

제64회 SPRI 포럼 “피지컬 AI(Physical AI) 시대, 어떻게 준비할 것인가?”

# 피지컬AI의 현황과 주요 이슈

이해수 선임연구원  
소프트웨어정책연구소  
AI정책연구실

2025.11.28

# I 목 차

## 01. 피지컬 AI의 현황

## 02. 피지컬 AI 관련 주요 이슈

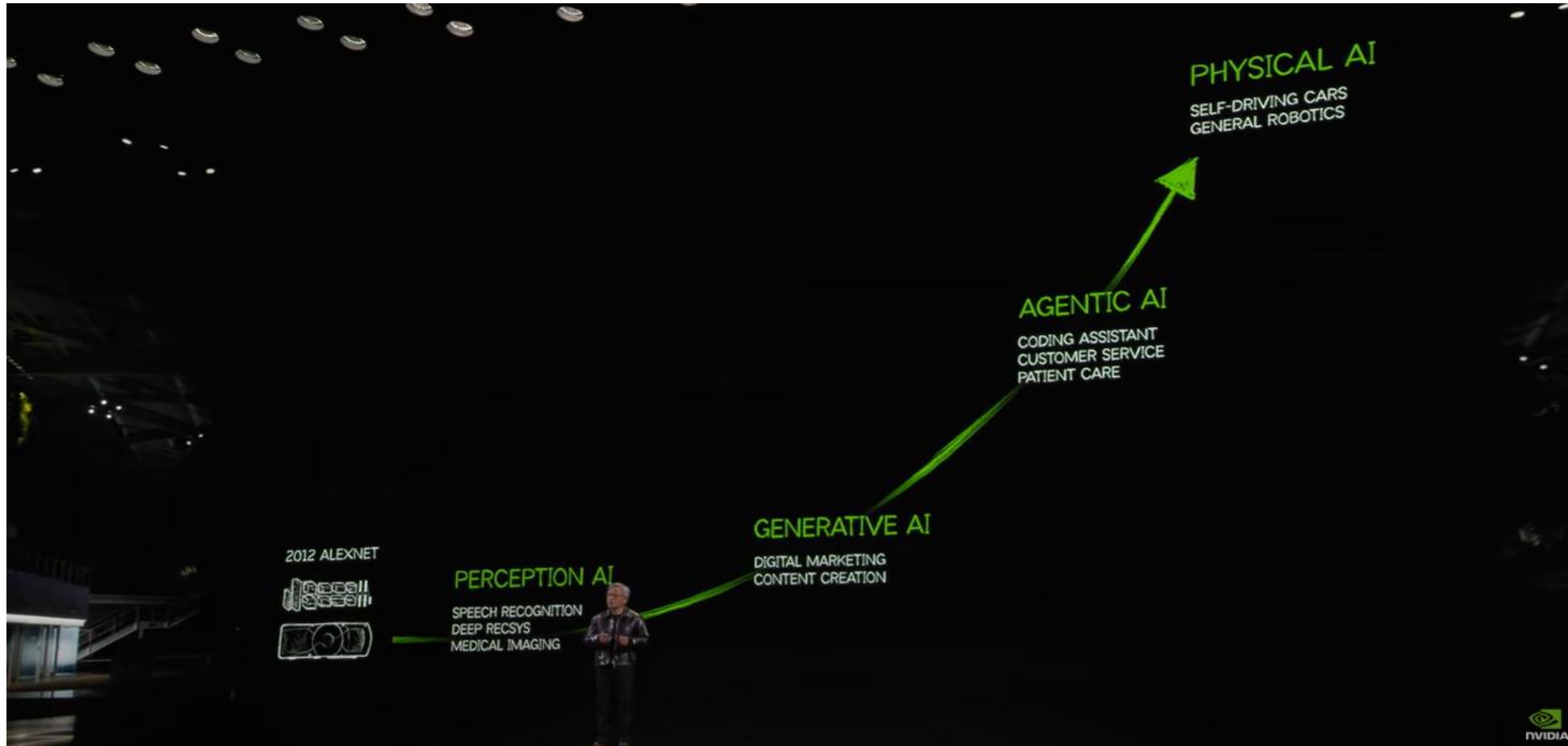
## 03. 정책 시사점





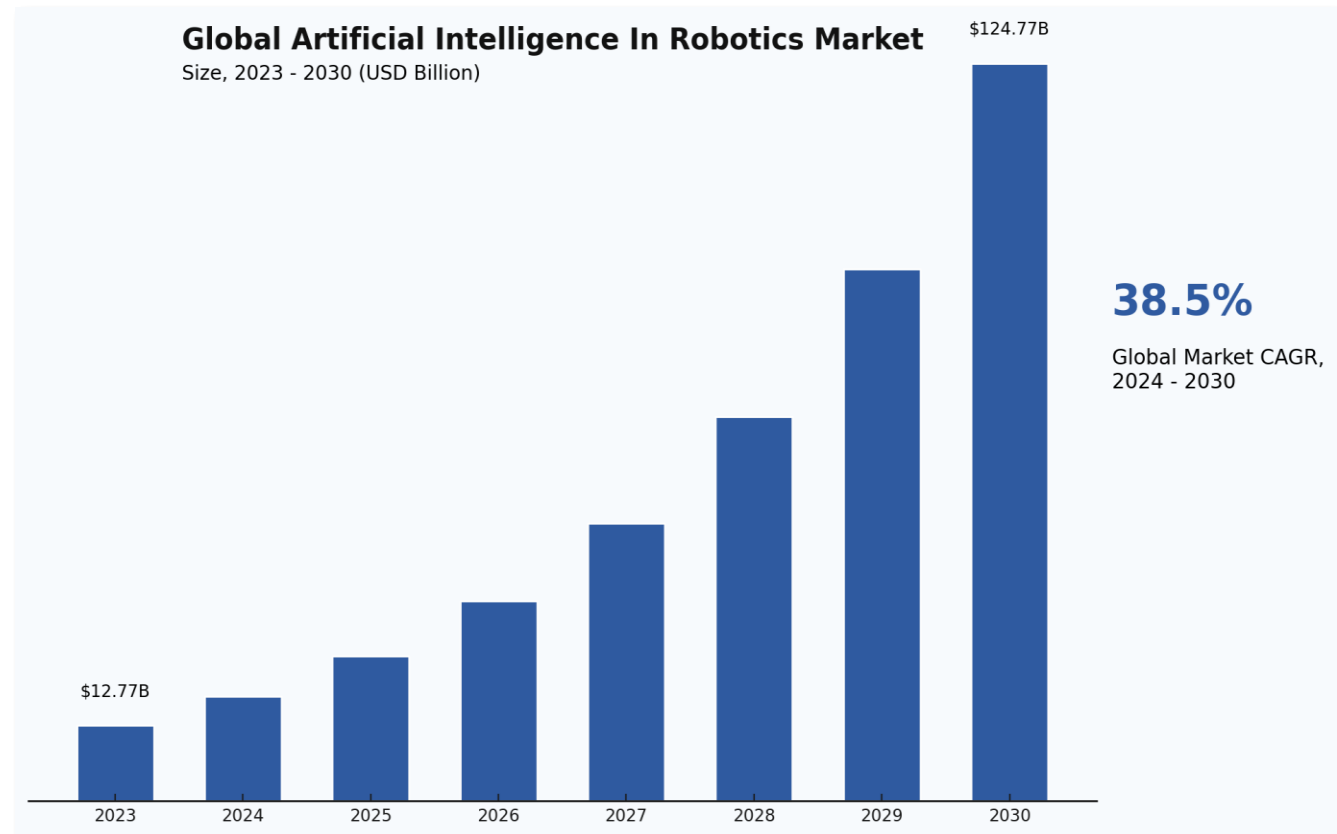
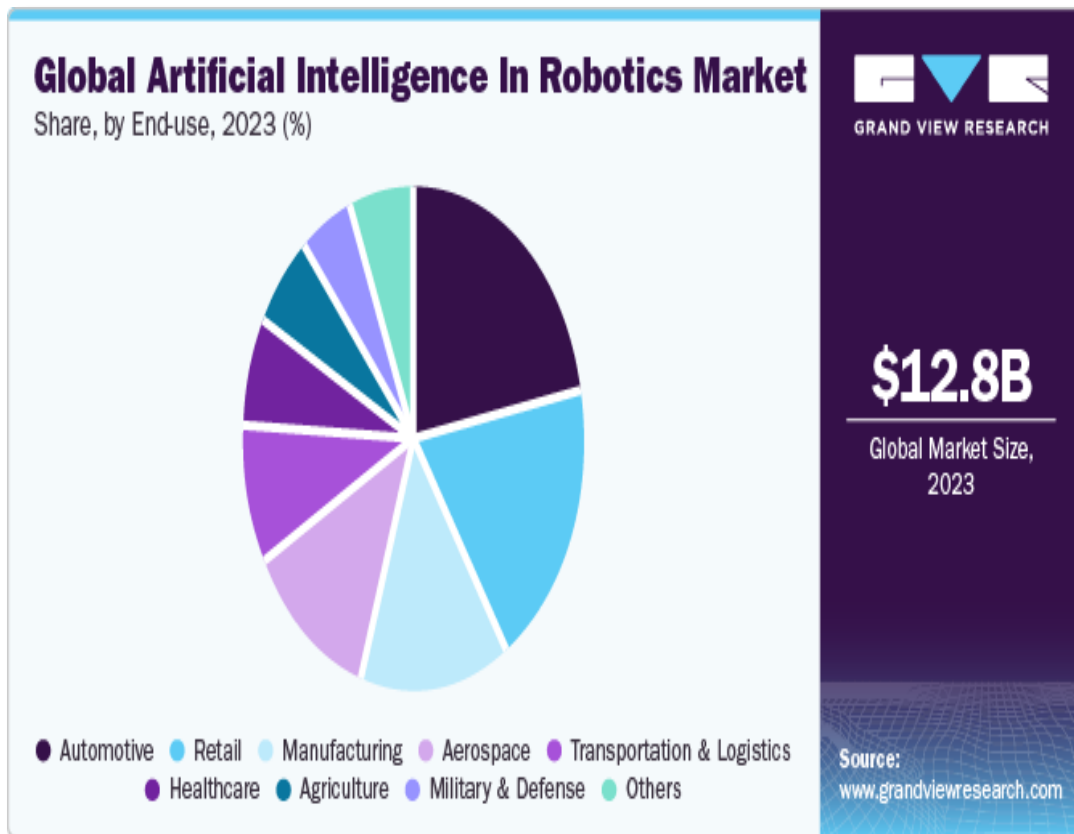
## 01. 피지컬 AI의 현황

“The next frontier of AI is Physical AI”



## 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

### AI 기술의 혁신

#### 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

### 새로운 시장의 기회

#### 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 확산되며 지능형 융합 시장으로 재편

### 사회 구조적 변화

#### 사회 구조 변화에 따라 인간의 역할을 보완·확장하는 기술로 확산

- 저출산·고령화 가속화, 베이비 붐 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

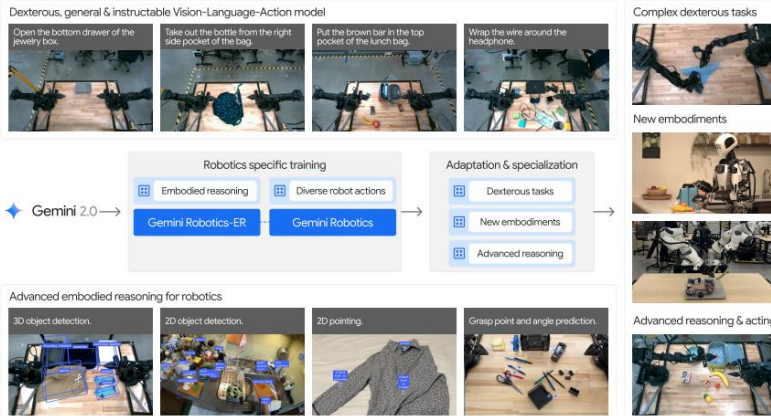
구분		정의
학계	Miriyev & Kovač (2020)	• 지능형 유기체와 관련된 작업을 수행할 수 있는 물리적 시스템을 만드는 이론과 실제
	Yingbo Li(2021)	• 센서·액추에이터·AI 알고리즘이 통합된 시스템으로, 물리적 세계에서 자율적으로 작동하는 지능형 시스템
	Yang Liu(2024); SJ Oks(2024); Zikai Zhao(2024)	• 기존의 Embodied AI(체화된 AI), 소프트 로보틱스(Soft Robotics), 사이버물리시스템(Cyber-Physical System, CPS), 적응형 AI(Adaptive AI) 등의 개념들과 밀접하게 연결
연구계	AI4EU(2020)	• 물리적 환경과의 직접적인 상호작용이 수반되는 문제를 해결하기 위해 AI 기술을 활용
	WEF(2025)	• 기계공학, AI, 센서, 연결성의 융합을 통해 현실 세계에서 자율적으로 작동하는 시스템
산업계	NVIDIA(2025e)	• 현실 세계에서 복잡한 행동을 인식, 이해 및 수행할 수 있는 자율 시스템
	Google Deepmind (2025)	• AI가 인간처럼 물리 환경에서 안전하고 유연하게 상호작용할 수 있도록 진화해야 한다는 관점
	USAI(2025)	• 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



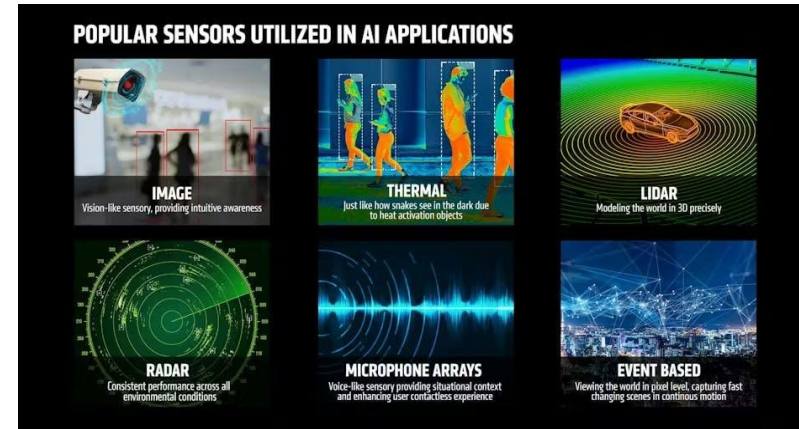
## AI 알고리즘(두뇌) 지능적 의사결정 담당, VLA 모델과 연계



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

→ 사람의 명령 정교하게 이해, 상황 맥락에 맞는 행동 계획

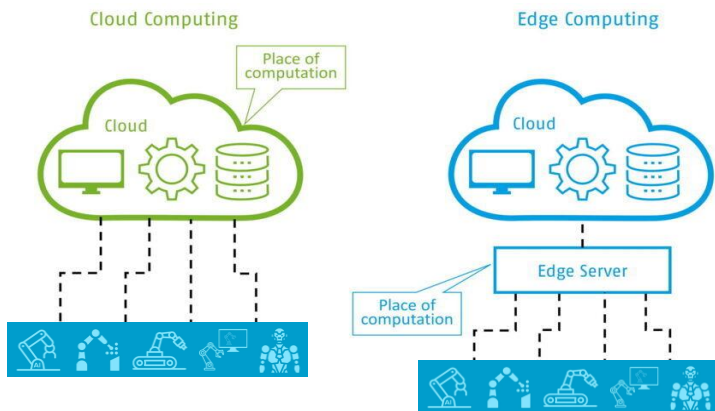
## 컴퓨터 비전 및 센서(감각) 물리적 환경 인식·이해, World Model 구축 기반



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



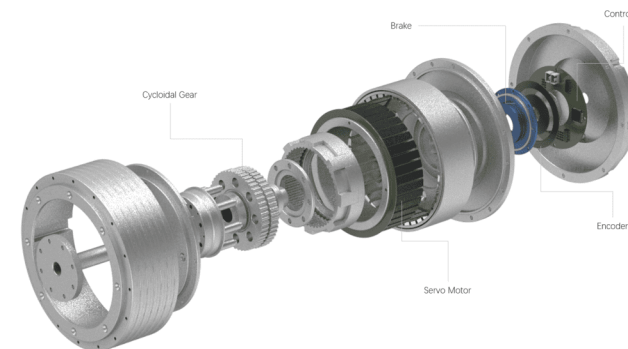
데이터가 생성되는 지점 근처에서 연산을 수행

→ 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"><li>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</li></ul>
자율주행차형	<ul style="list-style-type: none"><li>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</li></ul>
드론형	<ul style="list-style-type: none"><li>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</li></ul>
AGV & AMR형	<ul style="list-style-type: none"><li>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 진화</li><li>AMR : SLAM(Simultaneous Localization and Mapping), 컴퓨터 비전, LiDAR 기반 자율 경로 생성 및 장애물 회피 기능을 갖춘 피지컬 AI</li></ul>

# 다양한 산업에서 활용되는 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 자재/제품 운송을 자동화하여 물류 동선을 최적화



## 02. 피지컬 AI 관련 주요 이슈

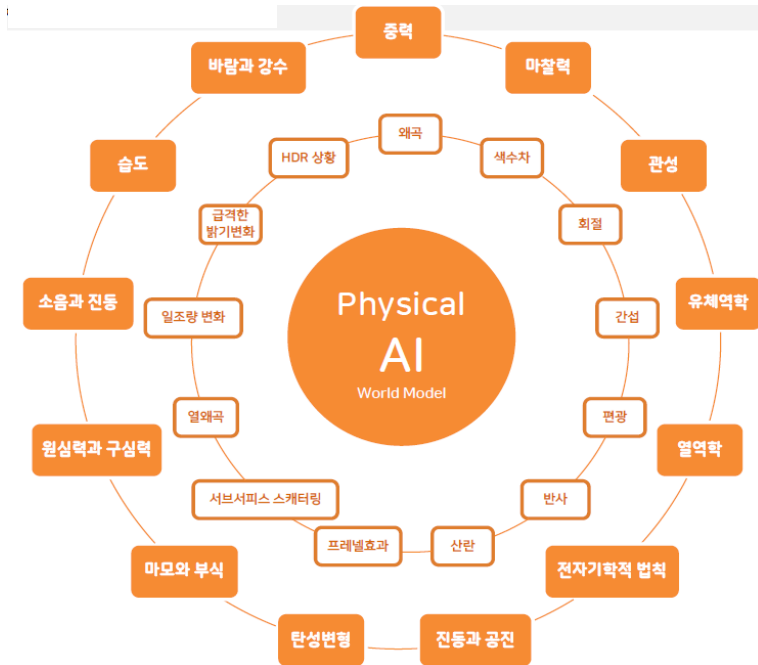


# 피지컬 AI 관련 주요 이슈 : 기술적 한계

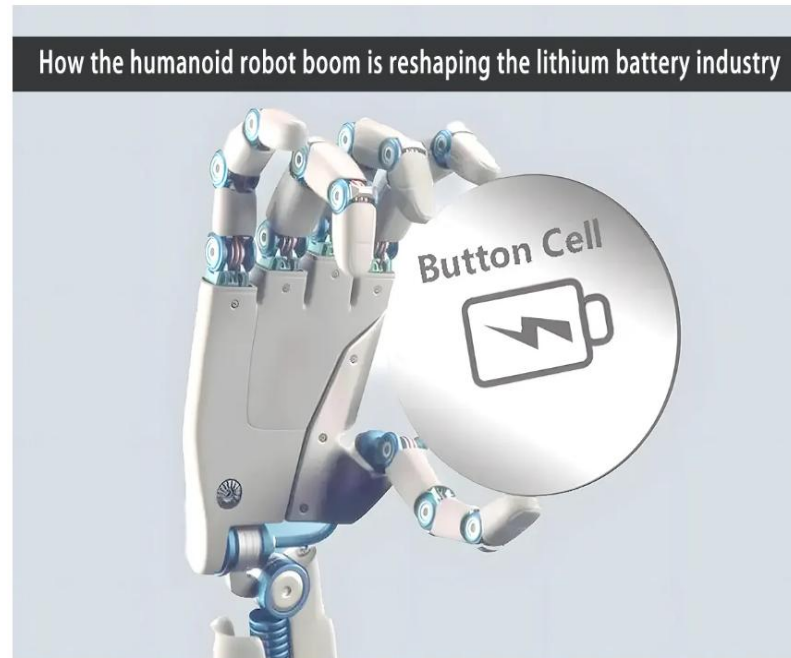


실제 환경에서 인간 수준의 Physical AI가 완전히 실현되기까지는 여전히 기술적 장벽이 존재(Citi, 2025)

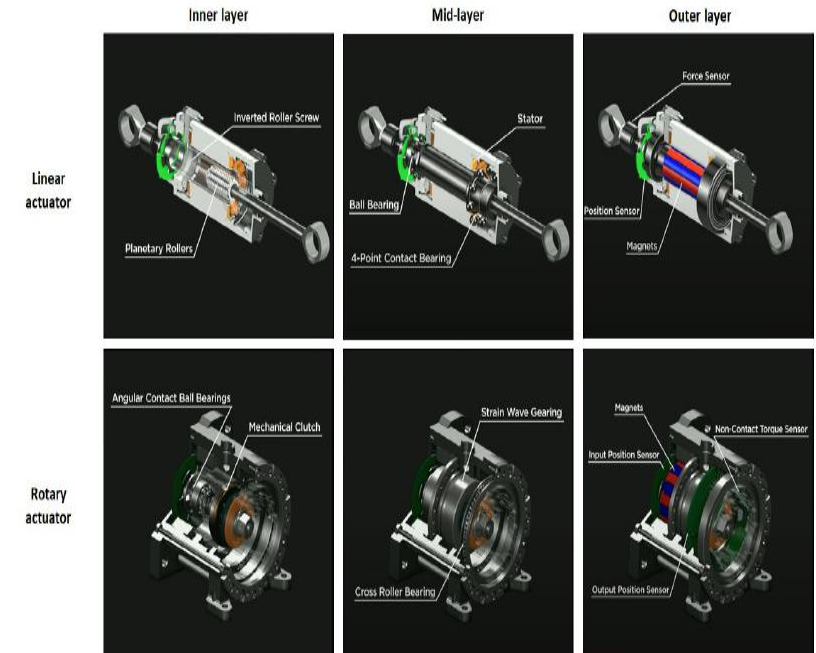
- (시뮬레이션과 현실 간 격차) 현실 세계의 복잡성과 불확실성은 여전히 시뮬레이션만으로 극복하기 어려운 상황  
→ Physical AI의 일반화된 인지·행동 능력 구현에 구조적 한계로 작용
- (전력 및 에너지 효율 문제) 배터리 및 연산 효율성의 한계로 로봇 운용 시간과 자율성에 제약  
→ 배터리 에너지 밀도 향상과 더불어 고효율 액추에이터, 연산 구조 최적화 기술의 병행적 발전이 필요
- (액추에이터의 내구성과 성능 문제) 무거운 작업, 불규칙한 실외 환경에서 작동, 충격과 환경 변화에 견딜 수 있는 강인한 구조 필요  
→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



<현실세계의 복잡성과 불확실성>



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



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



# 피지컬 AI 관련 주요 이슈 : 비용 문제



## 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

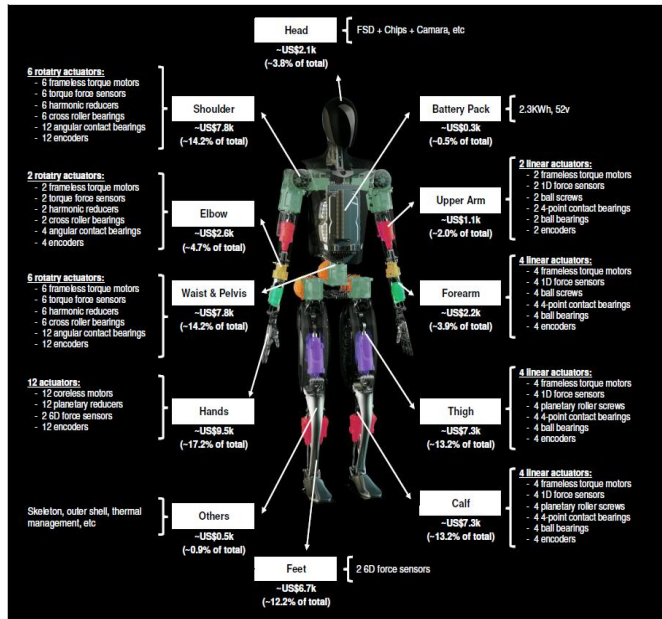


Figure 68. Price Elasticity of Demand for Industrial Robots



Source: Visual Capitalist

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

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

<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**

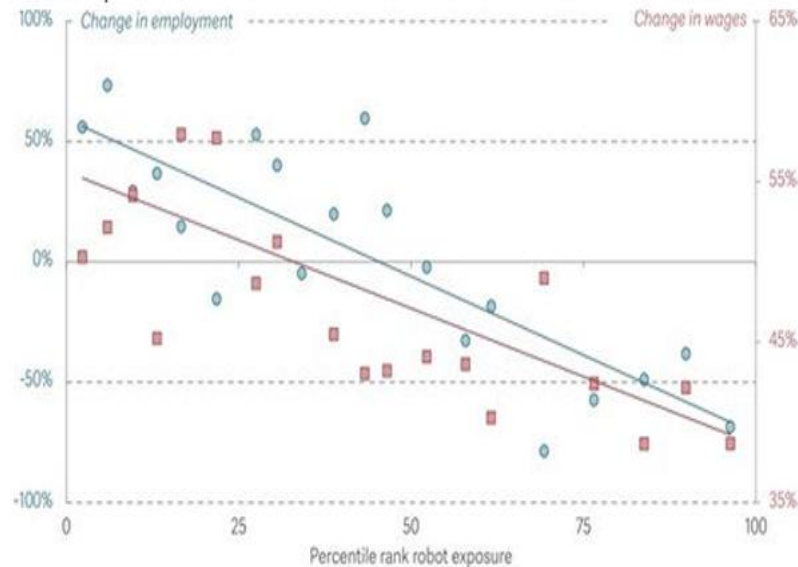
# 피지컬 AI 관련 주요 이슈 : 사회/노동시장 불안정



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

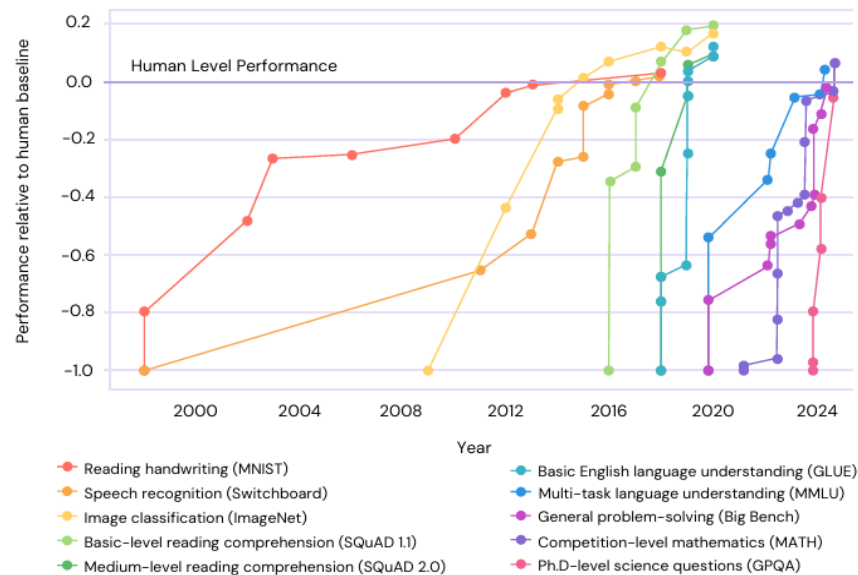
- 제조업과 서비스업은 물론 의료나 IT 등 고도의 지능적 업무가 포함된 분야까지 아우르며 인간의 다양한 직무를 대체할 것으로 예상
- 장기적으로 미국 내 직업의 약 75%, 근로자의 40%가 휴머노이드에 대체, 피지컬 AI 전 범주로 확대 전망(Morgan Stanley, 2024)
- Physical AI 도입의 경제적 이득이 자본 소유자나 주주에게만 집중되고, 실직 노동자에 대한 보완책 미흡할 경우 사회적 불평등 심화 및 디지털 격차 확대로 이어질 가능성도 존재

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 on select benchmarks



<AI performance vs human performance>



<Amazon employee vs robots>

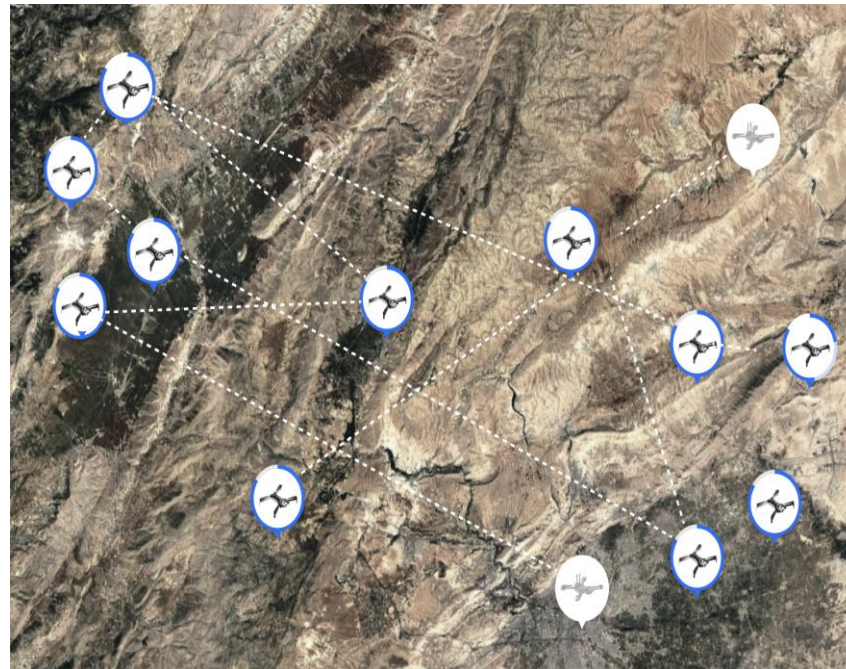


# 피지컬 AI 관련 주요 이슈 : 법제/윤리 공백



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

- 자율적으로 판단·행동하는 특성상, 사고 발생시 법적 책임 주체(운영자, 개발사, 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

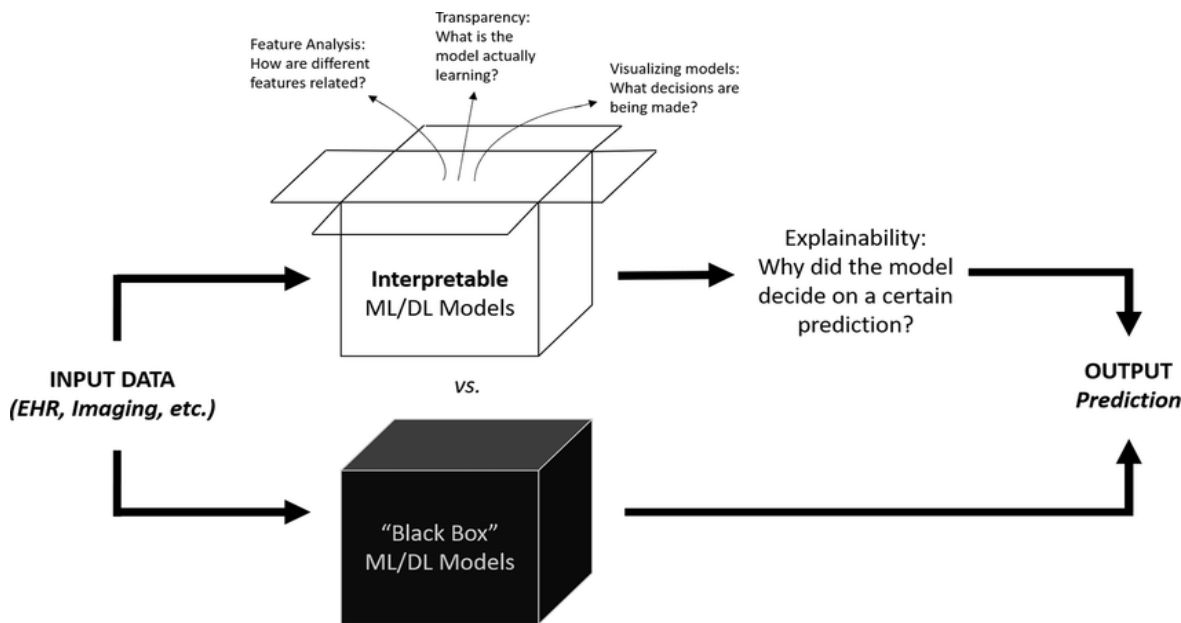


# 피지컬 AI 관련 주요 이슈 : 정보보안 리스크



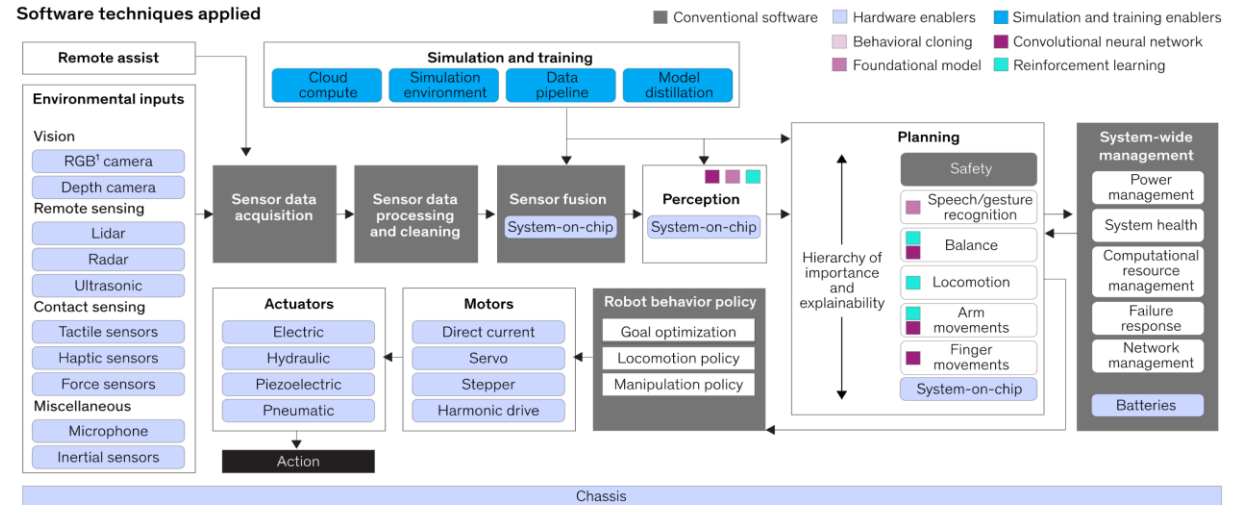
## 피지컬 AI는 '설명 불가능한 블랙박스'와 '확장된 데이터 입력'이 결합된 새로운 보안 리스크를 형성

- 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



## General-purpose robots are enabled by AI and simulation.

### Software techniques applied



\*Red, green, blue.

McKinsey & Company



# 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  
(빅테크, 스타트업)를 중심으로 Physical AI 분야의 혁신을 주도

- '미국 로봇틱스 로드맵' 수립('09~'24 까지 네 차례 개정 - 활용 영역, 필요 기술, 대책 등 구체적 방향 제시)
- '국가 로봇틱스 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 「로봇산업발전계획(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)
- 베이징시를 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 뒤쳐진 초기 산업용 로봇  
선두 자리를 회복할 방안을 모색

- 「로봇을 둘러싼 환경변화와 향후의 시책 방향성」 정책을 마련, 중·장기 차원의 AI 기반 로봇 연구개발 진행(경제산업성, 2019.)
- 「문샷 연구 개발 프로그램」(20~25)으로 인간과 공생하는 AI 로봇 개발 추진(내각부)

### 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

- 대학 및 특성화 대학원 : AI-로봇-시스템 통합 트랙형 전공으로 융복합 인재 양성
  - 전문대학 및 기술사관학교 : AI-로봇 통합 실무 교육 강화
- 재교육 체계 마련 : 산업별 특화 훈련 모델, 직무 전환 고도화, 모듈형 재교육 체계)

## 신뢰할 수 있는 생태계 조성

(윤리·안전 기준 반영, 인증제도 및 사전검증 체계 도입)

## 책임·배상·법제 정비

- AI 기본법 등, 사고 시 책임 주체 규정 및 배상체계 정립
- 군·치안 등 민감 분야 사용 기준 및 국제법·수출통제 연계 검토)

## 데이터 프라이버시 이슈

- 민감 데이터에 대해 로컬 익명화·암호화·접근로그 의무화,
- 현장(엣지) 단에서 수집·분석하는 데이터는 수집·저장·삭제·공유 전 과정에 대한 명확한 거버넌스 체계가 필수)

## 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

(ISO, IEEE 등 국제 표준화 활동에 적극 참여, 글로벌 규제 조화)

산업강화

신뢰/  
거버넌스

# 감사합니다