *The Journal of the Korean Institute of Communication Sciences*. 37(3):43-50.
- 최재연, 김은형. 2020. 사용자 관점의 융·복합 공간정보 품질관리 방안 연구. *지적과 국토정보*. 50(1): 47-62.
- Choi JY, Kim EH. 2020. A Quality Management Model for Consumer-oriented Spatial Information. *Journal of Cadastre & Land InformatiX*. 50(1): 47-62.
- 황병주, 황정래, 김병선. 2016. 체계적인 공간정보표준 관리를 위한 정책개선 방안 연구. *지적과 국토정보*. 46(2): 225-237.
- Hwang B, Hwang J, Kim B. 2016. A Study on Policy Improvement for the Systematic Management of the National Geospatial Standards. *Journal of Cadastre & Land InformatiX*. 46(2):225-237.
- 한국국토정보공사. 2020. 디지털 트윈 국토 표준 준거 모델 개발 및 로드맵 작성.
- LX. 2020. Development of the Reference Model and Roadmap for the Digital Twin for Land.

- 해양수산부. 2019. 해양수산 스마트화 전략.
Ministry of Oceans and Fisheries. 2019. Strategies for Smartization Marine Fisheries.
- Bacchiaga G, Bondani G. 2018. Creating an Embedded Digital Twin: Monitor, Understand and Predict Device Health Failure. Proceeding of Inn4mech 2018.
- Batty M. 2018. Digital Twins. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*. 45(5): 817-820.
- Bolton R, McColl-Kennedy J, Cheung L, Gallan A, Orsingher C, Witell L, Zaki M. 2018. Customer Experience Challenges: Bringing Together Digital, Physical and Social Realms. *Journal of Service Management*. 29(5):776-808.
- Glaessgen E, Stargel D. 2012. The Digital Twin Paradigm for Future NASA and US Air Force Vehicles. Proceeding of the 53rd Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference: Spatial Session on the Digital Twin. 23-26.
- Grieves M, Vickers J. 2017. Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems. *Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems*. 85-113.
- ISO. 2005. ISO/TS 19127: Geodetic Codes and Parameters.
- ISO. 2014. ISO 19101-1: Geographic information — Reference model — Part 1: Fundamentals.
- ISO. 2020. ISO 23247: Digital Twin Framework for Manufacturing.
- ISO/IEC. 2015. ISO/IEC 19763: Information technology — Metamodel framework for interoperability.
- ISO/IEC. 2020. Report of ISO/IEC JTC1 AG11 Digital Twin (Version 3.0).
- OGC. 2005. Server Architecture Models for the National Spatial Data Infrastructures.
- Saddik A. 2018. Digital Twins: The Convergence of Multimedia Technologies. *IEEE Multimedia*. 25(2):87-92.
- Söderberg R, Wämeffjord K, Carlson J, Lindkvist L. 2017. Toward a Digital Twin for Real-Time Geometry Assurance in Individualized Production. *Manufacturing Technology*. 66(1): 137-140.
- Tao F, Sui F, Liu A, Qi Q. 2018. Digital Twin-Driven Product Design Framework. *International Journal of Production Research*. 57(1): 1-19.
- Wang C, He Y, Ma Y, Liang P. 2009. Theory of Ontology & Meta-modeling and the Standard: An Enabler for Semantic Interoperability. *Handbook of Research on Software Engineering and Productivity Technologies: Implications of Globalization*, 88-101.

2021년 3월 2일 원고접수(Received)
2021년 6월 7일 1차심사(1st Reviewed)
2021년 6월 21일 2차심사(2nd Reviewed)
2021년 6월 28일 게재확정(Accepted)

초 록

디지털 트윈 국토는 한국판 뉴딜 정책의 일환으로 추진 중인 국가 프로젝트이나 이에 대한 표준이나 기술 기준 등은 마련되어 있지 않은 상태이다. 이러한 배경에서 본 연구는 디지털 트윈 국토의 상호 운용성 확보를 위한 공간정보 표준 기반의 참조 모델과 데이터 모델 구축 방안을 제시하는데 목적이 있다. 이를 위해 디지털 트윈에 관한 국제 표준화 동향을 검토하고 주요 시사점을 도출하였다. 그리고 디지털 트윈 국토에 대한 정의, 도메인별 특징을 도출하는 등 디지털 트윈 국토에 대한 개념을 정립하였다. 이러한 개념을 바탕으로 RM-ODP를 이용한 디지털 트윈 국토 참조 모델 구축 방안과 3단계 디지털 트윈 국토 데이터 모델 체계를 제안하였다. 또한 데이터 모델의 효율적 관리를 위한 모델 레지스트리 구축 방안을 제안하였다. 본 연구에서 제안한 정책 방안은 향후 디지털 트윈 국토 표준 체계 구축의 방향성을 확립하는데 기여할 것으로 판단된다.

주요어 : 공간정보, 디지털 트윈 국토, 한국판 뉴딜, 참조 모델, 데이터 모델