

디지털트윈 컨소시엄을 중심으로 한 북미지역의 AI 기술 적용 동향에 관한 연구

김영선, 오희명, 손상우

한국전기연구원

yskim@keri.re.kr, hmoh@keri.re.kr, swson@keri.re.kr

A Study on the application trends of AI technology in North America focused on the Digital Twin Consortium

Young Sun Kim, Hui-Myoung Oh, Sangwoo Son

Korea Electrotechnology Research Institute(KERI)

요 약

북미에서는 디지털트윈 컨소시엄을 중심으로 AI와 디지털트윈의 융합이 다양한 산업에 빠르게 확산되고 있다. 제조, 에너지, 의료 등에서 AI 기반 디지털트윈이 실시간 모니터링, 예측 유지보수, 최적화에 활용되며 운영 효율성을 높이고 있다. AI 기술은 디지털트윈의 정확성·효율성을 강화하며, 특히 예측 분석, 자산 관리, 스마트시티 등 고도화된 응용 분야의 핵심 기술로 부상하고 있다. 북미는 뛰어난 기술 인프라와 산업 연계로 세계 시장을 선도하고 있다. 본 논문에서는 올해 상반기 중 개최된 디지털트윈 컨소시엄의 정회원 회의에서 발표된 북미 지역의 디지털트윈 시스템에 AI 기술 적용 동향과 실증 사례를 언급한다.

I. 서 론

디지털트윈 컨소시엄(Digital Twin Consortium, DTC)은 2020년 Ansys, Autodesk, Bentley Systems, GE, Dell, Northrop Grumman, Microsoft 등 글로벌 리더 기업과 Object Management Group(OMG)이 주도해 설립한 국제 협의체다[1]. DTC는 업계·학계·정부 등 170여 개 단체가 참여, 디지털트윈 기술의 인식 제고, 채택 촉진, 상호운용성 표준 개발, 기술 기준 마련을 주도하고 있다. 주요 목표는 산업별 디지털트윈 프레임워크, 참조 아키텍처, 기술 언어 및 개발 환경 보급, 상호운용 프레임워크 마련 등 산업 전반의 디지털 전환 가속에 있다. 또한 국제적 동반관계, 산학연 협력 네트워크를 통해 기술 보급·확산, 모범 사례 발굴, 정책 협력 및 디지털 기술 인프라 강화에 기여하고 있다[2-4]. 올해 상반기 DTC 정회원 회의에서는 AI 기술을 결합한 디지털트윈이 핵심 기술로서 주목받았으며, 본 논문에서는 이와 관련하여 디지털트윈 시스템에 AI 기술 적용 동향과 실증 사례, 그리고 시사점을 언급하고자 한다.

II. 본론

본문에서는 2025년 3월과 6월에 각각 개최된 디지털트윈 컨소시엄 정회원 회의를 통해 발표된 AI와 관련된 디지털트윈 기술의 동향을 소개한다.

1. AI 도입 중인 디지털트윈 생태계

- 생성형 AI 및 멀티에이전트 시스템 확대: DTC는 “AI Agent Capabilities Periodic Table(AIA CPT)”을 프레임워크로 발표하고 이를 실증 테스트베드에 적용, 다양한 산업 환경에서 AI 기반 자동화·최적화 기능을 구현하고 있다. AI는 더 이상 단일 엔진이 아닌, 복수의 인공지능 에이전트가 협력·경쟁하는 멀티에이전트 구조로 진화하는 것을 목표로 하고 있다. 생산성 향상과 자율 운영, 예측 분석, 복합 의사결정 지원이 확대될 것으로 예상된다.
- 실시간 데이터 연동과 예지 유지보수: 센서, IoT, 엣지 컴퓨팅과의 결합으로 디지털트윈이 실시간 현장 데이터를 수집·분석하고, AI 기반 예지 유지보수, 공정 최적화, 비상 대응, 설비 수명 예측 등 실행 가능한 도구

를 실시간으로 적용하고 있다.

- 산업별 맞춤 AI 에이전트: 제조·에너지·도시·의료 등 업종별 특성에 따라 대화형, 복합 분석형, 완전 자율형 AI 에이전트가 단계적으로 적용되고, 조직 단위의 ‘디지털트윈 오브 오거나이제이션(DTO)’ 도입이 확산되고 있다.

2. DTC AI 전략의 프레임워크 및 평가 체계

- DTC composability 프레임워크: DTC는 디지털트윈 비즈니스 성숙도 모델(Business Maturity Model), 플랫폼 스택 아키텍처, 그리고 Capabilities Periodic Table(CPT)을 활용하여 산업현장에 최적화된 AI 디지털트윈의 구조적 도입을 지원하고 있다. 이를 통해 디지털트윈과 AI의 결합 단계, 장애 요소, 운영 성숙도(5단계) 등을 체계적으로 진단 및 평가, 피드백이 가능하게 된다.
- AI 에이전트 평가 및 우선순위 지정: AI 에이전트 CPT는 45개 AI 에이전트 핵심 역량을 도출, 우선 순위화, 프로젝트별 로드맵 및 구현 가이드를 제공한다. 이는 단순 모델이 아니라 실제 운영환경에 신속 적용 가능한 상호운용성 지침으로 활용될 예정이다.

3. 실증 중심의 Testbed 프로그램 활성화

- 개방형 실증 프로젝트: DTC는 2025년 상반기부터 회원사가 주도하는 디지털트윈 테스트베드 프로그램을 본격화했다. 테스트베드 과정에서 AI·멀티에이전트·생성형 AI 등 최신 ICT를 결합, 신기술을 안전하게 시험·검증·배포하고 산업현장에 확산시키고 있다.
- 실시간 검증과 조기 배포: 테스트베드는 신기술의 실시간 모델링, 시뮬레이션, 데이터 동기화, 통합 검증, 실전 배포까지 지원한다. 결과적으로 참여 기업은 기술 경쟁력과 시장 전환속도를 대폭 끌어올릴 수 있을 것으로 보인다.

4. 분야별 실증 적용 사례

- 가상 생산설비 및 공정 최적화: Dassault Systèmes가 주도하는 ‘Virtual

DS.AR AI Model Repository	DS.AG Data Aggregation	IR.LAS API Services				UX.GM Gamification	UX.DB Dashboards
DS.SR Simulation Model Repository	DS.AS Asynchronous Integration	IR.CL Collaboration Platform Integration	IC.CS Composition	IC.SM Simulation	IC.RP Reporting	UX.3R 3D Rendering	UX.XR Extended Reality (XR)
DS.SA Data Storage and Archive Services	DS.RT Real-time Processing	IR.DT Digital Twin Integration	IC.DL Distributed Ledger and Smart Contracts	IC.FL Federated Learning	IC.AL Alerts and Notifications	UX.GE Gaming Engine Visualization	UX.ER Entity Relationship Visualization
DS.DS Domain Specific Data Management	DS.BP Batch Processing	IR.IO OT/IoT System Integration	IC.BR Business Rules	IC.AI Artificial Intelligence	IC.OS Orchestration	UX.BP Business Process Mgmt & Workflow	UX.RM Real-time Monitoring
DS.IR Digital Twin Instance Repository	DS.CX Data Contextualization	IR.LEG Engineering Systems Integration	IC.PS Prescriptive Recommendations	IC.PR Prediction	IC.CC Command and Control	UX.BI Business Intelligence	UX.AV Advanced Visualization
DS.RP Digital Twin Model Repository	DS.TR Data Transformation and Wrangling	IR.ET Enterprise System Integration	IC.MA Mathematical Analytics	IC.AA Data Analysis and Analytics	IC.SR Search	UX.CI Continuous Intelligence	UX.BV Basic Visualization
DS.ON Ontology Management	DS.ST Data Streaming	MG.DG Data Governance	MG.SM System Monitoring	TW.RP Responsibility	TW.RL Reliability	TW.PR Privacy	TW.DS Device Security
DS.SG Synthetic Data Generation	DS.AI Data Acquisition and Ingestion	MG.EL Event Logging	MG.DM Device Management	TW.RS Resilience	TW.SF Safety	TW.SC Security	TW.EX Data Encryption

● Data Services
 ● Integration
 ● Intelligence
 ● UX
 ● Management
 ● Trustworthiness

그림 1. DTC의 Capabilities Periodic Table(CPT)

Twins for Smart Factory Innovation’ 테스트베드는 디지털트윈과 AI를 결합해 생산설비 전 과정을 가상으로 설계, 시뮬레이션, 문제 예측 및 이에 대한 대응을 가능하게 한다. 이를 통해 공정 혁신, 실패 비용 절감, 반응 속도가 획기적으로 향상된다고 한다.

- 디지털 마이크로공장: NTT Data사는 소형 모듈형 공장(마이크로공장) 환경에 AI 기반 디지털트윈을 적용, 생산설비의 실시간 모니터링, 반복 작업 자동화, 예측 정비, 신소재 실험, 현장 교육 등 다목적 적용 사례를 개발하였다. 컴포저블 아키텍처 기반 적용으로 신속한 확장·구성이 또한 가능하다.
- 멀티에이전트 기반 네트워크 최적화: XMPro, Microsoft가 주도한 이 테스트베드는 AI 기반 에이전트들이 기업·산업 간 네트워크상에서 표준화된 온톨로지(ontology)를 이용해 상호 통신하며, 효율적 네트워크 자원배분, 장애 감지, 자율 운영을 실현하게 한다. 산업 간, 조직 간 데이터 호환성·연결성이 대폭 향상됨을 실증하였다.
- 첨단 제조 및 정밀 생산: Rowan University와 XMPro가 협력한 디지털 트윈은 IoT 지원형 3D 금속 프린터와 연동되어, 실시간 공정 진단, 예지 유지보수, 제품 품질 예측 및 폐기 감소를 실현했다. 실제로 복잡한 형상 부품 생산의 품질 및 생산성, 기계 간 상호운용성을 한층 강화하는 실증적 결과를 도출하였다.
- 생성형 AI 기반 의료: 의료분야에서는 생성형 AI와 디지털트윈을 융합해 환자 상태 예측, 맞춤형 치료계획 수립, 수술 시뮬레이션, 병원 운영 최적화 등에서 새로운 가치가 창출되고 있다. 멀티에이전트 기반 시스템이 의료진·환자·장비를 연동해 의료 서비스 품질을 높이고, 비용, 시간, 위험성을 혁신적으로 낮출 것으로 예상된다. 또한 의료 주요 기관에서는 조직 단위의 DTO를 활용해 자산 관리, 위험 모델링, 서비스 품질관리, 환자 데이터 기반 의사결정 체계 고도화를 실증 중이다.
- 스마트시티·에너지: 스마트빌딩·스마트그리드·에너지 운영 분야에서도 디지털트윈+AI 기반의 실증이 확산되고 있다. 실시간 에너지 소비·생산 모니터링, 탄소배출 예측, 대규모 인프라 고장 예지, 민간 서비스 자동화 등에서 특화된 에이전트가 배치되어 실효성을 입증하였다. 이는 실제 도시, 빌딩, 배전 계통 운영 효율 및 지속가능성 향상에 이바지할 것으로 예상된다.

5. 향후 AI 디지털트윈 기술의 전망

- 운영 자동화 및 비용 혁신: AI가 탑재된 디지털트윈은 운영의 자동화, 예측정확도 향상, 설비 고장 사전 감지, 신속한 의사결정 등을 통해 생산성과 경쟁력을 비약적으로 끌어올릴 것으로 예상된다.
- 산업 표준 및 상호운용성 확보: DTC가 선도한 CPT와 테스트베드 프로

그램은 산업별 표준화와 상호운용성을 실현, 복수의 기업·플랫폼 간 협업·데이터 공유를 촉진할 것으로 보인다.

- AI가 주도하는 조직 혁신: 조직 전체의 정보·자산·프로세스를 실시간으로 반영하고, AI가 복잡한 의사결정과 자율 운영, 최적화 기능을 담당함으로써 지능화된 조직(DTO) 구현이 가속화될 것으로 보인다.
- 신시장 개척 및 ESG 확산: 자율주행, 스마트시티, 신소재, 스마트물류 등 신산업 성장과 ESG·지속가능경영, 디지털 신뢰성 기반의 사회적 가치 창출이 실제 사례를 통해 계속 입증될 것으로 예측된다.

III. 결론

2025년 상반기 디지털트윈 컨소시엄 회의를 통해 발표된 가장 큰 변화로는 ‘AI 주도의 디지털트윈 진화’와 그 산업별 실증화가 있다. DTC는 프레임워크와 테스트베드 프로그램을 통해 산업 전반에 걸친 AI 디지털트윈 도입과 확장, 조직·자산·프로세스의 실시간 가상화, 그리고 산업 생태계 전체의 패러다임 전환을 이끌고 있다. 2025년 상반기 실증 사례들은 AI와 디지털트윈의 통합이 가져올 미래 혁신의 방향성을 구체적으로 제시하고 있다. 앞으로도 DTC와 참여 산·학·연 네트워크는 테스트베드 확장, 실 적용 솔루션 고도화, 표준화, 사례 공유를 가속하며, AI 기반 디지털트윈 혁신이 디지털 산업전환의 중추로 자리매김할 전망이다. 이에 국내에서도 산업 간 벽을 허물어 공통의 AI 에이전트 도입, 표준 디지털트윈 공정표 등의 기준이 마련될 필요성이 있을 것으로 보인다.

ACKNOWLEDGMENT

이 연구는 2025년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 국가과학기술연구회의 지원을 받아 수행된 한국전기연구원 기본사업임(No. 25A01030)

참 고 문 헌

[1] <https://www.digitaltwinconsortium.org/>

[2] 김영선, 오휘명, 손상우, “북미 지역 신재생에너지 분야의 디지털트윈 기술 적용 동향에 관한 연구,” BP151, 제54회 대한전기학회 하계 학술대회, 7.12~7.15, 2023.

[3] 김영선, 오휘명, 손상우, “북미 지역 디지털트윈 시스템 구현을 위한 AI 기술 적용 동향에 관한 연구,” A-P-14, 제5회 한국 인공지능 학술대회, 9.25~9.28, 2024.

[4] 김영선, 오휘명, 손상우, “북미 지역 내 디지털트윈 시스템 구현을 위한 기술 적용 동향에 관한 연구,” 28F-P-2, 한국통신학회 하계 종합 학술발표회, 6.18~6.21, 2025.