

피지컬AI의 현황과 주요 이슈

이해수 선임연구원
소프트웨어정책연구소
AI정책연구실

2025.11.28

목 차

01. 피지컬 AI의 현황

02. 피지컬 AI 관련 주요 이슈

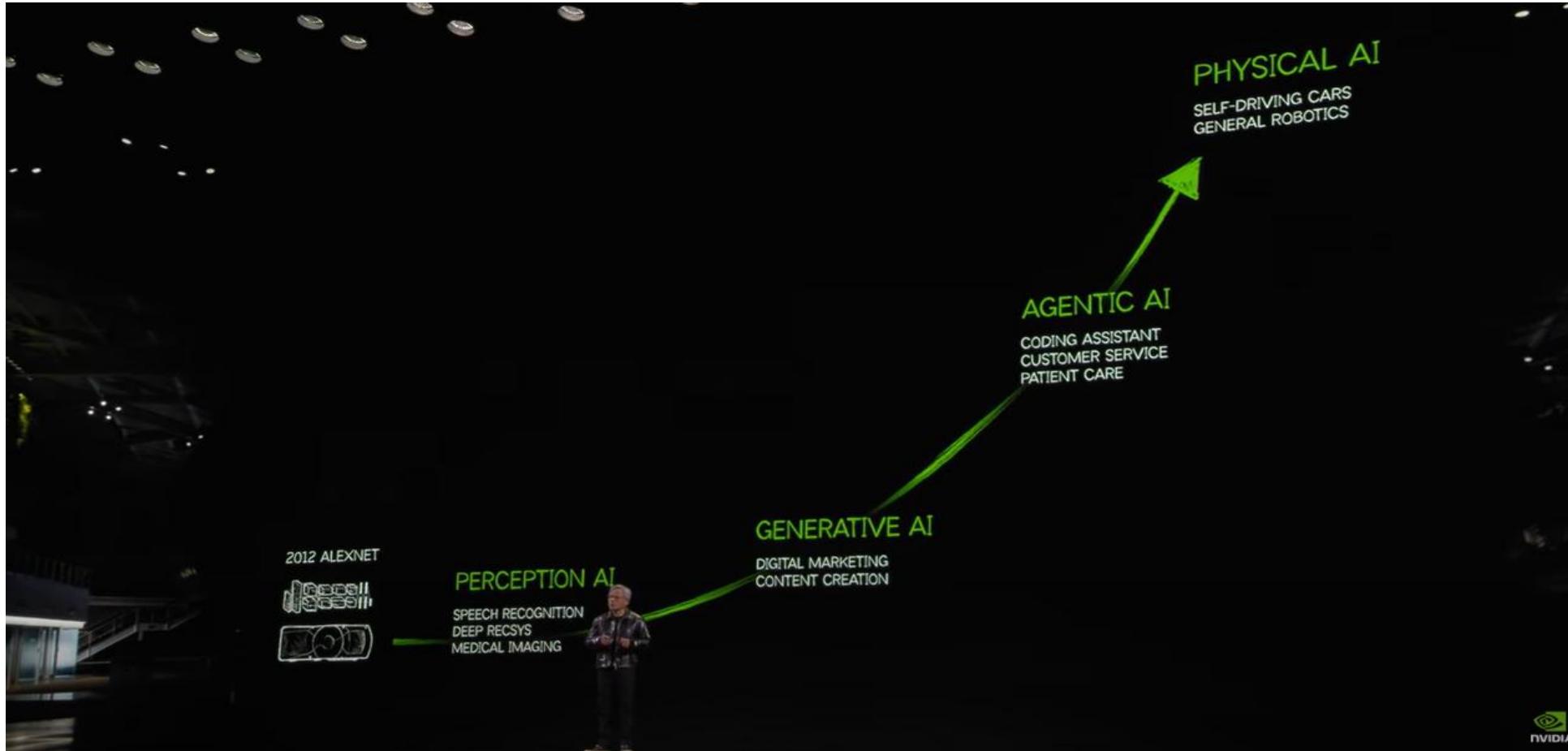
03. 정책 시사점



01. 피지컬 AI의 현황



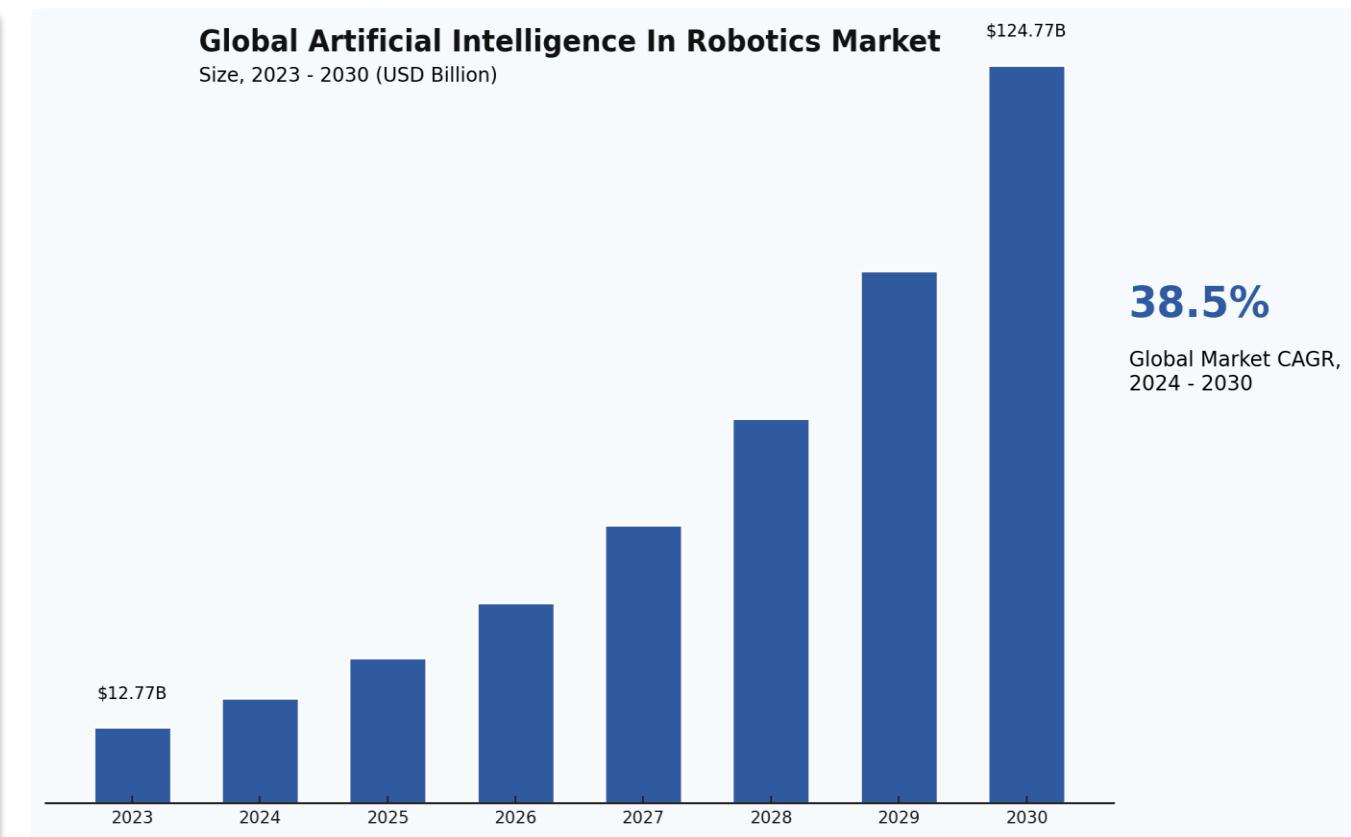
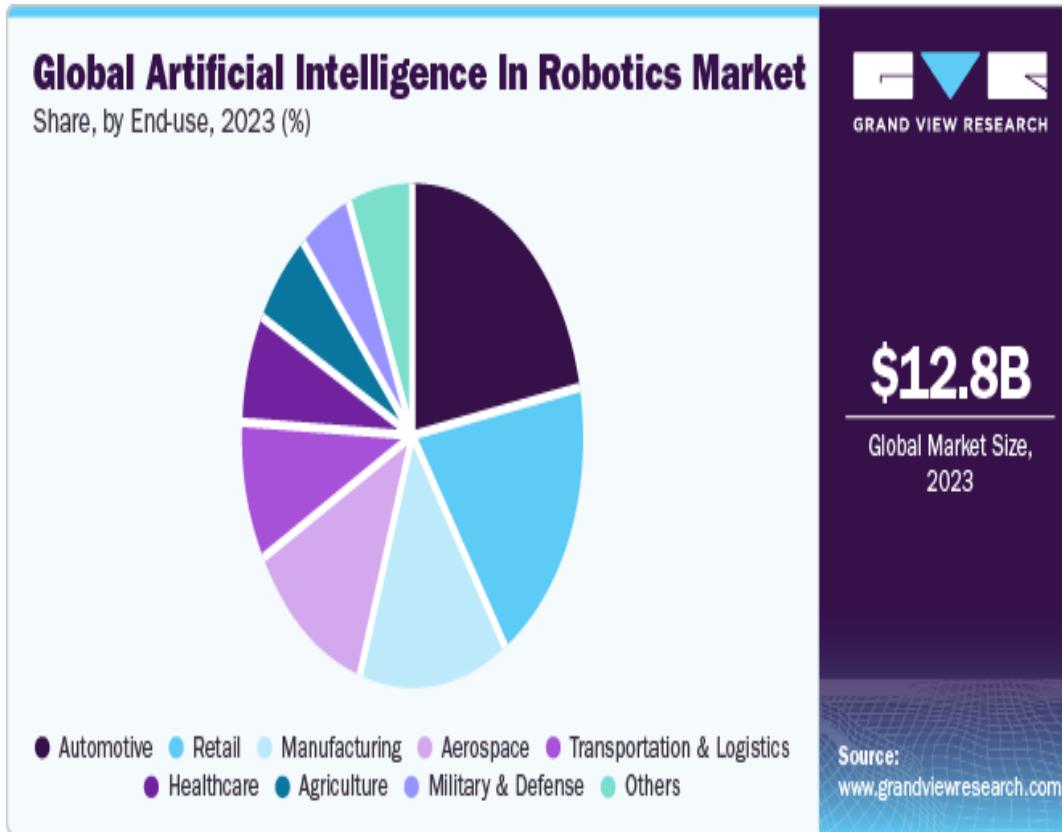
“The next frontier of AI is Physical AI”



출처 : NVIDIA CEO Jensen Huang Keynote at CES 2025 (유튜브).

Physical AI에 대한 시장 기대도 꾸준히 상승(Grand View Research, 2024)

2023년 약 127억 달러 → 2030년 약 1,247억 달러(한화 약 168조원)(CAGR 38.5%) 전망





Physical AI는 AI 기술의 혁신, 새로운 시장의 기회, 사회구조적 변화에 따라 급부상



생성 AI 등 AI 기술의 혁신으로 Physical AI의 상용화가 급진전

- 강화학습의 발전은 로봇과 알고리즘의 융합을 촉진하며 물리적 시스템의 자율성을 크게 향상
- Physical AI는 제한적 행동 및 단순 자동화를 넘어 실시간/자율적 학습·적용·상호작용이 가능한 지능형 로봇으로 발전



다양한 산업 분야에서 핵심 기술로 부상

- 스마트 제조, 조선, 농업, 교통, 의료, 물류, 재난 대응, 스마트시티 인프라 등에서 AI+로봇+센서의 융합 솔루션 활용
- 로봇 하드웨어, 센서, 엣지 컴퓨팅, 클라우드 등 연계 산업 전반의 수요가 확산 되며 지능형 융합 시장으로 재편



사회 구조 변화에 따라 인간의 역할을 보완·확장하는 기술로 확산

- 저출산·고령화 가속화, 베이비 봄 숙련 노동자 세대의 은퇴, 기피 직업의 노동력 부족 등 구조적 인구 변화에 따른 현장 노동력 공백이 Physical AI의 수요 확대를 견인(e.g. 선진국 특정 직업군의 인력 부족 현상; 중국 농촌·공장·요양 시설 인력 부족 등)
- 단순 반복·육체 노동을 대체하고, 인간과 협업 가능한 Physical AI의 필요성이 전 산업에서 현실화



**현재까지 Physical AI에 대한 통일된 정의는 부재한 상황이나,
'AI의 물리적 구현', '물리적 인터페이스를 통한 실제 세계와의 상호작용', '자율적 판단·행동' 등을 핵심 요소로 강조**

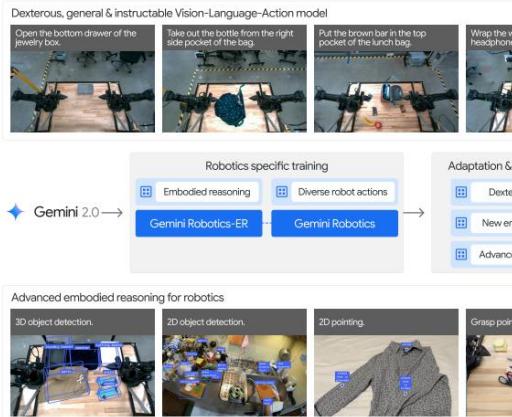
구분		정의
학계	Miriyev & Kovač (2020)	<ul style="list-style-type: none"> 지능형 유기체와 관련된 작업을 수행할 수 있는 물리적 시스템을 만드는 이론과 실제
	Yingbo Li(2021)	<ul style="list-style-type: none"> 센서·액추에이터·AI 알고리즘이 통합된 시스템으로, 물리적 세계에서 자율적으로 작동하는 지능형 시스템
	Yang Liu(2024); SJ Oks(2024); Zikai Zhao(2024)	<ul style="list-style-type: none"> 기존의 Embodied AI(체화된 AI), 소프트 로보틱스(Soft Robotics), 사이버물리시스템 (Cyber–Physical System, CPS), 적응형 AI(Adaptive AI) 등의 개념들과 밀접하게 연결
연구계	AI4EU(2020)	<ul style="list-style-type: none"> 물리적 환경과의 직접적인 상호작용이 수반되는 문제를 해결하기 위해 AI 기술을 활용
	WEF(2025)	<ul style="list-style-type: none"> 기계공학, AI, 센서, 연결성의 융합을 통해 현실 세계에서 자율적으로 작동하는 시스템
산업계	NVIDIA(2025e)	<ul style="list-style-type: none"> 현실 세계에서 복잡한 행동을 인식, 이해 및 수행할 수 있는 자율 시스템
	Google Deepmind (2025)	<ul style="list-style-type: none"> AI가 인간처럼 물리 환경에서 안전하고 유연하게 상호작용할 수 있도록 진화해야 한다는 관점
	USAI(2025)	<ul style="list-style-type: none"> AI가 데이터 처리를 넘어 실제 세계에서 물리적 상호작용을 지능적으로 수행하는 기술

**AI가 물리적 실체 안에 구현되어 센서와 액추에이터 등을 통해 현실 세계를 인식하고,
자율적으로 판단·행동함으로써 환경과 유기적으로 상호작용할 수 있는 시스템**

피지컬 AI의 주요 기술 : 두뇌 - 감각 - 연결 - 행동



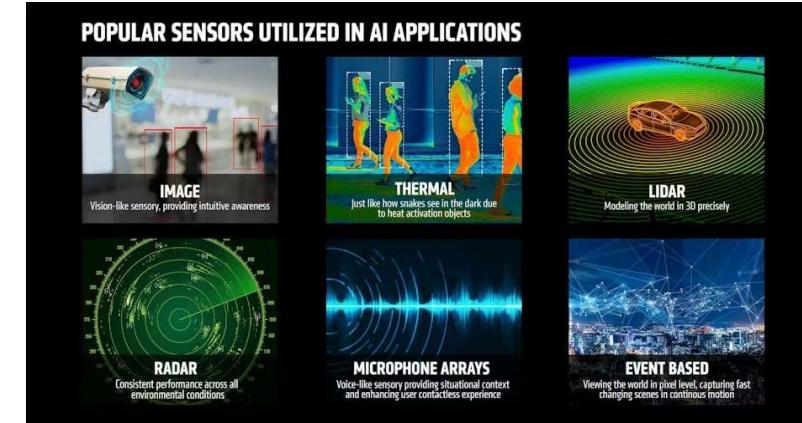
AI 알고리즘(두뇌) 지능적 의사결정 담당, VLA 모델과 연계



멀티모달 지원으로 텍스트, 음성, 이미지, 3D 공간 데이터 등을 함께 처리

→ 사람의 명령 정교하게 이해, 상황 맥락에 맞는 행동 계획

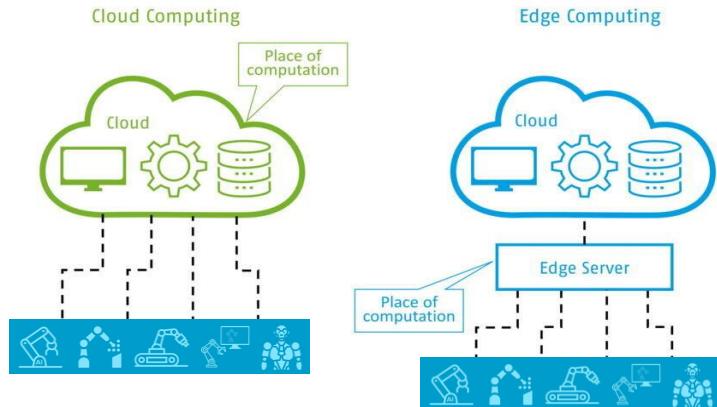
컴퓨터 비전 및 센서(감각) 물리적 환경 인식·이해, World Model 구축 기반



다양한 센서 데이터를 통합하는 Sensor Fusion 기술은 고차원 지능 수행의 기반을 제공

→ 환경을 사전에 이해하고 계획할 수 있게하는 World Model 구축의 기반을 형성

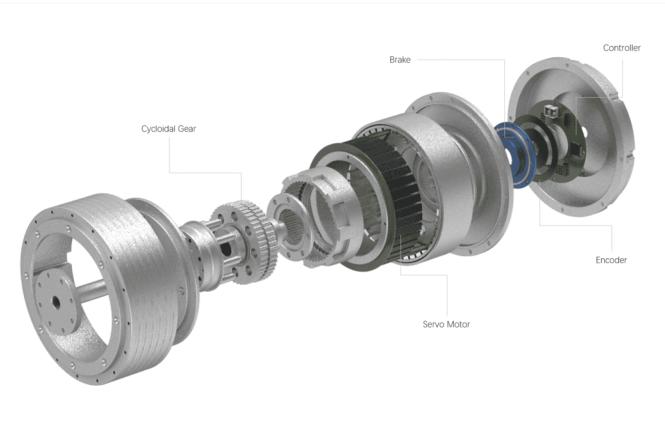
네트워크 인프라(연결) 실시간 연결과 분산처리의 기반



데이터가 생성되는 지점 근처에서 연산을 수행

- 데이터를 로컬에서 실시간으로 처리, 지연 시간 감소(Reduced Latency)
- 네트워크를 통한 민감 정보 전송 최소화(Enhanced Data Privacy)
- Physical AI가 Cloud에 의존하지 않고 현장에서 자율적으로 작동할 수 있게 하는 핵심 기반 (+ NPU 등)

제어 및 액추에이터(행동) 물리적 행동 구현과 환경 적응을 위한 핵심 구성 요소



팔(arm), 그리퍼(gripper), 관절(joint) 등의 움직임을 생성하거나 제어하기 위해 사용되는 장치 (e.g. Motor, Gear, Encoder, Brake, Controller)

→ 최근 AI 기반 제어 시스템과의 고도 통합을 통해 상황 인식/판단/즉각적 조작 실행 (Smart Actuators)

→ 기민성(dexterity) 향상은 인간의 정교하고 자연스러운 상호작용을 수행, 안전성과 사고 예방을 동시에 확보 (Soft/Micro Actuators)

현재까지 개발중인 Physical AI는 기술 수준과 구현 형태의 차이에 따라
크게 4가지 유형으로 구분 가능

유형	기술수준 및 형태
휴머노이드형	<ul style="list-style-type: none">기반모델, 컴퓨터 비전, 엣지 컴퓨팅, 자율 제어 기술이 고도로 통합된 형태로, 인간의 외형과 유사한 구조를 통해 걷고, 보고, 듣고, 말하며 스스로 판단하고 행동하는 최고 수준의 지능형 물리 에이전트
자율주행차형	<ul style="list-style-type: none">도로 환경에 특화된 감지·판단 시스템과 AI 기반의 경로 해석, 고속 비전 처리, 정밀 제어 기술이 융합되어 고도로 복잡한 주행 시나리오를 자율적으로 수행할 수 있는 차량 기반 물리 시스템
드론형	<ul style="list-style-type: none">공중 이동에 최적화된 경량 AI와 실시간 공간 인식 능력을 바탕으로, 장애물 회피·위치 추적·자율 비행 기능을 수행하며 지정된 임무를 고효율로 수행할 수 있는 비행형 피지컬 AI
AGV & AMR형	<ul style="list-style-type: none">AGV : 자기유도선, 마그네틱, QR코드 등 사전 정의된 경로를 따라 자재를 운반하는 정형 환경 특화형 자동화 차량으로, 최근에는 제한적 AI 기능(환경 인식, 충돌 회피, 속도 자동 조절 등)을 일부 갖추며 지능형으로 진화AMR : SLAM(Simultaneous Localization and Mapping), 컴퓨터 비전, LiDAR 기반 자율 경로 생성 및 장애물 회피 기능을 갖춘 피지컬 AI

피지컬 AI는 제조, 건설, 물류, 의료, 농업, 조선 등 다양한 산업군으로 빠르게 확산

- 휴머노이드형 피지컬 AI Figure는 실제 자동차 생산 공정에 배치
- 인체공학적으로 불편한 동작이나 피로감 높은 작업에 집중 배치



피지컬 AI는 제조업을 넘어 건설, 물류, 의료, 농업, 조선 등 다양한 산업군으로 빠르게 확산

- 드론형 피지컬 AI는 농업 분야에서 다양한 시나리오를 적용해 약제 분사, 입제 살포 및 운송을 지원
- AGV & AMR형 피지컬 AI는 자제/제품 운송을 자동화하여 물류 동선을 최적화

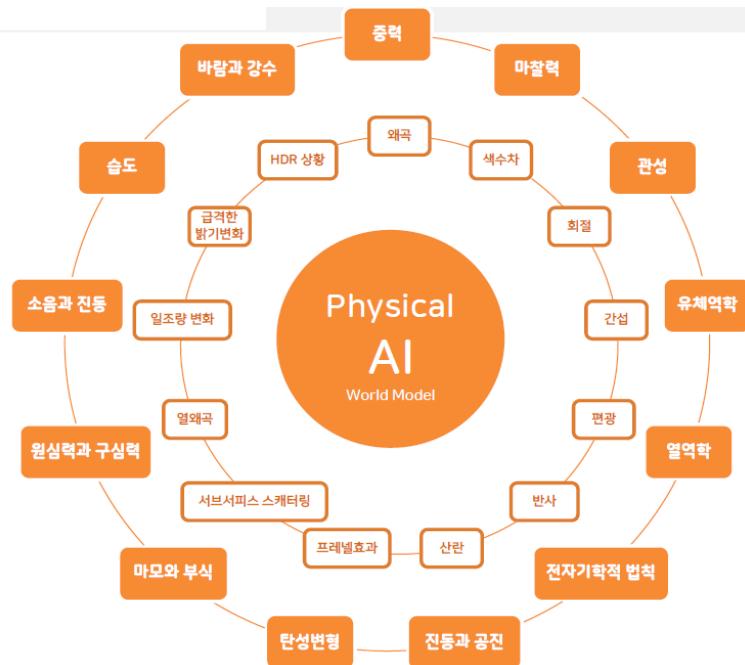


02. 피지컬 AI 관련 주요 이슈

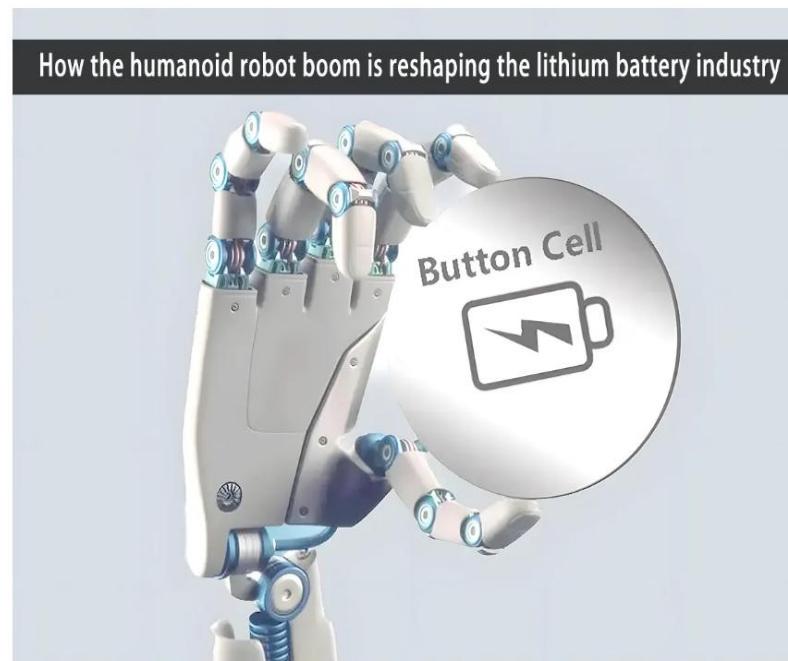


실제 환경에서 인간 수준의 Physical AI가 완전히 실현되기까지는 여전히 기술적 장벽이 존재(Citi, 2025)

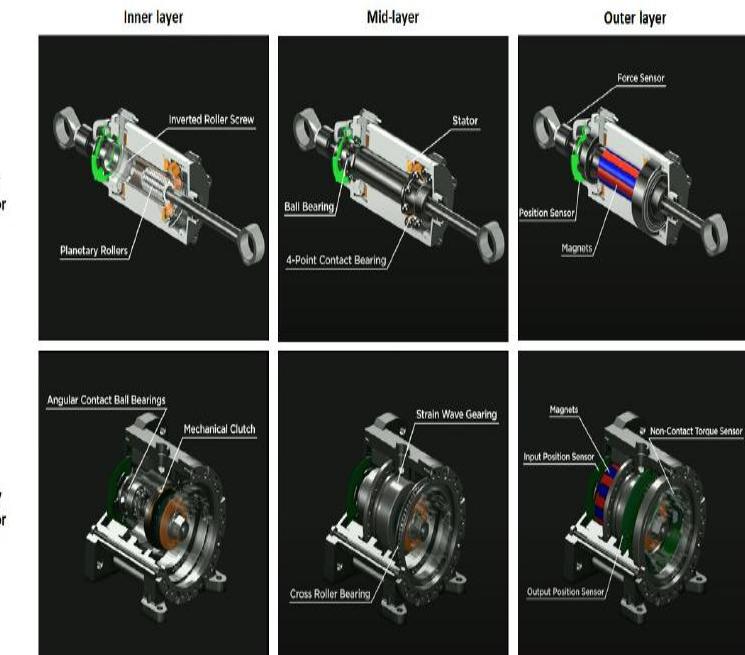
- (시뮬레이션과 현실 간 격차) 현실 세계의 복잡성과 불확실성은 여전히 시뮬레이션만으로 극복하기 어려운 상황
→ Physical AI의 일반화된 인지·행동 능력 구현에 구조적 한계로 작용
- (전력 및 에너지 효율 문제) 배터리 및 연산 효율성의 한계로 로봇 운용 시간과 자율성에 제약
→ 배터리 에너지 밀도 향상과 더불어 고효율 액추에이터, 연산 구조 최적화 기술의 병행적 발전이 필요
- (액추에이터의 내구성과 성능 문제) 무거운 작업, 불규칙한 실외 환경에서 작동, 충격과 환경 변화에 견딜 수 있는 강인한 구조 필요
→ 내열성·방진성을 고려한 재료 선택 / 복합소재, 탄소 섬유, 그라핀 기반 신소재 적용 = 강력한 힘 + 경량화



출처 : 소프트웨어정책연구소(2025); IM증권(2025); Tesla(2025); Tycorun(2025)



<The growth of demand for lithium batteries in humanoid robots>

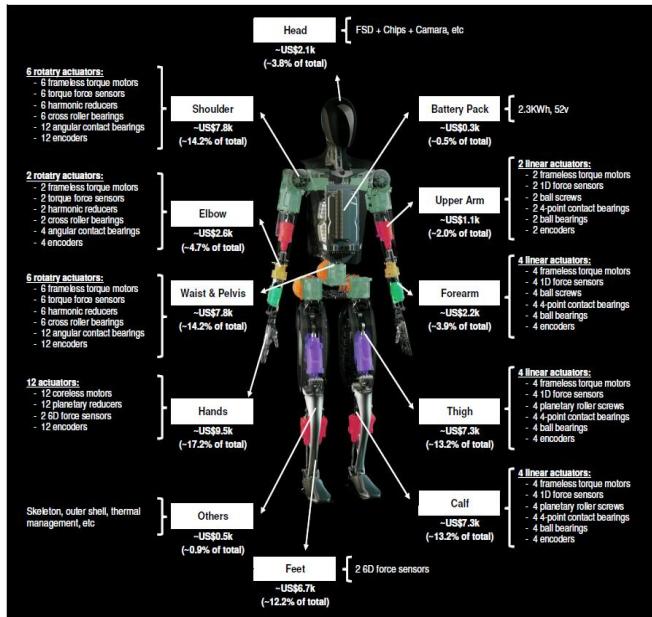


<Tesla actuator with composite materials and heat/dust-resistant components>



Physical AI의 대중적 확산을 제약하는 핵심 요인 중 하나는 높은 제조 비용(Citi, 2025)

- 고성능 부품 사용, 맞춤형 설계, 복잡한 시스템 통합, 전문 인력, 지속적인 운영 및 유지보수 비용 등으로 인해 상당한 자본 투자가 필요
- 고차원 연산을 수행하기 위해 수십억 개 파라미터 규모의 파운데이션 모델 학습 및 운용에는 막대한 연산 자원과 시간이 소요
- 하드웨어, 소프트웨어, 고성능 반도체 칩 등이 상호 분리된 생태계에서 개발되는 경우가 많아 시스템 통합 비용, 기술 복잡성이 크게 증가

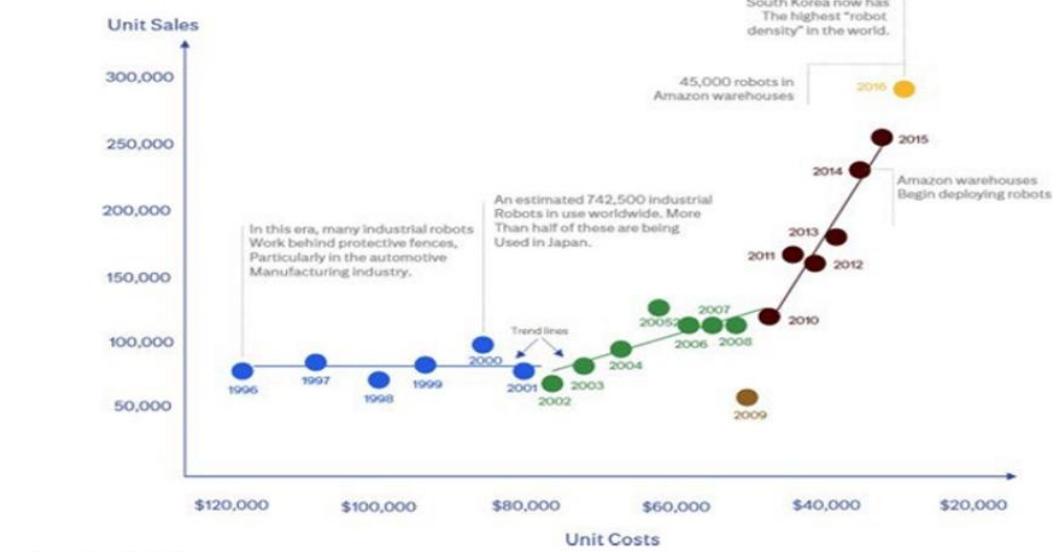


<Tesla Optimus, \$50-60k per unit(ex-software)>



<중국 Unitree G1, 약 2,130만 원
가성비 모델 'R1'은 800만원 대>

Figure 68. Price Elasticity of Demand for Industrial Robots



Source: Visual Capitalist

<Price Elasticity of Demand for Industrial Robots>

피지컬 AI 상용화를 위해서는 단가 절감, 모듈형 플랫폼 설계, 고성능 연산 자원의 효율화 등 비용 구조 전반의 최적화가 핵심 과제

피지컬 AI 관련 주요 이슈 : 사회/노동시장 불안정

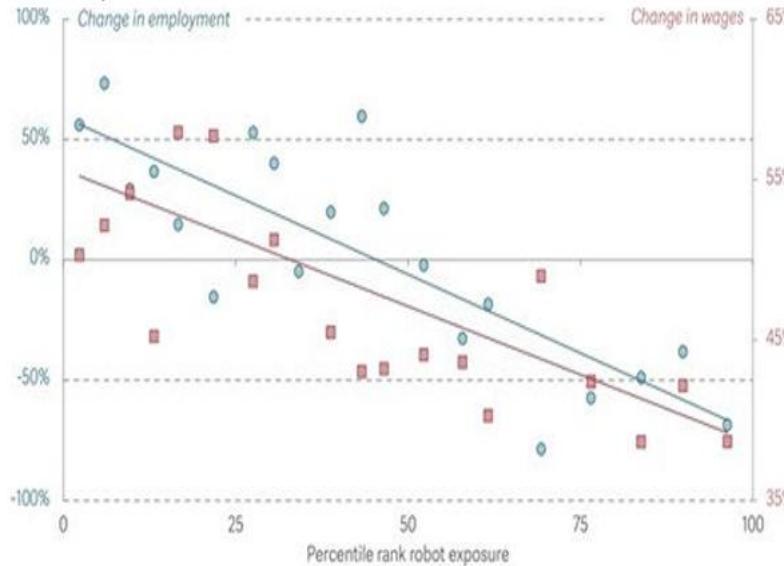


대규모 자동화로 인한 일자리 감소와 노동시장 충격에 대한 우려 또한 병존(Intahchomphoo, et al., 2024)

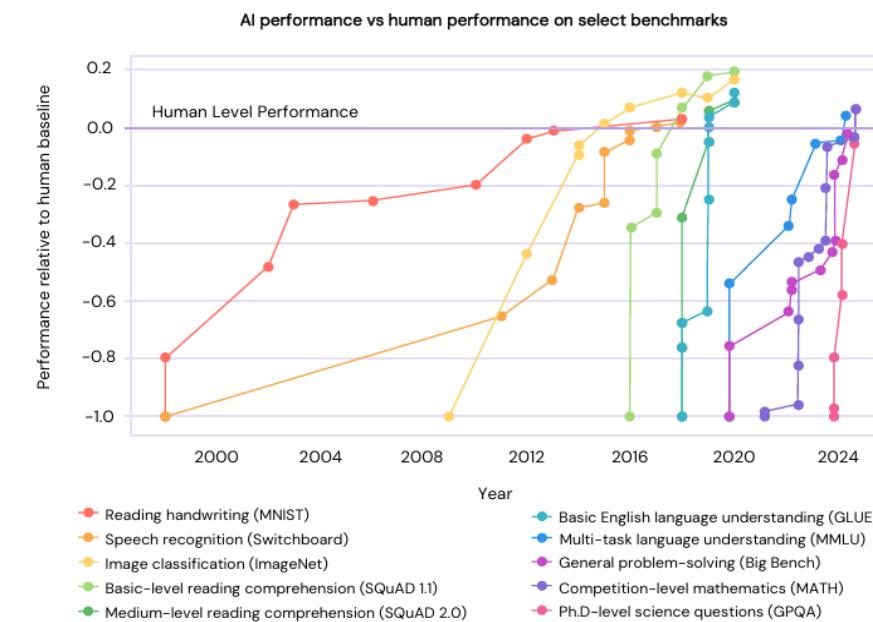
- 제조업과 서비스업은 물론 의료나 IT 등 고도의 지능적 업무가 포함된 분야까지 아우르며 인간의 다양한 직무를 대체할 것으로 예상
- 장기적으로 미국 내 직업의 약 75%, 근로자의 40%가 휴머노이드에 대체, 피지컬 AI 전 범주로 확대 전망(Morgan Stanley, 2024)
- Physical AI 도입의 경제적 이득이 자본 소유자나 주주에게만 집중되고, 실직 노동자에 대한 보완책 미흡할 경우

사회적 불평등 심화 및 디지털 격차 확대로 이어질 가능성도 존재

Figure 70. Changes in employment and wage growth between 1981 and 2019 by percentiles of robot exposure



<Robot Exposure and the Decline of Jobs and Wages>



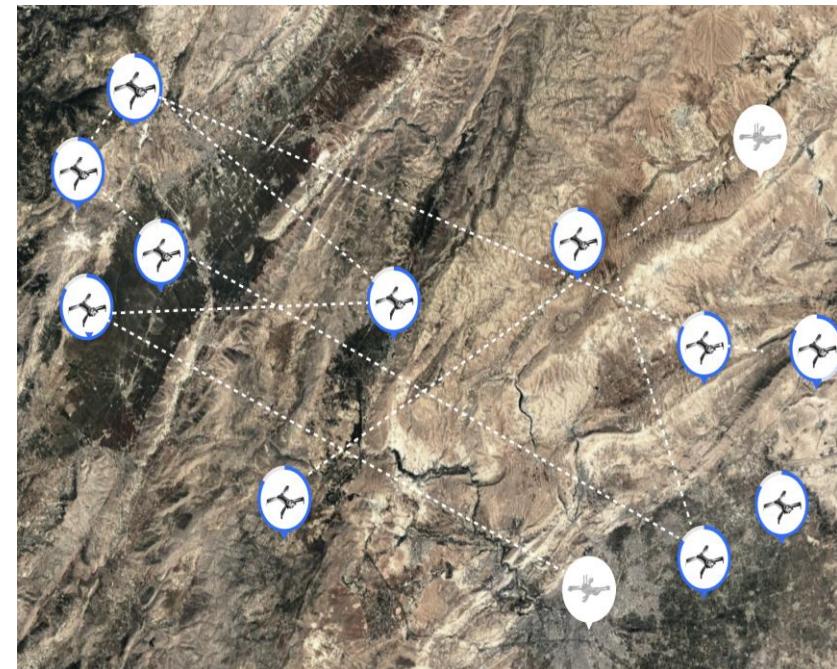
<AI performance vs human performance>



<Amazon employee vs robots>

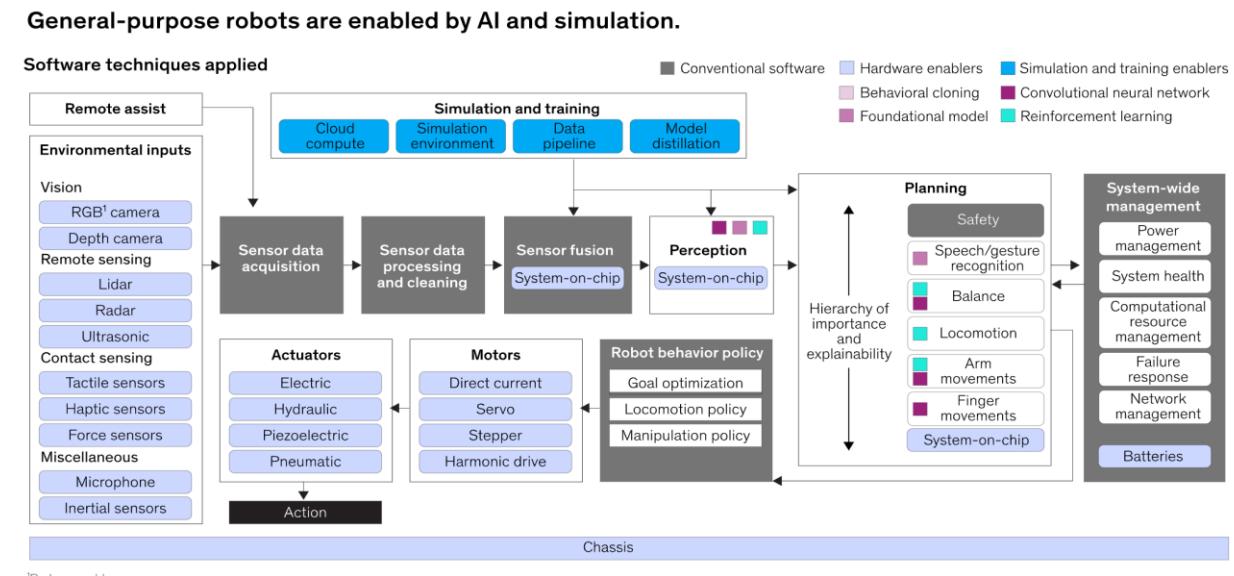
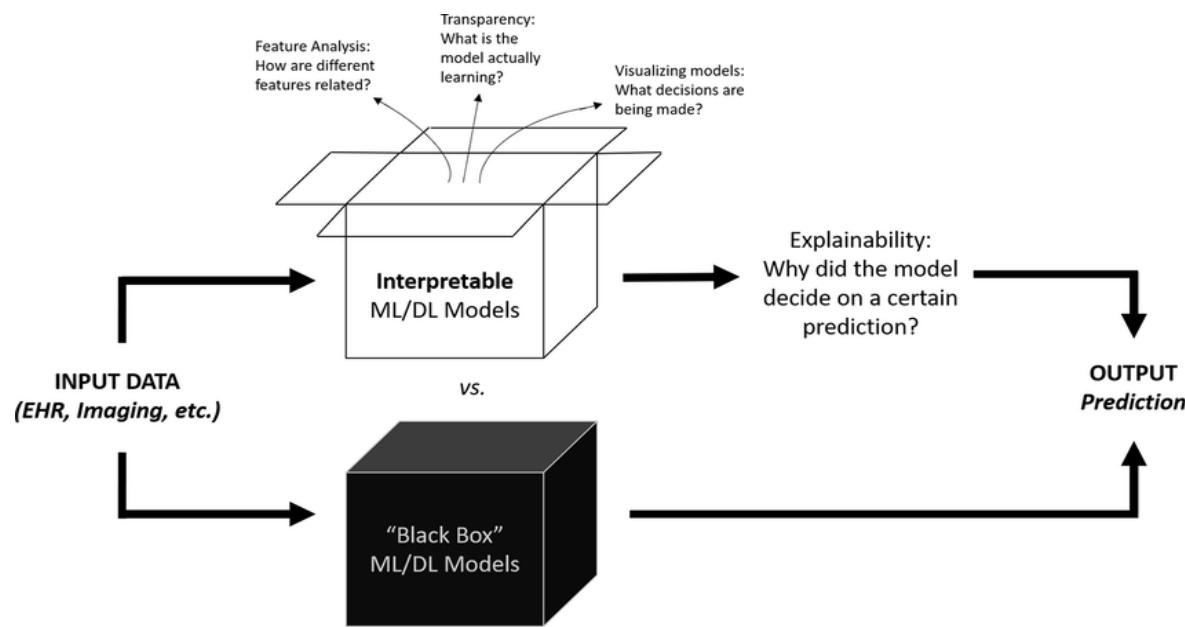
신체·공간·정보와 직접적으로 상호작용하는 기술 특성상 다양한 윤리적·법적 과제를 수반

- 자율적으로 판단·행동하는 특성상, 사고 발생시 법적 책임 주체(운영자, 개발자, 제조사 등)가 불분명해질 가능성 존재
→ 서비스 제공 과정에서의 문제, 센서 오작동 AI 알고리즘 결함, 관제요원의 개입(사고 상황별로 법적 책임의 성격 신중히 가릴 필요)
- 사용자 감정에 영향(e.g. 정서적 애착, 심리적 의존), 프라이버시 이슈, 인간 존엄성에 대한 침해 가능성(e.g. 감시 등)
- 군사적 상황에서의 인간 통제의 부재로 인한 오작동 위험, 국제법상 책임 공백, AI 판단 검증/인증 체계 부재 등이 주요 윤리적·법적 문제로 제기



피지컬 AI는 '설명 불가능한 블랙박스'와 '확장된 데이터 입력'이 결합된 새로운 보안 리스크를 형성

- AI의 의사결정 과정은 입력 데이터가 내부 복잡한 신경망을 통해 처리, 결정의 근거 명확히 해석 X
 - 데이터 조작 탐지 불가, 의도치 않은 모델 편향 및 오판 감지의 한계
- 피지컬 AI는 카메라, 라이다, 센서, 초음파, 마이크 등 물리적 센서를 통해 방대한 데이터 수집 → 다중 센서 융합(fusion)
- 데이터 입력이 방대해지고 공격 표면도 넓어지는 만큼, AI 결정의 근거 보다 추적이 더 어려워지고 있는 상황
- 피지컬 AI의 결정은 사용자에게 광범위한 물리적/정신적 영향을 미칠 수 있다는 점에서 설명가능한 AI(XAI) 확보가 중요



피지컬 AI 관련 주요 이슈 : 지정학적 경쟁의 심화



미국·중국·EU·일본 등 주요 기술 선도국은 Physical AI 관련 정책·투자를 본격화

미국

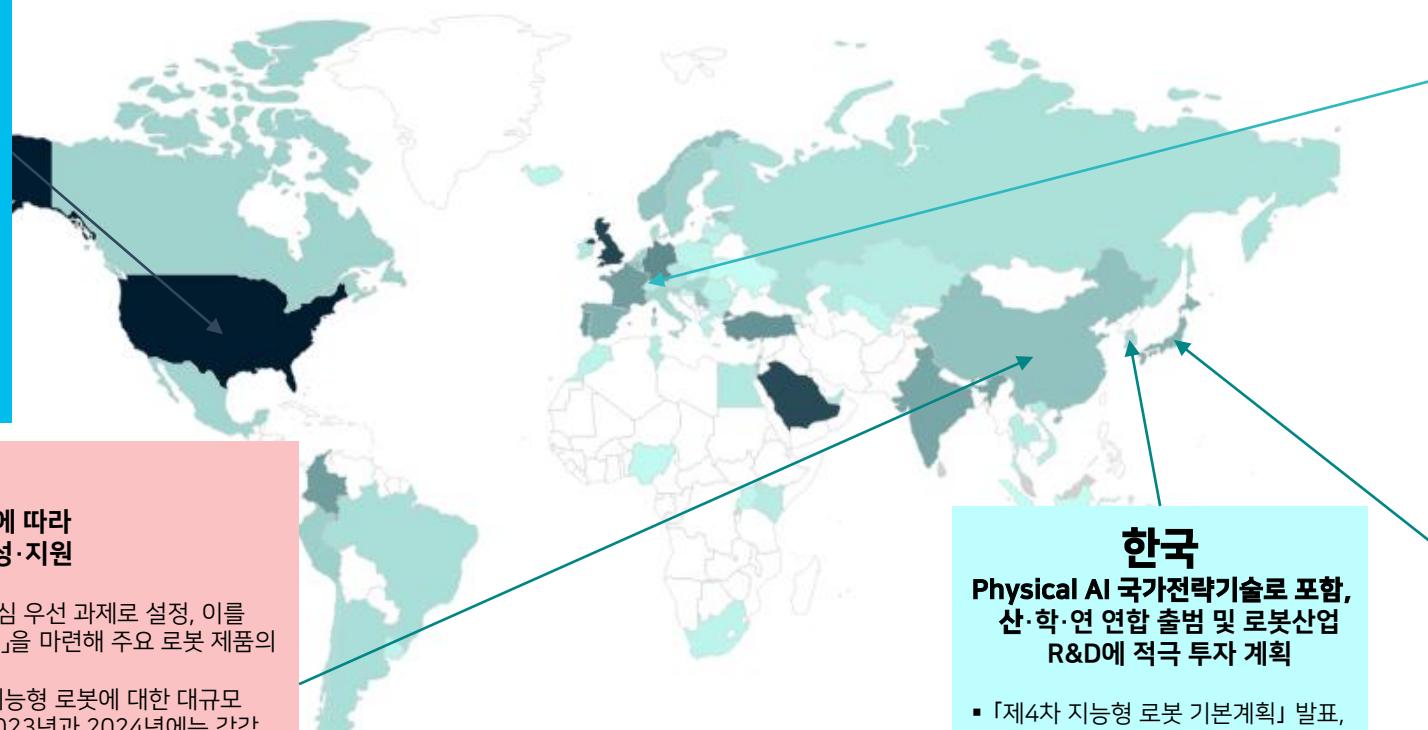
국가기관을 통해 산·학·연 협력과 자금 지원, AI 분야에 경쟁력을 갖춘 민간 생태계 (밸티크, 스타트업)를 중심으로 Physical AI 분야의 혁신을 주도

- 「미국 로보틱스 로드맵」 수립(‘09~‘24 까지 네 차례 개정 - 활용 영역, 필요 기술, 대책 등 구체적 방향 제시)
- 「국가 로보틱스 이니셔티브(NRI)」를 통해 10여년간 300개 이상의 프로젝트에 투자
- NSF, DoD 등 지능형 로봇 개발에 적극 투자
- 보스턴·피츠버그·실리콘밸리 로봇 클러스터 출범, 로봇 및 AI 분야 투자 확대, 창업 생태계 활성화(2022)
- 트럼프 대통령, Physical AI 관련 핵심 기술 자립도 향상 위해 Reshoring 정책, 관세 조치 적극 추진(2025)
- 「Stargate Project」 추진, 대형 데이터센터와 전력 인프라 구축, 고성능 연산 기반 마련(2025)

중국

중앙정부 주도의 중·장기 계획에 따라 Physical AI를 체계적으로 육성·지원

- 「중국제조 2025」를 통해 첨단 로봇과 기계 기술을 핵심 우선 과제로 설정, 이를 실행에 옮기기 위해 「로봇산업발전규획(2016~2020)」을 마련해 주요 로봇 제품의 고도화 및 핵심 부품 개발을 본격 추진(‘25)
- 「지능형 로봇 중점 특별 프로그램」을 통해 AI 융합형 지능형 로봇에 대한 대규모 투자를 단행했으며, 2022년에는 약 4,340만 달러, 2023년과 2024년에는 각각 4,520만 달러를 지원(‘22~)
- 17개 부처 합동으로 「로봇+활용방안」을 발표하고, 2025년까지 머신러닝·빅데이터 등 첨단기술이 융합된 산업용 로봇 밀도를 2020년 대비 두 배로 확대하는 목표를 제시(국무원, 2023)
- 베이징市를 중심으로 약 2조원 규모의 Physical AI 산업 발전 기금 조성(‘24)
- 중국 양회, Physical AI 산업 전략적 육성 공식화(2025. 3.)



EU

Physical AI 기술 혁신 및 산업 진흥과 동시에 윤리적 원칙과 사회적 책임 역시 병행 추진

- 「DigitalEurope」, 「Horizon Europe」 등 지능형 로봇 관련 파트너십, 연구 프로그램 수행(2024)
- 「AI Act」를 통해 휴머노이드 등 「고위험군」으로 분류(2024)
- <AI 적용 전략>을 통해 피지컬 AI 시스템을 AI 전략의 핵심 응용 분야로 지정(2025.10.)

일본

Physical AI 분야 전환 흐름에서 경쟁국에 뒤처진 초기 산업용 로봇 선두 자리를 회복할 방안을 모색

한국

Physical AI 국가전략기술로 포함, 산·학·연 연합 출범 및 로봇산업 R&D에 적극 투자 계획

- 「제4차 지능형 로봇 기본계획」 발표, 2030년까지 약 3조원 이상 투자(산업부, 2024. 1)
- Physical AI 개발 및 투자에 대한 중요성을 반영해 12대 국가전략기술 체계 개편(과기부, 2025. 3.)
- 「K-휴머노이드 연합」 출범(2025. 4.)
- 피지컬 AI 얼라이언스 출범(2025. 9.)

03. 정책 시사점



핵심 산업 기반 중심의 전략적 확산

(물류, 제조, 교통, 의료, 스마트시티, 국방·안보 등)

산·학·연 유기적 협력 강화

(기술 성과 → 산업, 실증 기반 체계화, 세제 지원)

핵심 기술 자립화

(액추에이터, 센서, 모터, AI 기반 파운데이션 모델 국산화)

Physical AI 'testbed' 지원

(스타트업, 중소기업 기술 자유롭게 테스트 및 사업화)

전문 인력 양성

산업강화

신뢰/
거버넌스

신뢰할 수 있는 생태계 조성

(윤리·안전 기준 반영, 인증제도 및 사전검증 체계 도입)

책임·배상·법제 정비

데이터 프라이버시 이슈

인간의 통제 권한 확보

(- AI 시스템의 비정상 작동 시 킬스위치 의무적 탑재
- XAI를 통해 신뢰 가능한 AI 거버넌스 구축에 기여)

로봇 안전 국제 협력 강화

감사합니다