



모든 산업이 주목하는 범용 Physical AI 자율주행과 물류 시스템

기계를 초월한 지능화의 시작

Physical AI는 지정된 공간에서 단순 반복적인 움직임을 수행하던 기존의 산업용 로봇이나 AGV 수준을 넘어, 프로그램화된 기계를 초월한 완전히 새로운 형태의 지능화된 로보틱스다. 상상 속에서만 존재하던 스스로 움직이고 판단하는 이 기술은 기계 업종의 패러다임을 바꾸고 있다.

특히 자율주행 분야에서는 테슬라가 구축한 압도적인 주행 데이터와 Edge case 시뮬레이션 학습을 비롯해, 아마존 ZOOX가 선보이는 시스템 이중화 및 원격 운영 기술이 결합하며 사람보다 안전한 레벨 5 완전 자율주행으로 나아가고 있다.

이러한 기술적 도약은 인력 부족이 심각하고 프로세스가 통제된 물류 산업에서 AMMR 형태로 더욱 가속화되고 있다. 과거에는 센서의 기술적 제한으로 물체 인식에 한계가 있었으나, 최근에는 멀티센서 퓨전과 3D 비전 기반의 Depth 보정, 처음 보는 물건까지 구별해내는 AI 모델링을 통해 정밀한 물체 파지(Piece Picking)와 이송이 가능해졌다. 여기에 유연 물체의 변형까지 계산하는 로봇 캘리브레이션과 3D 시뮬레이션 기반의 충돌 회피 등 복합적인 모션 제어 기술이 유기적으로 연동되면서, 자율주행 모빌리티와 물류 시스템은 Physical AI의 가장 강력한 퓌팩터로서 미래 산업 혁신을 주도할 것으로 예상된다.



하나증권 리서치센터
미래산업/미드스몰캡
박찬솔 연구위원

자율주행 Physical AI

Physical AI는 기존의 로봇틱스 산업에서 훨씬 발전된 단계를 의미한다. 기존 로봇틱스 업종은 기계 업종에 속해 산업용/협동용/AGV 제품 수준에 머물렀다. 하지만 Physical AI는 프로그래밍된 기계를 초월한 기존에 없는 형태를 말하는 것이다. 정말 상상 속에서만 있던 혼자 자유자재로 움직이는 로봇틱스 말이다.

Physical AI 라는 단어를 제시함으로써 IT업계(Nvidia)는 기존의 로봇틱스 업계와 구분을 두고 있다. AI 시대에는 로봇이 지정된 공간상 xyz 축에서 단순 반복적인 움직임으로 구현하는 기계가 아니라, 진정한 의미의 지능화된 로봇틱스가 출현할 것을 알리고 있다.

하나증권 미래산업팀은 자율주행에서는 Autonomous Electric Mobility, 물류 시스템은 AMMR, 로봇틱스는 Humanoid가 Physical AI의 대표적인 폼팩터가 될 것으로 예상하고 있다. 물론 이를 구현하기 위해서는 매우 복합적인 기술들이 필요하다.

자율주행 기술은 하나증권 자동차 산업 부분에서 다루고 있기 때문에, 주행 기술 보다는 안전 기술을 위주로 정리했다. SAE(미국 자동차기술자협회)는 자율주행 단계를 L0~L5로 나누고 있다. 주요 기술은 L0. ACC(Adaptive Cruise Control) L1. 차선유지 L2. 스마트 크루즈 L3. AI 기반 인식 시스템 L4. 정밀 지도

업데이트 L5. 자율주행 플랫폼으로 구분된다. L5 단계로 나아가려고 하는데 가장 큰 허들이 안전 문제이기 때문에 어떤 안전 장치들을 구축이 가능한지 아는 것이 중요하다. 결국 자율주행차가 사람보다 더 안전한 판단을 내리는 수준에 도달할 때 완전 자율주행이 가능할 것이다.

결국 이런 판단의 경우 여러 좋은 판단을 내리는 사례(데이터)가 필요한데, Real World에서 테슬라 주행 데이터는 96억km로 2위인 웨이모 1.6억km와 비교해도 압도적인 수치를 보여주고 있다. 결국 누적 생산된 Tesla 차량 8,400만대가 더 많은 데이터를 수집하면서 누가 2위가 되던 상관없이 앞으로 L5를 목표로하며 격차를 더 벌릴 것으로 보고 있다.

누적 주행 데이터에서 가장 앞서가는 테슬라의 3Q25 실적 발표에 따르면, 테슬라는 이제 차량에 추론 기능을 추가하고 있다. Closed-Loop Simulation(피드백과 제어를 포함하여 시스템을 모델링/분석)으로 판단을 자체 교정하고 미래 행동에 대한 추론을 하는 것으로 보인다. 이런 결과에 따라 2025년 연말까지 미국 Austin Texas에서 ROBOTAXI 안전요원이 불필요하게 될 것이라고 발표했다.

결국 데이터를 활용해서 그리고 그 데이터를 기반한 시뮬레이션 구축, 또 더 나아가 현실세계에서는 거의 발생하지 않는 Edge case(예외적인 상황)을 의도적으로 만들어서 학습시키는 것이 자율주행의 핵심 경쟁력이다. 이 과정으로 구현하기 위해서는 실제 환경에서 수집한 데이터를 annotate(데이터 라벨링) 하는 것으로 시작되며, 이를 활용해 시뮬레이션 환경 완성도를 높이게 된다.

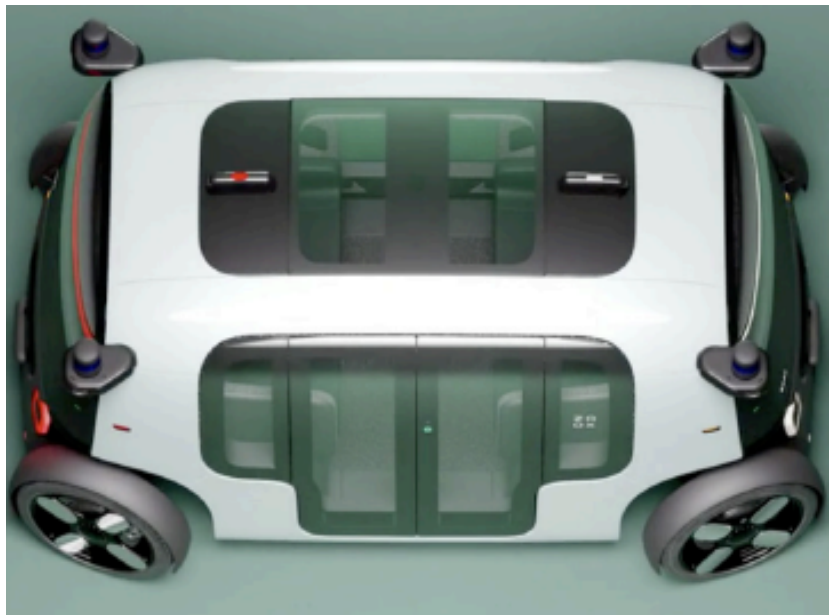
다만 최근에는 직접적인 안전 운영 기술에 대한 논의도 활발하다. 결국 기술적인 완성도를 국가 규제 기관에 설명 가능해야 자율주행이 상용화된 서비스로 발전할 수 있기 때문으로 본다.

먼저 웨이모의 경우 조작 탐지라는 기능으로 차량 외부 센서(라이더 등)에 대한 조작이 감지되면, 차량은 즉시 '최소 위험 조건'(보통 정지 상태)로 전환한다. 또 라이더 지원 기능을 가지고 있는데, 내부 조작이 감지되거나 비상 상황 발생 시, '라이더 지원팀'이 즉시 상황을 파악하고 필요한 경우 탑승을 종료시킬 수 있는 안전장치가 있다. 응급 대응이 필요한 경우 응급 구조대원을 위해 Waymo 담당자가 원격으로 자율주행 모드를 비활성화하고 차량을 수동 운전 모드로 전환할 수 있도록 승인하는 기능도 제공한다.

아마존 죽스(ZOOX)의 경우 조금 더 복합적인 안전 솔루션을 공개적으로 홍보하고 있다. 2018년만 해도 안전을 위해서 지도와 센서 데이터를 결합해 차량의 위치를 센티미터 수준으로 정확하게 파악하는 기술에 집중했다. 그러나 2021년부터는 혁신적인 하드웨어 기술에 중점으로 두었고 안전 혁신을 크게 두가지 핵심 범주로 1) 자동제어, 2) 시스템 이중화로 분류했다. 첫째, 4개의 바퀴가 독립적으로 제어되는 브레이크 및 조향 시스템을 통해 정지 거리를 단축하고 정밀한 기동하기 위한 기술이다. 둘째, 항공기 수준의 안전성을 목표로, 두 개의 배터리와 파워트레인, 이중화된 조향 및 제동 시스템을 갖춰 하나의 시스템이 고장 나도 안전하게 작동하도록 하는 기술이다.



웨이모 안전 개선데이터(24년 6월)



족스(ZOOX) 바퀴 독립 제어 시스템

2024년부터는 관점이 완전히 다른 안전 기술을 제시한다. 핵심 기술은 'Zoox 퓨전 센터'라 불리는 원격 운영 시스템이며, '미션 컨트롤'과 '텔레가이던스'로 구성된다.

1) 미션 컨트롤 (Mission Control): 항공 관제처럼 전체 차량을 실시간으로 모니터링하며, 퍼레이드나 대규모 공사 같은 광범위한 도로 상황을 감지하고 차량들을 선제적으로 재라우팅하는 기술이다.

2) 텔레가이던스 (TeleGuidance): Zoox의 핵심 원격 지원 기술이다. 차량이 스스로 판단하기 어려운 복잡한 공사 구역 등 '낮선 시나리오'를 만나면 시스템이 원격 지원을 요청한다. 이때 원격 '택티션(Tactician)'이 실시간 데이터를 보며 안전한 경로를 '제안'한다. 중요한 점은, 운영자가 차량을 직접 운전(joystick)하는 것이 아니라 '경로를 제안'하는 것이며, 차량의 온보드 AI가 이 제안을 받아들일지 여부와 실행 시점을 최종적으로 결정한다. 즉, 주행 제어권은 항상 차량의 AI에 있는 방식이다.

이런 자율주행 기술들이 완전 자율주행이 아니라는 점에서 기술력이 기대치에 못 미친다고 볼 수 있지만, LV5를 가지 위해서 밟아 나가야 하는 과정이다. 2025년 11월 1일 진행된 인론 머스크 테슬라 CEO 언론 인터뷰를 보면, 테슬라도 로보택시 확대를 하면서 LV5로 안전하게 가기 위한 중간 단계를 염두에 두고 있음을 알 수 있다.

특히 자율 충전과 자율 주차 자리를 찾기 위한 데이터가 부족한 상태라서 운영의 기술을 높여야될 필요성을 체감한 것으로 보인다. 인기 충전소에 자리가 없다면, 인근 충전소로 로보택시를 라우팅 할 필요성, 주차장이라고 표기된 곳이 불법/지정 주차 자리거나, 사람이 들어갈 수 없는 협소한 자리인 경우 등 예외적인 자율주행 케이스에서 운영적/환경적인 통제의 필요성 때문인 듯하다. 운영적/환경적인 통제의 필요성 때문에 테슬라 Diner(식사/휴식/레저/차량 충전이 가능한 복합공간)을 구축하는 이유도 있는 것으로 파악된다.

자율주행 기업별 추진 현황과 기술 생태계(자율주행 개발 기업)

자율주행 개발 기업	2025년 전략	주력 지역/서비스
Waymo(구글)	유료 로봇택시 운영(파닉스·LA·오스틴 등 5개 도시), 오스틴 90m ² 로 확대	미국 남서부·남부 대도시 로봇택시
Zoox(아마존)	연 1만 대 생산 목표, 라스베이거스 상업화 준비	미국 라스베이거스 → 샌프란시스코 확대
Tesla	로봇택시 직접 운영(오스틴 → 샌프란시스코·LA 확대)	미국 텍사스 → 캘리포니아
Apollo Go(바이두)	무인 승차 수 1분기 82만 건(+75% YoY), 글로벌 진출 준비	중국 15개 도시, 중동·동남아
Pony ai(포니)	배터리 파트너십 체결 등 로봇택시 확대	중국 선전 중심
WeRide	무인 유료 로봇택시 운영 중, 유럽·광저우·중동 진출	중국·유럽·중동

[물류 Physical AI]

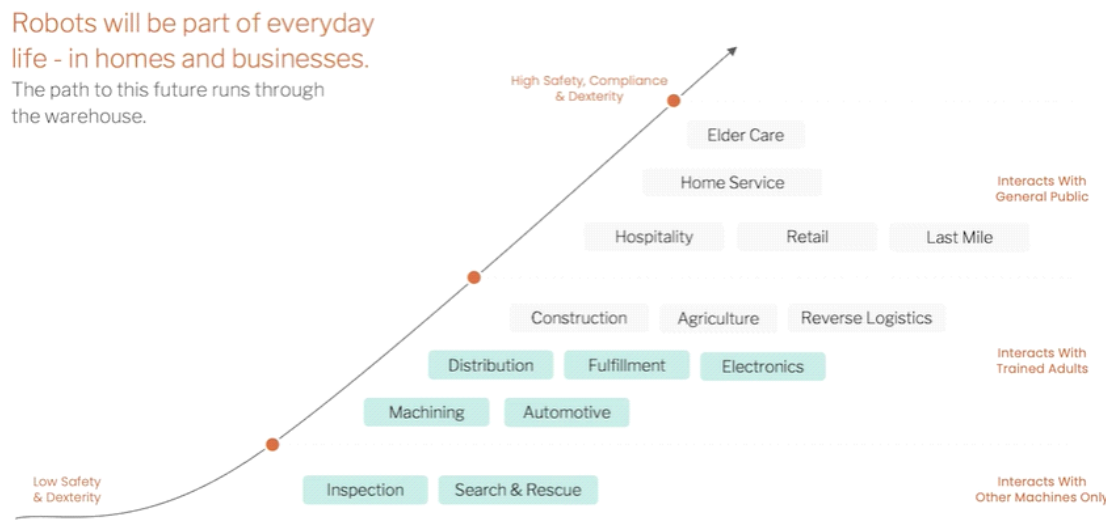
물류 시장이 중요한 이유

물류AI가 각광 받는 이유 첫번째는 국내 로봇틱스 산업이 대부분 이송/이적재 시장이고,

두번째는 물류 분야가 인력 부족이 심각한 산업이며, 세번째는 휴머노이드의 훈련장으로(프로세스가 통제된 환경) 물류센터가 적합하기 때문이다.

AI 물류시스템을 구현하기 위해서는 SLAM 기반 자율주행, AS/RS(자동 창고 시스템) 고속 픽업/저장 모듈 연동, 컴퓨터 비전 및 센서 기술들이 복합적으로 작용하면서 전체적인 프로세스가 유기적으로 움직여야된다. 현재까지 물류 로봇틱스 시장에서 당연한 문제는 제한적인 물체 인식 정확도였다. 다양한 물체를 큰 카테고리 분류하는 것은 Sorter 가 담당하고, 여러 형태의 물체를 집는 것도 소위 문어발로 불리는 Suction Cup이라는 방식으로 해결했다. 하지만 처음보는 물체가 정확히 무엇인지에 대해서 눈(비전)으로 구별하는 것은 지금까지 상당히 어려운 일이었다. 또 외우다시피하는 학습의 영역이었다. 그러나 LLM 등 확률적 AI 모델의 출현으로 이제 이런 물체 categorization은 예전만큼 어려운 일이 아니게 되었다.

휴머노이드 예상 침투 시장



물류 분야 기술

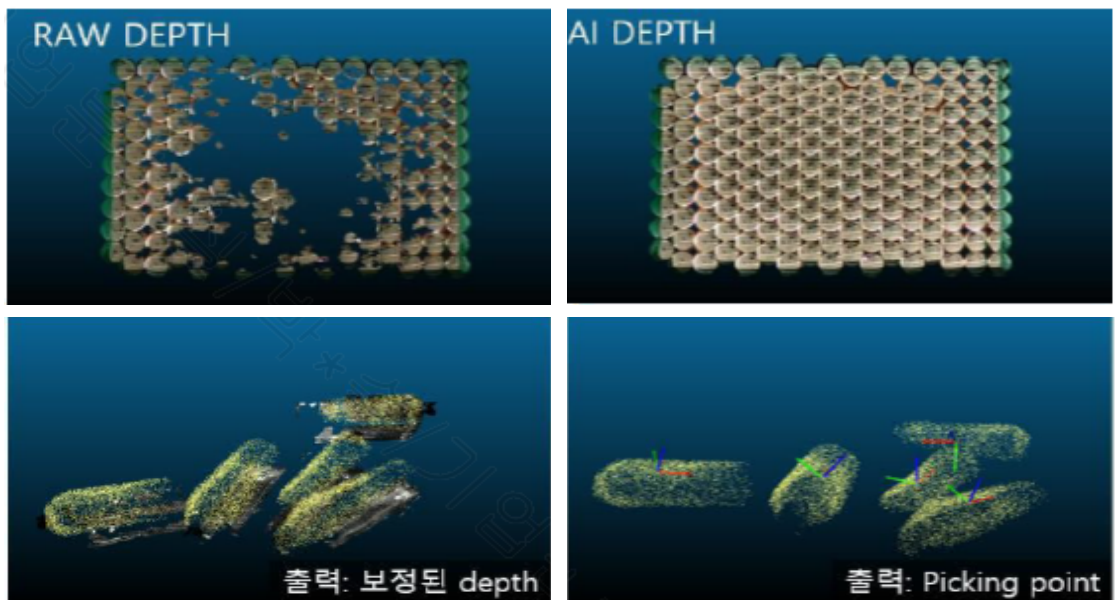
물류에서의 Physical AI는 AMR(Autonomous Mobile Robot) 보다는 AMMR(Autonomous Mobile Manipulator Robot) 형태로 활용도가 더 높을 것으로 본다. 시장에서 가장 주목 받는 AMMR은 Boston Dynamics의 Stretch 로봇이다.

물류에서 AMMR 기술력 중 Manipulator(팔)가 물체를 인식할 때 필요한 것은 앞서 말한 비전 기술이다. 특히 물류센터에서 수많은 상품을 인식할 때 필요한 기술인데, 지금까지 3D 비전 카메라로 물체를 투과해서 볼 때 물체의 깊이를 담아내지 못했다. 하지만 1) 센싱 기술, 2) AI 모델링, 3) 유지관련 AI 시스템으로 AI를 활용한 Piece Picking(정확한 물건 파지)과 Pick and Place(물건 이송)가 가능해졌다.

물류AI가 상품의 위치를 정확하게 파악하는데는 물체 깊이를 아는 것이 매우 중요하다.

1) 먼저 AI 센싱 기술을 기반으로 투명/반투명/반짝이는 물체 표면 및 깊이 정보 계측/보정이 가능하다. 멀티센서, 열화상, CAD 데이터 매칭과 같은 방식으로 투명물체 (유리병/페트병/투명 봉지 등)에 대한 인식을 하기 해서 업계의 지속적인 노력이 있었지만, mixed/random 형태 상품을 인식하는데는 깊이 보정에 어려움이 있었다. 다만 이제 기술 선두 업체들이 Sensor Fusion+AI Depth Estimation 및 Completion으로 이 부분을 해결하고 있다.

카메라 이미지를 복원할 때 AI 도움으로 depth 보정



2) AI 모델링의 경우 처음본 물체를 3D 복원해서 무엇인지 인지하는 기술이다. 전세계의 물류창고의 모든 SKU를 인지하고 저장하는 것은 현실적으로 불가능으로 Class Agnostic Detection(어떤류의 물품인지 상관없이 인지하는 방법) 모델 구축 방법이 필요하다. 결국 여러 Class(형태, 상태, 존재 등)를 물체에 부여하고, 특정 기준으로 통해서 물체의 Class를 구분하는 방식으로 처음보는 물건을 인식하는 해법을 찾고 있다. 각 물건과 그에 해당하는 카테고리를 정의하고 정확히 학습하는 것이 핵심이다.

3) 유지 관련 AI 시스템은 대부분 박스/포대 디팔레타이징(하역)과 관련된 유지관리 시스템이다. 모델의 경우 시간이 지나면서 성능 저하가 자연스럽게 일어난다. 환경의 변화와 함께 성능 방지를 위해서는 업데이트가 지속적으로 필요하다. 따라서 모델 유지 시스템은 학습을 지속적으로 하기 위한 데이터셋을 추출하며, 또 이와 유사한 데이터를 변화된 환경에 맞춰 추가로 생성한다. 이 둘을 복합적으로 학습해서 변화된 업무 환경으로 반영해 모델을 고도화 하는 과정을 거친다.

AI 기술을 제외하고도 물류에서 쓰는 중요한 기술은 3D 비전, Robot Calibration, 로봇 제어가 있다. 3D 비전 기술의 핵심은 유연물체에 3D 비전 알고리즘으로 적용하면 변형이 일어나는 현상을 해결하는 것이다. Animation Graphics 분야의 정합 기술 개발을 통해서 물체 세그먼트화 및 세그먼트간 상호 작용으로 파악해서 현상을 해결하는 방법이 업계에서 실험/구현되고 있다.

Robot Calibration은 로봇 경로 이동 기술이다. 업계 표준인 6축 산업용 로봇의 경우 업계에서 통용되는 방법은 모든 축의 파라미터를 한번에 최적화하는 방식이다. 하지만 최근 발전하고 있는 기술은 다양한 방향에서 대상체를 스캔하고, 각 축의 Wrist 좌표계를 따로 설정한 다음 그 사이의 정합을 맞춰가는 방식으로 발전하고 있다. 간단하게 풀이하면, 전체적인 calibration을 한번에 하는 것이 아니라, 각 축별로 스캐너의 교정을 받아가면서 calibration한 것의 합을 만들어 가는 것이다.



마지막은 로봇 제어 기술이다. 로봇의 방향과 자세에 속도 변화와 액추에이터 가/감속의 분석으로 자연스러운 로봇 움직임을 구현하는 것에 중요한 기술이다. 모션 정확도는 일반적으로 위치 정확도가 떨어지는 모습을 보이는데, 기존에는 Point A에서 Point B까지 이동하는데 도착 지점은 정확하지만, 가는 과정이 미세하게 흔들리거나, 미세하게 경로를 이탈하는 등 매끄럽지 못한 것이 대부분이었다.

그러나 최근에는 모션에 대한 경로를 세분화하면서 이동 지점을 짧게 만들어서 경로 이탈 부분을 상당 부분 해결해 나가고 있다. 또 협동 로봇 시장이 개화하면서 다양한 물체들을 피하고, 다른 이동하는 물체와 연계해서 프로세스를 진행해야 되는 일들이 많아졌다. 이에 따라서 충돌 감지 및 회피 기능이 필요해졌는데, 이를 3D 시뮬레이션 환경으로 구축하고 충돌 가능성을 미리 구현하는 방식으로 로봇이 학습되고 있다. 업무 환경의 레이아웃 디자인과 움직임 시퀀스를 개발하고 충돌 회피를 포함한 모션 시뮬레이션을 만들어서, 현장에 적용하는 순으로 구축이 진행된다.

주요 물류 프로세스별 로봇 시스템 도입 현황

물류 프로세스	핵심 기능	주요 도입 로봇 유형	도입효과	최신동향
내부 운송	물품, 팔레트, 컨테이너 이동	AGV, AMR, 자동 컨베이어	인력 절감, 이동 속도 및 경로 최적화	Graph RAG 기반의 동적 경로 계획 및 네트워크 최적화
피킹 및 검색	주문 품목 회수 및 작업자 전달	G2P 시스템, AS/RS, 로봇 팔	작업자 도보 시간 최소화, 피킹 정확도 향상	AI 예측 분석을 통한 작업 우선순위 결정
분류 및 포장	물품 분류 및 포장/적재	협동 로봇, 로봇 팔	분류 오류 감소, 대량 처리 능력 확보, HRC	다목적 로봇(Multipurpose Robots)의 유연한 작업 전환
재고 관리	재고 위치 파악 및 수량 확인	UAV (드론), 카메라 탑재 AMR	실시간 재고 파악 시간 단축, 정확한 재고 기록	디지털 트윈(Digital Twin)을 활용한 실시간 시뮬레이션