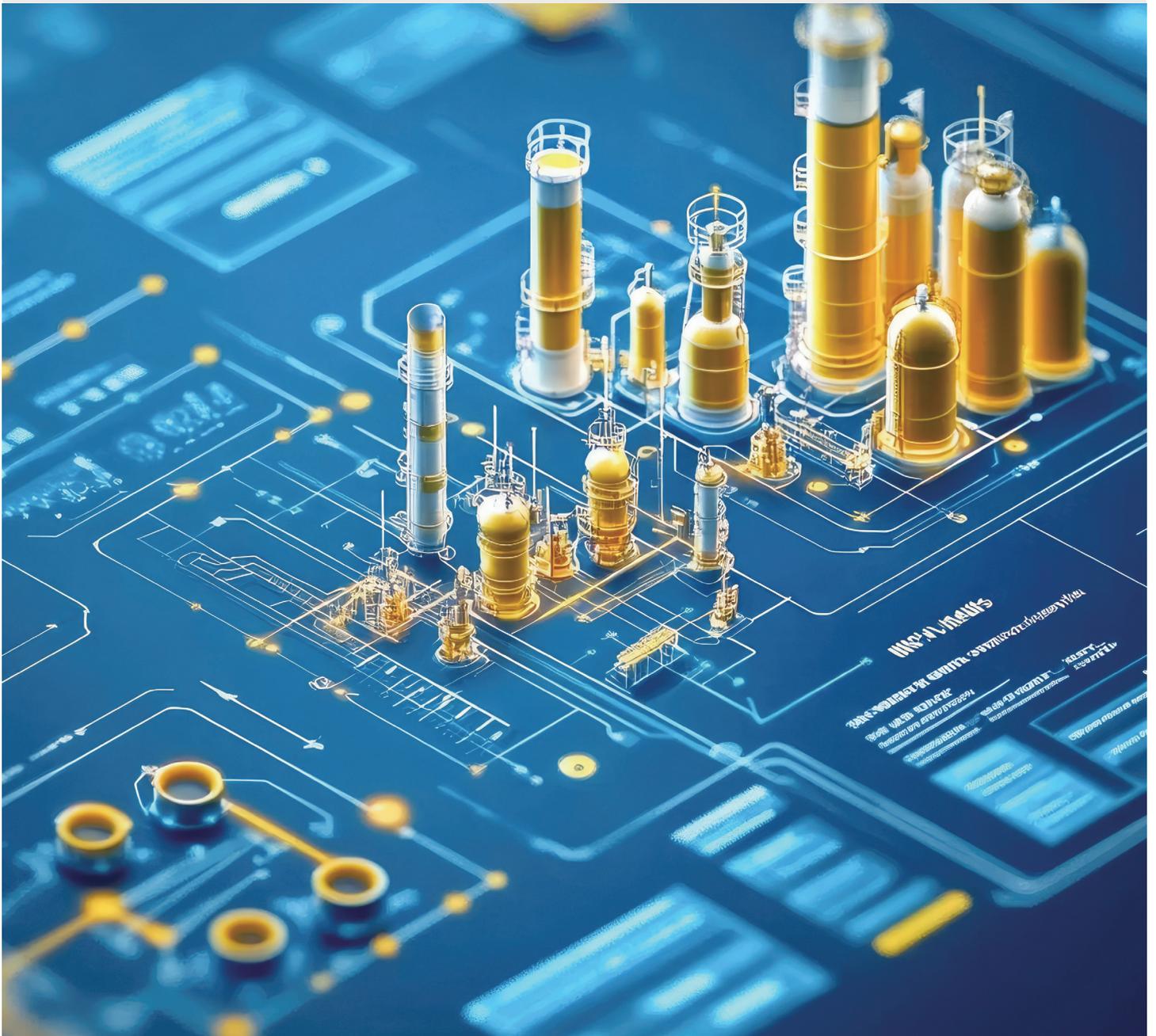


ISSUE 1

산업 메타버스 현황과 전망

The Status and Future Prospects of
Industrial Metaverse



Executive Summary

B2B 소프트웨어(SW)의 발전과 신기술의 융합은 산업 메타버스로의 진화를 촉진하고 있다. 기존에 공급망 관리(SCM), 전사적 자원관리(ERP) 등 B2B SW는 주로 기업 간 상호작용과 업무 효율화에 중점을 두었지만, 최근 인공지능(AI), 빅데이터, 사물인터넷(IoT) 등의 기술과 통합되면서 의사결정 지원과 업무 자동화가 더욱 고도화되고 있다. 또한, 이는 가상과 현실 세계를 연결하는 확장현실(XR), 디지털 트윈(DT) 같은 기술과 결합하면서 산업 메타버스라는 새로운 패러다임이 형성되고 있다. 산업 메타버스는 가상 공간에서 공장 운영, 제품 설계, 직원 교육 등을 가능하게 하여 현실 산업의 디지털화를 촉진하고 있다. 이는 제조, 물류, 의료 등 다양한 산업에서 활용될 수 있으며, 생산성 향상과 비용 절감 등의 실질적 성과를 창출하면서 2030년까지 약 1,000억 달러 규모로 성장할 것으로 예상된다.

산업 메타버스는 물리적 세계와 디지털 세계의 융합을 통해 가상 환경에서 현실 문제를 해결하고 산업 효율성을 높이는 기술로 이해할 수 있다. 가상 시뮬레이션, 원격 모니터링, 가상 제품 시연, 협업 등을 통해 생산성 향상, 비용 절감, 교육 및 훈련 효율성 증대를 가능하게 한다.

글로벌 빅테크 기업들은 산업 메타버스 플랫폼 선점, 기업 간 파트너십 및 레퍼런스 확보를 통해 생태계를 구축하고 있다. 국내에서도 제조, 국방, 제약 등 다양한 분야에서 도입 사례가 창출되기 시작하고 있으며, 수요기업과 공급기업 간 협력도 가시화되고 있다.

중장기적으로 산업 메타버스 관련 초기 투자와 협력이 증가하고, AI와 XR 등의 기술 발전을 통해 다양한 산업에서 활용이 확대되며, 직원 재교육과 환경적 고려, 그리고 경영진과 직원의 기술 역량 강화가 중요해질 전망이다. 제조업에 특화된 산업 메타버스 플랫폼의 경우, 기술 발전과 AI 융합으로 맞춤형-대량 생산 특화 기능들이 요구되는 방향으로 발전할 것으로 예상된다.

산업 메타버스 도입 활성화를 위해서는 사례 확산, 생태계 구축, 플랫폼 개발, AI 융합, 인력 양성이 중요하다. 첫 번째로, 제조, 의료, 에너지 등 다양한 산업에서 성공 사례를 발굴하고 이를 확산해야 한다. 기술 성숙도와 조직의 수용도를 고려하여 도입 장애를 줄이고, 정부는 도입 초기의 어려움을 해결할 가이드라인과 재교육 지원을 제공할 필요가 있다. 두 번째로, 중소기업의 산업 메타버스 도입 부담을 줄이기 위해 디지털 트윈, XR 등 신기술 도입 지원, 전문 인력 육성, 컨설팅 지원 등이 필요하다. 세 번째로, XR, AI, IoT 등 여러 기술이 융합되므로 다양한 기술 기업 간의 협력이 필수적이다. 정부는 기업, 연구기관, 학계 간 협력을 조율하여 상호운용 가능한 생태계를 구축해야 한다. 네 번째로, 제조업에 특화된 산업 메타버스 플랫폼을 개발하여 기업들이 쉽게 활용할 수 있도록 제공해야 한다. 다섯 번째로, 산업 메타버스와 AI 융합을 촉진하기 위해 연구개발 지원, 파일럿 프로젝트 운영, 민관 협력 촉진 등 다양한 측면의 지원 제공이 필요하다. 여섯 번째로, 전문 인력 양성을 위해 교육 프로그램 개발 및 산학 협력을 강화하고 재직자 교육과 연구개발 인력 양성도 지원할 필요가 있다.

The advancement of B2B SW and the convergence of new technologies are accelerating the evolution toward the industrial metaverse. Traditionally, B2B software like SCM and ERP focused on improving efficiency and interactions between businesses, but recently, the integration of technologies such as AI, big data, and IoT has led to more sophisticated decision-making support and automation. Additionally, the combination of these technologies with XR and digital twin, which bridge the virtual and real worlds, has created a new paradigm called the industrial metaverse.

The industrial metaverse facilitates the digital transformation of real-world industries by enabling factory operations, product design, employee training, and more within virtual spaces. This technology is expected to be utilized in various sectors, including manufacturing, logistics, and healthcare, driving real-world improvements such as increased productivity and cost reduction. By 2030, the industrial metaverse is projected to grow into a market worth approximately \$100 billion.

The industrial metaverse can be understood as a technology that merges the physical and digital worlds, solving real-world challenges and enhancing industrial efficiency within virtual environments. Through virtual simulations, remote monitoring, virtual product demonstrations, and collaboration, it enables increased productivity, cost savings, and improved efficiency in education and training.

Global big tech companies are building ecosystems by securing industrial metaverse platforms, forming partnerships between businesses, and gaining references. In South Korea, adoption cases are emerging in sectors like manufacturing, defense, and pharmaceuticals, with visible cooperation between demand-side and supply-side companies.

In the mid to long term, early investments and collaborations related to the industrial metaverse are expected to increase, with the expansion of its use across various industries due to the advancement of technologies like AI and XR. In this context, employee reskilling, environmental considerations, and the enhancement of technical expertise among management and employees will become critical.

For industrial metaverse platforms specialized in manufacturing, advancements in technology and the fusion with AI are anticipated to drive the demand for features tailored to mass customization. To promote the adoption of the industrial metaverse, it is essential to expand case studies, build ecosystems, develop platforms, integrate AI, and train skilled personnel. First, successful cases in various industries such as manufacturing, healthcare, and energy should be identified and disseminated. By considering the maturity of technology and organizational readiness, adoption barriers can be reduced, and the government should provide guidelines and retraining support to address initial challenges. Second, to ease the adoption burden on small and medium enterprises (SMEs), support for implementing new technologies like digital twins and XR, workforce development, and consulting are needed. Third, as multiple technologies such as XR, AI, and IoT converge, collaboration among diverse tech companies is essential. The government should coordinate partnerships among businesses, research institutes, and academia to establish an interoperable ecosystem. Fourth, an industrial metaverse platform tailored to manufacturing should be developed to enable easy access for businesses. Fifth, to foster the integration of the industrial metaverse with AI, a variety of support measures are required, including research and development funding, pilot projects, and public-private collaboration. Lastly, to develop a skilled workforce, the creation of specialized training programs, stronger academia-industry cooperation, as well as employee training and R&D talent development, are crucial.

I 서론

- B2B 소프트웨어(SW)의 발전과 신기술 융합은 산업 메타버스로의 진화로 나타나고 있으며, 단순한 업무 지원을 넘어 기업의 운영과 혁신의 새로운 패러다임으로 부상¹
- 제조업과 같은 전통적인 산업에서는 생산성 향상을 위해 공급망 관리(SCM), 전사적 자원 관리(ERP) 등 B2B SW 도입을 통해 데이터의 실시간 수집과 분석 기반을 마련
- 최근 이러한 B2B SW들이 인공지능(AI), 빅데이터, 사물인터넷(IoT) 등의 신기술과 통합되면서 기업의 의사결정과 업무 자동화가 더욱 고도화되고 있는 중
- 이 과정에서 확장현실(XR), 디지털 트윈(DT)과 같은 가상과 현실 세계를 융합하는 기술이 결합하며 산업 메타버스라는 새로운 패러다임을 형성
- 산업 메타버스는 가상-현실 융합을 통해 공장의 운영, 제품 설계 및 테스트, 직원 교육, 시뮬레이션 등을 가상 공간에서 수행할 수 있는 환경을 제공하며, 설계 오류의 사전 발견 등을 통해 생산성을 극대화할 수 있는 기반을 제공
- 산업 메타버스는 산업 현장의 디지털화를 촉진하고 현실의 산업 문제를 해결하는 유용한 수단으로 인식되면서 다양한 산업에서의 활용 및 확산 기대
- 그 간 메타버스는 주로 소비자를 목표로 한 B2C 영역에서 논의되었으나, 비용 절감, 인력 육성 등 구체적 비즈니스 요구를 가진 B2B 시장에서도 메타버스 활용을 주목²
- 제조업, 물류, 건설, 의료 등 다양한 산업 분야에서 메타버스 기술 도입을 시도 중이며 생산성 향상, 기간 단축, 교육 효과 상승 등 실질적인 성과 창출 중

1 Nokia(2024.6)는 산업 메타버스를 산업 4.0(Industry 4.0) 솔루션과 자산에 메타버스가 제공하는 시각화 및 데이터 상호운용성을 더하여 직원들이 인사이트(Insight)를 직관적으로 이해하고 활용할 수 있는 환경으로 설명

2 딜로이트(2024.10.15.), "산업 메타버스에 집중하는 제조 기업들"

- 산업 메타버스 시장은 지속 성장하여 2030년 약 1,000억 달러에 이를 것으로 전망³
- 본 연구에서는 산업 메타버스의 개념과 구성, 주요 활용 사례 및 기업 동향, 향후 발전 전망을 살펴보고, 기업과 정부에서 준비해야 할 산업 메타버스의 도입 및 확산 방안을 제시

II 산업 메타버스 개념 및 구성

- 산업 메타버스는 다양한 정의가 존재하나 산업 응용을 위한 물리적 세계와 디지털 세계의 융합⁴으로 이해할 수 있으며, 이를 통해 산업의 운영 환경과 방식을 재정의
 - ERP, SCM, CRM 등 다양한 B2B SW의 도입으로 산업 현장의 디지털화가 이루어졌으며, 이를 통해 기업의 효율성, 생산성, 지속 가능성을 대폭 향상
 - 이러한 B2B SW들이 디지털 트윈, AI, XR, 블록체인, 클라우드 등 신기술과 융합하면서, 실제 산업 운영 환경을 가상 3D 세계에 정밀하게 재현 가능하게 되었으며, 이는 물리적 환경을 가상으로 시뮬레이션함으로써 현실 세계에서 시행착오를 최소화하는 데 기여
 - * SCM, AI, 디지털 트윈, XR 기술들이 결합되면, 물류기업은 모든 공급망 데이터를 디지털 트윈과 AI로 실시간 운영 및 분석하여 최적화된 경로 및 재고 관리를 적용하며, 물류 담당자는 XR 기기를 통해 창고 내 재고의 위치와 상태를 실시간으로 확인 가능
 - 이를 활용하여 기업은 자원의 실제 투입 없이도 수십, 수백, 혹은 수백만 번의 설계를 가상 환경에서 반복하여 최적의 솔루션을 찾는 디지털 기반의 문제 해결 능력 확보
 - 이러한 가상 공간은 지리적 한계를 넘어선 협업을 가능하게 하며, 교육 제공, 협력적 제품 개발, 실시간 운영 모니터링, 제품 및 솔루션 시연 등을 통해 비즈니스 운영에 실질적인 가치를 제공

³ ABI Research(2022.9.20.), 「Evaluation of the Enterprise Metaverse Opportunity」

⁴ Gartner(2023), 산업 메타버스는 산업 응용을 위한 물리적 세계와 디지털 세계의 융합으로, 사람들이 몰입형 환경에서 시스템을 설계, 구축 및 최적화하기 위해 기계와 상호 작용하고 협업하는 공간

● 산업 메타버스 도입을 통해 생산성 향상, 비용 절감, 교육 및 훈련 효율성 향상, 의사결정 개선, 고객 경험 향상 등 다양한 기대 효과 창출 예상

■ 표 1 - 산업 메타버스 도입 기대 효과

구분	주요 내용
생산성 향상	<ul style="list-style-type: none"> • 디지털 트윈: 실제 공장이나 기계를 가상 환경에 복제 및 실시간으로 모니터링 및 분석하여 기계 성능 최적화, 공정 병목 현상 조기 파악 및 해결 • 프로세스 최적화: 가상 환경에서 시뮬레이션을 통해 생산 공정과 물류 경로를 미리 테스트하고 최적화하여 시간과 자원 절약
비용 절감	<ul style="list-style-type: none"> • 가상 시뮬레이션: 제품 개발 또는 공정 변경 시, 실제 장비나 자원 사용 대신 가상 환경에서 먼저 테스트하여 초기 개발 및 시제품 제작 비용 절감 • 유지보수 비용 절감: 디지털 트윈을 통해 기계나 장비의 상태를 실시간 모니터링하는 예방적 유지보수 수행으로 다운타임(가동 중단 시간) 감소
교육 및 훈련 효율성 향상	<ul style="list-style-type: none"> • 가상 훈련: 실제 작업 환경을 재현한 가상 공간에서 진행되는 직원교육을 통해 훈련의 질을 높이고 사고 위험 감소 • 리스크 감소: 위험한 상황이나 고가의 장비를 다루는 작업을 현실에서 직접 경험하지 않고도 가상 환경에서 훈련할 수 있어, 실제 현장 실수나 사고 감소
협업과 의사결정 개선	<ul style="list-style-type: none"> • 원격 협업: 지리적으로 분산된 팀들이 메타버스 환경에서 실시간으로 협력하여 작업하고 의사결정을 할 수 있어 의사소통 효율성 향상 • 데이터 기반 의사결정: 메타버스에서 실시간으로 수집한 데이터를 기반으로 다양한 시나리오를 시뮬레이션하여 최적의 의사결정 지원
고객 경험 향상	<ul style="list-style-type: none"> • 가상 제품 시연: 고객들에게 실제 제품을 보여주거나 설명하기 어려운 경우, 가상 환경에서 제품을 시연하고 체험할 수 있게 해 고객 이해도 향상 • 맞춤형 솔루션 제공: 고객이 원하는 특정 요구에 맞춰 가상 환경에서 제품을 조정하거나 시뮬레이션할 수 있어, 맞춤형 솔루션 제안에 유리
환경적 혜택	<ul style="list-style-type: none"> • 탄소 배출량 감소: 원격 작업과 가상 시뮬레이션을 활용하면 실제 현장 방문이나 실물 자원 사용 감소로 전반적인 탄소 배출량 감소에 기여

* 출처 : WEF(2024), Arthur D. Little(2023), MIT Technology Review(2023) 기반 SPRi 정리

● 산업 메타버스 구현을 위한 요구 기술들은 상호작용, 산업 메타버스 플랫폼, 산업 시스템, 소프트웨어(SW) 인프라, 하드웨어(HW) 인프라의 5개 분야로 구분 가능⁵

5 World Economic Forum(WEF)(2023), Exploring the Industrial Metaverse: A Roadmap to the Future

■ 그림 1 - 산업 메타버스 구성도

상호작용 (Interaction)	입출력 기기 (Input/output devices) 고해상도와 긴 배터리 수명을 갖춘 편리하고 산업에 적합한 (모바일) 장치 및 웨어러블은 XR(또는 뇌-컴퓨터) 인터페이스를 통해 산업 메타버스 플랫폼과 원활하고 정밀한 상호작용 실현 가능		
산업 메타버스 플랫폼 (Industrial metaverse platforms)	산업 메타버스 플랫폼 (Industrial metaverse platform) 기저 기술들을 결합하고 다양한 사용 사례를 통합한 상호운용 가능하고 개방된 플랫폼으로서, 이용자가 직관적으로 조작 가능		
산업 시스템 (Industrial systems)	로봇 (Robotics) 자율적인 의사결정을 할 수 있는 유연하고 신뢰할 수 있는 로봇 시스템	센서 및 액추에이터/IoT (Sensors and actuators/IoT) 표준화된 형식으로 데이터를 수집하며 원격으로 조작 가능	
SW 인프라 (SW Infra.)	AI (Artificial intelligence) 더 나은 확장성, 자율적인 의사 결정 및 더 직관적인 상호작용을 가능하게 하며, 산업 메타버스의 기저 기술 강화	개발 도구 (Development tools) 개발자의 산업 메타버스 구축을 돕고, 산업 환경의 정밀한 고비용 효율적인 가상 복제와 가상 콘텐츠 및 자산의 생성 및 수정 지원	분산원장기술 (Distributed ledger Tech.) 본 기술은 다른 기술에 통합되어 산업 메타버스에서 보안, 상호 운용성 등 향상
HW 인프라 (HW Infra.)	연결 (Connectivity) 산업 메타버스 객체와 시스템 간의 안전하고 신뢰할 수 있는 고대역폭, 저지연 연결 제공		컴퓨팅 (Computing) 클라우드, 엣지, 현장에서 유연하고 어디서나 이용 가능한 컴퓨팅 제공

* 출처 : WEF(2023)

● 참고1 : 산업 메타버스 정의 예시

구분	주요 내용
Gartner	<p>(한글) 산업 응용을 위한 물리적 세계와 디지털 세계의 융합으로, 사람들이 몰입형 환경에서 시스템을 설계, 구축 및 최적화하기 위해 기계와 상호작용하고 협업하는 공간</p> <p>(영문) A convergence of the physical and digital world for industrial applications, where people interact and collaborate with machines to design, build and optimize systems in an immersive environment</p>
Frost & Sullivan	<p>(한글) 디지털 트윈이 물리적 기계, 생산라인, 차량, 그리드, 심지어 도시와 인간의 가상 복제본을 제공하는 항상 활성화된 3D 환경</p> <p>(영문) An always-on 3D environment where digital twins provide virtual replicas of the physical machinery, production line, vehicles, grids, and even cities and humans</p>
Arthur D. Little	<p>(한글) 의사결정자가 과거를 더 잘 이해하고 미래를 예측할 수 있도록 환경 내에서 실제 시스템과 상호작용할 수 있는 기능을 갖춘 전체 시스템 디지털 트윈</p> <p>(영문) A connected whole-system digital twin with functionalities to interact with the real system in its environment, allowing decision makers to better understand the past and forecast the future</p>
Nokia	<p>(한글) 산업 애플리케이션을 위한 물리적-디지털 융합과 인간 능력 증강</p> <p>(영문) A physical-digital fusion and human augmentation for industrial applications</p>
Siemens	<p>(한글) 실제 기계와 공장, 건물과 도시, 그리드와 교통 시스템을 반영하고 시뮬레이션하는 가상 세계</p> <p>(영문) A virtual world to mirror and simulate real machines and factories, buildings and cities, grids and transportation systems</p>
Microsoft	<p>(한글) 조직이 물리적 세계를 더 잘 이해하고, 예측하며 상호작용할 수 있도록 동적인 환경을 통해 기술을 통합하는 신흥 분야</p> <p>(영문) An emerging category that integrates technology through dynamic environments to help organizations better understand, predict, and interact with the physical world</p>
권준형 외(2024)	<p>(한글) 현실 세계에 존재하는 작업 공간, 자산, 프로세스 등 산업 요소를 모사하여 가상 공간에 산업 현장을 구축하고, 현실과 가상의 산업 현장을 융합해, 가상 세계를 활용한 다양한 모의를 통해 현실 세계의 산업 현장을 효율적이고 안전하게 개선하기 위한 최적의 해답을 도출하는 디지털 플랫폼</p>

III 주요 활용 사례

- 산업용 메타버스는 제품 테스트 및 개발, 협업, 운영 최적화, 교육훈련 등 다양한 분야에서 활용 사례 창출 가능

제품 테스트 및 개발 & 협업

- 가상 환경에서 다양한 제품, 솔루션, 프로세스의 시뮬레이션 테스트를 수행할 수 있어 물리적인 테스트 시간과 비용을 절감
 - * 가상 모델을 기반으로 다양한 상황에서의 차량 충돌 테스트 시행
- 가상으로 구현된 제품, 프로세스, 자산을 내외부 이해관계자들에게 시연하여 직관적 이해와 의사결정을 촉진하고, 빠른 설계 변경과 데모를 통해 개발 시간 절감
 - * 프랑스의 ESI 그룹이 개발한 가상 현실 엔지니어링 SW, IC.IDO는 가상 공간에서 아바타를 이용해 제품을 설계 및 검증할 수 있고 고객에게 새로운 제품의 콘셉트에 대해서 설명 가능⁶
- 제품 개발 관련 인력들이 지리적 위치에 상관없이 원격으로 협업할 수 있는 몰입형 가상 개발 환경을 제공하여 개발 효율성 및 시장 출시 시간 단축
 - * 엔비디아(NVIDIA)의 옴니버스(Omniverse) 플랫폼에서는 3D 설계자, 엔지니어 등 다양한 사람이 서로 다른 개발 도구를 쓰더라도 실시간으로 협업하여 콘텐츠 제작 가능

■ 그림 2 - 제품 테스트 및 개발(예시)



ESI 그룹 IC.IDO



엔비디아 옴니버스

⁶ ESI Group, 「IC.IDO | Virtual Reality Engineering Software」, www.esi-group.com/products/ic-ido

운영 최적화

- 생산 시설을 가상으로 구현하고 스마트 센서 등을 통해 실시간 운영 데이터를 취합하여 모니터링 및 시설 레이아웃 최적화 시뮬레이션을 통한 효율성 강화

* 종근당의 메타버스 공장은 실제 공장과 동일한 디지털 트윈 공장을 구축하고 가상 공간 아바타를 통해 제조 설비에 원격 접속하여 공정 현황 조회 및 제조 설비 제어 가능⁷

- 가상 환경에서 다양한 로봇을 배치하고 제어함으로써 작업자와 로봇 간 협업의 최적 동선 구현, 자율주행 로봇의 안전한 작업장 운행 및 동선 최적화 등에 활용

* 슈타겐(SHUTAGEN)이 현대자동차 시범공장(울산) 내 구축한 메타버스 제조 혁신 플랫폼은 생산 책임자가 가상에서 자동차 생산설비(산업용·이송용 로봇)를 가상 설계 및 시뮬레이션 등을 통해 최적 상태로 관리 가능하도록 지원(참고 2 참조)

- 물류센터의 설비를 가상 세계에 구축하고 운송·재고·품질 관리·배송 등 물류 전 과정을 작업자가 가상에서 제어·운영

* BMW 그룹은 엔비디아의 옴니버스 플랫폼을 활용해 메타버스 공장을 구축하고, 디지털 트윈을 통해 작업자와 로봇의 작업 라인을 효율적으로 설계하여, 실시간으로 공정 진행을 모니터링하는 시스템을 만들었으며, 이 메타버스 공장은 제품, 설비, 자재 관리뿐 아니라 물류 계획에도 활용될 예정⁸

교육·훈련

- 근로자들은 현실적으로 구현된 시뮬레이션으로 위험한 작업 절차 숙지 등 안전한 환경에서 다양한 업무 훈련 진행 가능

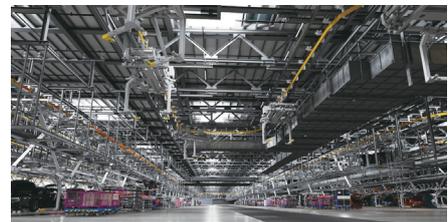
* 산업재해 예방을 위해 건설현장, 제조현장 등 현장 근로자를 대상으로 위험요소 사전 발굴·제거하는 체험 교육 등 제공

- 신입 직원들을 위한 원격 가상 교육을 통해 훈련 장소로의 물리적 이동을 줄이고, 설비 실습을 위한 실제 설비의 중단없이 연속적인 교육이 가능

그림 3 - 운영 최적화(예시)



종근당 메타버스 공장



BMW 가상 공장

⁷ 김진구(2024.4.22.), “메타버스 공장 가동...종근당, 월드IT쇼 깜짝 등장한 까닭”, 데일리팜

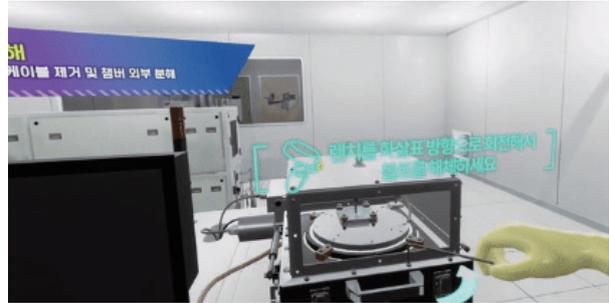
⁸ Nvidia Korea(2021.4.16.), “BMW와 함께 NVIDIA 옴니버스를 이용한 가상 공장 계획화”

* 반도체 교육은 고가의 반도체 장비를 직접 분해하기 어렵고 필요한 장비들을 갖추기도 한계가 있으나, 가상 실습 방법으로 반도체 장비의 고장 예지 등 교육 가능

■ 그림 4 - 교육·훈련(예시)



산업재해 예방 교육(현대중공업)



반도체 교육(삼우이머전)

● 상기 외에도 산업 메타버스는 산업 활동 주기에 전반적으로 적용되어 다양한 활용 사례 창출 및 생산성 향상에 기여 전망

■ 표 2 - 제조 산업의 메타버스 활용 예시

단계	주요 활용 내용
생산 前 (Pre-production)	<ul style="list-style-type: none"> • 훈련: 현실적이고 상호작용적인 가상 환경에서 이루어지는 원격 몰입형 학습 • 개발 및 테스트: 협업형 가상 제품, 공장 프로토타이핑 및 시뮬레이션 • 조달: 구매 전에 공급품에 대한 가상 시뮬레이션 및 테스트, AI 지원 공급 및 재고 예측, 공급망 최적화, 시뮬레이션, 투명성 향상
생산 (Production)	<ul style="list-style-type: none"> • 운영 계획: 산업 메타버스 애플리케이션에서 통합 시스템 운영을 자동 계획 • 프로세스 최적화: AI로 전체 생산 시스템의 최적화 향상 • 모니터링, 운영 및 조립: 물리적 생산 시스템의 제어와 XR 지원 조립을 통한 실시간(원격) 모니터링 및 운영 • 비즈니스 인텔리전스: 단일 통합 시스템에서 예측 및 의사결정을 위해 집계된 정보와 시각적 분석 제공 • 품질 관리: 각 생산 단계에서 자동화된 AI 지원 품질 관리 • 유지보수: 원격 지원, 예측적 유지보수 및 XR 매뉴얼
생산 後 (Post-Production)	<ul style="list-style-type: none"> • 마케팅 및 판매: 몰입형 가상 제품 시연 및 전시관 • 고객 지원: 고객을 위한 원격 XR 지원 및 유지보수 • 제품 재활용: 업사이클링, 리사이클링, 다운사이클링에 대한 자재와 정보를 추적할 수 있도록 지원

* 출처 : WEF(2023); SPRI 재구성

참고2 : 운영 최적화 사례⁹

- 슈타겐은 현대자동차와 협력하여 생산 책임자·작업자가 가상에서 자동차 생산설비(산업용·이송용 로봇)를 최적 상태로 관리하는 플랫폼 개발 및 실증
 - 현대자동차 시범공장(울산) 내 플랫폼 구축 및 도어탈거 공정에 시범운영 실증('23.9.~11.)을 진행하였으며, 설치 프로세스 시간 75% 단축
 - (설계) 생산차량 모델 선택과 생산설비 배치를 가상에서 설계
 - (시뮬레이션) 디지털 트윈 된 가상 공장에서 생산 시뮬레이션
 - (협업) 생산설비 제어·관리 및 정보공유가 가능한 작업자 간 업무 협업
 - (운영 관리) 공장 내 공정·자산·재료에 대한 관리·운영

표 3 - 공정 비교표

	기존 방식	주요 내용
공정	• 단순 공정에 대한 자동화	• 복잡 공정을 수행하는 자율생산
생산 방식	• 라인 생산 방식(유연생산 불가) * 1개 공장에서 최대 4개 차종까지 생산 가능	• CELL 생산 방식(유연생산 가능) * 차량 모델수에 제한 없이 생산 가능
로봇 티칭	• 실제 공장 데이터로 AI 기반 로봇 티칭 * 티칭에 소요되는 시간·비용 증가	• 메타버스에서 AI 로봇 티칭 가능 * 티칭에 소요되는 시간·비용 절감
검증	• 실제 생산라인 교체 후 문제가 발생하는 건별 해결하며 보정 * 문제에 따라 막대한 비용·시간 증가	• 메타버스에서 시뮬레이션으로 생산라인 교체결과 사전검증 * 실제 생산라인 교체 전 문제점 모두 파악

그림 5 - 실증 및 전시



메타버스 제조 혁신 플랫폼 실증



현대자동차 테크데이 시연현장 모습

⁹ 과학기술정보통신부 보도자료(2024.7.16.), “미래 가상융합세계(메타버스) 산업을 주도할 산업용 가상융합세계(메타버스) 발전을 위한 민·관 협력방안 모색”; 권준형 외(2024), 산업형 메타버스의 현재와 미래

IV 주요 기업 동향

- (국외) 산업 메타버스 관련 글로벌 빅테크 기업들은 산업 메타버스 플랫폼 개발과 기업 간 파트너십 및 레퍼런스 확보를 통한 생태계 구축을 추진

엔비디아

- 엔비디아의 옴니버스 플랫폼은 메타버스 환경에서 3D 설계 및 시뮬레이션을 지원하는 협업 플랫폼으로, 제조, 건설, 자동차, 로봇 공학 등 다양한 산업에서 엔지니어와 디자이너가 가상 환경에서 실시간으로 협업 가능
 - * 옴니버스는 디지털 트윈을 만들고 대규모 실시간 AI를 산업 인프라에 적용하기 전에 시뮬레이션을 통한 개발 및 검증 가능¹⁰
- 지멘스(Siemens), BMW, 록히드마틴(Lockheed Martin) 등과 협력하여 옴니버스 등 엔비디아 기술을 활용한 시뮬레이션과 최적화 진행

지멘스

- 지멘스의 엑셀러레이터(Xcelerator) 플랫폼은 디지털 트윈, IoT, 클라우드 컴퓨팅, AI, 엣지 컴퓨팅 등 다양한 솔루션을 제공하는 개방형 디지털 비즈니스 플랫폼
 - * 엑셀러레이터는 엔지니어링 설계, 제조 프로세스 최적화, 운영 효율성 향상 등의 분야에서 디지털 트윈 및 시뮬레이션 기능 지원
- 엔비디아 옴니버스 플랫폼과 지멘스 엑셀러레이터를 결합하여 실시간 3D 설계 협업 및 시뮬레이션을 가능하게 하고, 소니(Sony)는 지멘스와 협력하여 산업용 XR 기기 개발 중

마이크로소프트

- 마이크로소프트의 애저(Azure) 플랫폼 기반 디지털 트윈 서비스는 운영 효율성 개선과 신제품 설계, 구축, 테스트 등 시뮬레이션 분석 가능

¹⁰ 김진희(2024.3.23.), “엔비디아, 디지털 트윈으로 실시간 AI 시뮬레이션 통해 산업 자동화 발전 가속화”, HelloT

* 홀로렌즈 2(Hololens 2)와 MS 다이내믹스 365 혼합 현실 앱 및 코파일럿(Copilot)을 통해 현장 근로자가 필요한 몰입형 협업 도구 제공

- 엔비디아와 협력하여 옴니버스 클라우드를 애저 플랫폼으로 제공하고, 가와사키(Kawasaki) 등 제조업 분야, 쉘브론(Chevron) 등 에너지 분야¹¹⁾의 산업용 메타버스 기술 도입 레퍼런스 확보
- (국내) 제조, 국방, 제약 등 다양한 분야에서 산업 메타버스 도입 사례들이 창출되고 있으며 수요기업과 공급기업 간 협력 가시화

슈타켄

- 제조 운영 솔루션 전문기업으로서 자동차 제조업을 위한 메타버스 플랫폼을 만드는 데 주력하고 있으며, 적시생산과 적기납품이 가능한 SDF(Software Defined Factory) 구축을 목표
- 현대자동차 시범공장(울산) 내 자동차 생산설비를 최적 상태로 관리하는 메타버스 제조 혁신 플랫폼 구축 및 도어탈거 공정에 시범운영 실증(23.9.~11.)

피엔씨솔루션

- 국내 최초로 XR 기기 양산에 성공한 기업으로 AR 글라스와 XR 시뮬레이터 등을 개발하고 있으며, XR 글라스에 적용 가능한 메타버스 플랫폼 연구개발 진행
- 메타버스 기반 합성훈련환경 시범체계를 육군교육훈련사령부에 구축하여 현실과 가상 환경을 융합한 고도화된 훈련 시스템을 제공할 계획

임픽스

- 제조업체들이 지능형 공장으로 전환하도록 지원하는 솔루션을 개발하며, 데이터 분석과 최적화를 통한 공정 효율성 향상에 중점
- 종근당 메타버스 공장 구축 관련 관리자가 현장 출입 없이 시스템에 접속하여 해당 작업장 전체에 대한 환경정보를 실시간 모니터링할 수 있는 디지털 트윈 환경 구현

¹¹ Microsoft(2024.1.31.), Microsoft and the industrial metaverse are enabling and accelerating the energy transition

V 발전 전망

- **중장기적으로 산업 메타버스 투자와 기술 발전이 촉진되며, 직원 재교육과 환경 고려, 협업을 촉진하는 거버넌스가 중요해지고, 다양한 산업 분야에서 활용될 것으로 전망¹²**
- **(시장)** 메타버스에 대한 초기 투자와 협력은 점차 증가할 것으로 예상되며, 노동 문제 해결을 위한 재교육이 요구되고 환경적 고려도 중요해질 전망
- **(기술)** XR, IoT, AI, 로봇 등의 기술 발전이 메타버스의 핵심이 될 것이며, AI가 다양한 활용 사례를 지원할 것으로 전망
- **(자원)** 경영진과 직원의 메타버스 이해와 기술 역량 강화가 필요하며, 협업을 촉진하는 거버넌스와 문화가 중요한 역할을 할 전망
- **(활용)** XR 기반 훈련과 개발, 제품 테스트, 모니터링 및 운영, 비즈니스 인텔리전스, 고객 지원 등 다양한 분야에서 산업 메타버스 활용 확대 전망

■ 표 4 - 산업 메타버스 발전 전망 내용

구분	주요 내용
시장	<ul style="list-style-type: none"> • 투자: 단기적으로 경제적 측면에서 산업 메타버스의 가치가 명확하지 않지만 중기적으로 그에 대한 인식이 높아지면서 투자 증가로 이어질 것으로 예상 • 협력: 기업들과 플랫폼 제공자들은 상호운용 가능한 개방형 산업 메타버스 구축에 협력 전망 • 노동: 단기적으로 노동 대체에 대한 우려가 있을 수 있으나, 중장기적으로 노동자의 역량 강화와 재교육을 통해 해결하고 디지털 격차를 방지 • 환경: 사용 사례 확대 및 기술 인프라 요구 증가에 따라 에너지, 자원, 폐기물에 대한 환경적 고려의 중요성 증가
기술	<ul style="list-style-type: none"> • XR: 기업들은 훈련과 제품 설계를 위해서 XR 기기를 실험하는 단계이지만, 기술이 발전함에 따라 XR의 활용 가치가 더욱 명확해질 것으로 전망 • 플랫폼: 다양한 사용 사례를 통합하는 산업 메타버스 플랫폼 구현 예상 • 로봇: 로봇 시뮬레이션 등 산업 환경이 가상으로 제어되고 자동화됨에 따라 로봇, 센서, 액추에이터의 중요성이 중장기적으로 증가 • IoT: 기업들은 기존 시스템에 센서 업그레이드 어려움을 겪고 있으나, 센서와 액추에이터 적용이 늘어나면서 산업 환경 및 프로세스 제어 범위도 확대 • AI: AI는 많은 기반 기술에 도입되어 기회와 위험을 평가하면서 막대한 투자를 하고 있으며, 더 정교해지는 AI 모델은 사용 사례 확장을 지원하는 핵심 기술로 발전 • 연결: 공장 내외의 새로운 네트워크 인프라에 대한 대규모 투자는 실시간 상호작용이나 높은 대역폭을 요구하는 복잡한 사용 사례의 병목 현상을 해결할 것으로 기대

¹² World Economic Forum(2023), Exploring the Industrial Metaverse

구분	주요 내용
자원	<ul style="list-style-type: none"> • 경영: 경영진과 중간 관리자들이 산업 메타버스의 가능성에 대한 지식이 부족하며, 중장기적으로 회사 전반에 걸친 산업 메타버스 비전과 전략 수립 필요 • 임직원: 기술 지식과 학제 간 지식의 중요성이 높아지며, 산업 메타버스의 잠재력을 실현하고 활용하기 위해 모든 직원의 지속적인 학습과 역량 강화 요구 • 거버넌스: 협업을 위한 기업 내부 프로세스와 거버넌스 구조를 수립하고, 중장기적으로 외부 거버넌스 구조 창출을 통해 산업 메타버스 플랫폼에서 기업 간 협업 촉진 • 문화: 조직 전반에 걸친 개방적이고 협력적이며 기술을 수용하는 문화는 혁신을 촉진하는 중요한 요소로, 산업 메타버스 사용 사례의 도입을 장려하거나 저해
활용	<ul style="list-style-type: none"> • 훈련: 단기적으로 대면 교육, 비디오 등이 주된 교육 훈련 방법이고 XR은 제한적으로 활용되고 있으나, 중장기적으로 현실적이고 몰입감이 높은 가상 환경에서의 훈련 효율성이 증가하고 다중 사용자 간 상호작용이 가능해질 것으로 전망 • 개발 및 테스트: 제품 및 공장이 3D 디지털로 계획되고 점점 더 복잡한 제품과 공장의 시뮬레이션과 테스트를 통해 물리적 시제품 제작 및 테스트의 필요성 최소화 • 모니터링, 운영 및 조립: 생산 시스템의 실시간 디지털 운영과 모니터링이 가능해지며, AR 지원 조립과 AI를 통한 자동화, XR에서의 직관적 시각화로 자율적인 생산 시스템의 원격 모니터링 및 제어 가능 전망 • 비즈니스 인텔리전스: 의사결정 지원 강화, 시각적 분석 향상 등 활용 사례들을 지원하기 위한 AI 기능 발전 • 마케팅 및 영업: 아직은 물리적 제품 시연이 주로 이루어지지만, 점차 XR로 접근 가능한 3D 쇼룸에서 제품이나 공장의 3D 프레젠테이션 증가 기대 • 고객 지원: 대면/비디오/오디오 방식 외에 XR을 활용한 원격 고객 지원 증가 전망

* 출처 : WEF(2023); SPRI 재구성

● **제조업에 특화된 산업 메타버스 플랫폼의 경우, 기술 발전과 AI 융합으로 맞춤형-대량 생산 (Mass customization) 특화 기능들이 요구되는 방향으로 발전 전망**

- 산업형 메타버스는 다양한 ICT 기술들이 융합된 복합 생태계로서, 개발자들은 이러한 모든 기술에 대한 전문성을 갖추기가 어려우므로, 산업형 메타버스를 쉽게 개발 및 배포할 수 있는 통합 플랫폼이 필요¹³
- 제조업에 특화된 플랫폼은 AI, 디지털 트윈 등 SW 기술의 발전과 산업 융합에 따라 작업자가 직접 제어하는 ‘기초수준’ 단계에서 SW로 주도적으로 제어하는 ‘초고도화’ 단계로 발전 전망(그림6 & 표5 참조)
- ‘초고도화’ 단계에서는 제품 설계·개발, 공장 운영, 협업 서비스를 최적화하고 맞춤형 대량 생산과 실시간 솔루션 공유를 지원하며, AI 에이전트와 인간 간 고도화된 협업을 실현할 것으로 예상

13 권준형 외(2024), 산업형 메타버스의 현재와 미래

그림 6 - 제조 메타버스 특화 플랫폼 요구사항

I-Metaverse Roadmap (메타버스 팩토리)		Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5
		Human-controlled (기초수준)	Automated (중간1)	Connected (중간2)	Autonomous (고도화)	Software-defined (초고도화)
제조 메타버스 특화 기능	설계·개발	CAD 작업 환경과 CAD 표준 포맷 지원	클라우드 기반 협동 설계 환경	다양한 작업 환경 통합 지원 필요	AI 기반 지능형 작업 환경	UX 기반 제품 자동 최적 설계
	운영·관리	모니터링 기능	센서 기반 이상 감지 이종 공장 정보 통합 서비스	데이터 기반 위험 요소 예측 자동 설비 최적화	산업 특화 AI 모델 복잡한 고차원 문제 해결을 위한 AI 기술	대화형 공장 운영·관리 SDF 실시간 배포
	협업 서비스	의사소통 기능	가상 공간 기반 원격 제어	공장 단위의 실·가상 협업	자율적 매머신 협업	증강 지능 기반 초자율 협업

* 출처 : 권준형 외(2024)

표 5 - 제조 메타버스 특화 플랫폼 요구사항 내용

구분	내용
Level 1 Human-controlled (기초수준)	<ul style="list-style-type: none"> 원격 작업자 사이의 공동 작업을 위한 CAD 작업 환경 및 표준 포맷 지원, 현실 공장의 정보를 시각화하는 모니터링 기능, 원격 작업자 사이의 협업, 소통을 위한 의사소통 기능 필요 원격 협업에 초점이 맞춰져 있으며, 실제 공장에 대한 제어는 미지원
Level 2 Automated (중간1)	<ul style="list-style-type: none"> 사이버-물리 시스템(Cyber-physical system, CPS) 기술과 실·가상 융합 기술, 컴퓨팅 성능의 발전으로 구현 단순하고 반복적인 작업은 SW를 통해 자동화되고, 실세계의 정보를 가상 세계로 통합하여 동기화하는 기술 필요 설계·개발은 클라우드 기반의 공동 설계가 가능 운영·관리 분야는 실세계 공장에 존재하는 센서를 통해 공장의 이상을 감지하고, 서로 다른 이종 공장 데이터가 통합되어 메타버스 공장에 반영 작업자가 현실의 공장에 존재하지 않더라도 원격으로 작업 프로세스나 설비 등을 제어하는 실·가상 협업을 지원
Level 3 Connected (중간2)	<ul style="list-style-type: none"> 네트워크 기술, 상호작용 기술, 고도화된 실·가상 융합 기술에 바탕을 두고, 현실 세계의 공장과 가상 세계의 공장이 더욱 긴밀히 연결되며, 설비, 제품, 프로세스 등 공장을 구성하는 요소들이 상호연결 설계·개발 분야에서, 작업자 별로 서로 다른 작업환경을 이용하더라도 쉽게 통합될 수 있어 작업자의 편의성을 개선 운영·관리 분야에서는 상호연결된 네트워크를 활용해 현장 데이터를 획득, 분석하여 위험요소를 사전에 감지하고, 자동으로 설비와 공정을 최적화 협업 서비스는 현실 공장과 메타버스 공장 사이의 대규모 연결성을 통해 공장 단위의 협업이 가능해져, 메타버스 공장을 통해 현실 공장의 전체 프로세스를 제어 가능

구분	내용
<p>Level 4 Autonomous (고도화)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • AI 기술의 발전과 산업 분야로의 융합을 통해 업무 효율성이 높아지고 자율적으로 문제를 해결하는 수준 • 설계·개발 분야는 AI의 도입을 통해 지능형 작업 환경이 마련되어 작업 효율성이 높아지고, 작업자에게 창의력이 필요한 작업에 집중할 수 있도록 지원 • 운영·관리 분야는 산업 특화 인공지능 기술을 통해 자율적인 맨·머신 협업 가능
<p>Level 5 Software-defined (초고도화)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 사용자 경험 기술과 생성형 AI, 디지털 트윈과 SW 정의 기술의 고도화를 통해 실현 • 제품 설계·개발은 디지털 트윈과 PLM을 통해 제품의 정보를 모니터링하고 사용자 경험에 맞도록 제품을 설계하여 더 나은 제품을 설계할 수 있도록 지원하고 맞춤형-대량 생산에 대응할 수 있도록 제품 설계·개발 도구를 지원 • 공장의 운영·관리는 생성형 AI와 대규모언어모델(LLM)을 활용한 대화형 에이전트를 활용해 최적의 해답을 도출하도록 발전 • SW 정의 공장에서 새로운 인사이트가 발견되면 이를 실시간으로 배포하여 최적의 솔루션을 빠르게 공유 • 협업 서비스는 AI의 고도화를 통해 증강 지능에 기반을 둔 로봇이나 AI 에이전트와 사람 사이에 고도의 협업 가능

* 출처 : 권준형 외(2024); SPRi 재구성

VI 요약 및 시사점

1. 요약

- (현황) 산업 메타버스는 물리적 세계와 디지털 세계의 융합을 통해 현실 문제를 해결하고 효율성을 높이는 수단으로써 관심이 높아지면서 다양한 산업에서 도입 가시화
 - 다양한 B2B SW와 AI, XR, 디지털 트윈 등 신기술이 융합되면서 산업 메타버스로 진화
 - 산업 메타버스는 산업 응용을 위한 물리적 세계와 디지털 세계의 융합으로서 가상 환경을 통해 현실 세계의 문제를 해결하고 산업 효율성 향상에 기여
 - 가상 시뮬레이션, 원격 모니터링, 가상 제품 시연, 협업 등 다양한 활용 사례를 통해 생산성 향상, 비용 절감, 교육 및 훈련 효율성 향상 등 가능

- 산업 메타버스 관련 글로벌 빅테크 기업들은 산업 메타버스 플랫폼 선점과 기업 간 파트너십과 레퍼런스 확보를 통한 생태계 구축을 추진 중
- 국내에서도 제조, 국방, 제약 등 다양한 분야에서 산업 메타버스 도입 사례들이 창출되고 있으며 수요 기업과 공급기업 간 협력 가시화
- (전망) 산업 메타버스 관련 초기 투자와 협력이 증가하고, AI와 XR 등의 기술 발전을 통해 다양한 산업에서 활용이 확대되며, 직원 재교육과 환경적 고려, 그리고 경영진과 직원의 기술 역량 강화가 중요해질 전망
- 제조업에 특화된 산업 메타버스 플랫폼의 경우, 기술 발전과 AI 융합으로 맞춤형-대량 생산 특화 기능들이 요구되는 방향으로 발전 예상

2. 정책적 시사점

- 산업 메타버스 도입을 활성화하기 위해서는 산업 메타버스 활용 사례를 확산하고 이를 위한 생태계 구축 및 플랫폼 개발, AI 융합, 인력 양성 지원 중요

산업 메타버스 활용 사례 개발 및 확산 지원

- 제조, 의료, 에너지 등 다양한 산업 분야에서 산업 메타버스 활용 수요를 파악하고, 성공적인 활용 사례의 구체화 및 확산 필요
- 산업 메타버스의 기술적 성숙도, 조직적 이해도/수용도 등을 고려하여, 현장에서의 적용 가능성과 도입 장애를 지속적으로 점검 및 완화 필요
 - * 산업 메타버스 도입 시에 메타버스에 대한 조직 내 거부감 등 수용도의 차이, 산업 메타버스 투자에 필요한 예산 제약 등 장애 요인 존재¹⁴
- 정부는 다양한 도입 초기 사례에서 겪는 어려움 해결에 도움을 줄 수 있는 가이드라인 제공, 초기 R&D 지원, 직원 재교육 지원 등 산업 메타버스 도입 지원 방안 마련 필요

¹⁴ Nokia(2024.6), 「The metaverse at work」



중소기업의 산업 메타버스 도입 지원

- 중소기업에 산업 메타버스 도입 지원은 생산성 향상과 비용 절감, 기술력 강화를 통해 경쟁력을 높이고 디지털전환을 가속화하는 데 기여
- 정부는 중소기업의 산업 메타버스 도입 부담을 줄여주기 위해 디지털 트윈, XR 등 신기술 도입 지원, 전문 인력 교육 및 재교육 프로그램 지원, 컨설팅 및 기술 자문 제공 지원 등 필요

산업 메타버스 생태계 구축 지원

- XR, AI, IoT, 클라우드, 빅데이터 등 여러 기술이 융합되어 산업 메타버스가 구현되므로 다양한 이종 기술 기업 간 협업을 통한 기술적 요구 충족 필요
- 산업 메타버스 환경에서 원활한 운영을 위해서 각 기술이 상호운용 가능해야 하며, 이를 위해 하드웨어 제조 기업과 SW기업 간의 협업이 필수적
- 정부는 산업 메타버스 구현을 위한 기업, 연구기관, 학계 간 협력을 촉진하고, 각 주체들이 역할을 분담해 생태계를 구축할 수 있도록 조정 역할 수행 필요

산업 메타버스 플랫폼 개발 지원

- 우리나라가 국제적 경쟁력을 지닌 제조 산업 분야에 특화된 산업 메타버스 플랫폼 개발을 지원하여 국가 차원의 산업 경쟁력 강화에 기여
 - * 산업 메타버스 도입을 통해 공장 운영, 설비 유지보수 등의 실시간 모니터링 및 시뮬레이션 등을 통해 공정 효율성 향상 및 비용 절감을 이루고, 가상 교육/협업을 통해 신규 인력 숙련도 향상과 현장 작업자의 역량 강화 실현
- 개발 환경, 컴퓨팅 자원, 데이터 연동 및 현장 응용 기술을 통합하여 클라우드 기반 서비스로 제공하는 플랫폼을 구축함으로써, 기업들이 쉽게 활용할 수 있도록 지원
- 산업 메타버스 플랫폼 구축은 다양한 기술이 융합되고 '기초수준'부터 '초고도화' 단계까지 고도화가 필요한 사업이므로, 이를 실현하기 위해서는 정부나 관련 기관에서 단계별로 장기적인 지원 제공 필요

산업 메타버스와 AI 융합 지원

- AI는 산업 메타버스에서 디지털 트윈의 정밀도 향상, 지능형 예측 유지보수, 최적화된 공정 관리와 의사결정 지원 등의 다양한 이점을 제공하며, 산업 메타버스 플랫폼 진화 및 고도화에도 중요 역할
- 정부는 산업 메타버스와 AI 융합을 촉진하기 위해 연구개발 지원, 파일럿 프로젝트 운영, 민관 협력 촉진 등 다양한 측면의 지원 제공 필요

산업 메타버스 전문 인력 양성

- 산업 메타버스는 제조, 물류, 건설 등 다양한 분야에 적용되어 생산성 향상과 효율성 증대를 가져올 수 있으며, 이러한 변화를 주도할 인력을 양성하여 산업 전반의 디지털전환과 혁신을 가속화
- 정부는 메타버스 관련 기술 교육 프로그램을 개발하고 산학 협력을 강화하여 실무형 전문 인력을 양성하고 재직자 교육과 연구개발 인력 양성도 지원 필요

참고문헌

1. 국내문헌

- 과학기술정보통신부 보도자료(2024.7.16.), “미래 가상융합세계(메타버스) 산업을 주도할 산업용 가상융합세계(메타버스) 발전을 위한 민·관 협력방안 모색”
- 권준형, 조든솔, 윤성진, 최정호, 김원현, 김원태(2024), 산업형 메타버스의 현재와 미래
- 김진구(2024.4.22.), “메타버스 공장 가동!...종근당, 월드IT쇼 깜짝 등장한 까닭”, 데일리팝
- 김진희(2024.3.23.), “엔비디아, 디지털 트윈으로 실시간 AI 시뮬레이션 통해 산업 자동화 발전 가속화”, HelloT
- 딜로이트(2024.10.15.), “산업 메타버스에 집중하는 제조 기업들”
- Nvidia Korea(2021.4.16.), “BMW와 함께 NVIDIA 옴니버스를 이용한 가상 공장 계획화”

2. 국외문헌

- ABI Research(2022.9.20.), 「Evaluation of the Enterprise Metaverse Opportunity」
- Arthur D. Little(2023.7.), 「The Industrial Metaverse - Making the invisible visible to drive sustainable growth」
- Frost & Sullivan(2022.12.23.), 「Industrial Metaverse Growth Opportunities」
- Gartner(2024.2.28.), 「Quick Answer: What is Industrial Metaverse?」
- Nokia(2024.6.), 「The metaverse at work」
- Microsoft(2024.1.31.), Microsoft and the industrial metaverse are enabling and accelerating the energy transition
- MIT Technology Review(2023.3.29.), 「The emergent industrial metaverse」
- World Economic Forum(WEF)(2023.10.13.), 「Exploring the Industrial Metaverse: A Roadmap to the Future」
- World Economic Forum(WEF)(2024.3.12.), 「Navigating the Industrial Metaverse: A Blueprint for Future Innovations」

3. 기타

- ESI Group, IC.IDO | Virtual Reality Engineering Software, www.esi-group.com/products/ic-ido
- Siemens, www.siemens.com/global/en/company/digital-transformation/industrial-metaverse.html
- Microsoft, partner.microsoft.com/en-US/explore/industrial-metaverse