

인간 중심 디지털 트윈(HcDT) 기반 사이버 공간 확장과 Physical AI의 활용 시나리오의 설계

(Design of Utilization Scenarios of Cyberspace Expansion and Physical AI
Based on Human-Centered Digital Twin (HcDT))

차병래*, 노순국**

(ByungRae Cha, Sun-Kuk Noh)

요약

최근 들어 ICT 분야 메가 트렌드(IoT, Bigdata, Cloud, AI 등)의 다양한 기술을 통해 사이버 시공간(Cyber-space)상에 디지털 인간(Digital Human)과 디지털 인문학(Digital Humanity) 등의 기술 구현으로 실제 시공간(Real-space)의 인간 삶의 편리성을 제공하기 위해 노력하고 있다. 본 연구는 디지털 트윈 기술을 인간에게 적용하여 6G 기술을 활용해 현실 세계를 가상공간으로 복제 및 확장하는 것을 목표로 한다. 구체적으로, 본 연구는 인간 중심 디지털 트윈(HcDT)의 디지털 결함을 통해 현실과 사이버 공간 연결을 가정하고, Agentic AI를 통해 끊임 없는 서비스를 확장하기 위해 사고 실험과 PoC를 통해 개념을 탐구한다. 나아가, HcDT와 Physical AI를 활용하여 인간 중심의 노동 시장을 발전시킬 수 있는 시나리오를 고려해 본다. 본 연구의 기술적·윤리적 과제 해결과 실질적인 상용화를 위해서는 장기적인 연구와 인프라 구축이 뒷받침되어야 할 것으로 예상된다.

■ 중심어 : 인간 중심 디지털 트윈 ; 사이버 공간 확장 ; 에이전틱 인공지능 ; 물리적 인공지능 ; 활용 시나리오

Abstract

Recently, efforts have been made to enhance the convenience of human life in real-space through the implementation of technologies such as digital humans and digital humanities in cyberspace, using various technologies from ICT mega trends (IoT, Big Data, Cloud, AI, etc.). This study aims to apply digital twin technology to humans and utilize 6G technology to replicate and extend the real world into virtual space. Specifically, this research hypothesizes a connection between reality and cyberspace through the digital integration of Human-Centered Digital Twins (HcDT) and explores concepts through thought experiments and Proofs of Concept (PoC) to expand seamless services using Agentic AI. Furthermore, it considers scenarios for developing a human-centered labor market by utilizing HcDT and Physical AI. Additionally, it is expected that long-term research and infrastructure development will be required to address technical and ethical challenges of this study and to achieve practical commercialization.

■ keywords : Human-centric Digital Twin ; Cyber Space Expansion ; Agentic AI ; Physical AI ; Utilization Scenarios

I. 서론

최근 들어 ICT 분야 메가 트렌드(IoT, Bigdata, Cloud, AI 등)의 다양한 기술을 통해 사이버 시공간(Cyber-space)상에 디지털 인간(Digital

Human)과 디지털 인문학(Digital Humanity) 등의 기술 구현이 연구되고 있고, 실제 시공간(Real-space)의 인간 삶의 편리성을 제공하기 위해 다양한 연구가 진행되고 있다.

4차 산업혁명과 인간 중심의 Industry 5.0[1]의

* 정회원, 광주과학기술원 AI융합학과 실험강사

** 종신회원, 조선대학교 자유전공학부 & 과학기술융합학과 (대학원)

이 논문은 2025년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 수행된 연구임

측면에서 물리 객체의 디지털 트윈(Digital Twin, DT) 개념을 확장하여 인간 중심 디지털 트윈(Human-centric Digital Twin, HcDT) 서비스가 등장하고 있다[2-4].

산업혁명(Industrial Revolution) 이후 기술 혁신(Technological Innovation)은 거스를 수 없는 흐름이었으며, 세계는 자율 경제(Autonomous Economy)로 빠르게 전환되고 있다. 다양한 기술들이 유기적으로 통합된 시스템이 최소한의 인간 개

입만으로 자율적으로 운영되는 혁신적인 경제 모델이다[5]. 2013년에 처음 공개된 로봇 Atlas[6]는 당시 인간의 특성을 어설프게 모방하는 수준에 그쳤다. 하지만 2026년 현재, Atlas는 로봇 공학의 난제였던 자연스러운 보행을 달성하고, 사물을 인식하고 복잡한 동작을 수행할 수 있는 "Physical AI" 단계에 진입하고 있다. 더불어, AI의 패러다임이 디지털 세상(LLM, 챗봇 등)을 넘어 실제 물리(Physical) 세계에서 움직이고 상호작용하는 형태로 진화하고 있다[7]. 특히 월드 파운데이션 모델(World Foundation Model, WFM)은 AI가 단순히 명령을 수행하는 것을 넘어 세상의 구조를 이해하고 스스로 문제를 해결하는 "일반 지능 인프라"로 진화할 수 있도록 해주기 때문에 매우 중요하다. 이는 제조, 서비스, 자율주행, 국방, 의료 등 물리 세계와 관련된 모든 산업에서 혁신을 주도하는 핵심 기술이 될 것이다.

본 연구에서는 인간 중심 디지털 트윈(HcDT) 서비스를 기반으로 하여, 사고 실험(Thought Experiment)과 PoC(Proof of Concept)을 통한 가까운 미래의 Physical AI 활용 시나리오를 탐구한다. 그리고 이를 이용하여 HcDT 프로토타입 연구를 기반으로 실제 시공간의 생활을 사이버 공간으로 확장을 고려한다. 이를 통한 실제 시공간의 삶에 다양한 서비스 지원으로 인간 삶의 질을 향상시키고 더불어 편리성과 효율성을 고려할 수 있다.

II. 관련 연구

1. HcDT

인간 중심 디지털 트윈(HcDT, [8])과 인간 디지털 트윈([9])은 물리 객체나 시스템뿐만 아니라 '인간'의 물리적, 심리적, 행동적 상태까지 가상 세계에서 실시간으로 복제되고 분석하는 기술을 의미한다.

HcDT는 인간의 행동·상태 정보를 이용하는 것으로 그림 1과 같이 Agentic AI 기술은 가상공간 상에서 다양한 서비스가 재현하게 되며, Physical AI는 현실 세계에서 직접 인지·행동하는 지능형 시스템이다. Agentic AI와 Physical AI, 두 기술을 연계하면 가상 시뮬레이션과 실제 행동을 연결해 산업, 의료, 도시 관리, 헬스케어 등 다양한 분야에서 혁신을 이끌 수 있다.

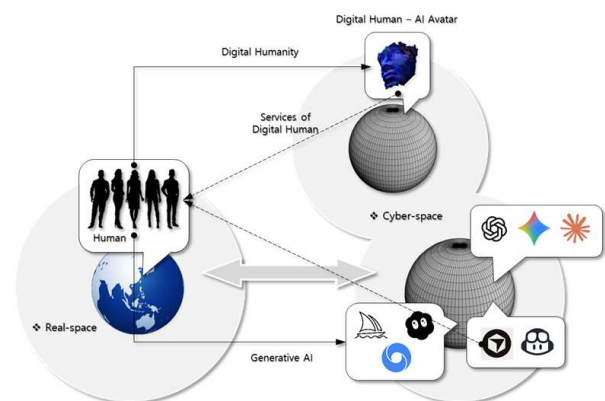


그림 1. 실세계의 인간과 사이버 공간의 다양한 AI 서비스.

기존의 디지털 트윈이 공장 기계나 도시 기반 시설과 같은 '객체'의 효율성 향상에 초점을 맞추었던 반면, HcDT는 인간의 복지와 다양한 용도에 맞춘 맞춤형 서비스 지원을 우선시한다. HcDT의 핵심 구성 요소는 물리적 트윈, 인지/심리적 트윈, 행동적 트윈의 세 가지 측면에서 데이터를 통합하여 인간을 디지털 방식으로 구현하는 것이다. HcDT의 주요 특징은 "반응에서 예측으로" 나아가는 것이다. HcDT는 단순히 데이터를 표시하는 것을 넘어 실시간 동기화, 초개인화, 피드백 루프를 통해 인간의 상태를 시뮬레이션하고 미래를 예측한다. HcDT가 직면한 과제로는 정보 에티켓과 보안 문제가 있으며, 민감한 인간 데이터를 다루기 때문에 기술 발전과 더불어 고려해야 할 요소가 많다. 특히 인간은 기계보다 훨씬

썬 복잡하고 가변적이기 때문에 데이터 프라이버시, 윤리적 문제, 데이터 정확성이 매우 중요하다. 따라서 이러한 역동성을 완벽하게 모델링할 수 있는 고급 AI 알고리즘이 필수적이다. 인간 중심의 디지털 트윈 기술은 6G 네트워크의 초저지연 및 초고속 연결성 특성을 활용할 때 비로소 온전히 구현될 수 있다.

2. AI의 진화

인공지능(AI)은 단순한 데이터 인식 기술에서 생성, 추론, 행동이 가능한 지능형 시스템으로 빠르게 발전해 왔다. 초기 인지 AI는 주어진 데이터를 분류하고 인식하여 이미지 및 음성 인식과 같은 현대 머신러닝의 토대를 마련했으며, 이후 Generative AI가 등장하여 텍스트, 이미지, 비디오 등 다양한 콘텐츠를 생성하는 능력을 확장하고 산업 전반에 걸쳐 혁신을 주도했다. 그 후 Agentic AI가 등장하여 목표를 이해하고 계획을 수립하며 복잡한 작업을 자동으로 수행할 수 있는 시스템으로 진화하고 있다. OpenAI는 그림 2와 같이 2025년 7월 'ChatGPT' 에이전트'를 발표하며 자사의 AI 발전 단계 중 3단계 (Agents)에 처음으로 진입했음을 공식화했다[10].

OpenAI's 5 Step to AGI

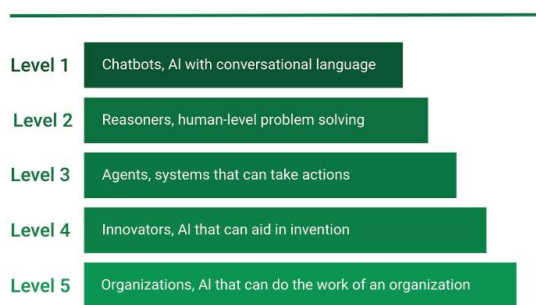


그림 2. OpenAI의 인공 일반 지능(AGI)의 5단계.

AI는 Physical AI 시대로 진입하고 있으며, 이 단계에서는 로봇과 자율 시스템이 현실 세계에서 직접 움직이고 상호 작용하며 실질적인 행동 능력을 갖추게 될 것이다. 인식 → 생성 → 에이전트 → 물리적 행동(Physical Action)으로 이어지는 이러한 구조적

진화를 통해 AI는 산업과 우리의 삶을 변화시킬 새로운 패러다임을 만들어 내고 있다. Physical AI의 기술 아키텍처는 환경을 감지하고 이해하며, 이러한 이해를 바탕으로 일관되고 안전한 행동을 수행할 수 있는 통합 지능 구조로 진화하고 있다. VLA(Vision-Language-Action) 모델[11], 현실 격차 극복 기술, 그리고 일반화 성능은 이러한 전환의 핵심 요소이다. Physical AI가 복잡한 환경에서 자율적으로 작동하기 위해서는 현실 격차를 완전히 극복해야 하는데, 한계를 해결하는 개념이 바로 "월드 모델(World Model)"이다. 월드 모델은 AI가 현실 세계의 작동 방식을 학습하고 미래 사건을 예측할 수 있도록 하는 모델이지만, WFM은 월드 모델을 포함하여 시각, 언어, 물리적, 행동적 기능을 통합한 대규모 파운데이션 모델이다. WFM은 월드 모델을 더 확장하고 전문화한 것이다[12].

3. 6G Network

6세대 이동통신인 6G는 현재 연구 중인 차세대 네트워크 기술로, 5G를 뛰어넘어 2030년경 상용화를 목표로 하고 있다[13]. 단순히 속도 향상을 넘어, 네트워크 자체에 AI를 내장하고 위성을 통해 전 세계를 연결하는 "초연결, 초지능" 인프라 구축을 목표로 한다. 기존 5G의 한계를 극복하기 위해 6G는 테라헤르츠(THz) 대역과 우주 통신을 결합한다. 6G를 구현하는 핵심 기술로는 테라헤르츠 대역 활용, 저궤도 위성 통신, AI 기반 네트워크, 그리고 재구성 가능 지능형 표면(Reconfigurable Intelligent Surface, RIS) 기술 등이 있으며, 나아가 6G는 홀로그램 통신, 디지털 트윈, 완전 자율 주행, 도심 항공 모빌리티(Urban Air Mobility, UAM) 등 미래의 비전을 제시하고 있다.

4. Web 3.0, Agentic OS & Agentic Web
Web 3.0[14], Agentic OS[15], 그리고 Agentic Web[16]은 현대 기술 패러다임이 '정보 중심'에서 '실행 중심'으로 진화하고 있음을 보여주는 핵심 개념들이다. Web 3.0은 지능형 및 분산형 웹이라 간략

하게 정의하며, 읽기(Web 1.0)와 쓰기(Web 2.0)를 넘어, 데이터의 '소유'와 '지능형 개인화'를 강조하는 차세대 인터넷을 의미한다. Web 3.0의 목표는 거대 플랫폼의 중개 없이 사용자가 자신의 데이터를 제어하고, 기계가 인간처럼 정보를 이해하여 맞춤형 결과를 제공하는 것이며, 핵심 기술로는 탈중심화를 위한 블록체인(Block Chain), 컴퓨터가 데이터 의미 이해하는 시맨틱웹(Semantic Web), AI 등이다. Agentic OS는 AI 중심 운영체제로 정의되며, Agentic OS는 기존의 Windows나 MacOS처럼 앱을 실행하는 기반을 넘어, AI Agent가 시스템 전체를 관리하고 사용자의 의도를 실행하는 운영체제이다. Agentic OS의 특징으로 사용자는 개별 앱을 일일이 클릭할 필요가 없다. OS 자체가 하나의 거대한 지능체가 되어, 여러 앱 간의 데이터를 통합하고 복잡한 명령을 처리하게 되며, 핵심 기술은 거대언어 모델(LLM) 기반의 커널(Kernel), 멀티모달(Multi-modal) 인식 등이다. Agentic Web은 행동하는 웹으로, 단순히 정보를 검색하는 수준을 넘어, AI 에이전트들이 스스로 판단하고 작업을 수행하는 웹 환경을 의미한다. Agentic Web의 특징으로 사용자가 "여행 계획 짜줘"라고 하면 단순히 블로그 링크를 주는 것이 아니라, 항공권을 예약하고 식당을 부킹하는 등 '실제 액션'을 수행하는 웹이다. 핵심 기술로는 자율형 AI 에이전트(AI Agents), API 자동화 등이다.

Web 3.0, Agentic OS, 그리고 Agentic Web은 별개의 기술이라기보다, 인프라 → 환경 → 실행의 단계로 연결되는 유기적인 관계에 있으며, 관계의 핵심 메커니즘으로 Web 3.0은 신뢰를 제공하며, 보안과 신원 인증을 제공한다. Agentic OS는 입구 역할을 수행하며, 사용자는 Agentic OS를 통해 명령을 내리면, Agentic OS 내의 에이전트는 사용자의 의도를 파악하게 된다. 마지막으로, Agentic Web은 실행의 장으로, OS 내부의 에이전트가 외부의 Agentic Web으로 접속하여 다른 서비스들과 통신하며 최종 목표에 도달하게 된다. 이러한 흐름의 궁극적인 지표는 '마찰 없는 사용자 경험'이며, 사용자가 기술적

복잡함을 느낄 필요 없이 의도만 전달하면 되는 시스템을 향해 가고 있다.

III. 사고 실험(Thought Experiment)

현실에서 구현하기 어려운 것을 상상과 논리로 진행하는 실험을 사고 실험이라 한다. 제안하는 연구에 대한 사고 실험을 위한 절차는 크게 4단계로 구성되며, 1) 가설 설정 및 목적 정의 단계, 2) 환경과 조건 설정 단계, 3) 논리적 전개 및 실행 단계, 그리고 4) 결론 도출 및 현실 적용 단계로 사고 실험 과정을 구성하였다.

- **가설 설정 및 목적 정의** - 본 사고 실험은 3가지 토픽인 인간, 사이버 공간, 그리고 인공지능이라는 통합된 개념을 확장하여 몇 개의 활용 시나리오를 도출하고자 한다.
- **환경과 조건 설정** - 제안하는 연구 주제는 최신 기술 동향을 소개하며, 연구 개발 환경, 소수의 인력, 그리고 연구 재원의 한계로 간략한 개념 서술과 시각화를 진행하였다.
- **논리적 전개 및 실행** - 연구 토픽의 개념들을 실세계 환경과 가상 공간을 연계한 순방향 확장으로 Agentic AI와 역방향(가상공간에서 실세계 환경)으로 Physical AI의 논리적 전개를 양방향으로 진행하며, 그림 3과 같이 활용 시나리오의 논리적 전개를 간략하게 표현하였다.

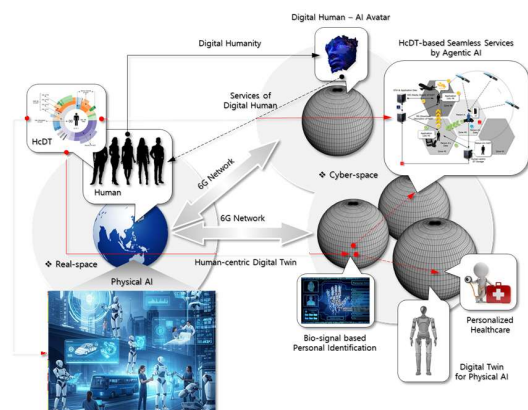


그림 3. 실세계와 가상공간의 HcDT 기반 양방향(Agentic AI/Physical AI) 논리적 전개의 개념도.

- 결론 도출 및 현실 적용 - Agentic AI와 역방향으로 Physical AI의 논리적 전개를 양방향 기반으로 몇 가지 활용 시나리오의 시각화를 진행하였다.

IV. HcDT의 활용 시나리오 제안

본 연구는 제4차 산업혁명과 인간 중심 산업 5.0[1]의 맥락에서 물리적 객체의 디지털 트윈(DT) 개념을 인간 영역으로 확장한다. 사고 실험과 인간 중심 디지털 트윈(HcDT) 서비스의 개념 증명(Proof of Concept, PoC)을 통해 다양한 근미래 활용 시나리오를 탐구하는 것을 목표로 한다. HcDT 프로토타입 기반의 디지털 결합을 통해 현실 세계의 시공간적 삶을 사이버 공간으로 확장하여, 현실 세계의 시공간적 삶에서 다양한 서비스들을 지원함으로써 인간 삶의 질을 향상시키고, 편의성과 효율성을 제공하는 것을 목표로 한다([그림 4] 참조).

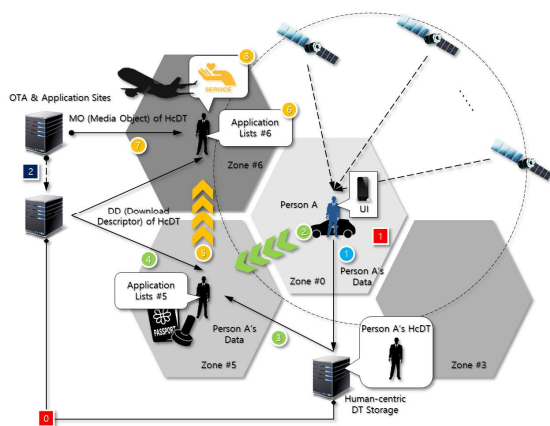


그림 4. 실세계 환경과 가상공간의 순방향 전개의 Agent AI 활용 시나리오.

구체적으로, HcDT는 가상공간에서 인간의 행동과 상태를 재현하는 기술이며, Agentic AI[17, 18]과 Physical AI[19, 20]은 가상 세계와 현실 세계 모두에서 직접 인지하고 행동하는 지능형 시스템이다. HcDT와 이 두 기술을 결합하면 가상 시뮬레이션과 현실 세계의 행동을 연결하여 산업, 의학, 도시 관리, 의료 등 다양한 분야에서 혁신을 유도할 수 있다.

1. HcDT 기반의 인증과 Healthcare

인간의 디지털 트윈의 용도는 크게 생체 인증(Bio-authentication)과 헬스케어(Healthcare) 분야이다. 사이버 세계의 인간 역할을 대신하기 위해서는 많은 권한이 필요하며, 이를 위해서 편재된(Ubiquitous) 생체 인증이 그림 5와 같이 지원되어야 하며, 더불어, 사용자의 건강까지 주기적 체크가 가능하다.

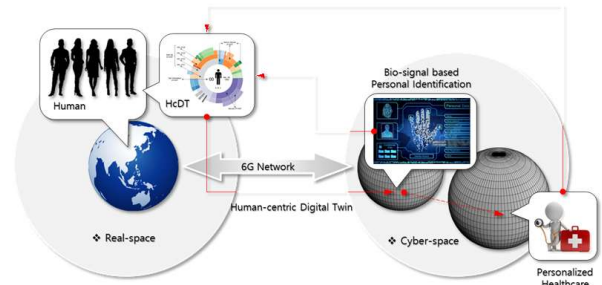


그림 5. HcDT 기반 사용자의 생체 인증과 헬스케어 서비스.

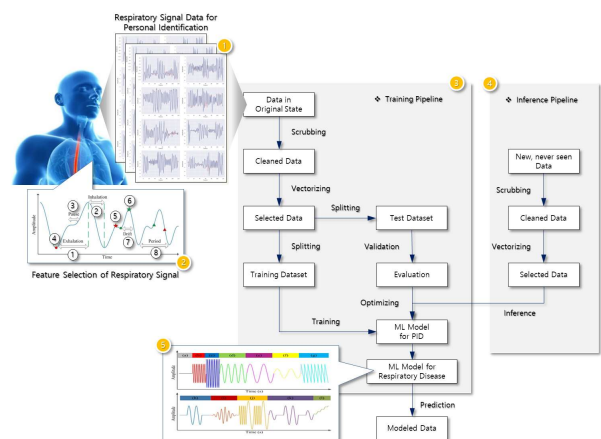


그림 6. HcDT의 생체 신호 기반 개인 식별과 호흡 질환 탐지.

다양한 생체 신호들이 있지만, 간략하게 호흡을 예로 들면, 호흡 신호는 일반적으로 들숨과 날숨으로 구성되며 1:2의 비율로 이루어진다. 상시 호흡 패턴에 의한 사용자 인증과 호흡 패턴 정보에 의한 호흡기 질환의 사전 진단이 가능하게 된다[21].

개인의 생체 신호를 이용하여 그림 6과 같이 사용자 식별(Identification)과 인증(Authentication), 그리고 다양한 헬스케어와 보안 서비스를 제공할 수 있다[22]. 사용자의 신원을 확인하는 방법에 따라 지식(Knowledge)기반 인증, 소유(Possession) 기반 인

증, 속성(Inherence) 기반 인증으로 구분되며, 그림 6의 ①에서 ③까지의 과정에서 사용자 식별을 위한 절차가 완료되며, ④에 의해서 사용자 인증이 진행된다. 마지막 과정으로 호흡 등의 생체신호를 이용한 개인 맞춤형 헬스케어(Personalized Healthcare)를 ⑤에 의한 호흡기 질환의 탐지가 가능하다. 더불어 생체 신호 기반의 멀티-팩터 인증(Multi-factor Authentication)과 다양한 서비스에 따른 동적 조립이 가능한 고도화된 가변형 멀티-팩터 인증(Variable Multi-factor Authentication)이 가능하다.

2. HcDT와 Agentic AI를 활용한 사이버 공간 확장

본 연구에서는 HcDT 프레임워크와 6G 네트워크를 기반으로 하는 에이전트형 AI의 고급 프로세스 및 실시간 오케스트레이션(Real-time Orchestration, RTO)을 중심으로 워크플로 위임(Delegation) 및 스마트 계약(Smart Contract)을 활용한 원활한 서비스의 시나리오를 그림 7에 나타내었다.

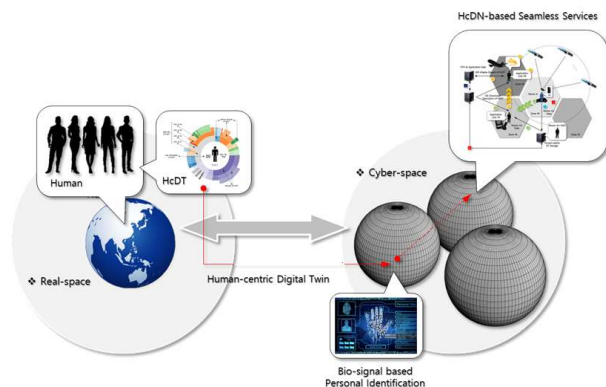


그림 7. HcDT 기반 Agentic AI 서비스의 활용 시나리오.

실시간 환경에서 다양한 생체 신호를 이용한 개인 식별은 사이버 공간에서 HcDT 인증으로 대체되어 권한을 부여하며, 권한 위임 기반의 스마트 계약은 실시간 오케스트레이션을 가능하게 한다. 이를 통해 디지털 결합(Digital Coupling)은 실공간과 가상공간 간의 실시간 연결을 구축하고, 다양한 범위의 원활한 서비스로 확장할 수 있게 된다.

3. Agentic AI를 위한 PoC

PoC는 새로운 아이디어, 기술, 제품, 비즈니스 모델 등이 진짜로 실현 가능한지, 그리고 의도한 효과를 내는지 본격적인 개발(또는 도입) 전에 소규모로 검증하는 절차이다. 실패 비용을 최소화하고 성공 확률을 높이기 위한 핵심적인 과정으로, 일반적으로 다음과 같은 4단계 절차로 진행하였다.

- **PoC의 목표 정의 및 범위 설정** - AI 기술이 LLM이라는 정적인 기능 구조에서, 동적인 에이전트로 이어지는 원활한 서비스의 가능성과 사용자 대리성(Agency)을 확인하고자 한다. 이를 위해 이미지 또는 영상에서 객체 탐지가 이루어지고, 이어서 LLM에서 탐지된 객체의 동작을 서술하는 프로토타입으로 가능성을 검증하고자 한다.
- **성공 기준** - 본 PoC의 성공 기준 KPI #1은 이미지 또는 영상에서 객체 탐지가 이루어지고, 이어서 LLM에서 동작의 서술 가능성을 기준으로 한다.
 - KPI #1 - 객체 동작의 서술 가능성
- **PoC 수행 및 프로토타입 개발** - AI 기술이 LLM이라는 정적인 기능 구조에서, 동적인 에이전트로 이어지는 원활한 서비스의 가능성과 사용자 대리성을 Ollama[23]와 Google Gemini[24]을 활용한 PoC 수행으로 검증하였다. 그림 8은 PoC 절차 과정을 나타내고, 그림 9는 Gemini 모델과 Ollama 모델의 성능을 비교 분석하였다.



그림 8. 제안한 PoC 프로토타입의 수행 결과.

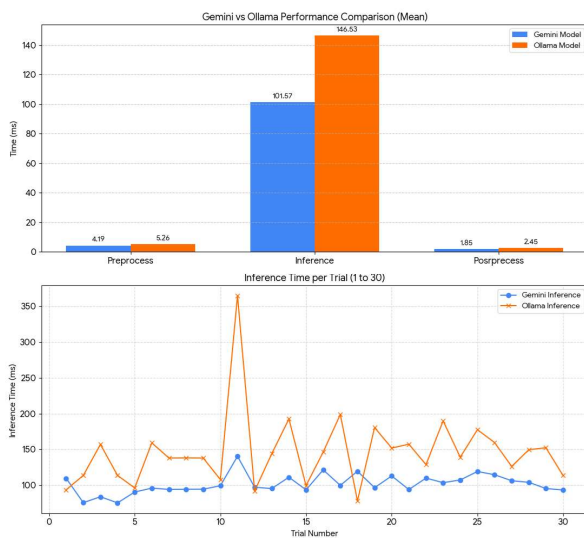


그림 9. 제안한 PoC의 Gemini 모델과 Ollama 모델의 성능 평가와 비교.

- 결론 및 다음 계획 - LLM을 단순히 API로 연동(현 PoC 수준)하는 수준이 아니라, 점증적으로 LMM(Large Multimodal Model), LRM(Large Reasoning Model), 그리고 LAM(Large Action Model)으로 발전하여 기존 사람 중심의 프로세스를 과감히 해체하고, 사람과 AI의 협업에 최적화된 구조인 AaaS(Agent as a Service)로 가까운 미래에는 재설계되어야 할 것이다. 더불어, 현실적으로 LLM 기반의 Agentic AI 기술이 가장 먼저 실현될 것으로 예상된다.

V. HcDT와 Physical AI의 실세계 활용

Physical AI는 기술 융합의 핵심이며, 컴퓨팅 시스템이 물리 세계를 감지하고 이해하며, 변화를 예측하고 그에 따라 행동할 수 있도록 한다. 그림 10과 같이 가상 세계(시뮬레이션)에서 학습한 AI 알고리즘이 실제 하드웨어에 탑재되어 현실 문제를 해결하는 단계로 진입하고 있으며, 주요 분야로는 자율주행 분야와 로봇 공학 분야이다. 즉, AI가 '두뇌' 역할에 머물지 않고, '신체'를 얻어 실질적인 물리적 변화를 만들어 내는 미래를 전망한다[7].

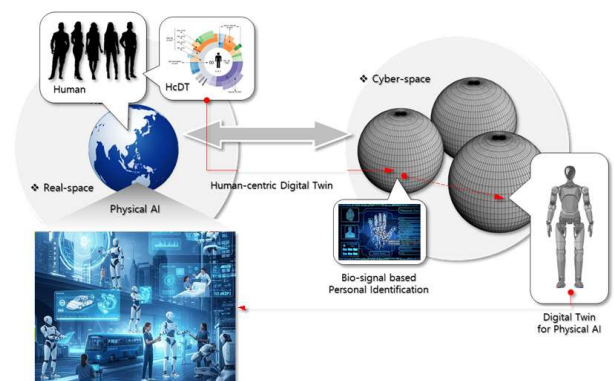


그림 10. HcDT 기반 Physical AI 서비스의 활용 시나리오.

순수하게 IT 운영에만 집중하는 기존의 'AIOps 관리자'와는 대조적으로, 가칭 Physical AIOps 관리자는 산업 또는 운영 환경에서 로봇, 자율주행 차량, 스마트 센서 네트워크와 같은 지능형 시스템의 운영 및 관리를 총괄하게 된다. Physical AIOps의 주요 목표는 이러한 Physical AI 시스템을 기존 운영 체계에 통합하여 효율성, 안전성 및 복원력을 향상시키는 것이다.

Physical AIOps 프레임워크는 소프트웨어와 데이터 중심의 일반적인 AIOps를 물리적 인프라 및 제조 현장(Operational Technology, OT) 영역으로 확장한 개념이다. 단순히 소프트웨어 데이터를 분석하는 것을 넘어, 센서 데이터, 로봇틱스, 디지털 트윈(Digital Twin)을 활용해 물리 자산의 가용성을 극대화하는 것이 핵심이다. Physical AIOps 프레임워크는 물리 세계의 가용성을 최대

화하기 위한 5단계 전략 절차를 구성은 그림 11과 같이 제안되었다[25].

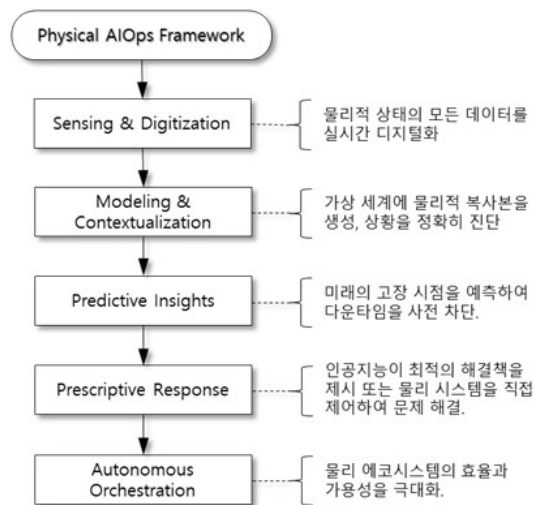


그림 11. Physical AIOps 프레임워크.

Physical AIOps 프레임워크의 1단계는 물리-디지털 연결 및 데이터 가시화(Sensing & Digitization)이며, 물리적 상태를 실시간으로 파악하기 위해 현장의 모든 데이터를 디지털화와 통합하는 단계이며, 2단계는 디지털 트윈 및 상황 인지(Modeling & Contextualization)이며, 수집된 데이터를 바탕으로 가상 세계에 물리적 복사본을 생성하여 현재 상황을 정확히 진단한다. 이를 기반으로 이상 징후 탐지가 이루어지며, 머신러닝 알고리즘을 통해 정상 범위를 벗어난 미세한 패턴 변화 감지하며, 상태 진단을 넘어 인과관계(Causation) 분석한다. Physical AIOps 프레임워크의 3단계는 예측적 유지보수(Predictive Insights) 단계로, 과거와 현재 데이터를 기반으로 고장 시점 예측과 다운타임을 사전에 차단하며, 4단계는 자율적 제어 및 처방(Prescriptive Response)으로 인공지능이 최적의 해결책을 제시하거나, 물리 시스템을 직접 제어하여 문제를 해결하는 고도화가 진행된다. 마지막으로, Physical AIOps 프레임워크의 5단계는 지능형 운영 최적화(Autonomous Orchestration)이며, 단일 설비를 넘어 전체 물리 에코시스템의 효율

성과 가용성을 극대화하는 단계이다. Physical AIOps 프레임워크의 최종 목표는 "물리적 한계로 인한 중단이 없는(Zero-Interruption) 자율 운영 상태"를 만드는 것이다. 물리 세계의 복잡한 변수를 AI가 실시간으로 제어함으로써 물리적 장비의 수명은 늘리고, 불필요한 점검 비용을 획기적으로 줄일 수 있다.

VI. 결 론

미래학자들은 "미래는 예측하는 것이 아니라 창조하는 것이다"라고 말하고 있다. Physical AI는 인간의 일자리를 없애는 터미네이터가 아니라 미래의 기회를 열어주는 기술 발전의 산물로 보아야 하며, 이는 열악한 작업 환경과 인력 부족에 시달리는 중소 제조업체에 새로운 활력을 불어넣을 수 있다. 로봇 기술의 발전은 이제 인간 중심의 노동 시장에 새로운 변화를 불러오고 있다.

본 연구는 디지털 트윈 기술을 인간에게 적용하는 데 초점을 맞추고, 6G 기술을 활용하여 현실 세계를 가상공간으로 복제 및 확장하는 것을 목표로 한다. 6G의 초저지연 성능은 가상공간에서의 조작을 현실 세계에 실시간으로 반영하고, 다양한 분야 간의 원활한 데이터 교환을 가능하게 하여 안전한 서비스를 제공한다. 본 연구에서는 HcDT와 AI 기술을 활용하여 현실과 가상 세계를 아우르는 다양한 서비스를 지원하는 HcDT의 활용 시나리오와 Physical AI를 통해 중소 제조업체의 노동 환경 변화를 연구하였다. 추가적인 기술적·윤리적 과제 해결과 실질적인 상용화를 위해서는 장기적인 연구와 인프라 구축이 뒷받침되어야 할 것으로 예상된다.

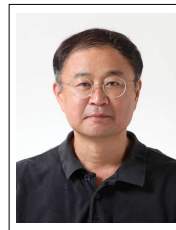
감사의 글

"이 논문은 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음(2025년도)."

REFERENCES

- [1] Europa.eu, "Industry 5.0 - What this approach is focused on, how it will be achieved and how it is already being implemented," Nov. 14, 2019.
- [2] Wei Shengli, "Is Human Digital Twin possible?," *Computer Methods and Programs in Biomedicine* Vol. 1, 2021.
- [3] R. Laubenbacher et. al, "Building digital twins of the human immune system: toward a roadmap," *Digital Medicine*, 2022.
- [4] Baicun Wang et. al, "Human Digital Twin in the context of Industry 5.0," *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Vol. 85, Issue C, Feb. 2024.
- [5] David Randle, Adam Rasheed, Dan Cotting, and Ross Pivovar, "Physical AI: Building the Next Foundation in Autonomous Intelligence," *AWS Spatial Computing Blog*, Dec. 02, 2025.
- [6] Atlas, <https://bostondynamics.com/products/atlas/> (accessed Aug., 18, 2026).
- [7] Liu Yunhao, "The Next Wave of AI - Beyond Simulation to Reality, The Future of Physical AI-Based Autonomous Driving and Robotics," *Alto Books*, 2026.
- [8] ByunRae Cha et al., "Prototype Design of Human-centric Digital Twin for Seamless Service," *DigiCon 2024*, Dec. 17, 2024.
- [9] 박상철 외 3인, "AI가 인체를 번역한다 - 내 몸을 설계하는 초지능 건강 코치 3세대 휴먼 디지털 트윈," *북랩*, 2025년
- [10] OpenAI, "Introducing ChatGPT Agent," OpenAI, Jul. 17, 2025.
- [11] MooJin Kim et al., "OpenVLA: An Open-Source Vision-Language-Action Model," *Robotics*, Sep. 5, 2024.
- [12] NVIDIA, "Cosmos World Foundation Model Platform for physical AI," *Computer Vision and Pattern Recognition*, Jul. 9, 2025.
- [13] Hirley Alves et al., "6G Resilience," *Signal Processing*, Sep, 2025.
- [14] 김미경 외 8인, "웹 3.0 넥스트 이코노미," *어웨이 크북스*, 2022년
- [15] Kai Mei, Xi Zhu, Wujiang Xu, Wenyue Hua, Mingyu Jin, Zelong Li, Shuyuan Xu, Ruosong Ye, Yingqiang Ge, Yongfeng Zhang, "AIOS: LLM Agent Operating System," *COLM 2025*, Aug. 12, 2025.
- [16] Hayley Brown, "What is the agentic web?," <https://cyclr.com/resources/ai/what-is-the-agentic-web> (accessed Apr., 28, 2026).
- [17] Gartner, "Agentic AI," <https://www.gartner.com/en/documents/5850847> (accessed Apr., 28, 2026).
- [18] 파스칼 보넷 외 7인, "에이전틱 AI - 행동하는 인공지능의 탄생," *한스미디어*, 2026년
- [19] Kearney Insight, "Physical AI 시대의 도래와 대비 방안," April 2025. <https://kearneyblog.co.kr/child/sub/insights/view.php?seq=177> (accessed Apr., 28, 2026).
- [20] 권오형 외 9인, "퍼지컬 AI와 에이전틱 AI가 바꾸는 미래," *미디어북*, 2026년
- [21] Amit Krishan Kumar, M. Ritam, Lina Han, Shuli Guo, Rohitash Chandra, "Deep learning for predicting respiratory rate from biosignals," *Computers in Biology and Medicine*, Volume 144, May 2022.
- [22] 차병래 외 2인, "호흡 기반 개인 식별과 헬스케어의 프로토타입 설계," *제34회 인공지능신호처리 학술대회*, 8월 18일, 2024년
- [23] Ollama, <https://ollama.com/> (accessed Apr., 28, 2026).
- [24] Gemini, <https://gemini.google/about/> (accessed Apr., 28, 2026).
- [25] 차병래, 김희수, 박선, 김종원, "DevOps부터 Physical AIOps까지 기술관점의 프레임워크 진화," *정보기술융합공학논문*, 제16권 제1호, 4월, 2026년

저 자 소 개



차병래(정회원)

2004년 목포대학교 대학원 컴퓨터공학
공학박사
2005년 ~ 2009년 호남대학교 컴퓨터공학
과 전임강사
2009년 ~ 2023년 광주과학기술원 AI대학
원 연구부교수
2023년~2026년 조선대학교 IT연구소 연구교수
2026년~현재 광주과학기술원 AI융합학과 실험강사
<주관심분야 : 정보보안, SDS, Digital Twin,
Agentic & Physical AI 등>



노순국(종신회원)

1995년 조선대학교 전자공학 공학사
1997년 조선대학교 대학원 전자공학
공학석사
2000년 조선대학교 대학원 전자공학
공학박사
2002년 ~ 2004년 전북대학교 BK기금교수
2004년 ~ 2009년 호남대학교 전파공학과 전임강사
2009년 ~ 2011년 호남대학교 이동통신공학과 조교수
2012년 ~ 2018년 조선이공대학교 전자과 조교수
2018년 ~ 2024년 조선대학교 SW중심대학사업단 부교수
2024년 ~ 현재 조선대학교 자유전공학부 & 과학기술융
합학과 (대학원) 부교수
<주관심분야 : 무선이동통신, 전파전파, IoT시스템,
인공지능응용, 신재생에너지 등>