

디지털 트윈 국제표준화 현황 및 전망

유상근 한국전자통신연구원 표준연구본부 표준전문위원

1. 머리말

급격한 디지털 변환이 산업 전반에 걸쳐 혁신을 가속화하고 있는 흐름 속, 디지털 트윈은 물리 세계와 가상 세계를 연결하는 핵심 기술로 부상하고 있다. 디지털 트윈은 단순히 물리적 실체에 대한 정교한 디지털 복제본을 넘어섰다. 디지털 트윈은 실시간 모니터링, 시뮬레이션, 제어를 가능케 하는 강력한 기술로서, 제조, 건강관리, 에너지, 운송 등 다양한 분야에서 효율성 향상, 예측 유지 보수, 혁신적 제품 개발을 위한 핵심 요소로 자리 잡고 있다.

예를 들어, 제조 분야에서 디지털 트윈은 생산 공정 최적화, 제품 수명주기 관리, 예측 유지보수를 통해 효율성을 크게 향상시킬 수 있다. 의료 분야의 경우, 환자 개개인의 맞춤형 치료계획 수립, 수술 시뮬레이션, 의료기기 개발에 활용될 수 있다. 에너지 분야에선 에너지 시스템의 효율성을 극대화하고, 송전망 관리를 최적화하며, 재생에너지 발전을 촉진하는데 기여할 수 있다.

디지털 트윈이 제조에서 에너지 분야에 이르기까지 산업 전반에 적용됨에 따라, 다양한 플랫폼 및 애플리케이션 간 상호운용성, 보안, 신뢰성을 보장하기 위한 국제표준의 필요성이 점점 증가하고 있다. 이번 원고는 산업 전 분야에 걸쳐 활용될 것으로 전망되는 디지털 트윈의 국제표준화 현황 및 전망에 대해, ISO 및 JTC 1을 중심으로 소개하고자 한다.

2. 디지털 트윈 국제표준화 현황

2.1 ISO/TC 184/SC 4/WG 15

2.1.1 일반 사항

ISO/TC 1 84/SC 4는 산업 데이터 표준을 개발 하는 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(한국전자통신연구원, Electronics and Telecommunications Research Institute) 주도하에 신규 표준화 제안 4건이 제출됐다. 이는 회원국 투표를 거쳐 2018년 1월 4부로 구성된 ISO/NP 23247 표준개발안으로 승인됐다. 이후 제안자 4명이 프로젝트 리더로 임명돼 프로젝트가 시작됐고, 2021년 9월 국제표준으로 정식 승인됐다.

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

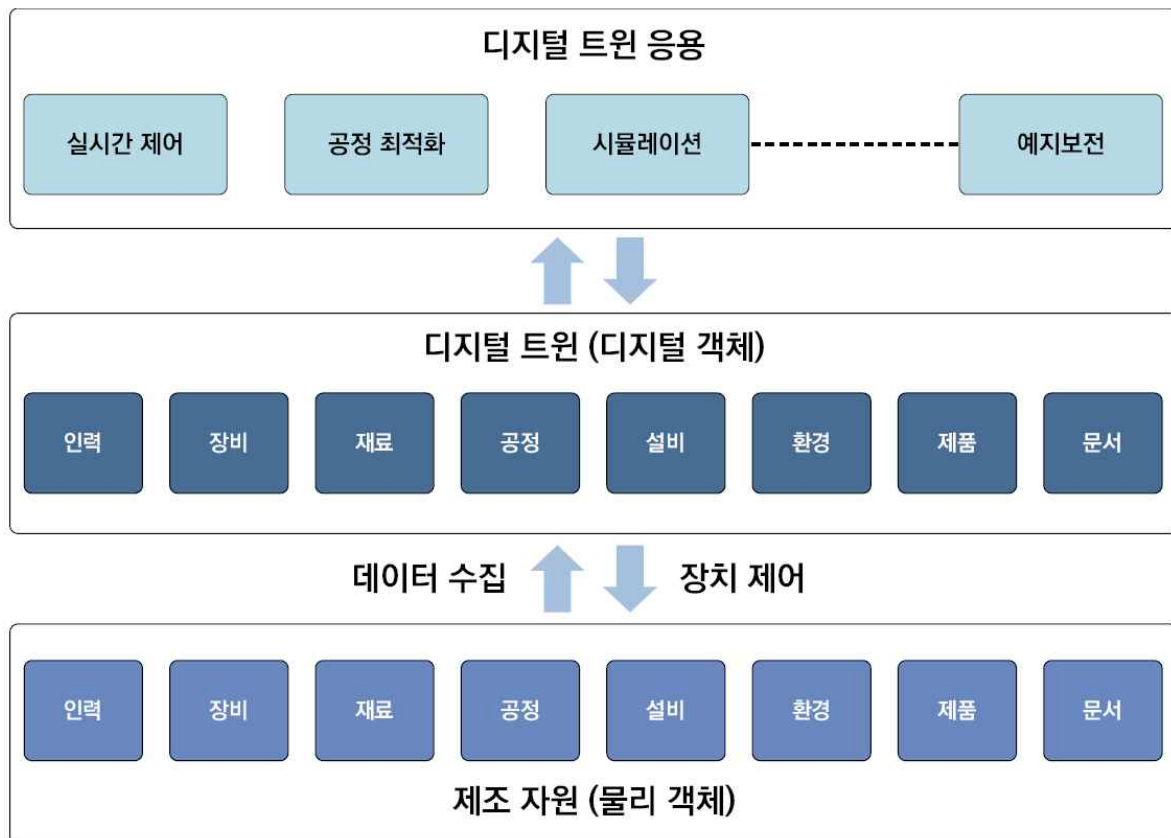
ISO 23247은 제조 현장에 있는 다양한 제조 자원 중 인력, 장비, 재료, 공정, 설비, 환경, 제품, 지원 문서 등 여덟 종류 제조 자원을 대상으로, 디지털 트윈을 만들기 위한 프레임워크를 정의한다. 또한, 물리 객체와의 연결 및 동기화를 통한 제조 공정 실시간 제어, 예측 유지 관리, 빅데이터 분석 등을 바탕으로 이상 현상 감지, 공정 최적화 등을 제공하는 것이 그 목표다. 현재까지 제정된 4개 파트와 개발 중인 3개 프로젝트는 다음과 같다.

2.1.2 현황

1) ISO 23247-1:2021, Digital twin frame-work for manufacturing - Part 1: Over view 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 과정 자원들을 모니터링하고, 제어하며, 관련 데이터를 수집해 디지털 트윈으로 관리한다. 이를 통해 제조 자원 관리, 데이터 분석을 통한 현황 파악 및 예측, 시뮬레이션 등을 지원하는 응용 서비스가 탑재된다.

디지털 트윈의 특성상 이는 사물인터넷(IoT) 기술을 바탕으로 구성되는데, [그림 1]은 제조 환경에서 IoT 기술을 이용한 디지털 트윈의 프레임워크를 보여준다.



[그림 1] IoT 기반 제조 디지털 트윈

[그림 1]의 데이터 수집 및 장치 제어는 IoT 기술을 바탕으로, 제조 자원으로부터 데이터를 획득하거나 제조 자원을 제어하는 기능을 수행한다.

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

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

[그림 2]는 기능 관점에서 정의된 참조구조다. 이는 시스템 객체가 제공해야 하는 기능을 정의한, 기능객체를 포함한다.



[그림 2] 디지털 트윈 참조구조 - 기능 관점

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, 해당 정보를 표현하기 위해 사용할 수 있는 표준들을 명시했다.

제조 자원을 디지털 트윈으로 표현할 때 포함돼야 하는 정보 요소로 식별자는 반드시 포함돼야 한다. 그러나, 나머지 자원의 특성이나 해당 제조 자원이 투입되는 일정, 상태 등은 응용에 따른 선택사항으로 정의됐다.

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

Part 4는 제조 디지털 트윈 참조구조를 바탕으로 각 개체 간 정보교환을 위한 네트워크 및 요구사항을 정의한다[4]. Part 4는 제조 현장과 디지털 트윈 사이 데이터 연결을 통한 실시간 제어·모니터링 등 다양한 응용 서비스를 위한 네트워크 관점의 기능을 정의했다. 부록에선 디지털 트윈이 제조 분야에 적용돼 동작하는 방식에 대한 이해를 돕기 위해, 동적 스케줄링 관리 등을 포함하는 유스케이스 3개를 제공한다.

또한, 디지털 트윈 참조구조를 바탕으로 정보를 교환하기 위한 네트워킹 관점에서, 정보교환 주체 및 정보교환을 위한 프로토콜 등도 명시하고 있다.

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

디지털 스레드는 제품 생애주기에 걸쳐 발생하는 모든 데이터를 연결해 정보의 일관성 및 추적성을 제공할 수 있는 정보 체계다. Part 5는 제조 디지털 트윈에서 디지털 스레드를 사용하기 위한 요구사항 및 기능을 정의하는 것을 목표로 한다[5]. Part 5는 ETRI의 주도로 지난 2023년 신규 표준개발을 위한 NP가 승인됐고, 2025년 DIS 투표를 통해 2026년 최종 승인을 목표로 하고 있다.

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

디지털 트윈 컴포지션은 여러 개 디지털 트윈을 연결해 하나의 통합된 디지털 트윈을 만들기 위한 절차와 요구사항을 정의한다[6]. 필요할 때마다 디지털 트윈을 새로 구성하는 것이 아니라, 기존에 존재하는 디지털 트윈들을 서로 연결하고 재구성해 새로운 디지털 트윈이 수행해야 하는 기능을 지원함으로써, 디지털 트윈의 재사용성을 높인다.

이를 통해 복잡한 제조 공정을 다수 디지털 트윈으로 구성해 관리함으로써, 제조 공정의 최적화 및 효율 향상 등을 기대할 수 있다. Part 5와 마찬가지로, ETRI 주도 하에 2023년 신규 표준개발을 위한 NP가 승인됐고, 2025년도 DIS 투표를 통해 2026년 최종 승인을 목표로 한다.

7) ISO/DTR 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 기술보고서로, 반도체 잉곳 성장 공정에 디지털 트윈을 적용하는 예시를 포함한다[7]. 반도체 잉곳을 위한 재료 선택에서부터 성장 공정 중수집되는 공정 정보를 디지털 트윈으로 분석하고 공정 파라미터를 조정함으로써, 불량률을 줄이고 일관된 품질을 확보하는 것이 목표다. 이 역시 ETRI 주도로 2023년 개발이 시작됐으며 2024년 기술보고서로 발간될 예정이다.

2.1.3 전망

제품 수명주기 동안의 데이터 관리, 디지털 트윈 재활용 등을 포함하는 다중 디지털 트윈 관리 등은 제조 현장에 표준 기반 디지털 트윈을 적용하기 위한 매우 필수적인 기술요소다. 이를 위해 WG 15는 ISO 23247 표준을 확장해, 디지털 트윈의 실제 운영 환경을 반영한 디지털 스레드를 구축하고, 그리고 여러 디지털 트윈을 연결해 하나의 디지털 트윈을 구성하는 절차 등 후속 표준개발을 진행하고 있다. 더불어, 반도체 잉곳 성장 공정 관리를 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 등 여러 노력을 지속하고 있다.

ETRI 표준연구본부 융합표준연구실은 이에 대응해 관련 표준화 회의에 적극적으로 참석하고 있다. 이를 통해 융합표준연구실은 신규 표준화 아이템을 발굴하고, 선도적인 표준화 전략을 수립해 표준화 주도권을 확보하고자 한다.

2.2 ISO/IEC JTC 1/SC 41/WG 6

2.2.1 일반 사항

ISO/IEC JTC 1/SC 41은 IoT와 디지털 트윈을 표준화하는 그룹으로서, WG 6(디지털 트윈)을 2020년 신설했다. ISO/TC 184/SC 4/WG 15보다는 상대적으로 늦게 표준화를 시작했다.

WG 6는 디지털 트윈 표준화를 위해, 디지털 트윈의 개념, 용어, 유스케이스 표준을 먼저 개발하기 시작했으며, 이후 참조구조와 디지털 트윈 성숙도 모델 등을 개발하고 있다. WG 6에서 제정한 표준과 현재 개발 중인 표준은 다음과 같다.

2.2.2 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 14개 활용 예를 소개하는 기술보고서로, 2023년 승인됐다[8].

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

ISO/IEC 30173은 디지털 트윈의 개념 및 공통 용어를 정의하는 표준이다. 디지털 트윈 용어 정의, 디지털 트윈 시스템, 수명 주기 프로세스, 유형 등 관련 개념을 설명하고 디지털 트윈의 기능적 관점을 서술했다[9]. 이는 다양한 산업 분야에서 디지털 트윈 시스템을 개발·활용하는 데 있어, 일관성 있는 용어 사용과 상호 이해를 돕기 위해 개발됐다.

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 기술 성숙도(발전단계)를 정의하는 표준이다. 이는 물리적 트윈과 디지털 트윈의 결합도 측면, 디지털 트윈이 지원하는 기능 측면, 지원되는 응용 측면과 시각 정보의 활용, 신뢰성 등 5가지 측면에서 5단계로 구분하고, 이에 따라 디지털 트윈의 기술 성숙도

를 평가하기 위한 가이드라인을 정의한다[10]. ETRI 주도로 2023년 개발 시작됐으며, 2025년 최종 승인을 목표로 하고 있다.

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 위해, 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 분류했고, 각각의 관점에 따른 특성과 기능 요구사항을 정의한다.

2.2.3 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 중심 IoT와 디지털 트윈의 통합, 디지털 트윈 객체 모델링 등도 개발되고 있다.

다양한 기술에 대한 디지털 트윈 표준이 개발되고, 실제 산업 분야에 적용될수록 MSS(경영 시스템 표준, Management System Standard)의 중요도가 부각될 것으로 예상된다. MSS는 효율적인 조직 운영과 지속적인 개선을 위한 프레임워크를 제공하는 일련의 국제표준으로서, 디지털 트윈을 적용하는 기업 및 조직의 성과 향상, 효율성 증대, 위험 감소, 규정 준수, 고객 만족 향상 등을 목표로 한다.

ETRI 표준연구본부 융합표준연구실은 향후 디지털 트윈 관련 MSS 개발을 위해 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.

3. 맺음말

이번 원고는 디지털 트윈 기술의 국제표준화 현황과 전망에 대해, ISO/TC 184/SC 4와 ISO/IEC JTC 1/SC 41을 중심으로 살펴봤다.

ISO/TC 184/SC 4는 제조업 및 관련 프로세스 데이터 표준화에 초점을 맞추고 있으며, ISO/IEC JTC 1/SC 41은 IoT 관련 디지털 트윈 기술 표준화를 주도하고 있다.

디지털 트윈 국제표준화는 디지털 트윈의 상호운용성, 보안, 효율성을 향상시키고, 국제협력과 지식 공유를 촉진하며, 상업적 활용 가능성을 크게 향상시킬 것으로 예상된다. 이를 통해 디지털 트윈이 폭넓게 채택되고, 다양한 산업 분야의 혁신을 촉진하는 기반이 될 것으로 전망된다.

ETRI 표준연구본부 융합표준연구실은 ISO/TC 184/SC 4와 ISO/IEC JTC 1/SC 41을 포함해 ITU-T에서의 적극적인 국제표준화 활동을 이어갈 것이다. 이를 바탕으로, 우리나라의 디지털 트윈의 국제표준화 주도권을 확보하는 한편, 다양한 산업 적용을 통해 디지털 전환 가속화에도 이바지할 것이다.

※ 본 연구는 2024년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구[No. 2022-0-00866, 대규모 확장성 및 고신뢰 분산 시뮬레이션을 지원하는 제조 디지털 트윈 프레임워크 기술 개발]로, 한국전자통신연구원 전자통신동향분석 제39권 제3호에 게재된 원고를 바탕으로 2024년 11월 기준 표준화 현황을 반영해 투고했다.

[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/CDI 23247-5, Digital twin framework for manufacturing - Part 5: Digital thread for digital twin.
- [6] ISO/CDI 23247-6, Digital twin framework for manufacturing - Part 6: Digital twin composition.
- [7] ISO/DTR 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/DIS 30186, Digital twin - Maturity model and guidance for a maturity assessment.
- [11] ISO/IEC/WD 30188, Digital twin – Reference architecture.

※ 출처: TTA 저널 제216호