

디지털 트윈 기술 표준화 동향과 향후 추진방향

한국정보통신기술협회 | 차순일

1. 서 론

디지털 트윈은 “현실에 존재하는 객체(사물, 공간, 환경, 공정, 절차 등)를 컴퓨터 상에 디지털 데이터 모델로 표현하여 실시간으로 서로 반응할 수 있도록 한 것” [1] 으로 정의하고 있다. 이에 대한 실용적 정의는 2010년, NASA에서 우주선의 물리 모델 시뮬레이션을 위해 최초로 시작되었다. 현재는 가상의 모형을 통해 성능 시뮬레이션, 현실에서 발생 가능한 다양한 문제점을 예측하고, 더 나은 의사 결정, 유지 관리 및 운영 효율성 향상을 통해 다양한 산업을 변화시켜 가고 있다. 디지털 트윈은 다양한 기기, 시스템, 소프트웨어 등이 서로 연결되어 데이터를 주고받으면서 동작하므로 상호운용성이 무엇보다 중요하다. 또한, 효율적인 운용과 성능 보장을 위해 표준화에 대한 요구도 점차 증가하고 있다. 본 고에서는 이러한 디지털 트윈 기술의 국내외 표준화 동향과 향후 필요한 표준화 방향에 대해 살펴보고자 한다.

2. 기술 동향

2.1 디지털트윈 기술

디지털 트윈에는 다양한 기술이 복합적으로 적용되어 구현된다. 데이터 및 보안 기술, 동기화 기술, 가상화 기술, 모델링&시뮬레이션 등은 디지털 트윈 구현에 반드시 필요한 핵심 기술이다. 최근에는 개별 디지털 트윈들을 연결하여 상호운용성을 높이기 위한 연합 디지털 트윈(Federated Digital Twin) 기술에 대한 요구도 점차 높아지고 있다. 아울러 머신러닝과 같은 인공지능 기술, 방대한 데이터 처리에 필요한 빅데이터·클라우드 기술 등 관련 기술의 발전에 힘입어 디지털 트윈은 빠르게 진화하고 있다.

제조, 재난안전, 농축수산, 의료, 에너지 등 다양한 산업에서 디지털 트윈 기술을 적용하여 효율성과 정확성을 높이기 위한 노력을 기울이고 있다.

디지털 트윈 기술의 발전 수준은 현실의 물리 대상을 디지털화하는 기본적인 단계부터 관제(Monitoring) → 모의(Simulation) → 연합(Federated) 단계를 거쳐 궁극적으로는 자율(Autonomous)적으로 물리대상의 문제점을 인지하고 해결하는 단계로 구분할 수 있다 [2].



그림 1 디지털 트윈 기술발전 단계(level)

국내에서는 디지털 트윈 기술의 발전과 관련 산업 활성화를 위해 다양한 정부 정책을 추진하고 있다. 2021년에는 디지털트윈 기술발전로드맵과 디지털트윈 활성화 전략을 발표하였고, 2022년에는 디지털트윈 실증 사업을 추진한 바 있다. 특히, 디지털트윈 활성화 전략에서는 공통 기술과 적용 분야별 상호운용성 확보를 위한 표준화를 통해 디지털 트윈을 활성화하고 글로벌화 하는데 중점을 두고 있다 [3].

미국은 대통령 과학기술자문위원회를 통해 제조산업의 경쟁력 강화를 위한 전략 중 하나로 디지털트윈을 제시(2020)한 바 있다. 일본은 디지털 혁신 국가를 지향하며 2020년 디지털청을 신설하고 약 8,000억 엔을 투입하여 디지털 혁신국가로 가기 위한 정책을 추진 중이며, 경제산업성에서는 디지털 트랜스포메이션에 대한 방향과 지침을 제시하는 ‘DX보고서 2.2’를 공표(2022)하였다.

국내에서는 LG전자, 삼성SDS, 현대자동차, 우아한형제들 등의 기업이 에너지저장장치(ESS), 스마트팩토리, 배달로봇 등 다양한 산업 분야에 디지털 트윈 기술을 적용하는 사업을 추진하고 있다 [3].

지멘스, GE, Dassault Systems, 도이치텔레콤 등 주요 글로벌 기업들도 스마트 팩토리, 물류, 헬스케어, 스마트 빌딩 등의 분야에 자사의 디지털 트윈 솔루션을 적용하여 사업 영역을 넓혀가고 있다.



그림 2 제조 분야 디지털 트윈의 가상도(ChatGPT 생성)

현재 디지털 트윈 기술 수준은 아직 2~3단계 수준에 머무르고 있다. 본격적인 디지털 트윈 기술 적용을 위해서는 기반 인프라, 시설 등의 투자가 함께 이루어져야 하는 현실적인 어려움이 있는 것도 사실이다.

그러나, 전 세계적으로 지속가능성에 대한 요구가 높아짐에 따라, 각국 정부는 디지털 트윈에 대한 정책적 지원과 기업의 적극적인 연구와 투자가 가시화되고 있다. 이러한 노력이 디지털 트윈 기술 발전의 발판이 되어 향후 디지털 트윈 기술 활용이 더욱 가속화될 것으로 전망된다.

2.2 표준과 표준화

‘표준’은 개념적으로는 많은 사람에게 익숙한 단어로서 오래전부터 우리의 생활에서 널리 사용되고 있다. 표준의 기원으로 올라가 보면 이집트에서 무게의 단위로 표준화된 원형의 돌을 사용하였고, 고대 로마에서는 도로와 상수도 폭을 표준화하여 도시를 건설하였다. 최근에는 통신과 인터넷이 널리 활용되면서 표준은 ICT 분야에서는 빼놓을 수 없는 이슈가 되고 있다. 표준은 ‘합의에 의해 작성되고 공인된 기관에 의해 승인된 것으로 주어진 범위 내에서 최적 수준의 성취를 목적으로 공통적이고 반복적인 사용을 위한 규칙, 지침 또는 특성을 제공하는 문서’라고 정의한다 [4].

제정 주체에 따라서는 ITU, ISO/IEC 등과 같이 국제적으로 공신력 있는 표준화 기구에서 제정한 공식 표준(De-jure)과 포럼이나 컨소시엄 또는 시장에서 형성된 사실상표준(De-facto) 표준으로 구분하기도 한다.

최근 디지털 트윈 표준은 국제표준기구뿐만 아니라

우리나라 국가표준(KS), TTA 단체 표준 등으로도 제정되고 있다.

목적에 따라 표준을 아래와 같이 분류하기도 한다 [5].

표 1 표준목적에 따른 표준의 분류

분류	의미
성문표준	국가사회 모든 분야에서 총체적인 이해성, 효율성 및 경제성 등을 높이기 위해 자율적으로 적용하는 문서화된 과학기술적 기준, 규격 및 지침
측정표준	양의 측정단위 또는 특정 값을 정의하고, 현시하며 보존 및 재현하기 위한 기준
참조표준	측정데이터 및 정보의 정확도와 신뢰도를 과학적으로 분석·평가하여 공인된 것(물성값, 통계 등)
기술규정	인체의 건강·안전, 환경보호와 소비자에 대한 기만행위 방지 등을 위하여 제품, 서비스, 공정에 대하여 강제적으로 적용하는 기준

한편, 표준화는 ‘일상적이고 반복적으로 일어나거나 일어날 수 있는 문제를 주어진 여건하에서 최선의 상태로 해결하기 위한 일련의 활동’이다 [4]. 쉽게 말해 표준을 만드는 일련의 활동을 표준화라고 할 수 있다.

최근 디지털 사회에서 선도 기술의 표준을 선점하는 기업은 제품·서비스 시장을 선점할 수 있어 표준화 논의 참여의 중요성이 확대되고 있다. 또한, 이전의 표준이 주로 상호운용성 확보를 위한 기술적 도구로 활용되었다면 최근에는 사회안전, 포용성, 지속가능성 등을 확보하는 중요한 수단으로 인식되고 있다. 특히, 유럽, 미국 등 선진국 중심으로 이러한 움직임이 활발히 나타나고 있다. 특히, 2023년 미국의 CET (Critical and emerging technology) 표준전략[6] 발표 이후 유럽, 중국, 일본, 호주 등 세계 각국에서는 표준 전략 발표 및 투자와 더불어 우호국 간 협력에 힘을 쓰고 있다.

2.3 디지털 트윈 기술 표준화 동향

앞서 언급했듯이 현재 디지털 트윈은 관제(Monitoring) 중심에 머무르고 있다. 궁극적인 목표인 상호운용, 최적화를 거쳐 자율적으로 물리대상을 제어하는 디지털 트윈으로 가기 위해서는 기본적으로 관련 인프라(센서, 제어기기, 제어SW 등) 구축도 필요하다. 하지만, 무엇보다도 데이터 수집 단계부터 상호운용성 확보를 위한 표준화 작업이 필수적이다. 이와 더불어 기술 개발 시간 단축, 유지보수 절차 간소화 및 중복 투자 방지, 그리고 공공안전이나 사용자 비용 절감 등의 목적으로 다양하게 표준화가 진행되고 있다.

2.3.1 국내 표준화 동향

국내에서 제정되었거나 진행 중인 표준들에 대해 살펴보면 다음과 같다.

먼저 국가표준(KS)은 디지털 트윈 국토와 관련된 시리즈 표준과 제조 관련 시리즈 표준이 제정되어 있다. 이 중 제조 분야 표준은 ISO 국제 표준을 준용한 표준이다.

표 2 디지털 트윈 관련 국가 표준 현황

No.	표준번호	표준 제목
1	KS X 6807:2022	지리정보-디지털트윈국토-참조모델
2	KS X 6808-1:2022	지리정보-디지털트윈국토-제1부:데이터모델
3	KS X 6808-2:2022	지리정보-디지털트윈국토-제1부:데이터품질
4	KS X 6808-3:2022	지리정보-디지털트윈국토-제1부:메타데이터
5	KS X 6808-4:2022	지리정보-디지털트윈국토-제1부:데이터 제품사양
6	KS X ISO123247-1	자동화시스템통합-제조를 위한 디지털 트윈 프레임워크 제1부: 개요 및 일반원리
7	KS X ISO123247-2	자동화시스템통합-제조를 위한 디지털 트윈 프레임워크 제2부: 참조 구조
8	KS X ISO123247-3	자동화시스템통합-제조를 위한 디지털 트윈 프레임워크 제2부: 제조 요소의 디지털 표현
9	KS X ISO123247-4	자동화시스템통합-제조를 위한 디지털 트윈 프레임워크 제1부: 정보 교환

TTA 단체 표준은 TTA PG(Project Group) 609(CPS) 그룹에서 디지털 트윈 관련 표준을 다루고 있다. 2020년을 기점으로 표준 개발이 활발히 이루어졌으며, 최근 디지털 트윈 연합 기술 개발과 관련한 표준화 작업이 이루어지고 있다.

또한, 농축수산, 스마트시티 등 산업 분야별로 R&D와 연계하여 표준을 제정하고 있으며, 이러한 움직임은 정부의 정책, 글로벌 동향으로 비춰봤을 때 더욱 강화될 것으로 예상된다.

표 3 디지털 트윈 관련 TTA 단체 표준 현황

No.	표준번호	표준 제목
1	TTAK,KO-11,0284-Part1	디지털 트윈 기술을 이용한 제조 - 제1부 유스케이스
2	TTAK,KO-10,1264-Part1	스마트시티 도시행정 디지털 트윈 시스템 - 제1부: 요구사항

No.	표준번호	표준 제목
3	TTAK,KO-10,1346	디지털 트윈 기반 스마트 축사 서비스 요구사항
4	TTAK,KO-10,1264-Part3	스마트시티 도시행정 디지털 트윈 시스템 - 제3부: 데이터 모델
5	TTAK,KO-10,1264-Part1	디지털 트윈 기반 스마트 수산양식 프레임워크 - 제1부: 요구사항
6	TTAK,KO-10,1423	디지털 트윈에서의 정밀한 위치 및 자세 매핑을 위한 이동단말 정보 전달 메시지 명세
7	TTAK,KO-11,0327	디지털 트윈 기능 성숙도 모델
8	TTAK,KO-11,0326-Part2	디지털 트윈 연합 - 제2부: 참조 구조
9	TTAK,KO-11,0284-Part2	디지털 트윈 기술을 이용한 제조 - 제2부 요구사항
10	TTAK,KO-10,1264-Part2	스마트시티 도시행정 디지털 트윈 시스템 - 제2부: 참조구조
11	TTAK,KO-10,1372-Part2	디지털 트윈 기반 스마트 돈사 시스템 - 제2부: 제어 인터페이스
12	TTAK,KO-10,1372-Part1	디지털 트윈 기반 스마트 돈사 시스템 - 제1부: 데이터 수집 인터페이스
13	TTAK,KO-11,0326-Part1	디지털 트윈 연합 - 제1부: 요구사항
14	TTAK,KO-11,0326-Part6	디지털 트윈 연합 - 제6부: 디지털 트윈 객체 데이터 모델
15	TTAK,KO-11,0326-Part5	디지털 트윈 연합 - 제5부: 디지털 트윈 객체 식별체계
16	TTAK,KO-11,0326-Part4	디지털 트윈 연합 - 제4부: 디지털 트윈 특성 정보 데이터 모델
17	TTAK,KO-11,0325	디지털 트윈의 개념 및 속성
18	TTAK,KO-11,0326-Part3	디지털 트윈 연합 - 제3부: 디지털 트윈 식별체계

2.3.2 국제 표준화 동향

국제표준화기구 등 해외의 디지털 트윈 기술 표준화는 국제표준화기구(ISO), 국제전기기술위원회(IEC) 등 주요 국제기구에서 추진되고 있다. 이들 조직은 다양한 산업 전반에 걸쳐 디지털 트윈의 상호 운용성, 보안 및 확장성을 보장하는 글로벌 표준을 만들기 위해 노력하고 있다.

먼저, ISO의 ISO/TC 184/SC 4(산업 데이터) 위원회는 산업 데이터에 중점을 두고 제조 및 기타 산업 응용 분야에서 디지털 트윈의 상호운용성에 대한 표준을 개발하는 데 중요한 역할을 하고 있다. 특히, 우리나라가 표준 개발에 있어 주도적으로 참여하고 있다.

표 4 ISO/TC 184/SC 4 디지털 트윈 표준 현황

No.	표준번호	표준 제목
1	ISO 23247-1	Automation systems and integration - Digital twin framework for manufacturing - Part 1: Overview and general principles
2	ISO 23247-2	Automation systems and integration - Digital twin framework for manufacturing - Part 2: Reference architecture
3	ISO 23247-3	Automation systems and integration - Digital twin framework for manufacturing - Part 3: Digital representation of manufacturing elements
4	ISO 23247-4	Automation systems and integration - Digital twin framework for manufacturing - Part 4: Information exchange
5	ISO/AWI 23247-5 (개발 중)	Automation systems and integration - Digital twin framework for manufacturing - Part 5: Digital thread for digital twin
6	ISO/AWI 23247-6 (개발 중)	Automation systems and integration - Digital twin framework for manufacturing - Part 6: Digital twin composition
7	ISO/TR 24464	Automation systems and integration - Industrial data - Visualization elements of digital twins
8	ISO/CD TR 24464 (개발 중)	Automation systems and integration - Industrial data - Visualization elements of digital twin - Visualization fidelity

다음으로 ISO/IEC JTC 1/SC 41(IoT 및 디지털 트윈) 위원회는 IoT 및 관련 기술에 초점을 맞춘 기술 위원회다. 디지털 트윈의 용어 정의, 참조구조, 성숙도 모델 등 기반이 되는 기술 표준화가 이루어지고 있다. 중국은 제조, 에너지, 스마트시티, 헬스케어 등 다양한 활용 사례에 관한 기술보고서를 제안한 바 있다. 이 위원회는 우리나라가 간사국으로 실질적인 위원회 조직과 활동을 총괄하고 있으며, 표준 개발도 중국과 더불어 주도적으로 수행하고 있다.

표 5 ISO/IEC JTC 1/SC 41 디지털 트윈 표준 현황

No.	표준번호	표준 제목
1	ISO/IEC 30188	Digital Twin - Reference Architecture
2	ISO/IEC 30186 (개발 중)	Digital twin - Maturity model and guidance for a maturity assessment
3	ISO/IEC 30173 (개발 중)	Digital twin - Concepts and terminology
4	PWI JTC1-SC41-16 (논의 중)	Digital Twin - Extraction and transactions of data components

No.	표준번호	표준 제목
5	PWI JTC1-SC41-17 (논의 중)	Guidance on the integration of IoT and digital twins in data spaces
6	ISO/IEC TR 30172	Digital twin - Use cases
7	TR JTC1 - SC41 -11 (논의 중)	Digital Twin - Correspondence measure of DTw twinning

국제조약기구 중의 하나인 ITU-T에서도 2015년 SG20(IoT 및 스마트시티)를 신설하고 스마트시티 관련 디지털 트윈 기술에 대한 표준을 개발하고 있다. SG20은 우리나라가 의장국이며 JTC 1/SC 41처럼 우리나라와 중국이 주도적으로 표준을 개발하고 있다. 연구반의 활동 범위에 따라 현재는 스마트시티와 직접적으로 관련된 디지털 트윈 기술 중심으로 표준을 개발하고 있다.

표 6 ITU-T SG20 디지털 트윈 표준 현황

No.	표준번호	표준 제목
1	Y.4600	Requirements and capabilities of a digital twin system for smart cities
2	Y.4601	Requirements and capability framework of a digital twin for smart firefighting
3	Y.4224	Requirements for digital twin federation in smart cities and communities
4	Y.4889	Reference architecture of digital twin federation in smart cities and communities
5	Y.4605	Information exchange model for digital twin federation in smart cities and communities
6	Y.dt-IWCS (개발 중)	Requirements and capability framework of digital twin for intelligent water conservancy system
7	Y.dt-SCom Cam(개발 중)	Common requirements and capability framework of digital twin for smart complex and campus
8	YSTR_BP-D Tw(개발 중)	Best Practices for Graphical Digital Twins of Smart Cities
9	Y.Suppl.73	ITU-T Y.4600 - Concept and use cases of a digital twin in smart sustainable cities

JTC 1/SC 41은 프레임워크, 성숙도, 요구사항 등 디지털 트윈 기술 자체에 대한 표준이 개발되고 있는 반면, ITU-T SG20에서는 스마트시티 분야에 중심을 두고 표준이 개발되고 있는 특징이 있다.

이러한 국제기구 외에 주요국에서도 디지털 트윈에 관한 표준 개발을 적극 추진하고 있다. 미국은 NIST

(National Institute of Standards and Technology) 주도로 디지털 트윈의 신뢰성, 혁신, 생태계 조성을 위해 표준 개발에 중점을 두고 있다 [7]. 독일은 자국의 강점인 제조업을 중심으로 한 Industrie 4.0 이니셔티브에서 제조 분야 디지털 트윈의 사용을 강조하면서, DIN(독일 표준화 연구소)과 DKE(독일 전기전자정보 기술위원회)를 통해 국제 표준화 노력에 적극적으로 참여하고 있다. 특히, 독일 표준화 로드맵 인더스트리 4.0(ver.5, '23.1)[8]을 통해 지속 가능성, 회복 탄력성 및 상호운용성 향상을 위한 표준 개발을 권장하고 있다.

3. 향후 표준화 방향

앞서 살펴봤듯이 디지털 트윈은 IoT, AI, 클라우드 컴퓨팅 등 최신 기술을 활용하여 제조, 스마트시티, 헬스케어 등 다양한 산업에 적용하고자 하는 노력이 이루어지고 있다. 이와 더불어 지속 가능하고 혁신적인 디지털 트윈 시스템을 만들기 위해 우리나라는 물론, 미국, 독일, 중국 등에서는 표준 개발을 위한 정책을 마련하고 적극적인 표준 개발 노력을 기울이고 있음을 알 수 있다.

디지털 트윈은 다가오는 우리의 사회, 산업, 생활 전반을 아우르는 기본 시스템으로 자리 잡게 될 것이며, 한 걸음 더 발전하기 위해서는 아래와 같은 방향에서도 표준화가 이루어져야 한다.

먼저, 디지털 트윈은 다양한 데이터 수집 장치로부터 방대한 양의 데이터를 수집·저장·처리하므로 데이터 보안과 개인정보 보호가 무엇보다 중요하다. 특히, 헬스케어, 자율주행 등 기술 적용 분야별로 정보를 보호하고 데이터 보호 규정을 준수하려면 표준화된 보안 프로토콜과 개인 정보 보호를 위한 표준화가 필요할 것이다.

다음으로 제조 분야, 스마트 시티 등의 분야에서 디지털 트윈 파일럿 프로젝트와 구현 가능성을 보였지만, 디지털 트윈 기술을 더 크고 복잡한 시스템으로 확장하는 것은 여전히 과제로 남아 있다. 이를 위해서는 개방형 아키텍처를 통해 장비와 장비 간, 장비와 SW간, SW와 SW 간의 상호운용성과 유연성 확보를 위한 표준화가 필요하다. 따라서, 기존에 만들어진 디지털 트윈 참조구조, 요구사항, 인터페이스 등의 표준을 기반으로 융합 분야별 기술적 특성, 활용 데이터를 기반으로 인터페이스 표준, 공동 서비스 표준 등의 개발이 필요할 것이다. 또한, 시스템을 확장했을 때 상

호운용성, 안정성, 신뢰성 등을 확인할 수 있는 시험이나 성능측정에 관한 표준도 필요할 것으로 본다.

끝으로, 최근 디지털 기술의 혁신과 발전은 기업이나 경제 성장을 넘어 지속 가능한 발전, 포용적 경제·사회 구현, 국가의 안보와 회복성 강화 등의 가치를 구현하는 수단으로 활용되고 있다. 따라서, 디지털 트윈 기술 또한 안전하고 책임있는 개발과 활용을 위한 거버넌스 모델과 윤리적인 가이드에 대한 표준이 마련되어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] TTA 정보통신용어사전, https://terms.tta.or.kr/dictionary/dictionaryView.do?word_seq=099931-9
- [2] “한국판 뉴딜 2.0, 초연결 신산업분야의 핵심” 『디지털 트윈 활성화 전략』, 2021. 9. 6.
- [3] TTA ICT 표준화 전략맵 Ver.2024, pp.18, 2024.
- [4] KS AISO/IEC Guide2 :1996(표준화 및 관련활동-일반 어휘), pp.2~4, 1996.
- [5] 국가표준기본법(법률 제15643호) 제3조(정의), 2018. 6. 12.
- [6] <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2023/05/US-Gov-National-Standards-Strategy-2023.pdf>
- [7] <https://www.nist.gov/news-events/news/2024/01/nist-launches-exploratory-digital-twins-study>
- [8] GERMAN STANDARDIZATION ROADMAP INDUSTRIE 4.0, 2023.1

약 력



차 순 일

1999 한양대학교 산업공학과 졸업(학사)
 2001 KAIST 산업공학과 졸업(석사)
 2006~2012 한국정보통신기술협회 SW시험인증센터 시험인증팀장
 2013~2014 한국정보통신기술협회 SW전략기획팀장
 2015~2017 한국정보통신기술협회 시스템안전성 센터장
 2018~2019 한국정보통신기술협회 지능정보융합 SW단장
 2020~2022 한국정보통신기술협회 AI디지털융합단장
 2023 한국정보통신기술협회 AI융합표준단장
 2024~현재 한국정보통신기술협회 표준기획단장
 관심분야: SW·인공지능 안전·신뢰성, 디지털 기술 표준, 디지털트윈
 Email : sicha@tta.or.kr