

한국 (경기도) 4차산업혁명센터

C4IR Issue & Insight

2025년 9월 24일

C4IR Korea Global Intelligence Hub (koreago.net)

피지컬 AI가 제조업을 변화시키고 있다 : 지능형 로봇 시대
(Physical AI is changing manufacturing – here's what the era of intelligent robotics looks like)

본 자료는 세계경제포럼이 2025년 9월 9일에 세계경제포럼 웹사이트에 게재한 내용을 한국(경기도) 4차산업혁명센터가 번역한 것입니다. 본 번역은 세계경제포럼(World Economic Forum)이 작성한 것이 아니며, 공식적인 번역이 아닙니다. 세계경제포럼은 그 내용이나 오류에 대해 책임을 지지 않습니다.

테레사 울프(Theresa Wolf)

세계경제포럼 차세대 운영 프런티어 프로젝트 펠로우

(Project Fellow, Next Frontier of Operations, World Economic Forum)

안드레아 빌리게(Andrea Willige)

포럼 스토리즈 선임 작가

(Senior Writer, Forum Stories)

- 피지컬 AI는 산업 자동화의 새로운 국면을 주도하며 비용 상승, 인력 부족, 변화하는 고객 요구와 같은 제조업 과제에 대한 강력한 해결책을 제시합니다.
- 세계경제포럼(WEF)의 새로운 백서에서는 AI, 센서, 하드웨어 분야의

획기적인 발전이 어떻게 더욱 스마트하고 민첩한 새로운 유형의 산업용 로봇을 만들어내는지 살펴봅니다.

- 아마존과 폭스콘과 같은 얼리어답터들은 이미 효율성 향상, 배송 시간 단축, 새로운 숙련 일자리 창출 등 상당한 이점을 누리고 있습니다.



자동화는 1차 산업혁명의 토대가 되었으며, 오늘날 4차 산업혁명에서도 계속해서 발전하고 있습니다. 자동화는 오랫동안 제조업 환경의 일부였지만, 최근 인공지능, 비전 시스템, 로봇 하드웨어의 발전은 더욱 지능적이고 적응력이 뛰어난 차세대 기계를 가능하게 하고 있습니다.

세계경제포럼(WEF)의 새로운 백서인 '[피지컬 AI: 산업 운영의 새로운 시대를 열다\(Physical AI: Powering the New Age of Industrial Operations\)](#)'는 이러한 발전이 로봇 기술의 역할을 어떻게 확장하고 있는지 살펴봅니다. 이는 효율성을 높이는 데 그치지 않고 공장 현장에서 더 큰 유연성과 회복력을 지원하기 위한 것입니다.

최근까지 대부분의 산업용 로봇은 통제된 환경에서 고정적이고 반복적인 작업을 수행하도록 설계되었습니다. 하지만 이제 이러한 상황은 변화하고 있습니다. 피지컬 AI 덕분에 로봇은 더 복잡한 환경을 인식하고 학습하며 대응할 수 있는 능력을 갖추게 되면서 더 다양한 작업과 사용 사례를 지원할 수 있게 되었습니다.

이러한 변화는 매우 중요한 시기에 일어나고 있습니다. 오늘날 제조업체들은 비용 상승, 인력 부족, 변화하는 고객 기대치로 인해 어려운 환경을 헤쳐나가고 있습니다.

그렇다면 우리는 어떻게 여기까지 왔을까요? 산업용 로봇 공학의 진화를 이해하는 것은 앞으로의 미래를 위한 중요한 맥락을 제공합니다.

산업용 로봇 공학의 진화

피지컬 AI의 적용은 오랜 진화의 다음 단계입니다. 로봇은 미래적인 것으로 여겨지지만, 최초의 산업용 로봇은 1960년대로 거슬러 올라갑니다. 이 용어 자체는 [체코어 로보타\(robota\)](#)에서 유래되었는데, 이는 강제 노동 또는 작업을 의미합니다.

과거 산업용 로봇은 **규칙 기반(Rule-based)**이었습니다. 즉, 높은 정밀도와 빠른 속도가 요구되는 반복적인 작업을 수행하도록 명시적으로 프로그래밍되었지만 유연성은 부족했습니다. 이러한 시스템은 자동차 및 전자 산업과 같은 분야에서 필수적인 요소가 되었으며, 로봇이 생산 현장에 가져온 생산성 향상의 혜택을 누렸습니다.

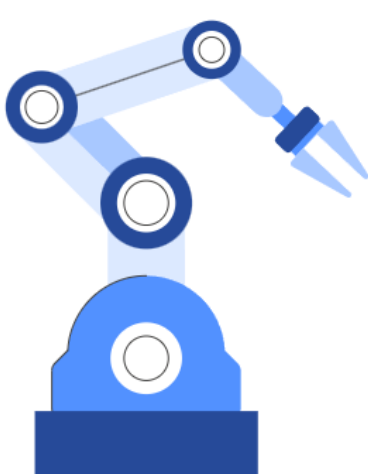
변동성이 낮고 처리량이 많은 작업의 경우, 이러한 시스템은 계속해서 중요한 역할을 할 것이며, 그 응용 분야와 기능은 계속해서 발전할 것입니다.

이제 우리는 **훈련 기반 로봇 공학(Training-based robotics)**을 통해 피

지컬 AI의 등장을 목격하고 있습니다. AI와 머신러닝을 활용하여 시뮬레이션이나 실제 환경에서 학습하는 방식입니다. 이전 로봇과 달리, 훈련 기반 로봇은 특정 프로그램을 엄격하게 따르는 데 그치지 않고 어느 정도 변동성이 있는 작업도 수행할 수 있습니다. 이러한 특성으로 인해 이러한 로봇은 중간 규모 또는 반복적이지 않은 생산 작업에도 더욱 적응력이 뛰어납니다. 중요한 것은 훈련을 가상화하여 도입 시간을 획기적으로 단축하고 자동화 가능한 작업의 범위를 넓힐 수 있다는 점입니다.

공장 현장에서 로봇 기술은 어떻게 발전해 왔을까?

제조업은 인력 부족, 비용 압박, 유연성에 대한 수요 증가로 인해 재편되고 있습니다. AI와 첨단 하드웨어로 구동되는 로봇 기술은 이러한 요구를 충족하기 위해 발전하고 있습니다.



규칙 기반 로봇 공학(Rule-based robotics)

고정 자동화 (Fixed automation)

1960년대의 **규칙 기반 로봇**은 자동 용접과 같은 구조화된 작업 하나를 놀라운 속도와 정밀도로 수행하도록 명시적으로 프로그래밍되었습니다.

하지만 높은 비용, 복잡성, 유연성 부족으로 인해 널리 사용되는 데 제약이 있었습니다.

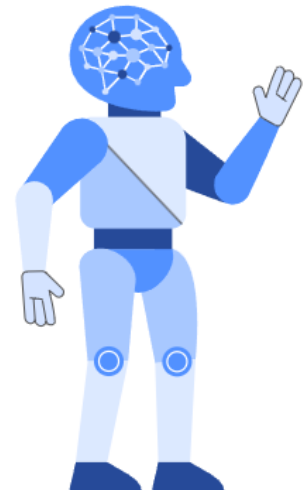


훈련 기반 로봇 공학(Training-based robotics)

지능형 자동화(Intelligent automation)의 부상

AI와 첨단 하드웨어의 발전으로 가상 환경 속에서 테스트와 실수를 통해 학습하는 **훈련 기반 로봇**이 등장했습니다.

따라서 목표(예: 화물 하역)가 주어지면 시스템은 일련의 동작(지게차 하역, 밴더를 절단, 소포 개봉 등)을 순차적으로 수행하고 실시간으로 적응할 수 있습니다.



맥락 기반 로봇 공학(Context-based robotics)

피지컬 AI 시대 (The age of Physical AI)

최신 단계는 **맥락 기반 로봇 기술**로, 시스템이 낮은 상황에서 자율적으로 인식하고 추론하며 행동합니다. 이를 통해 물류, 헬스케어, 정밀 제조 등에서 새로운 활용 사례가 나타나고 있습니다.

출처: 세계경제포럼, [피지컬 AI: 산업 운영의 새로운 시대를 열다](#)

A Flourish chart

맥락 기반 로봇 공학(Context-based robotics)은 지능형 자동화의 차세대 진화를 보여줍니다. 훈련 기반 로봇과 마찬가지로, 맥락 기반 로봇은 고해상도 카메라부터 촉각 센서에 이르기까지 다양한 인지 도구를 갖추고 있어 실시간으로 주변 환경을 "보고" 해석할 수 있습니다. 맥락 기반 로봇의 차별점은 인지 방식이 아니라 낯선 작업을 처리하고 대응하는 방식입니다.

이러한 기능의 핵심은 **강력한 AI 파운데이션 모델**입니다. 이 모델은 자연어 형태의 프롬프트로부터 결과물을 생성하며 시각, 언어, 동작을 통합하여 주변 환경을 이해합니다. 로봇은 자신이 작업하는 상황을 파악하여 "생각"하고, 자율적으로 결정을 내리고, 심지어 계획까지 세울 수 있습니다. 백서는 이러한 기술의 범위를 "인간 수준의 작업 직관과 계획"에 비유합니다.

이러한 로봇들은 영화에서 보던 인간형 로봇과는 여전히 거리가 멀지만, 외형 또한 변화하고 있습니다. 네 발로 걷는 로봇, 인간형 로봇, 모바일 로봇 등 다양한 형태로 등장하며 로봇 활용 분야를 확장하고 있습니다.

그럼에도 불구하고, 제조업에서는 규칙 기반, 훈련 기반, 맥락 기반 로봇이라는 세 가지 유형의 로봇 기술 모두 계속해서 사용될 것입니다. 다각화된 자동화 전략의 일환으로, 이러한 로봇 기술은 다양한 생산 라인과 유형의 요구에 맞춰 도입될 것입니다.

피지컬 AI와 지능형 로봇 기술이 제조업에 중요한 이유

제조업체에게 로봇의 도움은 더할 나위 없이 필요한 시점입니다.

공급망은 여전히 취약한 상태로 지정학적 긴장, 원자재 부족, 운송 병목 현상으로 인해 더욱 악화되고 있습니다. 시장 불확실성은 이러한

문제를 더욱 심화시켜 생산성, 수익, 회복력을 위협하고 있습니다.

원자재 가격, 에너지 가격, 임금 등 비용의 상승과 인력 부족, 심화되는 기술 격차가 공급망의 과제를 더욱 가중시키고 있습니다. 한편, 고객의 기대는 더 많은 맞춤화, 더 빠른 배송, 지속가능성을 요구하고 있습니다.

지능형 로봇 기술은 디지털 세계와 물리적 세계를 연결하여 운영 유연성을 향상시키고 이를 달성하지만, 제조업체는 단기적인 이익뿐 아니라 장기적인 전략에도 로봇 기술을 접목해야 합니다.

로봇 자동화를 관리할 수 있는 역량을 갖춘 인력 확보

숙련된 인력은 이러한 전환을 실현하는 데 필수적입니다. 세계경제포럼의 '[2025년 일자리의 미래](#)' 보고서에 따르면, 로봇 기술과 자율 시스템은 일자리 대체의 주요 원인이 될 것입니다. 하지만 피지컬 AI에 관한 최신 백서에서 시사하는 바와 같이, 이러한 대체는 단순한 소멸이 아니라 전환입니다. AI 및 기타 디지털화와 함께, 로봇 기술과 자율 시스템은 새롭고 숙련된 직무의 창출을 촉진할 것입니다.

예를 들어, 기계 작업자는 로봇 기술자가 되고, 물류 팀은 모바일 로봇을 조정하며, 유지보수 팀은 예지보전으로 전환하고, 제조 엔지니어는 AI 및 로봇 시스템의 훈련과 최적화에 집중하게 될 것입니다. 또한, 기존에는 수동으로 진행되던 업무를 자동화함으로써 사람들이 더 의미 있는 작업을 수행할 수 있게 된다는 이점도 있습니다.

지능형 로봇 기술을 워크플로우에 성공적으로 통합하려면 인력 개발과 지속적인 학습에 집중해야 합니다. 지능형 로봇 기술이 비즈니스뿐만 아니라 사회적 측면에서도 그 약속을 실현하기 위해서는 재교육 및 기술 향상, 장기적인 인력 계획이 필수적입니다.

그림 5 | 피지컬AI가 이끄는 가치사슬 전반의 새로운 역할과 과제

피지컬AI 기반 자동화는 인간이 더 고차원적인 업무에 집중할 수 있도록 해줍니다.

	직접 제조	간접 생산			
	소재 가공, 조립, 포장	제조 엔지니어링	물류	품질 관리	유지 관리
현재 	작업자가 부품을 수동으로 가공하고 조립합니다. 이러한 업무는 정밀성, 수동 기계 조작, 전적인 집중을 요구합니다. 공정 전환과 포장은 전적으로 수작업으로 이루어지며 노동 집약적입니다.	제조 엔지니어는 생산 시스템을 설계, 구현 및 최적화하며, 이러한 시스템은 대부분 경험에 기반합니다. 유연성이 부족한 자동화 시스템을 업데이트하려면 많은 수작업이 필요합니다.	작업자가 지게차나 운반차를 이용해 자재를 수동으로 이동합니다. 이 과정에서 사람들 사이의 협력이 필요하기 때문에 비효율, 사고, 오배치가 발생합니다.	제품은 작업자가 시각적으로 검사합니다. 이는 느리고 주관적이며 작업자의 피로에 취약합니다. 무작위 표본 검사는 결함을 놓칠 수 있습니다.	기계 상태와 관계없이 사후 또는 예방적 유지 관리 일정이 준수됩니다. 엔지니어는 육안 검사와 기록에 의존하기 때문에 문제를 예측하기 어렵습니다.
미래 	시나리오				
	AI 기반 로봇이 실시간 시스템 피드백을 활용하여 용접, 조립, 포장을 수행합니다. 시스템은 제품과 작업의 변동 사항에 자동으로 응합니다.	생산 시스템은 소프트웨어를 기반으로 작동하며, 지능적, 적응적입니다. 엔지니어는 공장을 설계하고, 지능형 로봇과 영상 기반 품질 관리 시스템을 통합합니다.	AI 기반 자율 이동 로봇이 자재를 처음부터 끝까지 처리하여 필요한 부품이 적시에 배송되도록 합니다.	비전 기반 로봇 팔이 모든 제품을 실시간으로 스캔하고 자동화된 검사 테스트를 수행합니다.	AI 기반 시스템은 점점 자립화되고 있으며, 로봇과 드론이 일부 유지관리 및 검사 작업을 처리하고 지속적으로 데이터를 생성합니다.
	과업				
	- 로봇 워크플로우 감독 - 새로운 작업에 대한 로봇 교육 - 예외 상황 해결	- 적응형 시스템 최적화 - 디지털 프로세스 설계 관리 - 학제 간 통합	- 로봇 집단 모니터링 - 로봇 경로 재구성 - 시스템 경로 관리	- 전략적 감독 - 감사로 발견된 결함 - 품질 관리 최적화	- 복잡한 수리 작업 수행 - 데이터 해석 - 시스템 개선
	필요 역량				
	- 시스템적 사고 - 디지털 리터러시 - 로봇	- 고급 디지털 및 AI 역량 - 시스템적 사고 - 창의성	- 시스템적 사고 - 디지털 리터러시 - 워크플로우 설계 및 안전	- 분석적 사고 - AI 및 빅데이터 - 창의성	- 기술적 능력 - 분석적 사고 - AI 및 빅데이터

출처: BCG, 세계경제포럼.

피지컬 AI 자동화는 인간이 고차원적인 작업에 집중할 수 있도록 지원합니다.

이미지: 세계경제포럼/BCG

현실 세계의 피지컬 AI

지능형 로봇 기술은 아직 초기 단계이지만, 얼리어답터들은 이미 이 기술 도입의 이점을 보여주고 있습니다.

아마존(Amazon)은 300개의 물류 센터에 100만 대 이상의 로봇을 보유하고 있습니다. 이들은 분류, 들어 올리기, 운반과 같은 반복적인 작업을 처리하기 위해 인간 직원과 협업합니다. 또한 로봇 포장 라인은 포장 폐기물을 최소화하는 데에도 도움이 되어 아마존의 지속가능성 목표를 지원하고 있습니다.

이러한 시스템을 조율함으로써 이미 시범 운영에서 배송 시간 단축 및 효율성 25% 향상 등 놀라운 성과를 거두었습니다. 현장 모바일 로봇 전체의 관리를 통해 이동 효율성이 10% 향상되었습니다. 또한 아마존은 테스트 현장에서 숙련된 일자리를 30% 더 창출했습니다.

한편, 전자제품 계약 제조업체인 폭스콘(Foxconn)은 증가하는 인건비와 지역 제조 트렌드에 대응하기 위해 "확장 가능한 AI 기반 로봇 인력"으로 전환하고 있습니다.

폭스콘은 AI와 **디지털 트윈 기술**을 활용하여 나사 조임 및 케이블 삽입과 같은 정밀 작업을 시뮬레이션하고 자동화합니다. 이는 기존 규칙 기반 로봇으로는 어려웠던 작업입니다.

디지털 트윈 시뮬레이션을 통해 신규 시스템의 구축 시간이 40% 단축되었으며, AI 기반 로봇은 사이클 시간을 20~30% 개선하고 오류율을 25% 감소시켰습니다. 운영 비용은 15% 감소했으며, 전반적으로 AI 기반 로봇은 복잡한 조립 작업에서 인간보다 높은 성공률을 보였습니다.

제조업체는 피지컬 AI의 이점을 어떻게 누릴 수 있을까?

피지컬 AI는 먼 미래가 아닙니다. 지능형 로봇 기술은 이미 제조업을 변화시키고 있으며, 그 추세는 더욱 가속화될 것입니다. 시간이 지남에

따라 인간과 유사한 기능이 점점 더 많이 등장할 것입니다. 비록 그 형태가 항상 인간형은 아니더라도 말입니다.

제조업체는 인력 부족, 생산성 향상, 시장 및 경제 상황에 대한 대응력 강화 등 기술이 직면한 여러 과제에 대응하여 이 기술이 제공하는 잠재력을 최대한 활용하기 위해 신속하게 행동해야 합니다.

세계경제포럼(WEF)은 로봇 기술을 단독으로 사용하는 것보다는, 다양한 유형의 로봇 기술을 통합하여 시스템 수준의 지능을 구현하는 계층적 자동화 전략을 지지합니다.

기술 발전의 속도가 눈부시지만, 기업은 이에 휩쓸려서는 안 됩니다. 지속 가능하고 포용적인 로봇 기술 통합을 보장하기 위해서는 사람 중심 전략에 집중해야 합니다. 또한 제조업체는 협업 이니셔티브를 활용하여 지능을 공유하고 이 새로운 자동화 시대를 자신 있게 헤쳐나가야 합니다.

[WEF 원문 사이트 보기](#)