

디지털 트윈 국제표준화 현황 및 전망

Digital Twin Standardization: Trends and Future Prospects

유상근 (S.K. Yoo, lobbi@etri.re.kr)
선경재 (K.J. Sun, kjsun@etri.re.kr)
김성혜 (S.H. Kim, shkim@etri.re.kr)

융합표준연구실 책임연구원/표준전문위원
융합표준연구실 선임연구원
융합표준연구실 책임연구원

ABSTRACT

Digital twins are gaining attention and traction across various industries and societies owing to their potential for technological advancement, utilization, and service innovation. Digital twins involve creating a software system that mirrors a real-world entity, enabling them to interact and cooperate, therefore resembling interaction between a real-world entity and a digital twin. By recognizing the importance of this technology, international standardization efforts for digital twins are actively underway toward enhancing its application across various industrial sectors. We aims to provide an overview of the current status and future prospects of digital twin standardization, focusing on the ISO/TC 184/SC 4 and ISO/IEC JTC 1/SC 41 efforts.

KEYWORDS digital replica, digital representation, digital twin, 디지털 복제, 디지털 트윈, 디지털 표현

1. 서론

급격한 디지털 변환이 산업 전반에 걸쳐 혁신을 가속화하고 있는 흐름 속에서, 디지털 트윈은 물리 세계와 가상 세계를 연결하는 핵심 기술로 부상하고 있다.

디지털 트윈은 단순히 물리적 실체의 정교한 디지털 복제본을 넘어, 실시간 모니터링, 시뮬레이션, 제어를 가능하게 하는 강력한 기술로 제조, 건강 관리, 에너지, 운송 등 다양한 분야에서 효율성 향상,

예측 유지 보수, 혁신적인 제품 개발을 위한 핵심 요소로 자리 잡고 있다.

제조 분야에서는 생산 공정의 최적화, 제품 수명 주기 관리, 예측 유지 보수를 통해 효율성을 크게 향상시킬 수 있으며, 의료 분야에서는 환자 개인의 맞춤형 치료 계획 수립, 수술 시뮬레이션, 의료 기기 개발에 활용될 수 있다. 에너지 분야에서는 에너지 시스템의 효율성을 극대화하고, 송전망 관리를 최적화하며, 재생 에너지 발전을 촉진하는 데 기여할 수 있다.

* DOI: <https://doi.org/10.22648/ETRI.2024.J.390308>

* 이 논문은 2024년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2022-0-00866, 대규모 확장성 및 고신뢰 분산 시뮬레이션을 지원하는 제조 디지털 트윈 프레임워크 기술 개발).

디지털 트윈이 제조에서 에너지 분야에 이르기까지 산업 전반에 적용됨에 따라 다양한 플랫폼 및 애플리케이션 간의 상호 운용성, 보안, 신뢰성을 보장하기 위한 국제표준의 필요성이 점점 더 증가하고 있다.

본고는 산업 전 분야에 걸쳐 활용될 것으로 전망되는 디지털 트윈의 국제표준화 현황 및 전망을 ISO 및 JTC 1을 중심으로 소개하고자 한다.

II. 디지털 트윈 국제표준화 현황

1. ISO/TC 184/SC 4/WG 15

가. 일반 사항

ISO/TC 184/SC 4는 산업 데이터 표준을 개발하는 위원회로, 이 중 WG 15는 디지털 제조 관련 표준화를 담당하고 있다. WG 15는 ISO 10303-238(CNC, 컴퓨터 수치 제어 관련) 시리즈 표준과 제조 디지털 트윈 프레임워크 표준인 ISO 23247(Digital Twin Framework for Manufacturing) 시리즈 표준을 개발하고 있다.

특히, ISO 23247은 디지털 트윈 분야의 첫 번째 국제표준으로, ETRI 주도하에 신규 표준화 제안 4건이 제출되었다. 회원국의 투표를 거쳐 2018년 1월에 4부로 구성된 ISO/NP 23247 표준개발안으로 승인되었으며, 제안자 4명이 프로젝트 리더로 임명되어 프로젝트가 시작되었고, 이후 2021년 9월에 국제표준으로 정식 승인되었다.

현재 WG 15는 ISO 23247 표준의 후속으로 디지털 트윈을 위한 디지털 스레드 표준과 다중 디지털 트윈 구성에 대한 표준 및 디지털 트윈을 이용한 반도체 잉곳 공정 관리에 대한 기술보고서를 개발하고 있다.

ISO 23247은 제조 현장에 있는 다양한 제조 자원 중 인력, 장비, 재료, 공정, 설비, 환경, 제품 및 지원

문서 등 여덟 종류의 제조 자원을 대상으로 디지털 트윈을 만들기 위한 프레임워크를 정의하고, 물리 객체와의 연결 및 동기화를 통해 제조 공정에서의 실시간 제어, 예측 유지 관리, 빅데이터 분석 등을 통해 이상 현상 감지, 공정 최적화 등을 제공하는 것을 목표로 한다. 현재까지 제정된 4개의 파트와 개발 중인 3개의 프로젝트는 다음과 같다.

나. 현황

- 1) ISO 23247-1:2021, Digital twin framework for manufacturing – Part 1: Overview and general principles(개요 및 일반 원리)

Part 1은 디지털 트윈을 이용한 제조의 개요, 공통 용어와 요구사항 등을 정의한다[1]. 제조를 위한 디지털 트윈은 제조 과정의 자원들을 모니터링하고 제어하며 관련 데이터를 수집하여 디지털 트윈으로 관리한다. 이를 통하여 제조 자원의 관리, 데이터 분석을 통한 현황 파악 및 예측과 시뮬레이션 등을 지원하는 응용 서비스가 탑재된다.

디지털 트윈의 특성상 사물인터넷 기술을 바탕으로 구성되는데 그림 1은 제조 환경에서 사물인터넷 기술을 이용한 디지털 트윈의 프레임워크를 보여준다.

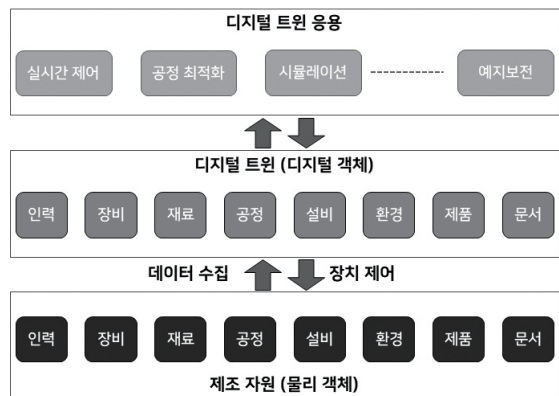


그림 1 사물인터넷 기반의 제조 디지털 트윈

그림 1의 데이터 수집 및 장치 제어는 사물인터넷 기술을 바탕으로 제조 자원으로부터 데이터를 획득하거나 제조 자원을 제어하는 기능을 수행한다.

2) ISO 23247-2:2021, Digital twin framework for manufacturing – Part 2: Reference architecture(참조구조)

Part 2는 디지털 트윈 제조를 위한 참조구조를 정의한다[2]. 전술한 바와 같이 디지털 트윈 기술의 특성상 사물인터넷 기술에 바탕을 두고 있으며 사물인터넷 참조구조 표준인 ISO/IEC 30141(Internet of Things (IoT) - Reference Architecture)을 디지털 트윈 제조 환경에 맞게 확장하였다. 디지털 트윈 제조를 위하여, 기능과 역할에 따라 도메인과 도메인 내 시스템 객체를 정의하고 시스템 객체가 제공해야 하는 기능을 기능 객체로 정의하였다.

그림 2는 기능 관점에서 정의된 참조구조로, 시스템 객체가 제공해야 하는 기능을 정의한 기능 객체를 포함한다.

3) ISO 23247-3:2021, Digital twin framework for manufacturing – Part 3: Digital representation of manufacturing elements(제조 요소의 디지털 표현)

Part 3은 제조 디지털 트윈에 포함되는 제조 자원들의 기본 정보 요소를 정의하고 있다[3]. 본 표준에서 정의한 여덟 종류의 제조 자원에 대한 식별자와 특성, 상태 등을 표현하기 위한 정보 모델 및 해당 정보를 표현하기 위해 사용할 수 있는 표준들을 명시하였다.

제조 자원을 디지털 트윈으로 표현할 때 포함되어야 하는 정보 요소로, 식별자는 반드시 포함되어야 하지만 나머지 자원의 특성이나 해당 제조 자원이 투입되는 스케줄, 상태 등은 응용에 따른 선택사항으로 정의하였다.

4) ISO 23247-4:2021, Digital twin framework for manufacturing – Part 4: Information exchange(정보교환)

Part 4는 제조 디지털 트윈 참조구조를 바탕으로

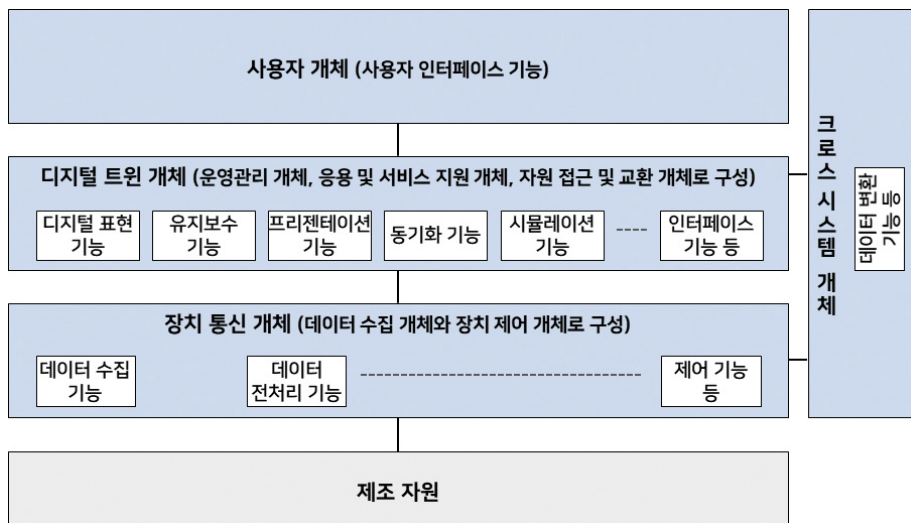


그림 2 디지털 트윈 참조구조-기능 관점

각 개체 간 정보교환을 위한 네트워크 및 요구사항을 정의한다[4]. Part 4는 제조 현장과 디지털 트윈 사이의 데이터 연결을 통해 실시간 제어와 모니터링을 비롯한 다양한 응용 서비스를 위한 네트워크 관점의 기능을 정의하였다. 부록에서는 디지털 트윈이 제조 분야에 적용되어 동작하는 방식에 대한 이해를 돕기 위하여 동적 스케줄링 관리 등을 포함하는 3개의 유스케이스를 제공한다.

또한, 디지털 트윈 참조구조를 바탕으로 정보를 교환하기 위한 네트워킹 관점에서 정보 교환 주체, 정보 교환을 위한 프로토콜 등을 명시하고 있다.

5) ISO/WD 23247-5, Digital twin framework for manufacturing – Part 5: Digital thread for digital twin(디지털 스레드)

디지털 스레드는 제품 생애주기에 걸쳐 발생하는 모든 데이터를 연결하여 정보의 일관성 및 추적성을 제공할 수 있는 정보 체계이다. Part 5는 제조 디지털 트윈에서 디지털 스레드를 사용하기 위한 요구사항 및 기능을 정의하는 것을 목표로 한다[5]. 디지털 스레드와 관련된 기초적인 표준개발이 되지 않은 상황에서 현재 WG 15는 디지털 트윈을 위한 디지털 스레드의 개념을 정립하기 위한 논의를 진

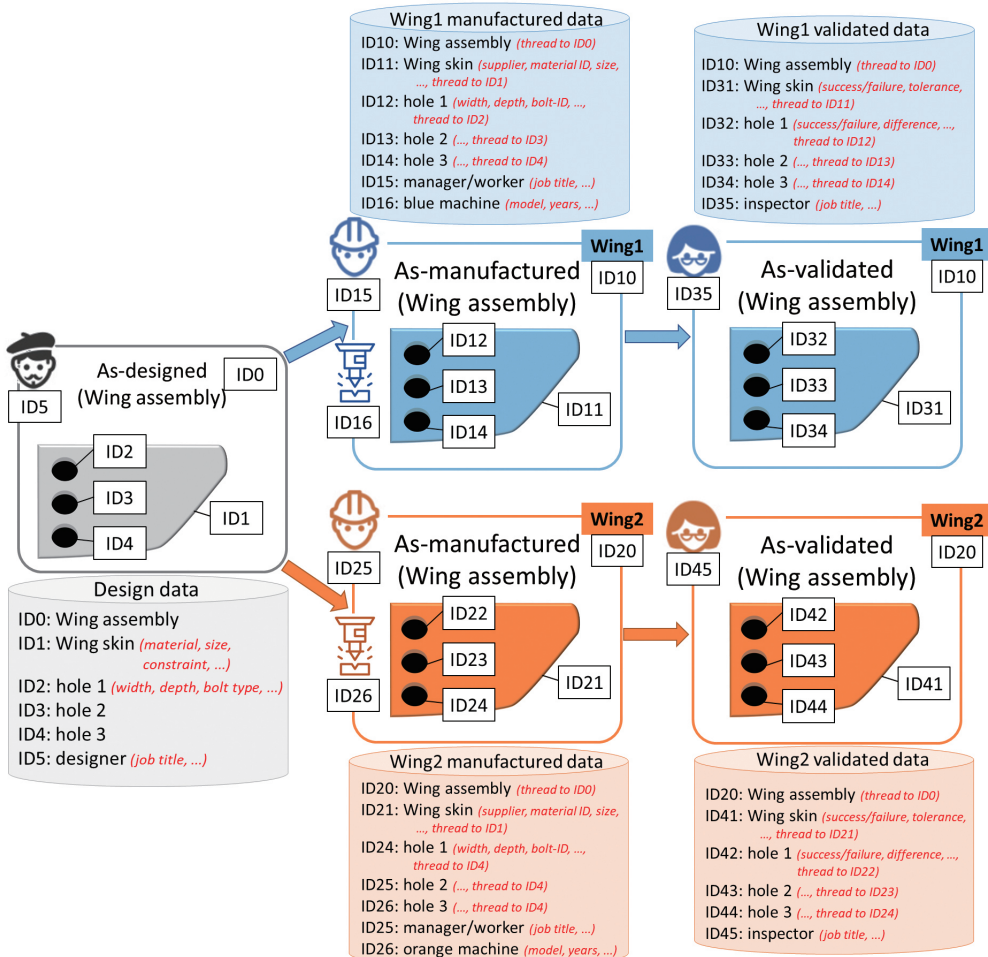


그림 3 디지털 스레드를 이용한 제조 단계별 데이터의 연결 예제

행하고 있으며, 이를 기반으로 디지털 트윈과의 연동 방안과 관련 유스케이스를 개발할 예정이다.

Part 5는 ETRI의 주도로 2023년에 신규 표준개발을 위한 NP가 승인되었고, 2024년에 CD 회람을 통해 2025년에 최종 승인을 목표로 하고 있다.

그림 3은 제품의 디자인 단계부터 제조와 검수 단계까지 생성되는 데이터와 이들 간의 연관관계를 디지털 스펙트럼을 이용하여 개념적으로 표시하였다.

6) ISO/WD 23247-6, Digital twin framework for manufacturing - Part 6: Digital twin composition(디지털 트윈 컴포지션)

디지털 트윈 컴포지션은 여러 개의 디지털 트윈을 연결하여 하나의 통합된 디지털 트윈을 만들기

위한 절차와 요구사항을 정의한다[6]. 필요할 때마다 디지털 트윈을 새로 구성하는 것이 아니라 기존에 존재하는 디지털 트윈들을 서로 연결하고 재구성하여 새로운 디지털 트윈이 수행해야 하는 기능을 지원함으로써 디지털 트윈의 재사용성을 높인다.

복잡한 제조 공정을 다수의 디지털 트윈으로 구성하여 관리함으로써 제조 공정의 최적화 및 효율 향상 등이 기대된다. Part 5와 마찬가지로 ETRI의 주도로 2023년에 신규 표준개발을 위한 NP가 승인되었고, 2024년도 CD 회람을 통해 2025년에 최종 승인을 목표로 한다.

그림 4는 디지털 트윈 컴포지션을 이용하여 다중 디지털 트윈을 구성하는 개념과 단계를 보여준다. 디지털 트윈 컴포지션은 디지털 트윈을 레고 블록

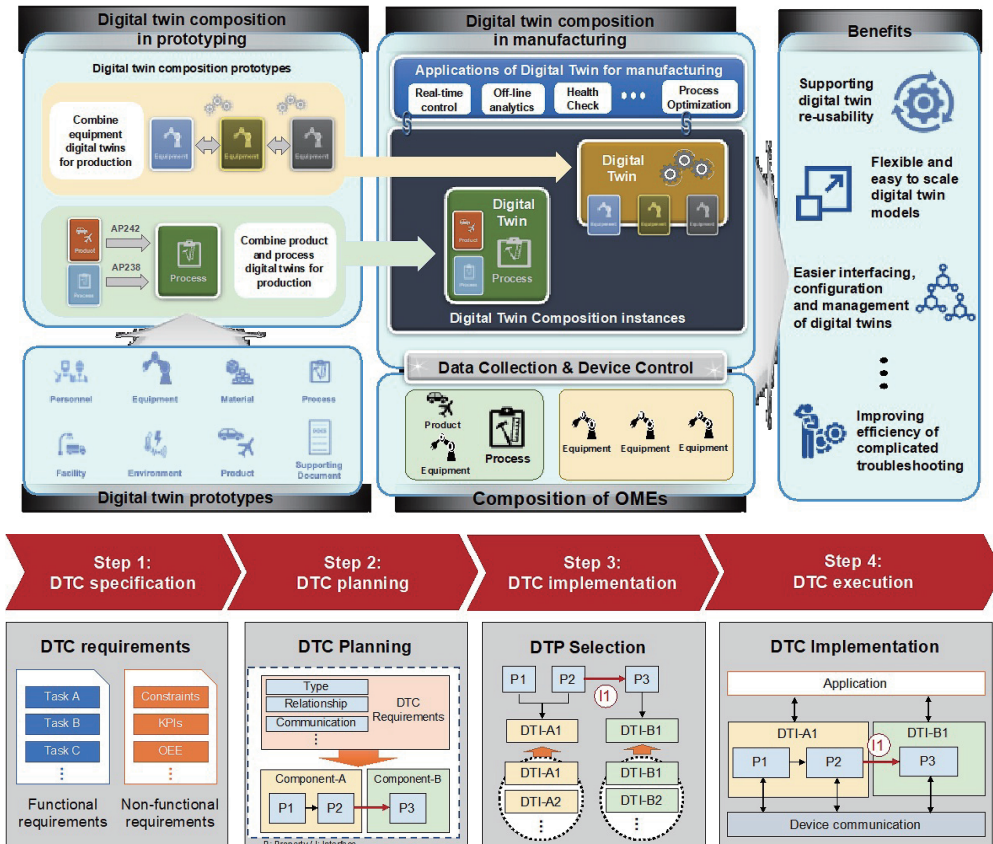


그림 4 디지털 트윈 컴포지션 개념 및 컴포지션 절차

과 같이 이미 존재하는 개별의 디지털 트윈을 결합하여 더 크고 복잡한 태스크 처리가 가능한 디지털 트윈을 생성하는 것을 목적으로 한다.

7) ISO/TR/WD 23247-100, Digital twin framework for manufacturing - Part 100: Technical Report - Use case on management of semiconductor ingot growth process(반도체 잉곳 성장 공정 관리를 위한 디지털 트윈 유스케이스)

Part 100은 ISO 23247 제조 디지털 트윈 프레임워크의 유스케이스 기술보고서로서, 반도체 잉곳 성장 공정에 디지털 트윈을 적용하는 예시를 포함한다[7]. 반도체 잉곳을 위한 재료의 선택에서부터 성장 공정 중에 수집되는 공정 정보를 디지털 트윈으로 분석하고 공정 파라미터를 조정함으로써 불량률을 줄이고 일관된 품질을 확보하는 것을 목표로, ETRI 주도로 2023년 개발이 시작되었으며 2024년 기술보고서로 발간될 예정이다.

다. 전망

제품 수명 주기 동안의 데이터 관리, 디지털 트윈의 재활용 등을 포함하는 다중 디지털 트윈 관리 등은 제조 현장에 표준 기반의 디지털 트윈을 적용하기 위한 매우 필수적인 기술 요소이다. 이를 위해 WG 15는 ISO 23247 표준을 확장하여, 디지털 트윈의 실제 운영 환경을 반영한 디지털 스레드 구축과 여러 디지털 트윈의 연결을 통해 하나의 디지털 트윈을 구성하는 절차 등의 후속 표준개발을 진행하고 있다. 더불어, 반도체 잉곳 성장 공정관리를 위한 디지털 트윈 사용 사례에 대한 기술보고서 작성을 시작으로, 다양한 제조 분야에서 디지털 트윈의 적용 가능성을 탐색하는 여러 유스케이스 개발을 계획하고 있다.

또한 디지털 트윈을 위한 ISO 10303(STEP: 제품 모델 데이터 교환 표준) 추가 모델을 정의하는 등의 노력을 지속하고 있다.

ETRI 표준연구본부 융합표준연구실은 이에 대응하여 관련 표준화 회의에 적극적으로 참석하고 있으며, 신규 표준화 아이템 발굴 노력과 함께 선도적인 표준화 전략 수립을 통한 표준화 주도권 확보를 위해 노력하고 있다.

2. ISO/IEC JTC 1/SC 41/WG 6

가. 일반 사항

ISO/IEC JTC 1/SC 41은 사물인터넷과 디지털 트윈을 표준화하는 그룹으로, 디지털 트윈 표준화를 위하여 WG 6(디지털 트윈)을 2020년에 신설하였다. ISO/TC 184/SC 4/WG 15보다는 상대적으로 늦게 표준화를 시작하였다.

WG 6는 디지털 트윈 표준화를 위하여, 디지털 트윈의 개념 및 용어와 유스케이스 표준을 먼저 개발하기 시작하였으며, 이후 참조구조와 디지털 트윈 성숙도 모델 등을 개발하고 있다.

WG 6에서 제정한 표준과 현재 개발 중인 표준은 다음과 같다.

나. 현황

1) ISO/IEC TR 30172:2023, Digital twin - Use case(디지털 트윈 유스케이스)

ISO/IEC TR 30172는 스마트 빌딩, 제조, 스마트 시티, 스마트 에너지 등 디지털 트윈 기술을 적용할 수 있는 14개의 활용 예를 소개하는 기술보고서로 2023년에 승인되었다[8].

- 스마트 빌딩 운영
- 스마트 산업 단지 디자인 및 건설
- 스마트 시티 운영 시스템

- 대규모 석유 및 가스 처리 시설을 위한 디지털 트윈의 구축 및 적용
- 수질 모니터링
- 스마트 그리드 운영
- 건설 단계 디지털 트윈 등

2) ISO/IEC 30173:2023, Digital twin – Concepts and terminology(개념 및 용어)

ISO/IEC 30173은 디지털 트윈의 개념 및 공통 용어를 정의하는 표준으로, 디지털 트윈 용어 정의, 디지털 트윈 시스템, 수명 주기 프로세스, 유형 등 관련 개념을 설명하고 디지털 트윈의 기능적 관점을 서술하였다[9].

디지털 트윈 기술을 활용하는 다양한 산업 분야에서 디지털 트윈 시스템 개발 및 활용에 있어 일관성 있는 용어 사용과 상호 이해를 돕기 위해 개발되었다.

3) ISO/IEC/CD 30186, Digital twin – Maturity model and guidance for a maturity assessment(디지털 트윈 성숙도 모델 및 성숙도 평가를 위한 가이드라인)

ISO/IEC 30186은 디지털 트윈 기술의 성숙도(발전단계)를 정의하는 표준으로, 물리적 트윈과 디지털 트윈의 결합도 측면, 디지털 트윈이 지원하는 기능 측면, 지원되는 응용 측면과 시각 정보의 활용 측면 등 4가지 측면에서 5단계로 정의하고, 이에 따라 디지털 트윈의 기술 성숙도를 평가하기 위한 가이드라인을 정의한다[10].

CD 회람 단계에서 신뢰성 측면의 성숙도 정의에 대한 필요성과 함께 단계별 명칭 수정이 제안되었다. 현재 개발 단계로 성숙도의 각 측면과 단계별 명칭은 표준이 개발됨에 따라 변경될 가능성이 있다.

현재 디지털 트윈 성숙도는 모델은 결합도, 기능,

신뢰성 등 5가지 관점에서 5단계 평가를 위한 질문을 포함하였으며, 이를 통하여 상위 단계의 디지털 트윈 개발에 활용하는 것을 목적으로 한다.

• 결합도 측면(Convergence Aspect)

- | | |
|-------------------|--------------------|
| 1단계: Static | 4단계: Collaborative |
| 2단계: Connected | 5단계: Unified |
| 3단계: Synchronized | |

• 기능 측면(Capability Aspect)

- | | |
|-----------------|-----------------|
| 1단계: Mirroring | 4단계: Federated |
| 2단계: Monitoring | 5단계: Autonomous |
| 3단계: Predictive | |

• 응용 측면(Integrated View Aspect)

- | | |
|--------------------|------------------|
| 1단계: Task-specific | 4단계: Augmented |
| 2단계: Connected | 5단계: Supervising |
| 3단계: Preventive | |

• 시각 정보 측면(Time Aspect)

- | | |
|--------------------|-----------------|
| 1단계: Un-linked | 4단계: Aligned |
| 2단계: Linked | 5단계: Integrated |
| 3단계: Parameterized | |

• 신뢰성 측면(Trustworthiness Aspect)

- | | |
|---------------|----------------|
| 1단계: Integral | 4단계: Validated |
| 2단계: Secured | 5단계: Trusted |
| 3단계: Reliable | |

4) ISO/IEC/WD 30188, Digital twin – Reference architecture(디지털 트윈 참조구조)

ISO/IEC 30188은 시스템 특성, 참조모델 및 구조 관점에서 디지털 트윈의 참조구조를 정의하는 것을 목적으로 한다[11].

이를 위하여 참조구조의 관점을 기초 관점(Foundational View), 기능 관점(Functional View), 비즈니스 관점(Business View), 구현 관점(Implementation View) 및 상호운용 관점(Interoperability View)과 구성 관점

(Construction View)으로 분류하였고, 각각의 관점에 따른 특성과 기능 요구사항을 정의한다.

다. 전망

ISO/IEC JTC 1/SC 41/WG 6는 디지털 트윈의 개념과 용어정의, 유스케이스 표준을 시작으로 현재 성숙도 모델과 참조구조 표준을 중점적으로 개발하고 있다. 지면 관계상 모두 소개하지 못했지만 디지털 트윈의 데이터 컴포넌트 추출 및 처리, 데이터 중심의 사물인터넷과 디지털 트윈의 통합, 디지털 트윈 객체 모델링 등도 개발되고 있다.

다양한 기술에 대한 디지털 트윈 표준이 개발되고, 실제 산업 분야에 적용될수록 MSS(Management System Standard, 경영 시스템 표준)의 중요도가 부각될 것으로 예상된다.

MSS는 조직의 효율적인 운영과 지속적인 개선을 위한 프레임워크를 제공하는 일련의 국제표준으로 디지털 트윈 기술을 적용하는 기업 및 조직의 성과 향상, 효율성 증대, 위험 감소, 규정 준수 및 고객 만족 향상 등을 목표로 한다.

ETRI 표준연구본부 융합표준연구실은 향후 디지털 트윈 관련 MSS 개발을 위해 현재 기초 자료 수집과 관련 연구를 진행할 예정이며, 향후 SC 41 내 디지털 트윈 MSS 관련 그룹의 설립 및 표준화 기반 조성을 위한 전략을 구상하고 있다.

III. 결론

본고는 디지털 트윈 기술의 국제표준화 현황과 전망을 ISO/TC 184/SC 4와 ISO/IEC JTC 1/SC 41을 중심으로 살펴보았다.

ISO/TC 184/SC 4는 제조업 및 관련 프로세스 데이터의 표준화에 초점을 맞추고 있으며, ISO/IEC JTC 1/SC 41은 사물인터넷(IoT)과 관련된 디지털

트윈 기술의 표준화를 주도하고 있다.

디지털 트윈 국제표준화는 디지털 트윈의 상호운용성, 보안, 효율성을 향상시키고, 국제적인 협력과 지식 공유를 촉진하며, 디지털 트윈의 상업적 활용 가능성을 크게 향상시킬 것으로 예상된다. 이를 통하여 디지털 트윈이 폭넓게 채택되고, 다양한 산업 분야에서의 혁신을 촉진하는 기반이 될 것으로 전망한다.

ETRI 표준연구본부 융합표준연구실은 ISO/TC 184/SC 4와 ISO/IEC JTC 1/SC 41을 포함하여 ITU-T에서의 적극적인 국제표준화 활동으로 한국의 디지털 트윈 국제표준화 주도권 확보와 다양한 산업으로의 적용을 통한 디지털 전환 가속화에 이바지할 것이다.

참고문헌

- [1] ISO 23247-1:2021, Digital twin framework for manufacturing – Part 1: Overview and general principles.
- [2] ISO 23247-2:2021, Digital twin framework for manufacturing – Part 2: Reference architecture.
- [3] ISO 23247-3:2021, Digital twin framework for manufacturing – Part 3: Digital representation of manufacturing elements.
- [4] ISO 23247-4:2021, Digital twin framework for manufacturing – Part 4: Information exchange.
- [5] ISO/AWI 23247-5, Digital twin framework for manufacturing – Part 5: Digital thread for digital twin.
- [6] ISO/AWI 23247-6, Digital twin framework for manufacturing – Part 6: Digital twin composition.
- [7] ISO/TR/WD 23247-100, Digital twin framework for manufacturing – Part 100: Technical Report – Use case on management of semiconductor ingot growth process: Overview and general principles.
- [8] ISO/IEC TR 30172:2023, Digital twin – Use case.
- [9] ISO/IEC 30173:2023, Digital twin – Concepts and terminology.
- [10] ISO/IEC/CD 30186, Digital twin – Maturity model and guidance for a maturity assessment.
- [11] ISO/IEC/WD 30188, Digital twin – Reference architecture.