



ISSUE 1

메타버스-AI 공진화 전망과 시사점

Prospects and Implications of Metaverse and AI Co-evolution

· 한상열 소프트웨어정책연구소 가상융합연구실 책임연구원 | syhan17@spri.kr

EXECUTIVE SUMMARY

메타버스는 가상공간, 또는 현실과 가상이 융합된 공간으로서 다양한 산업에서 실증적 성과를 보이고 있으며, 생성형 인공지능을 중심으로 한 AI 기술은 사회 전반에 급속히 확산되고 있다. 이 두 기술은 서로의 발전을 촉진하며 공진화하고 있으며, 이로 인해 새로운 가치와 서비스 창출의 혁신이 기대된다.

AI는 텍스트로도 실시간 콘텐츠 창작을 지원하며, 메타버스 내에서 사용자의 행동 패턴을 학습하여 개인화된 콘텐츠와 추천 시스템 구현 등에 핵심적 역할을 수행한다. 이를 통해, 메타버스는 각 사용자에게 최적화된 맞춤형 경험을 제공하고 산업적 활용 측면에서도 향상된 성과 달성에 기여할 수 있다.

메타버스는 AI 학습에 필요한 데이터와 시뮬레이션 환경을 제공함으로써 상호 시너지 효과를 창출하고 있다. 메타버스에서 생성되는 사용자 행동 데이터는 AI 모델 학습에 유용하게 활용될 수 있고, 메타버스에서 제공하는 가상 시뮬레이션 환경은 AI가 복잡하고 다양한 물리적 조건을 안전하게 사전 학습하고 대응 전략을 검증하는 데 기여할 수 있다. 또한, AI 기반 XR 기기와 디지털 휴먼은 현실과 가상 세계를 연결하는 핵심 매개체로서 AI의 실생활 활용성을 높이며, 새로운 응용 서비스 기회를 창출할 것으로 기대된다.

향후 전망을 보면, 단기적으로, 생성형 AI 기반 콘텐츠 제작과 맞춤형 사용자 경험이 메타버스 서비스 혁신을 주도하고, 중기적으로는 AI 인터페이스 확장 및 메타버스 기반 AI 훈련 환경이 고도화되며 다양한 산업에 적용이 확대될 것으로 예상된다. 장기적으로는 메타버스-AI 융합이 사회 전반에 내재화되면서, 현실과 가상의 경계를 허무는 구조적 전환이 본격화될 것으로 전망된다.

메타버스와 인공지능(AI)의 공진화는 기업의 기술 혁신과 정부의 제도적 지원을 통해 상호 보완적으로 발전할 수 있다. 기업은 메타버스-AI 융합 핵심 기술을 개발하고, 산업별 맞춤형 서비스와 수익 모델을 창출하며, 윤리성과 사회적 책임을 고려한 기술 활용이 필요하다. 정부는 메타버스-AI 공진화를 위한 제도적 기반을 마련하고, 기업 및 연구 지원, 전문 인력 양성, 공공 확산 등을 통한 생태계 조성 지원 등 산업 전반의 성장 지원 역할을 수행해야 한다. 특히, 교육, 소방, 국방 등 공공 분야에서 메타버스-AI 융합 활용 사례를 우선 창출하여 기술 확산을 견인할 필요가 있다.

The metaverse, as a virtual space or a fusion of physical and digital realities, has demonstrated tangible outcomes across various industries. Meanwhile, AI technologies—particularly those based on generative AI—are rapidly spreading throughout society. These two technologies are mutually reinforcing and co-evolving, paving the way for innovative value creation and the emergence of new services.

AI plays a central role in enabling real-time content creation through text and in learning users' behavioral patterns within the metaverse to deliver personalized content and recommendation systems. As a result, the metaverse can offer tailored experiences optimized for individual users, while also contributing to improved outcomes in industrial applications.

Moreover, the metaverse provides rich data and simulated environments necessary for training AI models, generating mutual synergies between the two domains. User behavior data collected within the metaverse can serve as valuable input for AI learning. Simulated environments in the metaverse enable AI to safely pre-train and test response strategies under complex, variable physical conditions. In addition, AI-powered XR devices and digital humans are emerging as key mediators that bridge the physical and virtual worlds, enhancing the practical applicability of AI and unlocking new opportunities for application services.

Looking ahead, in the short term, generative AI-driven content creation and personalized user experiences will drive innovation in metaverse services. In the medium term, the expansion of AI interfaces and the advancement of AI training environments within the metaverse are expected to broaden applications across diverse industries. In the long term, as the convergence of the metaverse and AI becomes embedded across society, a structural transformation that breaks down the boundaries between reality and the virtual world is expected to take full shape.

The co-evolution of the metaverse and AI can progress synergistically through technological innovation by the private sector and institutional support from the government. Companies need to develop core technologies for metaverse-AI convergence, create industry-specific services and revenue models, and ensure that technologies are used with consideration for ethics and social responsibility. Governments should establish a regulatory foundation for metaverse-AI co-evolution, support enterprises and research initiatives, foster skilled professionals, and nurture the overall ecosystem to drive industrial growth. In particular, it is necessary to prioritize the development of metaverse-AI convergence use cases in public sectors such as education, firefighting, and national defense to drive broader technology adoption.

I 서론

○ 메타버스는 다양한 사회적·경제적·문화적 가치를 창출하는 가상공간이자, 가상과 현실이 결합한 공간으로 주목받고 있으며¹, 인공지능(AI)은 생성형 AI를 중심으로 일반 대중과 산업 전반에 빠르게 확산

- 메타버스의 초기 열풍은 가라앉았으나, 게임, 소셜, 교육, 제조, 의료, 국방 등 특정 분야에서 활용 성과를 거두고 있으며, XR 등 구현 기술 고도화를 통해 지속 발전 중

* (게임) 로블록스 일간 활성화 이용자 수: '23년 4분기 약 71백만 명 → '25년 1분기 약 97백만 명

(소셜) 제페토 누적 등록자 수: '22년 3월 3억 명 → '24년 10월 5억 명

(교육) LGU+ 키즈토피아 가입자 수: '24년 8월 50만 명 → '25년 4월 160만 명

(제조) 슈타겐-현대자동차: 메타버스 제조혁신 플랫폼 실증으로 설치 프로세스 시간 75% 단축('24)

** (XR) 삼성전자, 퀄컴, 구글, 메타, 애플 등은 차세대 XR 기기 개발, 또는 OS(운영체제) 발표 등을 통해 XR 생태계 구축 중이며, XR 활용 범위도 다양한 산업 분야로 확대

- AI는 생성형 AI의 대중화와 함께 다양한 분야에서 활용되면서 일상생활은 물론 사회 전반에 걸쳐 영향력을 확대 중

○ 각각만으로도 큰 변화를 이끌 것으로 기대되는 메타버스와 AI, 두 기술은 상호 영향을 주며 동반 진화하면서 새로운 서비스와 가치를 창출할 것으로 전망

- 인터넷과 모바일, 클라우드와 빅데이터 등이 서로 보완하며 발전 가속도가 붙은 것처럼 메타버스와 AI도 상호 촉진이 가능하다면 지속적인 기술혁신과 생태계 확장 가능 기대
- 메타버스 환경에서는 지능적으로 상호작용하는 AI 수요가 증가하고, AI 기술은 메타버스 환경을 통해 다양한 데이터 학습과 사용자와 상호작용 범위 확대 가능
- 즉, AI는 메타버스를 통해 고도화되고 메타버스는 AI를 통해 개인화된 활동과 데이터가 증가함에 따라 AI의 재학습을 촉진하는 순환적 발전 실현

○ 본 연구에서는 메타버스와 AI의 공진화 사례를 분석하고, 주요 응용 분야 및 향후 발전 전망을 살펴봄, 기업과 정부가 준비해야 할 메타버스-AI의 융합 촉진 및 활성화 방안을 제시

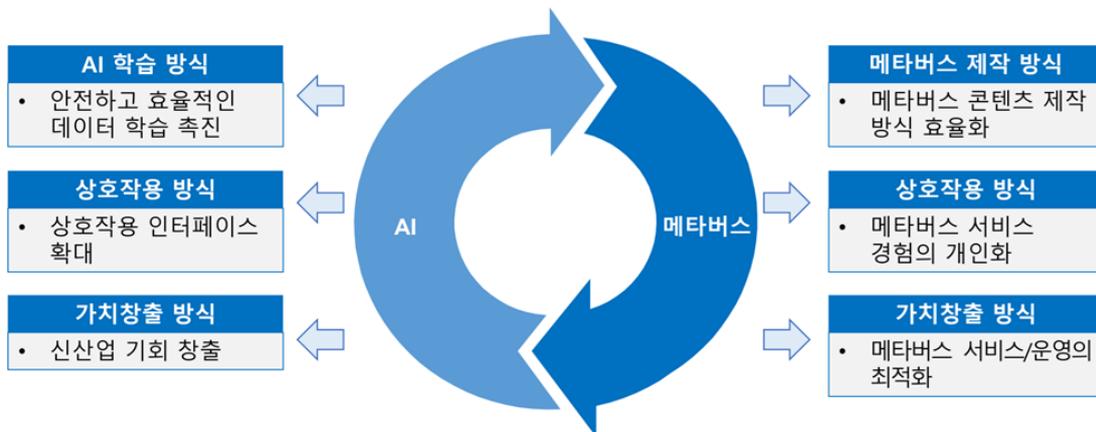
1 메타버스 정의(가상융합산업진흥법): 이용자의 오감을 가상공간으로 확장하거나 현실공간과 혼합하여 인간과 디지털 정보 간 상호 작용을 가능하게 하는 기술을 바탕으로 다양한 사회적·경제적·문화적 활동을 할 수 있도록 구성된 가상의 공간이나 가상과 현실이 결합한 공간

II 메타버스와 AI의 공진화

○ 메타버스는 데이터 학습과 상호작용 기회를 넓혀 AI 발전을 촉진하고, AI는 메타버스 콘텐츠를 풍부하고 지능적으로 고도화하여 양방향 시너지를 창출하는 공진화 기대

- **(AI → 메타버스)** AI는 메타버스의 몰입형 경험을 강화하고, 가상 환경을 더 현실적으로 만들며, 사용자 경험을 개인화하는 데 필수적 역할
 - 텍스트로도 실시간 콘텐츠 창작을 지원하며, 메타버스 내에서 사용자의 행동 패턴을 학습하여 개인화된 콘텐츠와 추천 시스템 구현 등에 핵심적 역할
 - 이를 통해, 메타버스는 단순한 가상 공간이 아닌, 각 사용자에게 최적화된 맞춤형 경험을 제공하고 산업용 활용 목적 측면에서도 향상된 성과 달성에 기여
- **(메타버스 → AI)** 메타버스에서 생성되는 사용자의 행동 데이터는 AI 모델 학습에 유용하게 활용될 수 있으며, 디지털 휴먼과 XR 기기는 AI의 확장된 인터페이스로서 역할
 - 또한, 메타버스는 현실 세계에서는 제공하기 어려운 다양한 가상 시뮬레이션 환경을 제공하여, AI가 복잡하고 다양한 물리적 조건을 안전하게 사전 학습하고 대응 전략을 검증할 수 있는 테스트베드(testbed)로 기능

[그림 1] 메타버스 - AI 융합 시너지

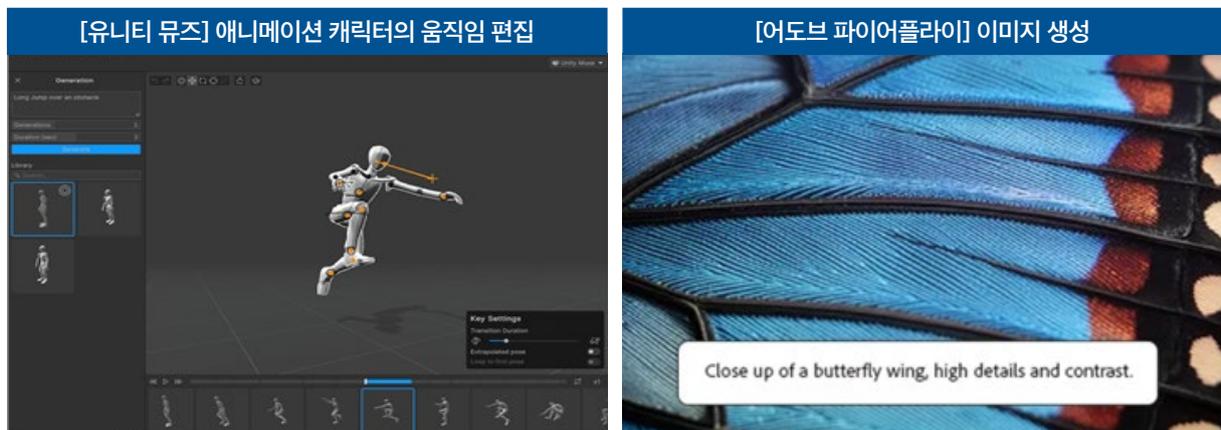


1. AI 기반 메타버스 혁신

1) 메타버스 콘텐츠 제작 방식 효율화

- 생성형 AI는 3D 모델링 과정을 자동화하여 메타버스의 그래픽 콘텐츠 제작 비용 절감에 기여하고, 개발자·창작자·이용자 모두가 손쉽게 콘텐츠를 생산할 수 있는 창작 권한 부여
 - 유니티(Unity), 어도브(Adobe) 등 콘텐츠 제작 도구를 제공하는 회사들은 자사 제품에 생성형 AI를 접목해 콘텐츠 제작 과정의 효율성 향상 도모
 - * (유니티) 생성형 AI 기반 리소스 제작 도구인 유니티 뮤즈(Unity Muse) 플랫폼은 코드와 애니메이션, 사운드 등을 텍스트 명령으로 창작 가능(그림 2 참조)
 - * (어도브) 생성형 AI 기반 콘텐츠 생성 도구인 어도브 파이어플라이(Adobe Firefly)는 텍스트 명령으로 이미지, 영상, 오디오, 벡터 그래픽 제작이 가능하며, 현재까지 이미지와 영상을 비롯한 220억 개 이상의 에셋² 생성(그림 2 참조)

[그림 2] 생성형 AI 기반 콘텐츠 제작 도구 활용 사례 - 유니티, 어도브

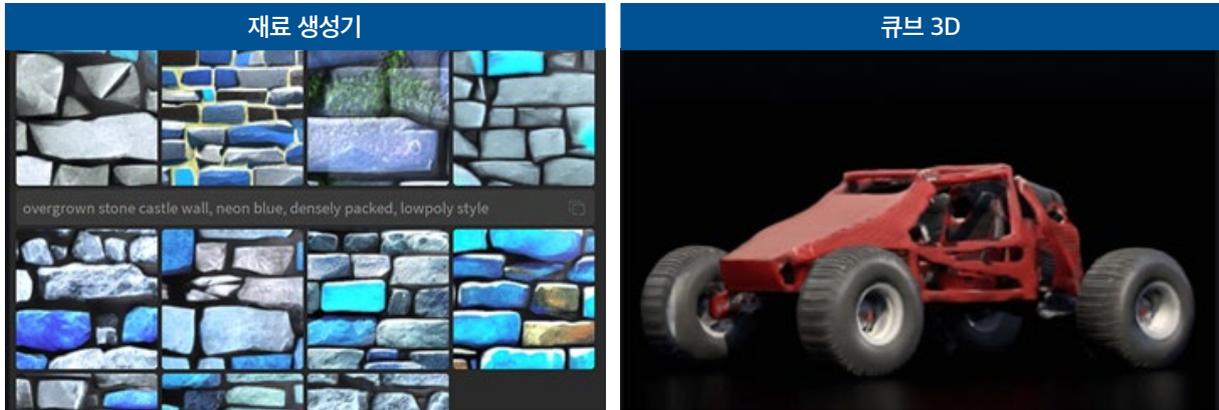


- 특히, 다양한 요구를 가진 C2C(Customer to Customer) 사용자들의 만족도 향상에 생성형 AI 콘텐츠가 효과적으로 활용될 수 있을 것으로 기대^[28, 31]

- * (제페토) 크리에이터의 아바타 아이템 창작 등 콘텐츠 제작을 지원하기 위해 생성 AI 기술 제공
- * (로블록스) 사용자가 텍스트를 입력해 메타버스 콘텐츠 재료를 생성할 수 있는 '재료 생성기(Material Generator)' 제공('24.9.) 텍스트 입력으로 3D 콘텐츠를 생성할 수 있는 '큐브 3D(Cube 3D)' 공개('25.5.)(그림 3 참조)

² 게임이나 앱을 만드는 데 사용하는 모든 아이템(예. 3D모델, 텍스처, 음향 효과, 음악 등 시각적/청각적 요소)

[그림 3] 생성형 AI 기반 콘텐츠 제작 도구 활용 사례 - 로블록스

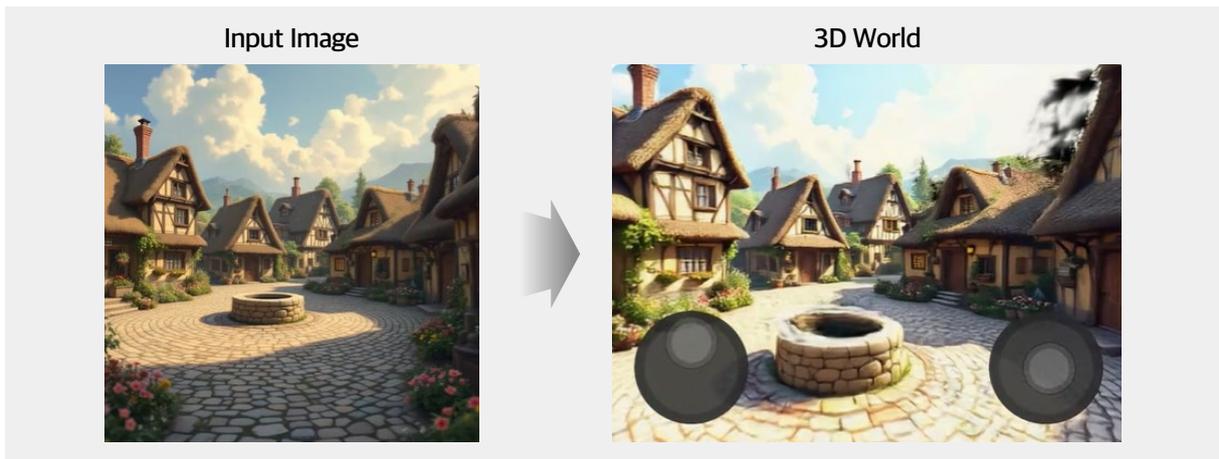


[프롬프트] overgrown stone castle wall, neon blue, densely packed, lowpoly style

[프롬프트] A red buggy with knobby tires

- 개별 아이템뿐만 아니라 3D 가상 세계까지 AI를 활용해 제작이 가능해지면서 메타버스 환경 구현의 효율성과 접근성이 크게 향상될 것으로 전망
- * 월드 랩스(World Labs)는 현실 세계를 이해하고 판단하는 ‘공간 지능(Spatial Intelligence)’을 개발하고 있으며, 이를 바탕으로 공개한 ‘월드 모델(World Model)’은 2D 단일 이미지로 동적인 탐색이 가능한 3D 가상 세계를 생성 가능^[43](그림 4 참조)

[그림 4] 월드 모델을 활용한 3D 가상 세계 생성 사례 - 월드 랩스



- * 구글 딥마인드(Google DeepMind)가 공개한 지니 2(Genie 2)는 텍스트와 이미지 입력으로 키보드와 마우스로 다양한 플레이가 가능한 3D 세계 생성 가능^[27](그림 5 참조)

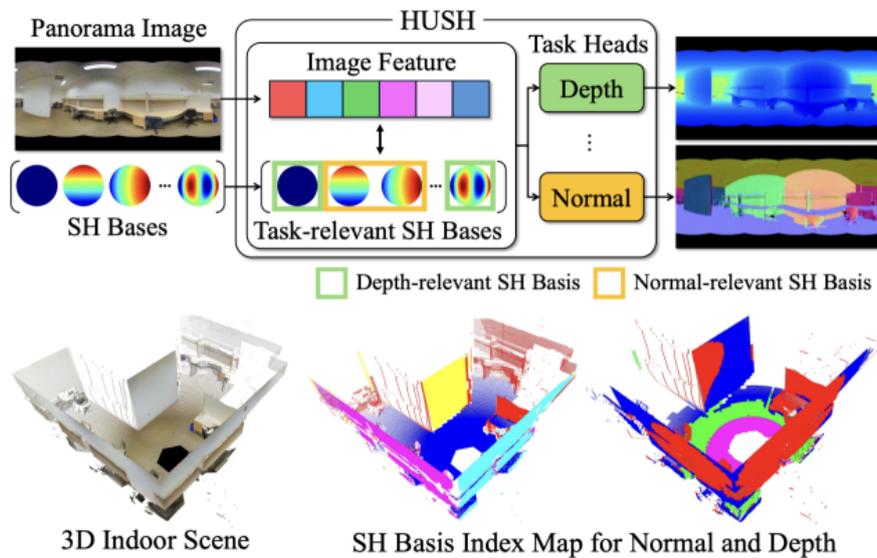
[그림 5] 월드 모델을 활용한 3D 가상 세계 생성 사례 - 구글 딥마인드



※ 키보드로 영상 속 보트를 이동시킬 때, 움직임에 맞추어 영상 시점이 실시간으로 변화

- * 오디세이(Odyssey)는 키보드로 영상 속 공간을 자유롭게 탐색할 수 있는 월드 모델 기반의 인터랙티브 비디오(Interactive Video) 생성 기술을 개발^[38]
- * 텐센트가 중국 AI 스타트업 센스타임과 협력 개발한 ‘Hunyuan World Model 1.0(훈위안 월드 모델 1.0)’은 자연어 명령이나 이미지 업로드만으로 3D 세계를 구축 가능^[40]
- * 울산과학기술원(UNIST) 주경돈 교수팀이 개발한 AI 모델은 360도 파노라마 이미지에서 공간 구조와 내부 물체의 3차원 정보를 동시에 추출할 수 있어, 현실 공간에 디지털 콘텐츠의 정확한 배치 등에 활용 가능^[8] (그림 6 참조)

[그림 6] 단일 파노라마 이미지에서 깊이, 법선 등 공간 정보를 추론할 수 있는 AI 모델



2) 메타버스 서비스 경험 개인화

- AI는 메타버스 사용자 정보에 기반해 환경 생성, 아바타 제작 등을 실시간으로 진행하여 몰입감 높은 맞춤형 경험을 제공
 - AI는 사용자의 행동 데이터를 분석해 필요와 선호를 예측하고 적합한 콘텐츠나 연결을 사전에 제안하여 몰입도를 높이고 유대감을 형성^[18]
 - 사용자의 관심에 맞는 가상 공간이나 아바타를 자동으로 구성하는 등 원하는 주제/스토리에 맞는 콘텐츠를 실시간으로 생성 가능^[9, 37]
 - * 메타의 호라이즌 월드(Horizon Worlds) 플랫폼은 사용자의 활동 기록 및 선호도를 반영한 맞춤형 콘텐츠 제공 및 사용자 선호 경로 설계^[9]
- AI는 메타버스에서 감정 인식 기반 상호작용, 포용적 설계, 다국어 접근성, XR 기반 몰입형 인터페이스를 가능하게 하여 직관적이고 사용자 친화적인 메타버스 경험 실현
 - AI의 멀티-모달 기술을 기반으로 메타버스에 자연어 기반과 감정 인식 기반의 상호작용 인터페이스를 제공^[29, 9]
 - * 멀티모달 방식을 통해 음성, 표정, 제스처, 생체 신호 등 다양한 이용자 데이터를 분석하여 사용자 감정 상태를 추론^[9]
 - * 메타버스 교육 및 상담 분야에서 맞춤형 정서 지원을 하거나, 메타버스 게임 분야에서는 이용자의 감정 상태에 따른 콘텐츠를 제안할 수 있고, 메타버스 마케팅 분야에서는 이용자의 흥미도에 따라 제품 추천 등 가능
 - * 국내 야타브엔터가 개발한 '메타포레스트'는 메타버스에서 아바타를 활용해 심리상담을 할 수 있는 서비스로, 아바타에 AI 표정인식 기술이 적용되어 공존감 있는 상담 가능(그림 7 참조)

[그림 7] 메타버스 심리상담에서 상담자 표정의 실시간 인식 및 아바타 반영



출처: 디지털타임스, 메타포레스트 유튜브 영상 캡처

- AI를 활용하여 장애인을 포함한 모든 사용자에게 편리한 사용 경험을 제공할 수 있는 보편적 인터페이스 구축
 - * 시각장애 보조, 또는 고령층 보조를 위한 음성 인터페이스, 청각장애 보조를 위한 자막이나 아바타 기반 수어 제스처 인터페이스 등 제공
 - * 영국 스타트업, ‘사일런스 스피크스(Silence Speaks)’는 텍스트를 수화로 번역할 수 있는 AI 기반 수화 아바타를 구현하였으며, 국내에서도 한국전자통신연구원(ETRI), 충남대학교병원, 기업 이큐포올이 공동으로 청각 장애인을 위한 양방향 의료 수어 서비스 키오스크 개발
- AI 기반 다국어 번역 기능을 지원하여 전 세계 사용자가 언어 장벽 없이 메타버스에 접근 가능한 환경 구현
 - * 아바타 간 대화, 가상 회의, 고객 상담, 교육 등에서 동시 통역 수준의 자동 번역 시스템 적용
- AI와 XR 인터페이스의 통합은 사용자와 메타버스와의 상호작용 방식을 보다 자연스럽게 직관적인 경험으로 혁신
 - * AI는 XR 환경에서 사용자의 시선 추적이나 제스처 인식에 활용되어 가상 객체 및 공간과의 상호작용을 보다 자연스럽게 직관적으로 만들어 줄 수 있으며, 사용자 행동과 선호에 따라 지능적으로 반응하며 더욱 개인화된 XR 경험을 설계 가능
- 메타버스-이용자 간 직관적 상호작용을 위한 BCI(Brain-Computer Interface) 기술도 AI가 접목되면 뇌 신호 해석과 사용자 의도 이해의 효율성과 성능 향상 가능
 - * 메타버스에 BCI 기술을 적용하기 위한 연구 진행 중; 뇌파를 이용해 사용자의 감정에 따라 메타버스 속 아바타의 표정을 바꿔 주거나 사용자 의도를 읽어내 아바타를 제어^[11]
- 수많은 사용자 활동과 상호작용이 실시간으로 기록되는 메타버스 환경에서 개인정보 보호와 사이버 위협에 효과적으로 대응하는 수단으로도 AI 활용
 - AI는 사용자의 다양한 맥락에서 개인정보 선호도를 자동으로 감지하고 동적으로 보호하는 알고리즘을 통해 프라이버시 보호 기능 수행 가능^[26]
 - AI 기반 보안 시스템은 메타버스 내에서 악성코드, 피싱 공격, 무단 접근 등 다양한 사이버 위협을 식별하고 대응^[25]
 - * 머신러닝 알고리즘은 사용자 행동, 네트워크 트래픽, 시스템 활동의 패턴과 이상 징후를 분석하여, 잠재적인 보안 침해를 사전에 탐지

3) 메타버스 서비스/운영 최적화

- AI를 활용한 최적화로 가상 교육·훈련 서비스, 가상 제조 설계 서비스 등 다양한 메타버스 서비스의 산업 성과 향상
 - * 제조 운영 솔루션 전문기업인 슈타겐(Shutagen)은 현대자동차 시범공장(울산) 내 자동차 도어탈거 과정에 메타버스와 AI 기반 로봇 티칭을 적용하는 시범운영 실증(23.9~11.)을 수행하였으며, 설치 프로세스 시간을 75% 단축
 - * BMW는 메타버스 가상공간에서의 계획 및 시뮬레이션을 통해 자동차 생산 공장 구축을 신속히 진행하고, 가상화와 인공지능을 통해 실시간 협업 및 의사 결정의 효율성 향상(22~)
 - * 미군 가상훈련을 위한 IVAS(통합 시각 증강 시스템) 개발에 참여 중인 안두릴(Anduril)은 XR 인터페이스와 AI 기반 지휘통제 시스템을 통합하여 전술적 의사 결정 향상 추진(25)
 - * 비행교육원은 전문 비행훈련용 VR 시뮬레이터로 AI 강사가 알려주는 조정법을 배우는 비행교육 과정을 국내 최초로 운영(25.3.)

- 블록체인, 디지털 트윈³ 등 메타버스 구현 주요 기술도 AI와 통합되면 신뢰성 강화, 정밀한 시뮬레이션 구현 등 메타버스 성과 향상에 기여 가능^[37]
 - AI와 블록체인 기술의 통합은 메타버스 애플리케이션의 보안, 프라이버시, 확장성을 향상시킬 수 있는 잠재력 보유
 - AI 알고리즘을 활용해 블록체인 데이터를 분석하고 학습함으로써, 개발자들은 보다 안전하고 효율적인 블록체인 기반의 메타버스 애플리케이션을 개발 가능
 - * AI는 신원 도용이나 이중 지출(double spending) 공격과 같은 블록체인 네트워크상의 사기 행위를 탐지하고 방지하는 데 활용. 또한, AI는 블록체인 트랜잭션을 분석 및 최적화하여, 네트워크의 처리 효율성과 속도 향상에도 기여
 - AI와 디지털 트윈의 결합은 더 현실적이고, 개인화되며, 선제적인 디지털 시뮬레이션 구현에 기여
 - * AI 알고리즘을 적용하면 복잡한 현실 세계 시나리오를 가상 세계에서 보다 정밀하고 사실적으로 재현할 수 있어 시뮬레이션의 정확도와 현실감 향상
 - * AI를 활용해 디지털 트윈은 수집·분석된 데이터를 기반으로 자율적인 의사 결정 수행 가능

3 디지털 트윈은 현실을 가상 공간에 복제하여 상호작용을 하고, 가상과 현실을 결합하여 다양한 활동을 가능하게 하는 메타버스의 핵심 구성 요소

참고 | AI의 메타버스 운영 최적화 사례

◆ (종근당) 메타버스 팩토리 구축 및 AI 접목으로 제조 공정 운영 최적화^[2, 4]

- 종근당은 '24년 천안 제약공장을 3차원으로 가상화한 '메타버스 디지털 팩토리' 구현
 - 주요 생산설비를 포함해 클린룸 환경, 센서 데이터, CCTV 등 운영 정보와 연관된 디지털 트윈 환경을 구현하고 ERP·REMS 등 주요 시스템과 통합
 - 핵심 설비들의 HMI(Human Machine Interface) 패널도 메타버스상에 재현하여 다중 설비의 병렬 감시 및 이상 감지 가능⁴
 - (의약품 제조 공정 최적화) 메타버스 디지털 팩토리에서 수집되는 데이터에 AI를 접목하여 예측적 공정·품질 관리를 실현하고 의약품 제조 과정 효율성 개선
- ☑ 실제 공장에서 10초에 한 번씩 생산 설비의 온도와 압력 등 공정 데이터를 실시간으로 수집
- ☑ 다양한 데이터를 분석해 주요 변수들을 도출한 뒤, 최종 제조에 상관 관계를 가질 수 있는 요소들을 수동으로 조절함으로써 가상 생산 예측 결과를 시뮬레이션하여 품질을 예측하고 공정 변수를 최적화

[그림 8] 종근당 메타버스 디지털 팩토리 아바타 및 AI 품질 예측



출처: 데일리팜

4 제조 공정 과정에서 작업자 개입이 필요한 경우, 현장을 방문하지 않고도 가상 공간에서 제어가 가능. 다만, 현재는 GMP(Good Manufacturing Practice)상의 규제와 밸리데이션(Validation) 체계상 실사용은 제한되어 있으며, 시뮬레이션 및 모니터링 중심으로 운영 중^[2]

2. 메타버스 기반 AI 혁신

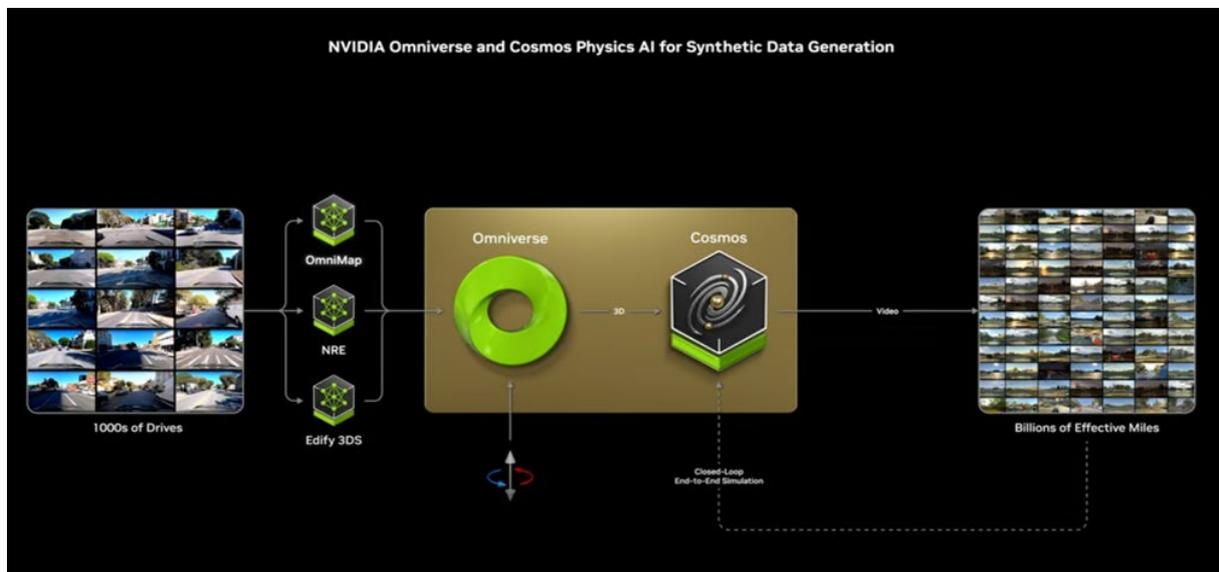
1) 안전하고 효율적인 데이터 학습 촉진

- 메타버스는 현실 세계의 물리적 제한이 없는 대규모 가상 시뮬레이션 환경을 제공하고 AI는 다양한 시나리오를 거치며 안전하게 학습

* 엔비디아의 물리 AI(Physical AI) 훈련 체계는 메타버스 개발 및 시뮬레이션 플랫폼인 옴니버스(Omniverse)와 현실 세계의 복잡한 물리적 상황을 가상 환경에 모델링하는 WLM(World Foundation Model) 코스모스(Cosmos) 플랫폼으로 구성(그림 9 참조)

- 옴니버스는 피지컬 AI의 정책을 시뮬레이션하며, 코스모스는 시뮬레이션 환경을 정밀하게 묘사하는 디지털 세계 모델(월드 모델) 구축을 지원
- 이를 통해 자율주행차나 로봇용 피지컬 AI가 다양한 물리적 조건과 환경에서 학습할 수 있도록, 날씨, 장애물, 교통 상황 등 여러 조건을 반영한 가상 세계 합성 데이터를 대량 생성하여 AI가 안전하게 훈련되고 검증될 수 있도록 지원(24~)⁵

[그림 9] 합성 데이터 생성을 위한 엔비디아 옴니버스 및 코스모스 연계도

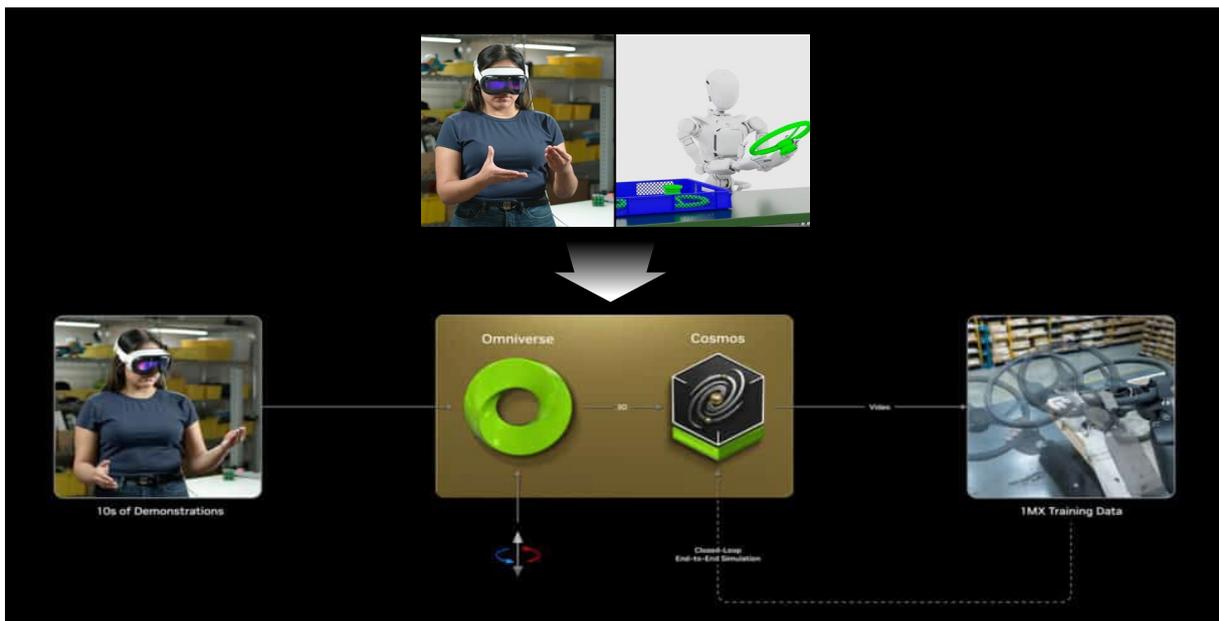


출처: NVIDIA

⁵ "NVIDIA의 Cosmos 등은 정교한 합성 데이터 생성과 환경 다양성 구현을 통해 시뮬레이션과 현실 간 격차를 줄이고자 하나, 여전히 현실의 모든 변수(e.g. 지형, 표면 마찰력, 재질 특성, 조도, 조명 변화, 날씨, 온·습도, 사회적 신호 등)와 불확실성을 완전히 반영하는 데에는 기술적 한계가 존재"^[15, 33]

- 메타버스는 AI가 실제 물리 세계를 이해하고 적응하는 능력을 키우는 데 중요한 도구가 될 수 있으며, 이를 통해 로보틱스 모델 같은 첨단 AI 기술을 훈련·검증하는 데 큰 역할을 할 것으로 전망³²⁾
 - * 지멘스의 시마틱 로봇 픽 AI(SIMATIC Robot Pick AI)는 산업용 로봇을 형상, 재료, 환경에 대한 가상 시뮬레이션의 합성 데이터로 훈련시켜, 복잡한 상자에서 알 수 없는 품목을 집어 올리는 것과 같은 예측 불가능한 작업을 98% 이상의 정확도로 처리 가능
 - * 로봇 회사 애니보틱스(ANYbotics)는 로봇이 훈련할 수 있는 물리적 시설의 가상 복제본을 제작
 - 에너지 플랜트는 현장 계획을 활용한 검사 작업 시뮬레이션을 생성하고, 로봇은 시뮬레이션을 통해 시설에서 수행해야 할 일을 훈련받음(23); “시뮬레이션을 통해 수천 개의 가상 로봇을 생성하여 작업을 연습하고 동작을 최적화”
 - * 엔비디아는 애플 비전 프로를 착용한 인간의 동작을 캡처하고 디지털 트윈 환경으로 기록한 후, 옴니버스와 코스모스를 활용해 대규모 합성 데이터로 확장하여 로봇 훈련에 활용(그림 10 참조)

[그림 10] 휴머노이드 로봇 훈련을 위한 합성 데이터 창출 - 엔비디아



출처: NVIDIA

2) 상호작용 인터페이스 확대

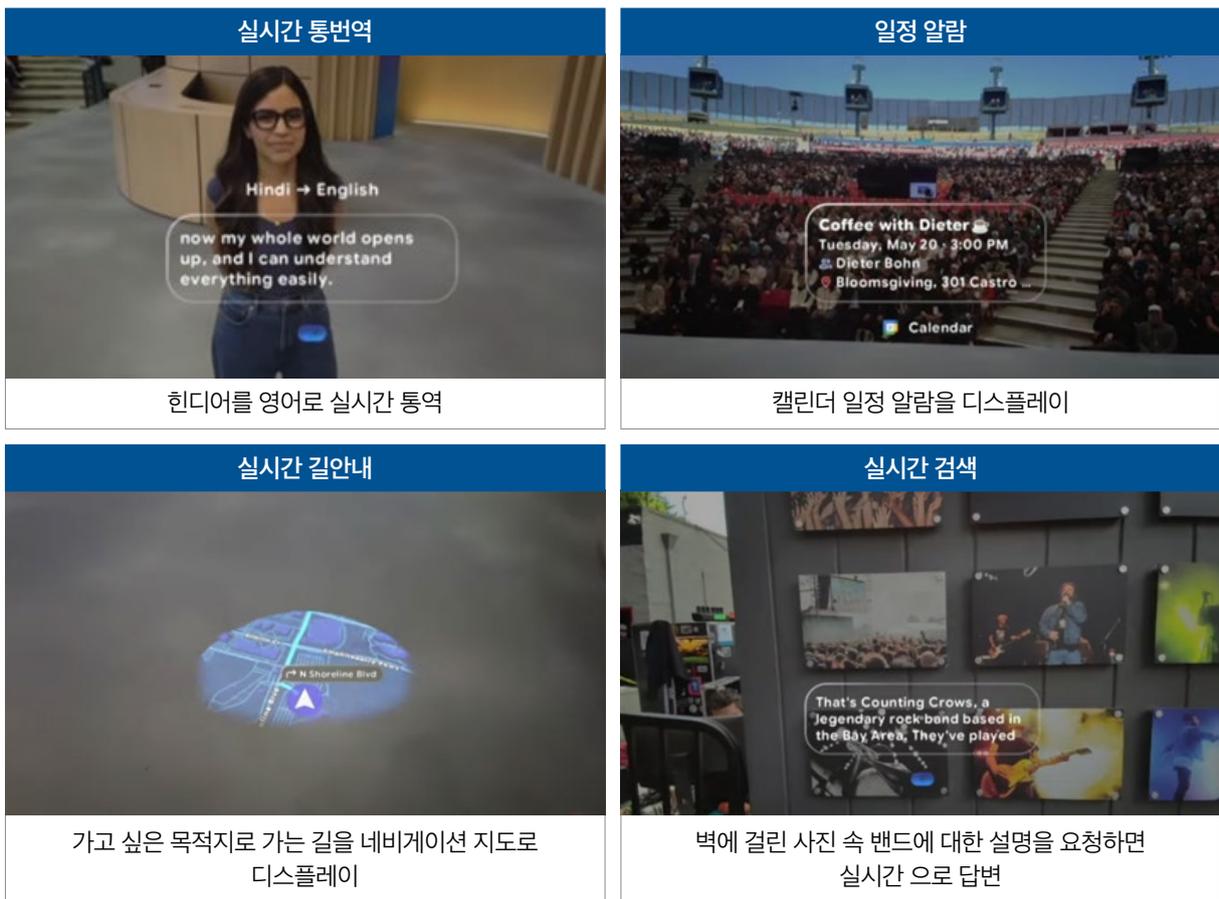
- XR 기기, 디지털 휴먼 등 메타버스 기술은 AI가 현실 세계를 보다 다양하고 정확하게 인지하고 학습할 수 있도록 지원하는 새로운 인터페이스를 제공

- 현재 AI는 기존의 텍스트 기반 대화를 넘어, AI 웨어러블(Wearable) 등 전용 하드웨어를 포함한 새로운 형태의 상호작용 방식을 개발 중⁶
- XR 기기는 AI가 현실을 인지하고 상호작용하는 새로운 하드웨어 인터페이스로 활용될 수 있으며, 디지털 휴먼도 AI가 인간과 유사한 방식으로 소통하는 인터페이스로 역할

① AI-XR 기기

- AI는 XR 기기의 카메라와 스피커를 통해 다양한 외부 정보를 획득하고, 이에 대응한 다양한 정보를 디스플레이를 통해 제공(그림 11 참조)

[그림 11] AI-XR 기기 활용 예시 - 구글



출처: Google I/O '25 Keynote 유튜브 동영상 발췌

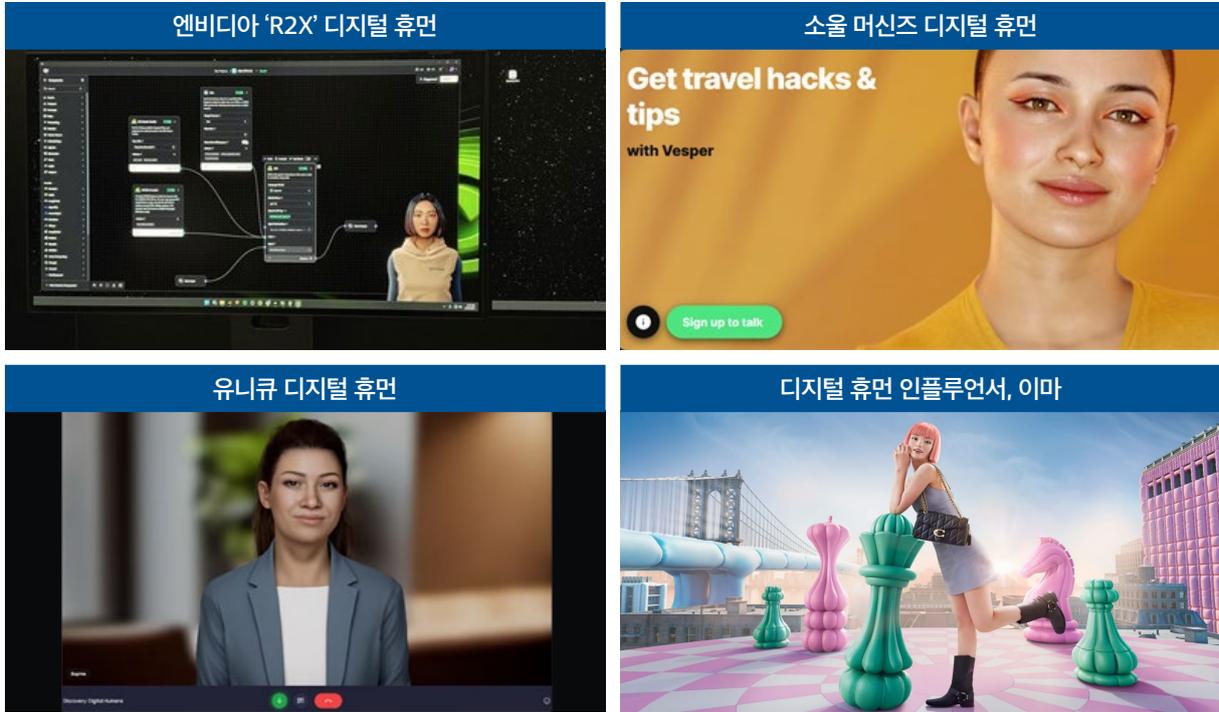
⁶ Rabbit Inc.는 AI 비서 하드웨어를 CES 2024에서 공개한 바 있으며('24.1.), 오픈 AI는 새로운 형태의 AI 하드웨어를 개발하고 있는 스타트업 'io'를 인수('25.5.)

- 스마트폰 화면을 보지 않는 실시간 길찾기, 주변 사물에 대한 즉각적인 설명이나 번역 등 AI의 새로운 소비자 경험 시나리오 확장 및 진화가 예상되며, 기업도 실시간 객체 인식과 콘텐츠 디스플레이를 통한 현장 작업 개선 등 업무 효율성 향상 가능
- 주요 빅테크 기업은 AI의 다양한 기능을 직관적이고 일상적으로 활용할 수 있는 새로운 인터페이스로서 XR 기기 출시 준비 중^[17]
 - * 메타는 레이벤(Ray-ban)과 협력하여 AI 안경형 기기를 현재 판매 중이며, 향후 AR 디스플레이가 추가된 기기 출시 목표
 - * 구글은 Gemini AI가 통합된 안드로이드 XR OS를 출시하고, 이를 기반으로 한 다양한 XR 기기 개발 지원 추진 중

② AI 디지털 휴먼

- 사람과 닮은 디지털 휴먼 형태로 구현된 AI는 이용자와 친근하게 상호작용할 수 있는 서비스 접점으로 역할 가능
 - (인간-AI 상호작용 증대) AI는 시각적으로도 인간과 유사한 형태를 통해 인간과 더욱 자연스럽게 상호작용할 수 있도록 역할
 - ※ 사람의 얼굴은 가장 친근한 인터페이스로 감정 전달과 공감 형성에 효과적이고, 자연어 대화와 표정, 시선, 제스처를 결합함으로써 직관적인 상호작용 제공 가능
 - (AI 응용 분야 확대) 고객 서비스, 가상 비서, 교육/상담, 방송, 엔터테인먼트 등 디지털 휴먼의 다양한 활용 도메인에서 AI가 특화 지식과 행동을 학습하고 적용하는 능력 개발
 - * 소울 머신즈(Soul Machines)는 교육, 코칭, 비즈니스, 여행, 금융 등 다양한 분야에서 맞춤형 대화가 가능한 AI 디지털 휴먼 사용 서비스 제공
 - * 유니큐(UNEEQ)가 개발한 AI 디지털 휴먼은 영업 담당자가 구매자와의 대화를 시뮬레이션 연습하는 과정에서 롤플레잉 상대역으로 활용 가능
 - * 일본 디지털 휴먼 인플루언서인 이마(IMMA)는 도쿄 COACH Play 스토어 매장에서 방문객과 자연스러운 실시간 대화를 통해 개인화된 스타일링 조언을 제공⁽²⁵⁾
- AI 에이전트(AI agent)도 디지털 휴먼 형태로 구현될 경우, 보다 친근하고 몰입감 있는 상호작용을 통해 신뢰감과 만족도를 높이는 효과 기대
 - * 엔비디아가 공개한 AI 아바타 비서 'R2X'는 LLM 기반으로 작동하며, PC 화면에 상주하면서 사용자의 텍스트나 음성 대화를 통해 PC 내 애플리케이션 탐색 등 작업 실행을 지원⁽²⁵⁾^[16]

[그림 12] 디지털 휴먼 예시



3) 신산업 기회 창출

- 메타버스는 AI 기술이 실질적으로 응용되고 고도화될 수 있는 새로운 인터페이스 및 활용 공간을 제공
 - * 구글은 'Android XR OS' 확산을 통해 AI 기능과 연동된 다양한 메타버스 기반 앱 생태계를 구축하는 AI 인터페이스의 새로운 확장 기대
 - * LGU+의 '키즈토피아'는 메타버스 가상공간에서 아이들이 AI 캐릭터와 대화를 통해 학습할 수 있는 플랫폼으로, AI 기반 언어 이해 및 대화 기술의 현장 적용 사례(25)
 - * 널싱엑스알(NURSING XR)의 'AI-CONNECT NURSE'는 메타버스 시뮬레이션 공간에서 AI가 학습자의 의사소통 능력 등을 평가하고 맞춤형 피드백을 제공하는 AI 적응형 학습의 실증 사례(25)
 - * 국내 한림대성심병원에서 사용 중인 'AI휴먼 안내 키오스크'는 고령층 고객 대상 디지털 휴먼 안내 서비스로, 음성인식·이해 등 AI 기술의 실제 서비스 전환 사례(25)

- AI 에이전트는 활동 영역이 메타버스로 확장되면서 다양한 서비스 창출 기대
 - * XR 기기에 탑재되는 AI 에이전트는 음성 비서 기능을 넘어, 사용자 의도 파악과 복합적 명령 처리, 맞춤형 정보 제공 등으로 진화 예상^[24]
 - * 디지털 휴먼으로 형상화된 AI 에이전트는 메타버스를 감정인식 및 공감형 인터페이스의 실증 환경으로 활용하면서 상담자, 튜터, 동료 등 정서적/사회적 상대로서 역할 확대 기대^[6, 21]

III 공진화 미래 전망

- 메타버스-AI 융합은 생성형 AI를 통한 콘텐츠 제작 효율화, 메타버스 기반 AI 훈련 및 시뮬레이션, AI-XR 기기, AI 디지털 휴먼 인터페이스의 확산 등 다양한 영역에서 실질적인 기술 진보와 산업적 성과를 창출하는 중
- 이러한 진보는 단기적으로는 콘텐츠 생산성과 개인화 경험의 향상 및 서비스 최적화, 중기적으로는 AI 인터페이스의 고도화와 활용 범위 확대, 장기적으로는 현실과 가상 간 융합의 일상화로 이어질 것으로 전망
 - (단기 전망) 이미 출시된 3D 콘텐츠 생성도구 등 현재 적용 중인 기술과 현재 창출된 산업 성과 사례를 기반으로 전망
 - (중기 전망) AI-XR 기기, AI 디지털 휴먼, AI 메타버스 시뮬레이션 등 메타버스-AI 융합 기술의 발전 방향을 기반으로 전망
 - (장기 전망) 메타버스-AI 융합이 사회·산업 전반에 내재화되면서 구조적 변화가 이루어지는 단계로서 전망

1) (단기) 콘텐츠 제작 효율화 및 서비스 최적화

- 단기적으로는 생성형 AI 기술이 메타버스 콘텐츠 제작 방식에 도입되기 시작하면서 콘텐츠 생산의 진입 장벽이 낮아지고 메타버스 서비스에 AI가 도입되면서 최적화 촉진
 - (콘텐츠 제작 자동화) 유니티 뮤즈, 어도브 파이어플라이, 로블록스의 큐브 3D 같은 생성형 AI 도구들이 확산되면서 3D 에셋 등 메타버스 콘텐츠 생산 비용 절감 및 속도 향상
 - (맞춤형 사용자 경험) 사용자 활동 데이터를 기반으로 한 개인화된 콘텐츠 추천과 공간 설계 구현, 개인 선호에 맞는 다양한 맞춤형 인터페이스를 제공하여 사용자 경험의 다양성을 높이고 만족도 향상
 - (산업 성과 최적화) 종근당 메타버스 팩토리, LGU+ 키즈토피아, 메타포레스트 심리상담 등 제조, 교육, 상담 등 특정 산업 분야에서 메타버스와 AI 융합을 통한 효율성 증대 사례 구현

2) (중기) AI 인터페이스 고도화 및 서비스 다각화

- 중기적으로는 메타버스가 AI의 실시간 상호작용 인터페이스로 발전하게 되고, AI의 학습 공간이자 실행 환경이 되는 플랫폼으로 진화
 - (AI 기기 내 XR 통합) 빅테크 기업들이 출시하는 AI 글래스 등에 XR 기능이 본격적으로 통합되면서 사용자의 일상에서 AI의 직관적 활용 경험이 증대되는 새로운 사용 환경을 제공
 - (AI 디지털 휴먼 확산) 다양한 AI 디지털 휴먼이 상담, 튜터, 안내, 영업 등 다양한 분야에 걸쳐 활용되며 사용자의 업무 지원 요구 및 정서적 요구에도 대응하는 인간적인 상호작용 실현
 - (AI 훈련 및 검증 고도화) 메타버스 기반의 가상 시뮬레이션 환경이 고도화되어 AI 기술의 안전하고 효율적인 학습 및 검증을 위한 테스트베드 역할을 수행하면서, 자율이동체 개발, 제조 환경 운영 등에 광범위하게 적용

3) (장기) 현실-가상 융합의 일상화 및 삶의 방식 변화

- 단기 및 중기 단계에서의 기술 발전과 확산을 기반으로, 메타버스-AI 융합이 사회 전반에 내재화되면서, 현실과 가상의 경계를 허무는 구조적 전환이 본격화
 - (현실-가상 융합의 일상화) AI-XR 기기, AI 디지털 휴먼이 일상생활 속 필수적 도구가 되어 현실과 가상 세계의 정보를 끊임 없이 연결하고, 실시간으로 상호작용하는 새로운 일상이 정착
 - (가상 시뮬레이션 기반 사회 운영) 도시계획, 의료, 국방, 제조, 교육 등 다양한 분야에서 메타버스 시뮬레이션이 일반화되며, AI가 분석과 예측을 넘어 의사 결정까지 수행하는 자율 운영 체계가 구현
 - (새로운 경제 및 사회 시스템 구축) 현실과 가상이 유기적으로 연동되면서, 새로운 직업과 비즈니스 모델, 가상 기반 일터 공간 등이 등장하고, 이에 따라 노동 방식, 조직 구조, 사회적 관계 전반에 구조적 변화 예상

IV 시사점

○ 메타버스와 AI의 공진화는 기업의 기술 혁신과 정부의 제도적 기반 마련을 바탕으로, 양자가 협력과 실증을 통해 미래 생태계를 공동으로 설계해 나가는 과정을 통해 구현

○ 단기 전망 실현 방안 : 콘텐츠 제작 효율화 및 서비스 최적화

• 기업

- (메타버스-AI 융합 콘텐츠 및 서비스 개발) 생성형 AI 등 AI 기술을 적용하여 고도화된 지능형·개인 맞춤형 콘텐츠 구현으로 사용자 경험 향상
- (사용자 참여 확대) AI를 보다 쉽게 활용하여 사용자가 직접 메타버스 콘텐츠를 창작하고, 이를 공유/판매할 수 있는 이용자 중심의 생태계 구축
- (산업별 메타버스-AI 적용) 제조, 의료, 교육, 금융 등 다양한 산업 분야에 메타버스-AI 융합 기술을 적용하여 효율성 증대 및 새로운 비즈니스 모델 창출 모색

• 정부

- (규제 개선 및 유연한 정책) AI 생성 콘텐츠의 저작권, 책임 소재, 활용 범위 등에 대한 법·제도 정비를 통해 혁신을 저해하지 않으면서 이용자 권익 보호 필요
- (융합 기업 지원) 메타버스-AI 융합 기업의 성장을 지원하기 위한 펀드를 조성하고, 창업 초기 단계부터 스케일업까지 전 주기적 투자 지원

○ 중기 전망 실현 방안 : AI 인터페이스 고도화 및 서비스 다각화

• 기업

- (연구 개발 투자 확대) 중장기적 관점에서 AI와 메타버스 기술 융합을 위한 R&D 투자 확대 및 관련 전문가 양성
- (파트너십 및 협력 강화) 메타버스 및 AI 관련 기술 기업, 콘텐츠 기업, 플랫폼 기업 등과의 협력을 통해 시너지 창출

- 정부

- (로드맵 및 진흥 계획 수립) 메타버스와 AI 융합을 촉진할 수 있는 중장기적인 발전 로드맵을 수립하고 기술 개발, 인력 양성, 시장 활성화 등을 위한 진흥 계획 마련
 - ※ AI 산업 진흥 관련 정책과의 연계성을 확보하여 정책 중복 방지, 효율성 향상, 기술 간 융합 촉진의 기반 구축 필요^[12]
- (전문 인력 양성 및 생태계 조성) 메타버스-AI 융합을 위한 공동 연구 프로그램 수립, 관련 기업, 학교 및 연구소 지원 확대 등을 통해 산학연 협력 생태계 조성
- (공공 서비스 활용 및 확산) 메타버스-AI 융합 기술을 교육, 소방, 국방 등 공공 분야에서 우선 활용 및 확산 추진
 - * (국방) 합성전장훈련체계에 AI를 접목하여 훈련 참여자 수준 변화에 따른 동적인 훈련 시나리오 제공 및 참여자가 필요한 다양한 전장 정보를 즉각적이고 직관적인 방식으로 제공
 - * (소방) 산불의 확산 경로를 실제 지형과 건물, 도로 등이 구현된 가상융합 공간에서 시각화하고 구체적인 피해 범위와 대피 경로 등을 시뮬레이션 검증하여 산불 확산 예측^[12]
 - * (교육) 학생 개인의 학습 수준, 감정 상태 등을 실시간으로 분석하고 학습자 맞춤형 교육 시나리오를 동적으로 생성하여 제공하는 AI 디지털 휴먼 튜터 서비스 제공

○ 장기 전망 실현 방안 : 현실-가상 융합의 일상화 및 삶의 방식 변화

- 기업

- (윤리적 고려 및 사회적 책임 수행) AI의 편향성, 투명성, 책임성 등 윤리적 이슈에 대해 검토하고 대응함으로써 사회적 신뢰를 확보
- (사회적 파급 효과 고려) 메타버스-AI 융합이 사회에 미칠 긍정적/부정적 영향을 분석하고, 기술 활용이 사회 발전에 기여하도록 노력

- 정부

- (윤리 및 안전 환경 조성) 메타버스와 AI 서비스에서 발생할 수 있는 윤리적 문제를 예방하고 안전한 사용 환경을 조성하기 위한 가이드라인 지속 확산 및 활용도 향상 지원
- (가상융합 사회 기반 마련) 메타버스-AI 융합 서비스의 일상화에 대비하여, 정보 소외 계층을 위한 포용적 이용 환경을 조성하고, 가상 공간 기반의 일터, 조직, 직업 출현에 대비한 제도적 장치 마련
 - * AI 디지털 휴먼과 인간이 협업하는 하이브리드 가상 노동 환경의 확산 대비 등

참고 메타버스-AI 공진화 관련 정책 사례

◆ (EU) XR 5.0 프로젝트 - 인간 중심의 AI 기반 XR 패러다임 구축^[30]

- 인간 중심의 신뢰할 수 있는 인간-기계 협업을 강조하는 인더스트리 5.0(Industry 5.0) 요구에 맞춘 “새로운 인간 중심의 AI 기반 XR 패러다임”을 구축, 시연 및 검증하는 것을 목표로하며, 아래와 같은 활용 사례 개발 추진
 - ☑ **개인 맞춤형 다중 모드 AI 강화 작업자 교육:** 작업자가 복잡한 제품 조립 프로세스 학습 시, XR 5.0 교육 플랫폼은 물리 및 가상 요소가 결합된 맞춤형 훈련 환경을 제공. 이 환경은 작업자의 신체적 특성, 능력, 감정 상태 등을 고려해 AI 기반 피드백과 설명 제시
 - ☑ **AI 기반 지속가능한 제품/생산 설계:** 지속가능성을 고려한 제품 설계 시, XR 5.0을 통해 메타버스와 유사한 환경에서 다양한 제품 옵션을 시각화하고, 각 옵션의 지속가능성 및 CO2 배출량 평가
 - ☑ **효율적인 대량 맞춤화:** 고객 맞춤형 제품을 설계할 때, XR 5.0의 생성형 AI 모델을 활용해 다양한 디자인 옵션을 생성하고, 실시간 피드백을 통해 품질 향상
 - ☑ **개인 맞춤형 원격 유지 보수 지침 및 지원:** 복잡한 기계에 대한 원격 점검 시, XR 5.0을 통해 현장 기술자에게 전문적인 지침 제공. 지침은 기술자의 기술 수준에 맞춰 제공되며, XR 환경에서 시각화. AI 기반 개인화된 정보와 실시간 피드백을 포함하여 유지 보수 작업 효율성과 안전성 향상

◆ (US) 미 육군 IVAS(Integrated Visual Augmentation System) 프로젝트^[22]

- 미 육군의 통합 시각 증강 시스템인 IVAS는 AI를 통합하여 실시간 전장 인식 능력을 강화하는 방안을 테스트 중(24~)
 - IVAS는 AR/VR을 통합한 웨어러블 시스템을 통해 전투원들에게 시야 밖의 인지능력을 제공하고 전투 효율성 향상, 드론에 대한 생존성 향상, 무인 시스템의 임무 지휘 가속화 목표^[23]
 - AI가 제공하는 실시간 전장 정보를 AR/VR 인터페이스를 통해 직관적으로 파악 및 의사 결정이 가능해지면서, 전투원이 전장 정보를 보고, 감지하고, 통합하는 방식을 혁신

◆ (ITU-UNICC-Digital Dubai) 가상 세계와 AI에 대한 글로벌 이니셔티브 - 시티버스 (Global Initiative on Virtual Worlds and AI - Discovering the Citiverse)^[41]

- 국제전기통신연합(ITU), 유엔 국제컴퓨팅센터(UNICC), 디지털 두바이가 공동으로 추진하는 본 이니셔티브는 안전하고 신뢰하며 사용할 수 있는 개방적이고 상호운용 가능하며 혁신적인 “AI 기반 가상 세계”를 촉진하기 위한 글로벌 플랫폼의 역할을 수행(24~)

- AI 기반 가상 세계 솔루션을 도시에 적용하기 위한 원칙, 촉진 요소 및 거버넌스를 다루는 규범적 프레임워크를 개발하는 수단으로서 역할
- 지식 확산, 인식 제고 및 전 세계 도시 간 모범 사례와 솔루션 공유를 위해 교육을 제공하고 이벤트 개최
- 전 세계 도시의 메타버스 시나리오를 시험하고 실험할 수 있는 샌드박스 환경 제공

※ 1st UN CitiVerse Challenge 행사 진행(25) - 학생과 스타트업을 대상으로 시티버스와 디지털 공공 인프라의 잠재력을 활용하여 시급한 세계적 과제를 해결하는 혁신적인 솔루션을 구상하고 설계하도록 지원 AI, 메타버스, 디지털 트윈, 오픈 소스 솔루션 등 활용^[42]

- ‘시티버스 활용 유형 분류집(Citiverse Use Case Taxonomy)’ 발간(25.5.)을 통해 메타버스, AI 등 디지털 기술 기반 시티버스 활용 사례를 5가지 유형으로 제시
 - ✔ 도시계획, 공간조성, 인프라: 가상 세계를 활용하여 살기 좋은 공간 조성 및 도시와 물리적 환경 혁신
 - ✔ 도시 행정, 공공서비스, 시민 참여: 가상 세계를 활용해 도시 거버넌스를 개선하고, 공공서비스 향상 및 시민 참여 촉진
 - ✔ 경제 발전, 교육, 관광: 몰입형 가상 세계를 통해 지속가능한 도시 경제, 개인화된 교육, 지속가능 관광 촉진
 - ✔ 교통 및 모빌리티: 가상 세계를 활용해 사람과 물자의 도시 내 이동 방식 혁신
 - ✔ 공공안전, 보건, 재난 회복력: 가상 세계를 활용하여 공공안전, 보건, 재난 회복력 강화

참고문헌

1. 국내문헌

- [1] 김용태 (2025.7.1.), UNIST “파노라마 사진 1장으로 공간·사물 파악하는 AI 개발”, 연합뉴스
- [2] 김응민 (2025.7.10.), 메타버스 디지털 팩토리로 그리는 종근당의 ‘빅피처’, 팜뉴스
- [3] 김승한 (2024.12.5), “메타포레스트서 심리치료, 2028년 매출 200억 목표”
- [4] 김진구 (2024.4.22.), “메타버스 공장 가동...종근당, 월드IT쇼 깜짝 등장한 까닭”, 데일리팜
- [5] 과기정통부 보도자료 (2024.7.16.), “미래 가상융합세계(메타버스) 산업을 주도할 산업용 가상융합세계(메타버스) 발전을 위한 민·관 협력방안 모색”
- [6] 박세훈 (2025.1.4.) 고객 서비스를 위한 AI: 음성 기능을 갖춘 디지털 아바타로 대화형 고객 경험 제공, AI넷
- [7] 박현진 (2024.11.14.), ETRI·충남대병원·한국농아인협회·이큐포올, 청각장애인 위한 양방향 의료 수어통역 기술개발, 인공지능신문
- [8] 박현진 (2025.7.1.), 파노라마 사진 한 장만으로 3차원 공간 정보 파악하는 AI, 인공지능신문
- [9] 방준성, & 이상민. (2025). 생성형 AI 를 활용한 메타버스 콘텐츠 개발 동향. 방송과 미디어, 30(1), 10-19.
- [10] 비행교육원 (2025.3.12.), 비행교육원, 국내 최초 VR·AI 기술 활용 비행교육 프로그램 운영
- [11] 삼성디스플레이 뉴스룸(2024.4.25.), “생각만으로 체스를 둘 수 있다? 뇌로 움직이는 세상, BCI 기술”
- [12] 안유리 (2025.4.27.), LG U+ 키즈토피아, 누적 가입자 160만...60%는 해외 고객, 이투데이
- [13] 어도비 코리아 (2025.4.29.), “크리에이티브 AI의 새로운 진화, 어도비 피어플라이”

- [14] 이승환 (2025.6.25.), 가상융합 산업정책 개선방안: AI 전환과 가치이동을 중심으로, 국회미래연구원
- [15] 이해수, 유재홍, 안성원 (2025.5.13.), 피지컬 AI의 현황과 시사점, SPRi 이슈리포트
- [16] 임현섭 (2025.1.10), 자비스가 현실로? 엔비디아, 아바타까지 있는 PC용 AI 비서 'R2X' 공개, 오토데일리
- [17] 윤슬 (2025.5.28.), 애플, AI 스마트글라스 2026년 출시...메타구글과 AI웨어러블 전쟁 '후끈', 뉴스 스페이스
- [18] 정동훈. (2025). 생성형 AI 파워드 메타버스: 사용자 중심 경험과 사회·기술적 상호작용의 진화와 혁신. 정보화정책, 32(1), 3-26.
- [19] 조광연 (2025.1.23.), 포씨게이트, 한림대성심병원에 'AI휴먼 안내 키오스크' 첫 공급, 히트뉴스
- [20] Nvidia Korea (2021.4.16.), BMW와 함께 NVIDIA 옴니버스를 이용한 가상 공장 계획화
- [21] Nvidia Korea (2025.5.21.), NVIDIA, 스마트한 비즈니스를 위한 AI 에이전트 시대를 열다

2. 국외문헌

- [22] Anduril Industries (2025.5.29), Anduril and Meta Team Up to Transform XR for the American Military
- [23] Anduril Industries (2025.2.11), Anduril and Microsoft Partner to Advance Integrated Visual Augmentation System (IVAS) Program for the U.S. Army
- [24] Cathy Hackl (2025.4.1.) Why spatial computing, wearables and robots are AI's next frontier, World Economic Forum
- [25] Cheng, S., Zhang, Y., Li, X., Yang, L., Yuan, X., & Li, S. Z. (2022). Roadmap toward the metaverse: An AI perspective. The Innovation, 3(5).
- [26] Fadhel, M. A., Duhaim, A. M., Albahri, A. S., Al-Qaysi, Z. T., Aktham, M. A., Chyad, M. A., ... & Gu, Y. (2024). Navigating the metaverse: unraveling the impact of artificial intelligence—a comprehensive review and gap analysis. Artificial Intelligence Review, 57(10), 264
- [27] Google DeepMind (2024.12.4.), Genie 2: A large-scale foundation world model
- [28] George, A. S., & George, A. H. (2023). A review of ChatGPT AI's impact on several business sectors. Partners universal international innovation journal, 1(1), 9-23.
- [29] Ian Hughes, Sudeep Kesh (2023.11.7.), Metaverse and Generative AI: Envisioning the Future of Human-Computer Interaction, S&P Global
- [30] Kiourtis, A., Mavrogiorgou, A., Makridis, G., Kyriazis, D., Soldatos, J., Fatouros, G., ... & Falsetta, M. (2024, October). XR5. 0: Human-Centric AI-Enabled Extended Reality Applications for Industry 5.0. In 2024 36th Conference of Open Innovations Association (FRUCT) (pp. 314-323). IEEE.
- [31] Miao, Q., Zheng, W., Lv, Y., Huang, M., Ding, W., & Wang, F. Y. (2023). DAO to HANOI via DeSci: AI paradigm shifts from AlphaGo to ChatGPT. IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica, 10(4), 877-897.
- [32] MIT Technology Review Insights (2025.1.14.), Training robots in the AI-powered industrial metaverse
- [33] NVIDIA (2025), Scale Synthetic Data and Physical AI Reasoning with NVIDIA Cosmos World Foundation Models
- [34] Roblox (2024.9.3.), Material Generator Is Now Available for Everyone
- [35] Roblox (2025.3.17.), Introducing Roblox Cube: Our Core Generative AI system for 3D and 4D
- [36] Simon Hill(2025.5.7.), "This Startup Has Created AI-Powered Signing Avatars for the Deaf", Wired
- [37] Soliman, M. M., Ahmed, E., Darwish, A., & Hassanien, A. E. (2024). Artificial intelligence powered Metaverse: analysis, challenges and future perspectives. Artificial Intelligence Review, 57(2), 36.

3. 기타

- [38] <https://odyssey.world/introducing-explorer>
- [39] <https://unity.com/kr/products/muse>
- [40] <https://3d-models.hunyuan.tencent.com/world/>
- [41] <https://www.itu.int/metaverse/virtual-worlds/>
- [42] <https://www.itu.int/metaverse/virtual-worlds/1st-un-citiverse-challenge/>
- [43] <https://www.worldlabs.ai/blog>