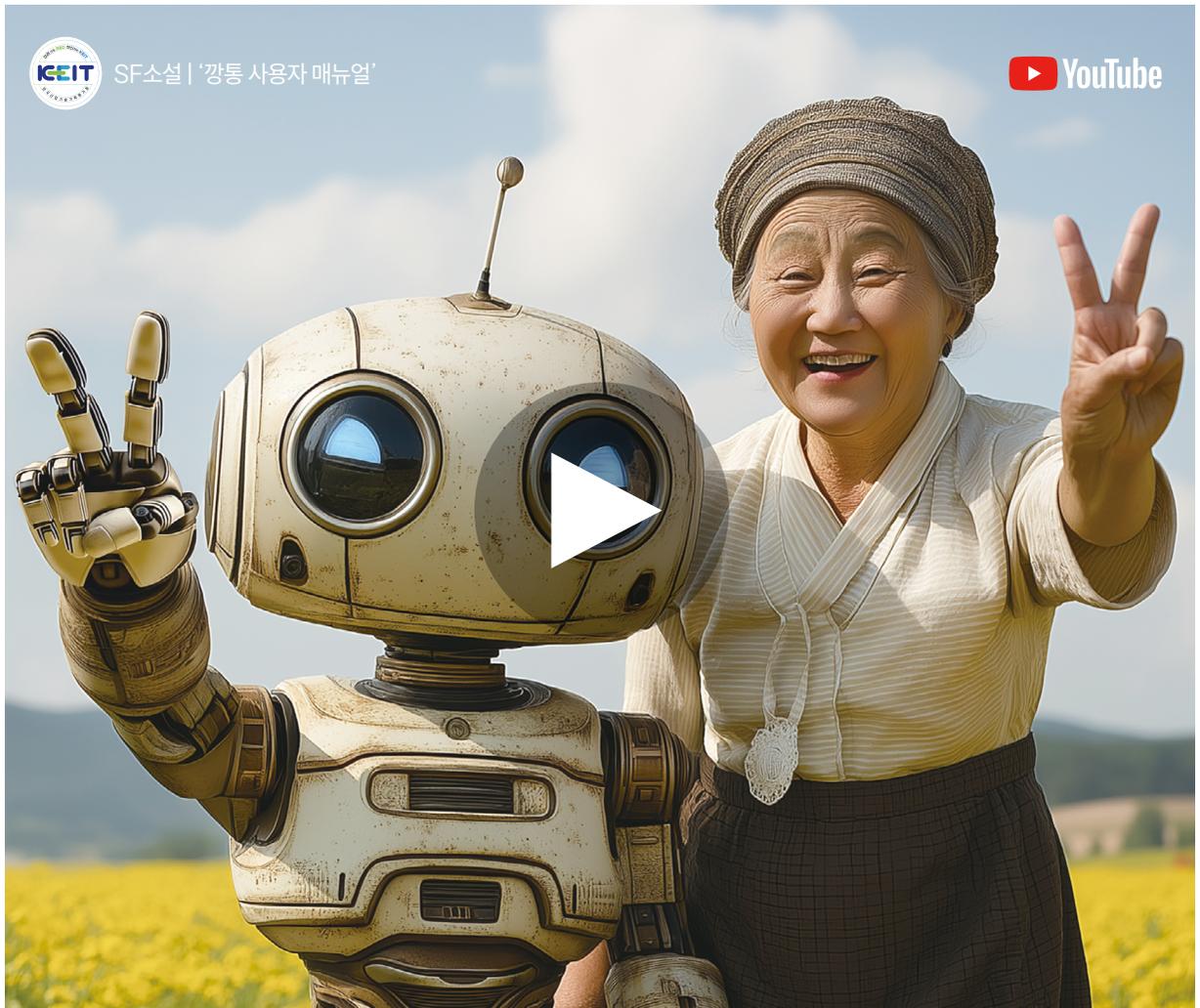


KEIT ISSUE PICK

2025-05

휴머노이드 로봇과 AI 자율제조 - 로봇, 자율제조

· 새로운 생태계로 진화하는 휴머노이드 로봇	박일우, 전진우
· Physical AI의 등장과 휴머노이드 로봇의 산업화	박일우, 한재권
· AI 자율제조 기술 동향	이성훈, 송병훈, 이진성, 정재윤
· 제조 AI 파운데이션 모델 및 제조 특화 공통 AI 모델 개발	이성훈, 윤종필, 김민수
· Science Fiction: 깡통 사용자 매뉴얼	전윤희

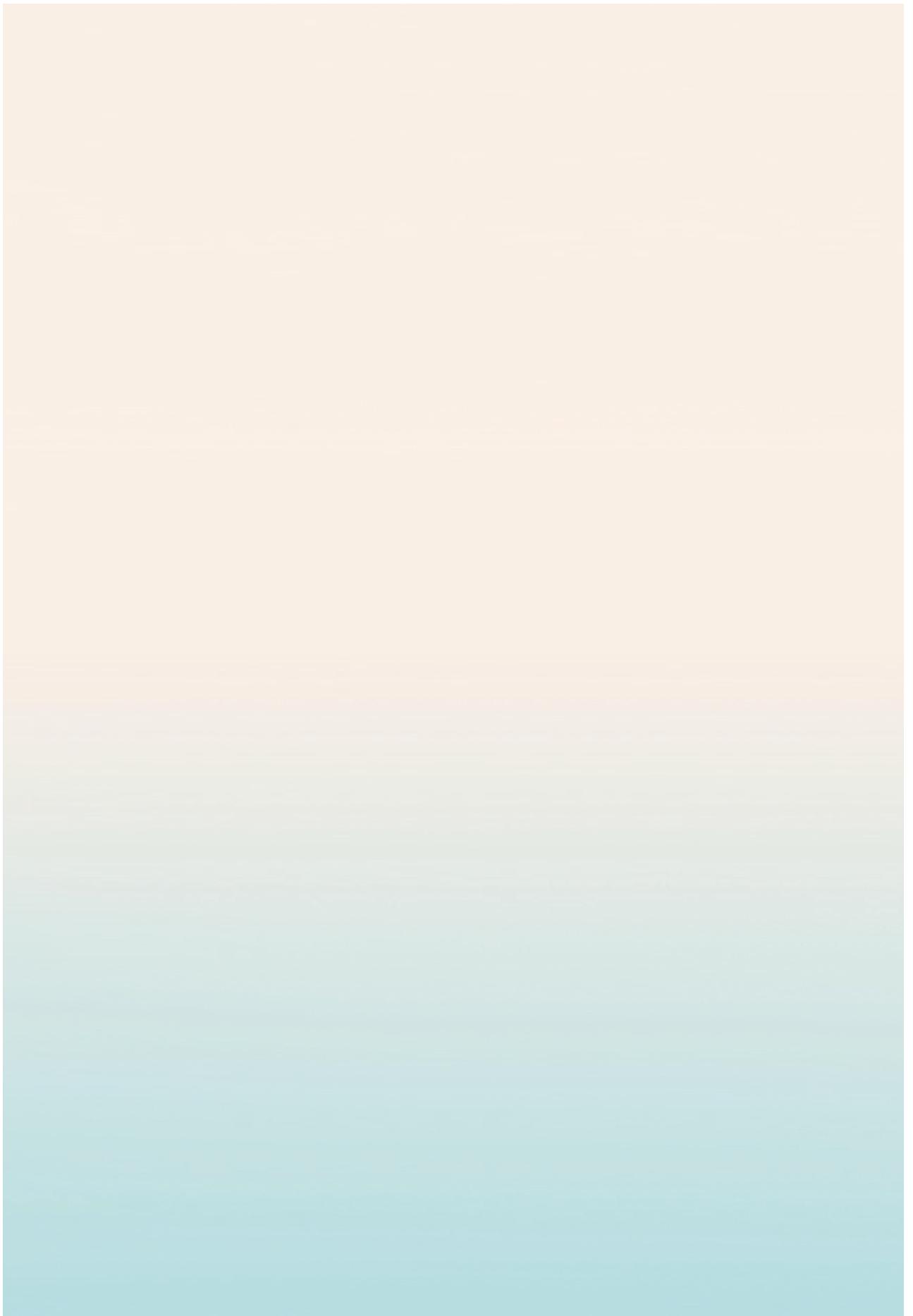


ISSUE PICK 영상 보기



ISSUE PICK 원문 보기





CONTENTS

기관장 인사말	5
Science Fiction: 깡통 사용자 매뉴얼	6
산업/기술 뉴스	17
산업/기술 동향	29
1 새로운 생태계로 진화하는 휴머노이드 로봇	30
2 Physical AI의 등장과 휴머노이드 로봇의 산업화	47
3 AI 자율제조 기술 동향	60
4 제조 AI 파운데이션 모델 및 제조 특화 공통 AI 모델 개발	73
KEIT NEWS – PD’s Talk	88



로봇이 인간처럼 말하게 될 때 우리는 인간이 로봇처럼 생각해야 하는 순간을 마주할지도 모릅니다. 생성형 인공지능의 급속한 발전은 인간의 사고방식에 근본적인 질문을 던지고 있습니다. 우리는 이제 파이썬(Python), C 언어와 같은 기계의 언어를 배우며, AI와의 효율적 상호작용을 위한 교육 콘텐츠와 강의를 자연스럽게 접하고 있습니다. 이는 단순한 기술 습득을 넘어 인간이 기계를 이해하고 그 언어를 익히는 새로운 시대적 감각을 요구하는 흐름입니다.

이번 호에서는 이러한 인식의 전환점을 맞아 휴머노이드 로봇을 중심으로 한 기술 생태계의 진화와 산업 구조의 재편 가능성을 조망하고자 합니다. 최근 로봇 학습 기술은 동작 복제와 인지 판단을 아우르는 파운데이션 모델로 확장되고 있습니다. 특히 Physical AI의 핵심 품팩터로 주목받고 있는 휴머노이드 로봇은 고령화, 인구 절벽, 노동력 부족 등의 구조적 문제를 해결할 수 있는 유력한 해법으로서, 이들은 감정이 없는 기계가 아니라 상호작용 가능한 존재로 새롭게 조명되고 있습니다. 이와 더불어 AI 자율제조 기술은 단순한 공장 자동화를 넘어 인간의 개입 없이도 생산 전 과정을 운영할 수 있는 미래형 산업 모델로 부상하고 있습니다. 로봇에게 일일이 명령을 입력하던 시대는 이미 지나갔으며, 앞으로는 로봇이 스스로 상황을 인식하고 판단하며, 행동할 수 있는 역량이 필수 조건이 될 것입니다.

이제 우리가 준비해야 할 것은 로봇에게 단순히 명령을 내리는 방식이 아니라 로봇이 이해할 수 있는 방식으로 세계를 재해석하는 능력입니다. 인간이 로봇의 언어를 배우고 로봇과 함께 살아갈 방법을 상상하는 일, 기술적 진보와 함께 반드시 수반되어야 할 성찰일 것입니다. 다가오는 로봇 시대는 기술과 윤리가 함께 성장해야 하는 시기입니다. 본 발간물이 그 고민의 출발점이 되기를 기대합니다.

5월호가 유익한 정보가 되기를 바라며, 다음 6월호에서는 “AI 융합 바이오산업 트렌드-의료기기, 바이오”를 다룰 예정이니 많은 관심 부탁드립니다.

깡통 사용자 매뉴얼

작가 소개 **전윤희**

ETRI와 KIST에서 AI와 로봇을 연구했고, 테크 스타트업과 글로벌 기업에서 소프트웨어를 개발했다. SK텔레콤을 거쳐 SK플래닛에서 CTO를 역임했으며, 알티캐스트에서 AI 신규 사업을 이끌었다. 서울대학교에서 제어계측공학 석사 및 전기컴퓨터공학 박사 학위를 취득했으며, 30여 년간 IT 분야에서 기술 개발에 매진하다가 2019년부터 SF를 쓰기 시작했다. 저서로는 SF 장편소설 『모두 고양이를 봤다』(2020, 그라비티북스)와 『경계 너머로, 지맥(GEMAC)』(2022, 그라비티북스)을 출간했다. SF 단편소설로는 과학스토리텔러 1기 당선작인 「노인과 지맥」(단편집 『페트로글리프』 수록, 2020, 동아엠앤비)과 ChatGPT와의 협업으로 완성한 SF앤솔러지 웹소설인 「오로라」(단편집 『매니페스토』 수록, 2023, 네오픽션) 등이 있다.

로봇공학으로 학위를 받고 굴지의 대기업에 입사할 때만 해도 새벽 5시에 “로봇이 방귀를 똥다”는 전화를 받고 깡시골로 달려가게 될 줄은 몰랐다.

전화를 건 사람은 최 할아버지였다. 아침잠과 매너 둘 다 없는 사람이 누군지는 휴대폰 화면을 안 봐도 뻔했다. ‘KAMT NG’ 로봇을 ‘깡통 로봇’이라고 읽어서 다들 그렇게 부르도록 만든 장본인이었다.

“조 과장, 좋은 아침이야.”

으…, 한동안 뜸했었는데… 깡통이 또 무슨 사고를 쳤을까.

“오늘은 무슨 사고 때문이 아니라 그냥 재밌는 일이 있어서 전화한 거야. 며칠 전에 사다리가 부러져서 깡통이 떨어졌거든. 그때부터 이 녀석이 가끔 방귀를 똥내그려. 냄새가 아주 고약해. 소똥 냄새가 나는 시골에 오니까 이 녀석도 점점 사람이 되어가나 봐.”

방귀? 나는 정신이 번쩍 들었다.

“최 선생님, 깡통에게 밖에 나가 있으라 하고요. 절대로 가까이 가지 마세요. 바로 가겠습니다.”

그래서 내가 지금 커피를 석 잔째 마셔가며 자율주행도 안 되는 차로 새벽길을 달려가는 것이다.

이 모든 게 박호성 전무 때문이었다.

그는 유명 컨설팅 회사에서 일하다가 보고서 생성 AI 때문에 일감이 줄어들자 우리 회사에 신사업 담당으로 왔다. 기술은 전혀 모르지만, 초인적인 설득력을 갖고 있어서 AI마저도 지구가 평평하다고 믿게 만들 수 있는 사람이었다. 그는 오자마자 신생 로봇 회사인 한국자동제조기술(KAMT, Korea Autonomous Manufacturing Technology)에 투자하더니 제대로 검토도 안 하고 그 회사의 ‘NG(Next-gen General-purpose)’ 로봇의 도입을 추진했다. 곧이어 로봇을 억지로 공장에 투입하고는 언론사들을 불러 제조업의 노동력 부족 문제를 해결한 사례로 홍보했다. 하지만 이미 고도로 자동화된 우리 회사의 생산 라인에서는 이 로봇이 할 일이 별로 없었고, 그나마 할 수 있는 일도 속도가 너무 느렸다. 소문에 의하면 그는 로봇 시연 영상이 5배 속인 줄 몰랐다고 한다.

로봇을 잘못 도입했다는 소문이 돌자 박 전무는 정부와 지자체를 설득해 ‘농촌 고령화 문제 해결을 위한 휴머노이드 실증 과제’를 만들어냈다. 농촌을 살리기 위해 ‘회사가 가장 아끼는 최첨단 로봇’들을 과감히 현물 투자하기로 했다. 나는 로봇을 전공한 죄로 이 과제에 끌려 들어갔다.

혹시 오해할까 봐 말해 두는데, NG 로봇은 최신 기술이 집약된 최첨단 휴머노이드 로봇인 건 맞다. 사람이 일하던 환경과 도구를 그대로 이어받아 일할 수 있고 제조에 특화된 검사와 진단 기능을 갖췄으며, 실세계와 시뮬레이션 환경의 다양한 데이터를 학습한 파운데이션 모델을 기반으로 스스로 공정을 계획하고 수행할 수도 있다. 제한적이긴 하지만 사람의 행동을 보고 따라 하는 자체 학습 기능도 갖췄다.

그러나 수억 년간 온갖 환경을 거치면서 진화해 온 인간만큼 유연하지 못했고, 정해진 작업에는 전용 기계만큼 효율적이지 못했다. 또한 모든 복잡한 시스템이 그러하듯 아직은 숙성될 시간이 필요했다. 무턱대고 공장에 투입했다가 실패했는데, 애초에 고려하지도 않았던 농촌 일을 잘 해낼 리 만무했다.

아니나 다를까, 강통은 배치되자마자 연이어 사고를 쳤다. 농촌 일에 필요한 학습 데이터를 모으고 학습시킬 시간이 없었으니 당연했다. 박 전무는 NG 로봇이 기계와 제조에 관한 범용 지식을 갖고 있고 학습 능력도 있으니 농기계와 시설을 수리하고 필요한 기구를 만들 수 있을 거라고 했다. 대충만 아는 사람들은 이름만 같으면 다 같은 것인 줄 안다. 최신 공장의 기계와 구닥다리 농기계보다는 박 전무와 능구렁이 사이의 공통점이 더 많을 거다.

강통은 원래 덜덜거리는 게 정상인 경운기의 소리를 스펙트럼 분석한 결과, 베어링이 위험한 수준으로 마모되었다면서 엔진을 모두 분해해 버렸다. 또 무너진 돌담을 고치랬더니 해가 질 때까지 모든 돌의 형상을 스캔하고 구조 시뮬레이션만 돌리고 있었다. 도킹 스테이션과 강통이 머무를 창고 문에 자물쇠를 설치하라고 했더니 자신의 마그네틱 그리퍼로만 열 수 있는 잠금장치를 만들어 자신만 사용할 수 있도록 문 안쪽에 달아 버렸다. 압권은 강풍으로 망가진 온실을 튼튼하게 수리하라는 지시를 받았을 때였다. 강통은 어찌다 보니 그때까지 연결되어 있었던 회사 인트라넷을 통해 값비싼 탄소섬유 강화 복합 소재 파이프를 항공 드론 긴급 배송으로 주문해서 핵 방공호로 써도 될법한 구조물을 만들어냈다. 덕분에 나는 하루 종일 회계팀에 해명하고 시말서를 쓰면서 박 전무에게 사정해야만 했다.

그런 일이 발생하기 한참 전부터 강동의 문제를 지적했던 사람은 로봇공학으로 학위를 받은 내가 아니라 시골의 한 공무원이었다.

마을 사람들을 모아놓고 실증 과제 설명회를 개최했을 때였다. 마치 스티브 잡스의 환생인 듯 청바지에 검은 터틀넥을 입고 연단에 오른 박 전무는 휴머노이드 로봇과 함께할 아름다운 미래를 소개했다. 의혹으로 가득했던 주민들의 눈빛이 어느새 벅찬 감동으로 축축해졌다. 나는 여러 번 들은 얘기였기에 앞줄에 앉아 경청하는 척 고개를 세운 채 즐기고 있었다.

“질문 있습니다.”

내 바로 뒤에서 또랑또랑한 목소리가 들렸다. 돌아보니 내 또래의 젊은 여성이 손을 들고 있었다.

“저는 스마트농업 담당 하수진 주무관입니다. 먼저 이런 최첨단 로봇과 함께 기술 지원까지 제공해 주신다니 감사합니다. 하지만 정밀한 휴머노이드 로봇이 우리 지역 환경에서 주민들과 함께 효과적으로 일할 수 있을지 검토가 필요한데요.”

알고 보니 하 주무관은 지자체 소속으로 이 과제의 성과를 평가할 사람이었다. 그녀는 이어서 KAMT NG 로봇의 IEC 60529 IP 등급¹이 어떻게 되는지, ISO 13482² 인증은 받았는지, 난 들어본 적도 없는 ISO 25119³의 대상인지, MTBF⁴와 MTTR⁵은 어떻게 되는지, 새로운 태스크를 학습시키는 프로세스와 소요 비용은 어떻게 되는지를 물었다. 당황한 박 전무는 그런 자세한 내용은 별도 문서로 제공하겠으며, 우리 로봇은 업계 최고 수준이라는 말을 표현만 바꿔가며 되풀이했다. ‘어떻게 저런 공격을 다 알지?’ 박 전무를 저토록 절절매게 만들다니, 순간 내가 어느 회사 소속인지 잊어버리고 짜릿한 쾌감에 전율했다.

“배터리의 실효 작동 시간은요? 로봇 스스로 핫 스와프⁶를 할 수 있나요? 야외에

1 전기 전자 장비의 외함이 먼지나 수분 침투로부터 얼마나 보호되는지를 나타내는 국제 표준. IP 등급은 이 표준에 따라 보호 수준을 숫자 두 개로 나타낸 코드다.

2 개인용 로봇의 안전성에 관한 국제 표준. 로봇이 사람과 상호작용할 때의 안전 요건과 테스트 방법 등을 정의한다.

3 농업 및 임업용 기계에 사용되는 제어 장치의 기능 안전 및 관련 전자 제어 시스템에 관한 국제 표준

4 Mean Time Between Failures: 시스템이 고장 난 후 다음 고장이 발생할 때까지의 평균 시간

5 Mean Time To Repair/Recovery: 시스템 고장 발생 시 이를 수리/복구하여 정상 가동시키는 데까지 걸리는 평균 시간

6 시스템의 전원을 끄지 않고 작동 중인 상태에서 특정 부품을 교체할 수 있는 기능

서 오랫동안 일해야 할 경우 스와프 스테이션을 어떻게 그곳까지 이동시킬 수 있죠?”

배터리 작동 시간은 모든 휴머노이드 로봇의 가장 큰 문제 중 하나였다. KAMT NG는 셀프 핫 스와프 기능이 있어서 배터리가 방전되면 스스로 도킹 스테이션에 가서 배터리를 교체한다. 그런데... 아차! 도킹 스테이션은 단단한 바닥에 고정되어 야만 하고, 충전과 도킹 기구를 위한 전력이 필요하다.

하 주무관의 오라가 회의실을 압도하고 있었다. 그녀의 얼굴에서는 광채가 났고 박 전무의 얼굴은 흠뻑으로 어두워졌다. 난 그제야 내가 어느 회사 소속인지 생각이 났...던 것은 아니고, 그저 그녀에게 잘 보이고 싶었다.

“저는 이번 과제의 기술적인 부분을 담당하는 조민준이라고 합니다. 로봇 기술에 관해 의외... 아니, 정말 잘 아시는군요. 언제 시간 내주시면 차라도 한 잔 마시면서 제가 NG 로봇에 대해 자세히 설명드리겠습니다.”

내가 지금 무슨 말을 한 거지? 사람들이 모두 나를 쳐다보고 있었다.

“네. 그래 주세요. 자료 먼저 보내주시고요. 하지만 배터리 문제는 가장 기본적인 것이라 지금 대답을 듣고 싶네요.”

그녀는 사무적으로 대답했지만, 아무튼 긍정이었다. 차 마시자는 부분을 듣긴 한 걸까? 가슴이 쿵쾅거렸다. 나도 부정적으로 대답할 수는 없었다.

“음..., 농촌에서 일하려면 당연히 최소 8시간 이상 작동할 수 있어야죠. 그 문제는 이미 솔루션을 생각해 뒀습니다. 따로 뵈 때 정리해서 말씀드리겠습니다.”

솔루션은 그 순간 생각해 냈다. 나는 마치 결정 권한이라도 가진 척 대답했다.

“우리 회사 최고의 엔지니어들을 이 과제에 투입했습니다. 앞으로도 지원을 아끼지 않겠습니다.”

박 전무가 처음이자 마지막으로 나를 도와줬다. 그때 눈물이 날 뻔했는데, 감동을 받아서였는지 어처구니없어서였는지는 기억이 안 난다.

도착해 보니 깡통은 마을회관 앞 공터에 서 있었다. 일하지 않을 때는 조금 떨어진 창고의 도킹 스테이션에 대기하도록 되어 있는데, 내가 말한 대로 최 할아버지가 깡통에게 지시한 모양이었다.

나는 20미터쯤 떨어진 곳에 차를 세우고 트렁크를 열었다. 혹시나 이런 일이 발생
할까 싶어 장비들을 챙겨뒀었다. 탐지기를 켜 보니 수치는 정상이었고, 코를 킁킁거
려 보지만 아무 냄새도 맡을 수 없었다. 그래도 조심해야 한다. 방독면을 착용하고
깡통에게 다가갔다. 깡통이 나를 향해 고개를 돌렸다.

“안녕하세요, 조 과장님.”

마스크를 썼는데도 날 알아봤다. 업무 수행 중이 아니고 슬립 상태도 아닌 때에는
주위 환경을 모니터링하면서 사회적인 반응을 하게 되어 있다. 깡통은 휴머노이드
라고는 하지만 불쾌한 골짜기와는 거리가 먼, 말 그대로 금속 깡통이다. 이럴 때 약
간의 사회적 반응만으로도 사람들은 로봇을 의인화하고 편하게 대하게 된다. 주민
들이 깡통이라는 이름을 쓰게 놔둔 이유이기도 했다.

“깡통, 대기하는 동안 액화 암모니아를 시간당 얼마나 소모했는지 알려줘.”

“시간당 0.204리터를 사용했습니다.”

휴대폰을 꺼내 계산해 보니 기본적으로 소비하는 에너지 외에 유출로 인한 감소
는 거의 없는 것 같았다. 최 할아버지는 항상 악취가 난다고 하지 않고 ‘가끔 방귀를
핀다’라고 했다. 움직일 때 암모니아가 조금씩 누출되는 모양이었다.

로봇은 사람과 달리 서 있기만 해도 많은 에너지를 소모한다. 자세를 유지하려면
계속 모터를 제어해야 하고 시각 정보를 처리하는 NPU도 계속 동작하기 때문이
다. 깡통은 초기의 휴머노이드 로봇에 비하면 효율적이긴 하지만, 여전히 온종일을
배터리로 버틸 순 없었다. KAMT에 액화 암모니아를 사용하는 연료전지(DAFC)⁷
를 깡통에 설치해 달라고 요청한 이유였다. KAMT가 NG 로봇의 후속으로 곧 출시
할 NNG, 즉 차차세대 로봇(KAMT의 기술력이 작명 실력보다는 훨씬 나아서 다행이다)
에 탑재될 제품이었고, NG와 NNG는 기본 구조에 큰 차이가 없었기 때문에 기술
적으로 무리한 요구는 아닐 거라고 생각했다. 하지만 그들은 암모니아 가스 관련 안
전 규정과 누출을 감지했을 때 비상 대처 프로세스의 백포팅⁸ 등의 문제로 불가하다
고 했다. 내가 하 주무관에게 장담했던 말이 있었기 때문에 그들에게 계속 읍소하고

7 Direct Ammonia Fuel Cell(직접 암모니아 연료전지): 별도의 수소 변환 과정 없이 액체 암모니아를 직접
연료로 사용해 전기 에너지를 생산하는 연료전지의 한 종류. 상온에서 10bar 정도의 압력으로 쉽게 액화되어
수소보다 부피당 에너지 밀도가 월등히 높고, 리튬 이온 배터리보다 훨씬 높은 무게당 에너지 밀도를 가진다.

8 Backporting: 신버전 소프트웨어 또는 시스템의 기능을 이전 버전에 포팅하는 작업

협박해야만 했다. 마침내 모든 책임은 내가 진다는 각서에 서명하고서야 강통에게 DAFC를 달아 줄 수 있었다. 그러므로 이 순간 강통의 거대 방귀가 폭발해 내게 무슨 일이 생기더라도 모두 내 잘못이었다.

강통은 리어 패널이 우그러져 있었다. 사다리에서 떨어질 때 그랬던 모양이다. 조심스레 고정 나사를 풀고 패널을 열었다. 우그러진 곳이 액화 암모니아 연료 라인과 연료전지 스택의 주입구를 강하게 눌러 그 연결 부위가 변형되어 있었다. 탱크의 메인 밸브를 잠그고 멀리 물러선 후 강통에게 천천히 땅바다에 쪼그려 앉으라고 소리쳤다. 전력이 끊기기 전에 강통이 안정적인 자세를 취해야 했는데, 움직이는 순간 암모니아가 샐 가능성이 있기 때문이다.

KAMT의 담당자에게 전화했다. 예상했던 대로 그는 나 때문에 큰일 날 뻔했다고 소리를 질러댔고, NNG였으면 가스 누출 센서와 대응 소프트웨어 덕분에 위험하지 않았을 거라고 몇 번을 강조했다. 조금 진정이 되자 그는 리어 패널이 연료전지를 누른 부분은 자기네도 검토할 필요가 있겠다고 하면서 강통의 연료전지를 새 걸로 교체하고 변형된 것은 수거해 가기로 했다. 또 한 번의 사태를 겨우 넘겼다.

전원이 꺼져서 진짜로 강통이 되어 버린 녀석 옆에 나란히 쪼그리고 앉아 한숨 돌리고 있는데, 최 할아버지가 마실 걸 들고 왔다.

“이 녀석은 왜 대낮부터 자고 있나?”

“부품을 교체해야 합니다. 지금 가지고 오고 있어요.”

“흠, 대장 쪽 부품인가? 고장 나면 방귀를 끼게 되다니.”

“그럴 리 없겠지만, 혹시라도 다음에 또 그런 냄새가 나면 바로 피하세요. 그리고요...”

나는 최 할아버지의 눈치를 살폈다.

“하 주무관에게 방귀 애긴 비밀로 해 주시면 안 될까요?”

할아버지는 씩 웃으며 나를 흘겨보더니 내 어깨에 팔을 걸치고 소곤거렸다.

“걱정 말게. 내가 그 정도 눈치도 없겠나?”

내가 너무 티를 냈나? 하 주무관을 여러 번 만나기는 했다. 이곳에 출장을 올 때마다 구실만 있으면 미리 연락해서 만났다. 하지만 어디까지나 공적인 만남일 뿐이다. 기술 자료를 전달하고, 강통의 활동에 대한 피드백과 개선 요구사항을 받고, 기능 개선 로드맵을 전달하는 등 뭐 그런 일들이었다. 어쨌든 이 과제의 성패가 그녀의 평가

에 달렸다. 담당 직원으로서 좋은 관계를 유지하는 게 당연하지 않은가? 그리고 보니 초기의 문제점들을 수정하고 주민들도 깡통의 특성과 한계에 익숙해짐에 따라 요즘 한동안 올 일이 없었다. 그녀를 본 지도 꽤 오래되었는데, 이번에는 하도 급하게 오느라 만날 구실을 만들고 연락할 겨를도 없었다.

“우리한테도 깡통은 소중한. 이 녀석이 좋은 평가를 받아야지.”

“네?”

주민으로부터 이런 얘기를 들은 것은 처음이었다. 무슨 일이 있었지? 지난번 온실 보수에 쓰고 남은 탄소섬유 파이프를 다른 시설들을 보강했다고 들었는데, 앞으로 그런 일이 계속될 거라고 기대하는 걸까? 그런 값비싼 재료를 계속 공짜로 제공할 수 있다면야 나도 좋겠지만, 깡통은 이제 회사 인트라넷에 접속할 수 없다.

최 할아버지는 하 주무관과 잘 좀 얘기해 보라고 하고는 의미심장한 표정을 지으며 돌아갔다. KAMT 담당자가 도착하려면 아직 멀었고, 나는 그때까지 할 일이 없었다. 차로 돌아가 의자를 뒤로 눕히고 눈을 감았다. 평소보다 두 시간 일찍 일어나서 머리가 멍했지만, 긴장했던 탓에 금세 잠이 들지는 않았다. 어쩌다 내 커리어가 이렇게 됐을까? 사람이 하던 일을 로봇이 모두 대신하는 날이 와도 그 로봇을 개발하고 관리하는 사람은 필요할 거라는 생각으로 로봇공학을 공부했는데, 이 외진 곳까지 와서 방귀 끼는 로봇의 뒤처리나 하는 처지라니….

영화를 하나 골라서 보기 시작했다. 내 처지가 힘들게 느껴질 땐 더 나쁜 상황에 처한 사람을 보면서 내 문제를 잊어버리는 게 최고다. 죽도록 고생만 하던 남주인공이 마침내 여주인공과 잘 되려는 순간 휴대폰이 진동했다. 하 주무관의 메시지였다. 그녀가 먼저 연락한 것은 처음이다. 메시지를 여는 손이 덜덜 떨렸다.

‘여기 오셨다면서요? 잠깐 뵈 수 있을까요?’

그녀는 마을에서 좀 떨어진 찻집에서 보자고 했다. 찻집에 들어섰을 때 그녀는 노트북에 고개를 파묻고 있었다. 일에 열중하고 있는 모습이 너무 매력적이어서 사진이라도 찍어 보관하고 싶었지만 들킬까 봐 참았다. 내가 자리에 앉자 그녀는 비로소 고개를 들고 환히 미소 지었다. 오전 내내 날 괴롭히던 두통이 눈 녹듯 사라졌다.

“오랜만이에요. 왜 이번엔 미리 연락 안 주셨어요? 최 할아버지가 조 과장님 오셨

다고 하시더라고요.”

“아, 너무 급하게 오느라…”

그녀는 나를 향해 몸을 기울이며 눈을 크게 떴다.

“무슨 위급한 일이라도 있었어요?”

가슴이 덜컥했다. 눈치챘나? 최 할아버지가 고자질했을까?

“아뇨! 그냥… 교체할 부품이 있는데 업체하고 시간을 맞추다 보니…”

“그래서 그 업체는 만나셨어요?”

“아뇨. 아직 오려면 멀었어요. 저 지금 시간 많아요.”

난 바보다. 급하게 왔다면서 시간이 많다고?

“아! 글썄 급하게 오는데 도중에 약속을 바꾸더라고요. 제가 이해해야죠. 뭐.”

그녀는 진지한 표정이 되었다.

“이제 과제 평가보고서를 작성해야 해요. 그 얘기 좀 하려고요.”

벌써 그렇게 되었나? 1단계 기간이 길진 않았지만, 생각보다 순식간에 지나갔다. 많은 사건이 있었고 어떻게든 해결했으며, 지금 나를 초롱초롱한 눈으로 쳐다보고 있는 이 사람과 만날 기회가 있었다. 비록 일 얘기밖에 못 했지만…

“사전 설명회 때 제가 이런저런 문제 가능성을 지적했던 것 기억하세요? 그때 너무 까다롭게 굴어서 죄송했어요. 하지만 지금 봐도 그때 걱정했던 일들이 기우는 아니었어요.”

그녀는 노트북을 돌려 내게 화면을 보여줬다. 깡통이 저지른 사건들과 수많은 문제가 일목요연하게 정리되어 있었다. 나도 다 아는 내용이었고, 반박할 수 없었다. 힘이 쭉 빠졌다. 내 몸이 배터리가 방전된 휴머노이드처럼 느껴졌다. 기어들어가는 목소리로 말했다.

“그럼 이 과제는 1단계로 종료되겠네요.”

그녀는 나를 빤히 쳐다보더니 노트북을 덮었다.

“이 부분을 다시 작성하려고요. 요즘 한동안 안 오셨잖아요. 그사이에 어떤 변화가 있었는지 아세요?”

나는 고개를 저었다. 그녀는 가방에서 가제본된 책을 꺼내 들었다. 표지에는 촌스러운 폰트로 ‘깡통 사용자 매뉴얼’이라고 쓰여 있었다.

“이곳 주민들이 함께 만든 책이에요. 어떻게 하면 깡통에게 효과적으로 일을 시킬

수 있는지, 어떤 일을 잘하고 어떤 일을 못 하는지, 새로운 일을 가르치려면 어떻게 해야 하는지 정리되어 있어요.”

나는 책을 펼쳐봤다. 벌어진 입을 다물 수 없었다. 문법은 엉망이지만 내용은 대부분 정확했고, 내가 생각해 본 적 없던 사항들도 적혀 있었다.

“요즘 마을에 활기가 돌아요. 할머니 할아버지들이 강통을 시골에 갓 내려온 어리바리한 청년처럼 대해요. 강통의 실수를 얘기하면서 함께 웃고, 가끔 잘한 일도 공유해요. 다음 달에는 강통에게 커피 내리는 법을 가르쳐 볼 거래요. 일 없을 땐 마을회관에서 바리스타 시킬 거라고요.”

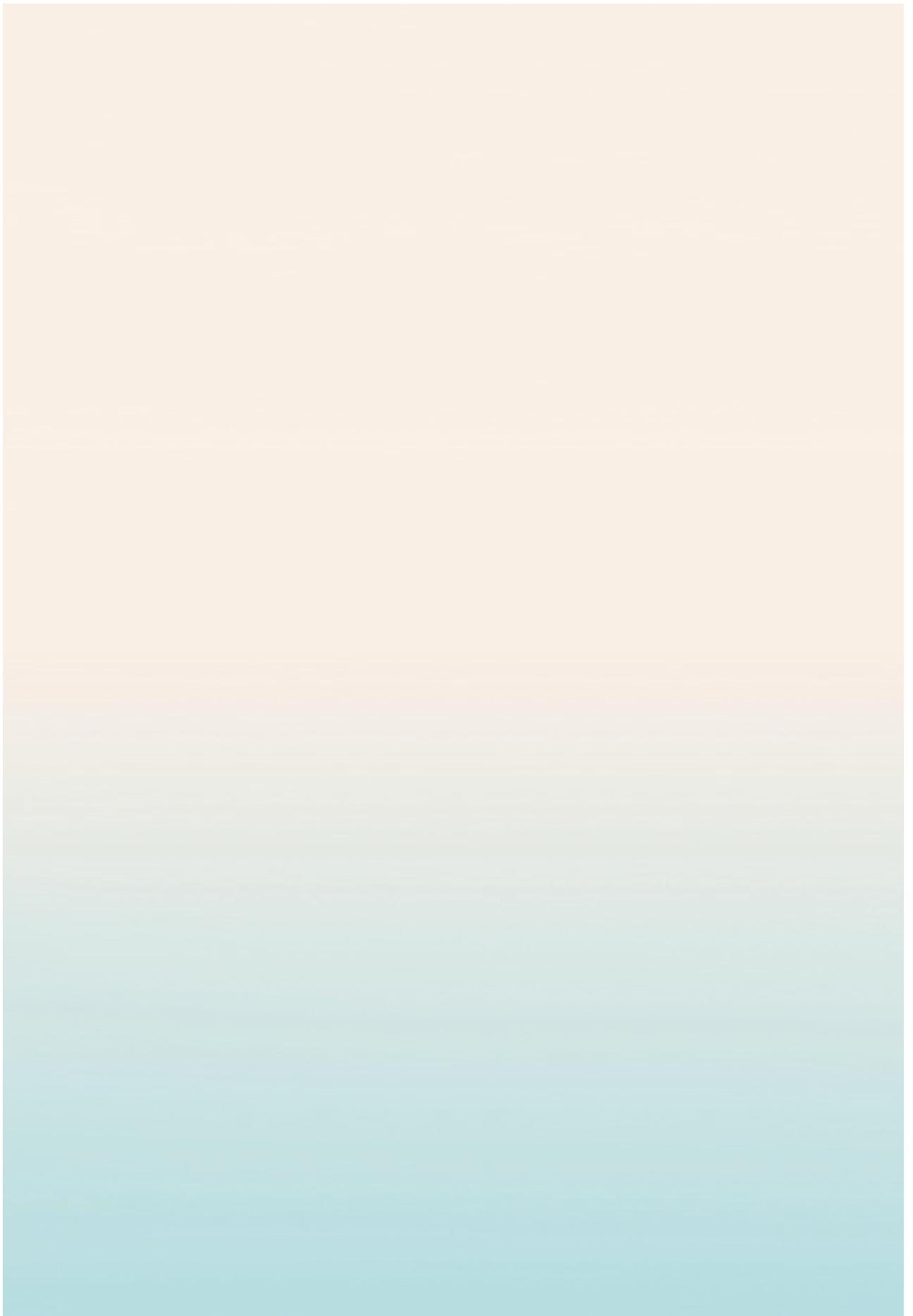
나는 뭐라 말해야 할지 몰랐다. 강통에게 사회적 반응이 프로그래밍되어 있기는 했으나 이런 효과를 기대한 것은 아니었다. 이건 어디까지나 주민들이 해낸 일이었다. 눈시울이 뜨거워졌다.

“이 비싸고 고장 잘 나는 로봇이 사실 실용적이진 않아요. 하지만 제가 너무 기술적인 측면만 생각했나 봐요. 저는 강통이 지금 이대로도 우리 마을에 도움이 되고, 앞으로 더 개선될 여지도 있다고 생각해요. 과장님은 어떻게 생각하세요?”

나는 아무 말도 못하고 바보같이 고개만 끄덕였다.

“휴머노이드 로봇이 고령화된 사회에서 어떤 역할을 할 수 있는지 논문을 써 볼까요. 2단계 과제에도 그런 점을 반영하고요. 과장님이 계속 오셔서 저랑 토의도 하고 기술적인 지원도 해 주시면 좋겠어요. 괜찮으시면 박 전무님께는 제가 얘기할게요. 제 요청은 다 들어주시더라고요.”

이것이 내가 박 전무마저 구슬리는 그녀와 어리숙한 게 매력인 강통을 계속 만나러 오게 된 사연이었다. 앞으로 또 벌어지게 될 예기치 못한 일들을 기대하면서 나는 환히 웃었다.



산업/기술 뉴스

반도체

AI

조선

방산

자동차

이차전지

바이오

기타

반도체 ①

메모리 빅3, 다음 격전지는 CXL... 차세대 AI칩 기술 선점 나섰다 (조선일보, 2025.05.12.)

- AI 데이터 센터 수요가 폭발하고 차세대 메모리 기술이 중요해지면서 반도체 기업들은 '컴퓨터 익스프레스 링크(CXL)' 분야로 AI 반도체 전선을 확장하고 있다.
- CXL은 반도체 간 데이터 처리를 효율화하는 첨단 기술이자 장치로, 용량 증대와 반도체 간 데이터 속도를 끌어올릴 수 있어 HBM과 함께 가장 주목받는 기술이다.
- 삼성전자는 CXL 기술을 활용해 메모리를 묶어 쓰는 기술(풀링·pooling)을 강조했는데, 여러 CXL 메모리를 묶어 연결한 후 각각의 사용자가 접속해 필요한 만큼 나눠 쓰는 것이다.
- 삼성전자는 2023년 업계 최초로 CXL 2.0 기술을 지원하는 128GB D램을 개발하여 지난해 말 고객 인증을 마쳤으며, 조만간 256GB 제품 인증도 마친다는 계획이다.
- SK하이닉스는 HBM에서 차지한 우위를 바탕으로 지난달 23일 CXL 2.0 기반 96GB DDR5 D램 제품 고객 인증을 완료했으며, 128GB 제품도 인증 절차를 진행 중이다.
- 마이크론은 2023년 CXL 2.0 기반 최대 256GB 용량의 메모리 확장 모듈 CZ120을 출시했으며, 이달 중으로 최신 버전인 CXL 3.0 메모리 호환성 검증에 나설 전망이다.
- AI 모델의 중심 기술이 '학습'에서 '추론'으로 넘어가면서 CXL 기술이 주목받기 시작했는데, 엔비디아의 GPU와 HBM으로 구성된 'AI 가속기'는 학습에 강점이 있다.
- 하지만 최근 학습한 데이터로 정보 제공 차원을 넘어 논리적 사고 과정을 통해 새로운 답을 내놓는 '추론형 AI 모델'이 대세가 되면서 AI 업계가 CXL에 주목하고 있다.
- 메모리 기업뿐 아니라 빅테크들도 CXL 확산을 반기고 있다. CXL을 활용하면 비싼 HBM이나 GPU 없이 CPU 기반 서버에 메모리만 대량으로 넣으면 서버 운용이 가능하기 때문이다.

반도체 ②

반도체는 국가대항전... 직접 보조금 등 절실

(이데일리, 2025.05.12.)

- 반도체를 비롯한 첨단 전략산업이 국가대항전 성격으로 변모하면서 새 정부에서는 기존 방식을 벗어나 전향적인 첨단산업 지원과 투자가 필요하다는 전문가들의 의견이다.
- 중국은 '제조2025'를 통해 막대한 지원금으로 고부가가치 산업을 육성하고 테크 굴기로 한국의 첨단 전략산업을 추격하고 있으며, 미국도 '아메리카 퍼스트' 기조 아래 보호무역주의를 강화하면서 지원책을 쏟아붓는 상황이다.
- 미국, 중국, 일본, 유럽 등은 앞다퉀 보조금을 뿌리며 지원하는 데 반해, 한국 기업들만 국가의 보조금 없이 홀로 뛰고 있다.
- 한국도 체계적으로 첨단 전략산업 지원에 나서야 할 시점에서 이종호 전 과기부 장관은 AI 시대 반도체 중요성은 더욱 커졌으므로 연구개발(R&D) 근로시간 규제 등 기업을 어렵게 하는 요소를 제거하고 보조금 확대와 더불어 법인세 감면 및 R&D 세액공제 등이 필요하다고 강조했다.
- 기업 입장에서 R&D 투자가 매우 중요하고, 인력 운영 측면에서 효율성 확보도 필수적이다.
- 또 반도체 산업 '컨트롤타워'의 필요성이 제기되면서 서울대 김형준 명예교수는 정부 부처에서 산발적으로 지원하기보다 반도체 컨트롤타워를 만들어 통 큰 지원에 나서야 한다고 조언했다.
- 이는 전례 없는 위기 상황에서 부처별로 쪼개진 중복 지원을 줄이고 체계적인 지원이 필요하다는 목소리로, 전략적으로 육성할 기술과 분야를 집중해 키워야 한다는 것이다.

AI ①

AI G3 도약, 향후 3~4년이

골든타임 (세계일보, 2025.05.07.)

- 대한상공회의소는 한국이 AI 주요 3개국(G3)으로 도약하기 위한 10가지 정책 과제를 담은 건의서에서 “향후 3~4년이 AI G3로 도약할 수 있는 골든타임이므로 국가 역량을 집중해야 한다”고 말했다.
- 또 한국은 반도체, 에너지, 모델 등 각 분야에서 자체 역량을 갖춘 만큼 AI 잠재력이 크지만, 3대 투입 요소(에너지·데이터·인재)와 3대 밸류체인(인프라·모델·AI 전환)에서 정부의 정책적 지원이 요구되는데, 이른바 3+3 전략이다.
- 인프라 측면에선 AIDC 활성화를 위한 펀드를 조성해 초기 수요를 진작하고, 데이터센터 구축 행정 절차 간소화 등을 위한 ‘인허가 타임아웃제’ 도입의 필요성을 강조했다.
- 또한 한국형 대형언어모델(LLM) 개발을 시급한 과제로 꼽고 국내 각 기업이 보유한 데이터와 기술력을 결집해 협력의 장을 마련해야 한다고 주문했다.
- 에너지 측면에선 대규모 전력을 안정적으로 공급하기 위해 자가 발전소의 전력 거래 제한 완화, 전력 계통 영향 평가 유예 및 타임아웃제 등 관련 규제를 풀어야 한다고 주장했다.

AI ②

‘GPU 8496개 탑재’ 슈퍼컴퓨터 6호기 도입…

“세계 10위권 성능” (동아일보, 2025.05.15.)

- 국내 처음으로 고성능 그래픽처리장치(GPU)를 탑재한 국가 슈퍼컴퓨터 6호기가 도입된다. 정부는 이를 계기로 인공지능(AI) 컴퓨팅 인프라 구축 계획을 본격 추진할 방침이다.
- 과학기술정보통신부는 14일 슈퍼컴퓨터 6호기 구축을 위한 KISTI와 휴렛팩커드유한회사(HPE) 간 3,825억 원 규모의 계약을 12일 최종 체결했다.
- HPE가 세계에서 가장 뛰어난 슈퍼컴퓨터로 평가받는 미국의 ‘엘 캐피탄’ 등 여러 고성능 슈퍼컴퓨터 구축 경험이 있다는 점이 주요하게 작용했다.
- 엔비디아의 ‘GH200’ 등 최신 GPU 8,496개가 탑재된 6호기의 연산 능력은 600PF로 5호기 대비 23배 수준으로 높아졌고, 저장 공간 역시 205PB로 5호기 대비 10배로 커졌는데, 과기정통부는 6호기가 세계 10위권 수준의 성능을 갖추게 될 것이라고 밝혔다.
- 고성능 GPU가 탑재된 만큼 전체 자원의 30%는 AI 분야에 배분하기로 했으며, 전체 자원 중 90%는 대학과 정부 출연 연구기관에 무료로 제공할 예정이다.
- 과기정통부는 14일 ‘첨단 GPU 확보 추진 방안’을 발표했으며, 1조 4,600억 원 규모의 추가경정예산을 확보해 연내 첨단 GPU 1만 개를 확보하겠다는 계획이다. 또 대규모 GPU를 확보하고 구축할 수 있는 클라우드 기업(CSP)을 6월 말까지 선정하기로 했다.

조선

AI·로봇기업 손잡은 HD현대조선

용접 휴머노이드 만든다 (서울경제, 2025.05.09.)

- HD현대가 국내 최초 용접 휴머노이드 개발에 나선다. HD한국조선해양과 HD현대로보틱스는 AI 기반 휴머노이드 로봇 전문기업 '페르소나 AI', 로봇 엔지니어링 기업 '바질컴퍼니'와 '조선 용접용 휴머노이드 개발을 위한 업무협약(MOU)'을 체결했다.
- 협약 참여사들은 AI와 로봇 기술을 활용해 정밀 용접 작업이 가능한 휴머노이드를 개발, 조선소의 생산 효율성을 높이고 작업자의 안전을 강화할 방침이다.
- HD현대로보틱스는 AI에 기반한 용접 자동화 기술을 제공하고 로봇 성능 검증을 담당한다. HD한국조선해양은 실제 조선소 환경에서 휴머노이드를 테스트하고 현장 적용을 위한 데이터 및 기술 지원을 한다.
- 페르소나 AI는 휴머노이드 하드웨어 및 AI 기반의 로봇 제어 및 학습 알고리즘을 개발하고, 바질컴퍼니는 휴머노이드에 탑재할 용접 도구 개발과 테스트베드 구축을 담당한다.
- HD현대 관계자는 "용접 휴머노이드는 생산성 향상은 물론 작업자의 부담을 줄이고 안전성을 획기적으로 높일 것"이라면서 "조선소 작업에 최적화된 휴머노이드 구현을 통해 조선업 자동화의 새로운 패러다임을 만들어 나가겠다"고 했다.

방산

진격의 K방산, 유럽 수출 기대감 '쏟다'

(한국일보, 2025.05.09.)

- 한화에어로스페이스가 시가총액 5위에 오르는 성장세를 보이고 있는데, 효자산업으로 자리매김한 방위산업은 급변하는 국제 정세에 맞춰 동유럽과 북유럽을 중심으로 수출을 적극 타진하고 있다.
- 미국·유럽과 중국·러시아의 패권 충돌이 심화함에 따라 세계 방산 시장은 규모가 크게 늘었다. 북대서양조약기구(NATO·나토) 회원국들이 겪는 공통된 문제는 전차와 자주포처럼 당장 전투에 투입할 화력이 부족하다는 점이다.
- 국내 방산업체들은 나토가 겪는 화력 문제를 해결할 역량을 갖추었으며, 무기를 나토의 국방 품질 기준에 따라 개발해 왔기에 유럽 무기들과 호환성이 높고 신뢰성도 확보했다.
- 특히 동유럽 국가들이 미국과 독일을 제치고 한국에 무기 구매 러브콜을 보내는 데는 높은 가성비와 빠른 납기, 우수한 품질도 큰 몫을 하고 있다.
- 국내 업체들은 현지 공장 건설과 기술 이전을 포함하는 절충 교역을 내세우면서 유럽의 마음을 사로잡고 있다. 현대로템 관계자는 "철저한 현지화 전략을 통해 해외 생산 거점을 확보하고 인접 국가로 수출을 확대할 것"이라고 말했다.

자동차 ①

발 빠던 韓·日 자동차, 전기차 앞세워

다시 중국 공략 (조선일보, 2025.05.13.)

- 글로벌 자동차 기업들이 전기차를 앞세워 다시 중국 시장 공략에 나서고 있으며, 한국 현대차 또한 중국에 R&D센터를 늘리고 첫 중국 전용 전기차를 출시한다.
- 이는 내연차 대신 전기차에 집중하는 새로운 전략으로 중국 시장의 문을 두드리려는 것으로, 글로벌 시장에서 전기차 캐즘(일시적 수요 정체) 현상이 여전한 가운데 ‘나 홀로’ 성장하고 있는 중국 전기차 시장의 위상이 갈수록 커지는 여파다.
- 세계 최대 전기차 시장인 중국에서 설 자리를 잃으면 미래차 경쟁에서 도태될 수 있는 데다 미국발(發) 관세 전쟁 여파로 전기차 시장 규모가 1,000만 대가 넘는 중국을 소홀히 할 수 없기 때문이다.
- 현재 내연차 강호로 불리던 해외 업체들이 중국 시장에서 속수무책으로 밀려나고 있는데, 중국승용차협회(CPCA)에 따르면 중국 외 업체들의 중국 시장 점유율은 작년 상반기 기준 43%였다.
- 새로 중국에 도전하는 일본과 한국 기업들의 핵심 키워드는 현지화다. 도요타는 올 6월 상하이에 렉서스의 전기차 전용 공장을 건설할 예정이며, 지난달 중국에서 공개한 중국 전용 전기 세단 ‘BZ-7’부터는 화웨이의 소프트웨어 시스템을 채택했다.
- 중국만을 위한 신차 출시도 잇따른다. 닛산은 첫 전기 픽업트럭 ‘프런티어 프로’를 올 하반기에 미국이 아닌 중국에서 먼저 출시한다. 혼다 역시 작년 말부터 전기차 전용 공장 2곳(광저우·우한)을 가동하기 시작하여 중국 전용 전기차 브랜드인 ‘에’ 시리즈 등을 생산하고 있다.
- 현대차는 올 하반기 중국 시장만을 위해 개발한 첫 전기차 ‘일렉시오’를 선보인다. 또 2027년까지 신에너지차(전기차·수소차·플러그인하이브리드) 6종을 추가 출시하기로 했으며, 작년 말 상하이에 자율주행 등을 연구하는 ‘첨단기술연구개발센터’를 설립했다.
- 세계 최대 자동차 시장 중 하나인 미국은 관세 폭탄으로 시장 위축 우려가 크고, 유럽은 러시아와 우크라이나 전쟁 이후 경기 침체 여파가 계속되고 있어서 유럽 자동차 회사들에게도 중국 시장이 상대적으로 더 중요해졌다.
- 한때 중국 대체 시장으로 꿈꿨던 아세안·중동 등도 성장세가 주춤하다. HMG경영연구원에 따르면 작년 아세안 5국의 자동차 판매량은 전년 대비 6.3% 줄었다. 중동 역시 작년엔 성장률(0.3%)이 보합세로, 재작년(5.5%) 대비 크게 꺾였다.

자동차 ②

“5분 내 전기차 충전”…2028년

MCS 도입 추진 (전자신문, 2025.05.12.)

- 정부가 5분 내 전기차 완충을 목표로 2028년까지 ‘메가와트충전시스템(MCS)’을 도입하는 계획을 세웠다. 휘발유나 경유 차량 주유 시간에 준하는 급속 충전 서비스와 스마트 화재예방시스템을 겸비한 MCS 기술을 표준화해 전기차 전환 수용성을 높인다는 취지다.
- MCS란 8.8톤 이상의 대형 차량이나 선박을 위한 초급속 충전 시스템으로, 아직 국제 표준이 아직 제정되지 않아 정부는 드래프트(Draft) 버전으로 MCS 개발을 지원한다.
- MCS는 충전소를 효율적으로 운영하기 위해 일체형보다 파워뱅크-디스펜서 분리 구조로 개발될 예정이며, 차량 통신방식의 변경으로 인한 통신제어기(SECC), 고발열 처리를 위한 냉각 구조를 필요로 한다.
- 류필무 환경부 대기미래전략과장은 “인근 주유소에 5분 이내 충전 가능한 메가와트급 초고속 충전 인프라를 구축한다면 많은 국민이 안심하고 전기차 전환을 할 것”이라고 강조했다.
- 정부는 1단계로 국내 시장에서 기술·안전성을 검증·개선하는 한편, 국내 법규상 에너지저장시스템(ESS)과 연계한 하이브리드 시스템을 개발하고자 한다. 2단계로 MCS 도입에 속도를 내고 있는 북미 등 해외시장을 타깃으로 대용량 시스템을 개발할 계획이다.

이차전지 ①

美 공화 “전기차 세액공제 내년까지만 유지…

배터리 혜택도 단축” (동아일보, 2025.05.14.)

- 미 공화당의 하원의원들이 그간 한국산 전기차와 배터리 업체들이 혜택을 누렸던 전기자동차 세액공제를 조기에 없애는 법안을 12일(현지 시간) 발의했다.
- 이 혜택을 받기 위해 대규모 미국 투자를 단행했던 국내 자동차 및 배터리 업계에 적잖은 악재가 될 전망이다.
- 발의한 법안에는 당초 2032년 말까지였던 IRA 관련 세액공제 시한을 2026년 말로 6년 앞당기는 내용이 포함됐다. 법안이 통과되면 북미에서 생산된 전기차 신차를 구매할 때 대당 최대 7,500달러(약 1,065만원)를 공제해 주는 혜택이 내년 말까지만 유지된다. 또 이 법안은 2010~2025년 누적 판매량 20만 대 이상인 전기차를 2026년부터 세액공제에서 제외하기로 했다. 북미산이 아닌 상업용 전기차 또한 세액공제가 내년부터 폐지된다.
- 한국 배터리 업체들이 큰 혜택을 본 ‘첨단제조생산세액공제(AMPC)’의 지급 기한도 기존 2032년 말에서 2031년 말까지로 단축됐다. AMPC는 미국에서 생산된 배터리 셀과 모듈에 대한 세액공제인데, LG에너지솔루션, 삼성SDI, SK온 등 국내 기업들은 AMPC 혜택을 감안해 미국 공장을 운영해 왔다.
- 공화당은 이 법안을 독립기념일인 7월 4일 전까지 통과시키겠다는 각오다.

이차전지 ②

‘사용 후 배터리’ 국가자원 육성, 2027년

재생원료 인증제 시행 (전자신문, 2025.05.15.)

- 정부가 2027년 ‘배터리 재생원료 인증제도’를 도입한다. 폐배터리에서 회수된 황산니켈 등 유가금속을 재생원료로 인증하고, 신제품 배터리 내 사용 여부·함유율을 확인한다. 사용 후 배터리를 국가 핵심 자원으로 육성하고 순환 이용 활성화를 지원한다는 취지다.
- 업계는 재생원료, 재사용 제품 등 순환 이용 제품 수요 부족을 지적해 왔으며, 2027년 유럽연합(EU) 배터리법, 2031년 재생원료 사용 의무화 등 국제사회의 환경 규제 대응을 위한 지원 필요성도 제기되는 상황이다.
- 환경부는 국제 환경 규제에 대응하고 재생원료의 신뢰성을 높이기 위해 재생원료 인증제도를 도입한다. 또 재생원료 인증제도의 법적 근거를 마련하고 연내 인증 세부 방안을 마련한 뒤, 시범운명을 거쳐 2027년 본격 시행한다.
- 이차전지순환이용지원단의 배정한 부단장은 “생산자책임재활용제도(EPR) 대상 전기·전자제품에 재생원료를 사용한 배터리를 탑재할 경우 회수·재활용 의무량을 감면하는 등 재생원료 사용에 따른 다양한 인센티브도 마련하겠다”고 말했다.
- 또한 내년부터 EPR 대상 전기·전자제품을 전 품목으로 확대하게 되는데, 폐제품 내 배터리 회수율을 높일 것으로 기대된다.
- 한편 국내 재활용 기업의 해외 시장 진출 지원을 위해 현지 환경 규제를 충족하는 친환경 재활용 기술 개발을 지원하고, 재활용 가능 자원 비축시설 6곳을 재활용 원료 제품 보관장소로 민간에 임대해 국외 원료 반입을 지원한다.
- 또 순환 이용 촉진을 위한 규제 완화도 추진한다. 재활용 가능 자원의 유해성과 유가성을 고려해 양극재 제조공정 불량품 등을 순환자원으로 인정하는 방안을 검토하고 있다.

이차전지 ③

삼성SDI·전기안전공, 차세대 BESS

공동 개발 (서울경제, 2025.05.09.)

- 삼성SDI가 한국전기안전공사와 함께 극한 환경에서도 안전하게 사용할 수 있는 차세대 배터리에너지저장장치(BESS) 개발에 나선다.
- 한국전기안전공사는 BESS 안전 기술 개발을 위한 ‘극한 환경 대응 차세대 BESS 고신뢰성 검증 및 안전 기술 개발’ 국가사업의 주관기관으로 선정되었다고 밝혔다.
- 앞서 한국전기안전공사 산하 전기안전연구원은 영하 40~80°C의 극한 환경에서도 안전하게 사용할 수 있는 차세대 BESS 안전 기술을 세계 최초로 고안했다.
- 일반적으로 BESS는 저온 환경에서 내부 이온의 저항성이 높아져 효율적으로 전기를 저장하는 데 어려움을 겪게 되는데, 이를 새로운 안전 기술로 방어할 수 있게 된 것이다.
- 삼성SDI는 이번 기술의 실용화를 위해 자사 배터리를 공급하는 등 개발에 참여할 예정이다. 낮은 에너지 손실률은 물론, 자가 진단과 자가 복구 기능을 갖춘 표준모델 시제품을 2028년까지 개발한다는 목표다.

바이오 ①

트럼프 ‘약값 인하’ 행정명령…

“최대 90% 떨어질 것” (동아일보, 2025.05.14.)

- 미 트럼프 대통령이 미국의 처방약 가격을 낮추기 위한 행정명령에 서명했다.
- 그간 다른 나라의 3배에 가까웠던 미국 처방약 가격을 대폭 낮추겠다는 것으로, 트럼프 대통령은 이번 조치를 통해 미국 내 처방약 가격이 최대 90%까지 떨어질 수 있다고 언급했다.
- 이에 대해 글로벌 제약사들은 즉각 반발했는데, 약가가 줄어드는 만큼 신약 개발의 동기가 줄어들고, 약을 개발하는 R&D 비용 역시 감소해 결과적으로 미국 환자들에게도 부정적인 영향을 미칠 것이라고 했다.
- 국내 보건당국 및 바이오 업계에서도 이번 조치가 가져올 파장을 예의 주시하고 있는데, 글로벌 제약사들이 미국 정부가 참고할 만한 다른 나라의 약가를 높게 책정하거나 신약 출시를 보류할 수 있기 때문이다. 특히 한국처럼 낮은 약가를 강경하게 유지하는 국가들은 신약 출시에서 소외될 가능성도 있다.
- 반면 상대적으로 가격이 저렴한 바이오시밀러(바이오의약품 복제약)를 수출하는 셀트리온, 삼성바이오에피스는 약가 인하 정책으로 반사이익을 얻을 수 있다고 보고 있다.

바이오 ②

25조 시장 노리는 K바이오 “RNA 치료제 생태계 구축” (이투데이, 2025.05.07.)

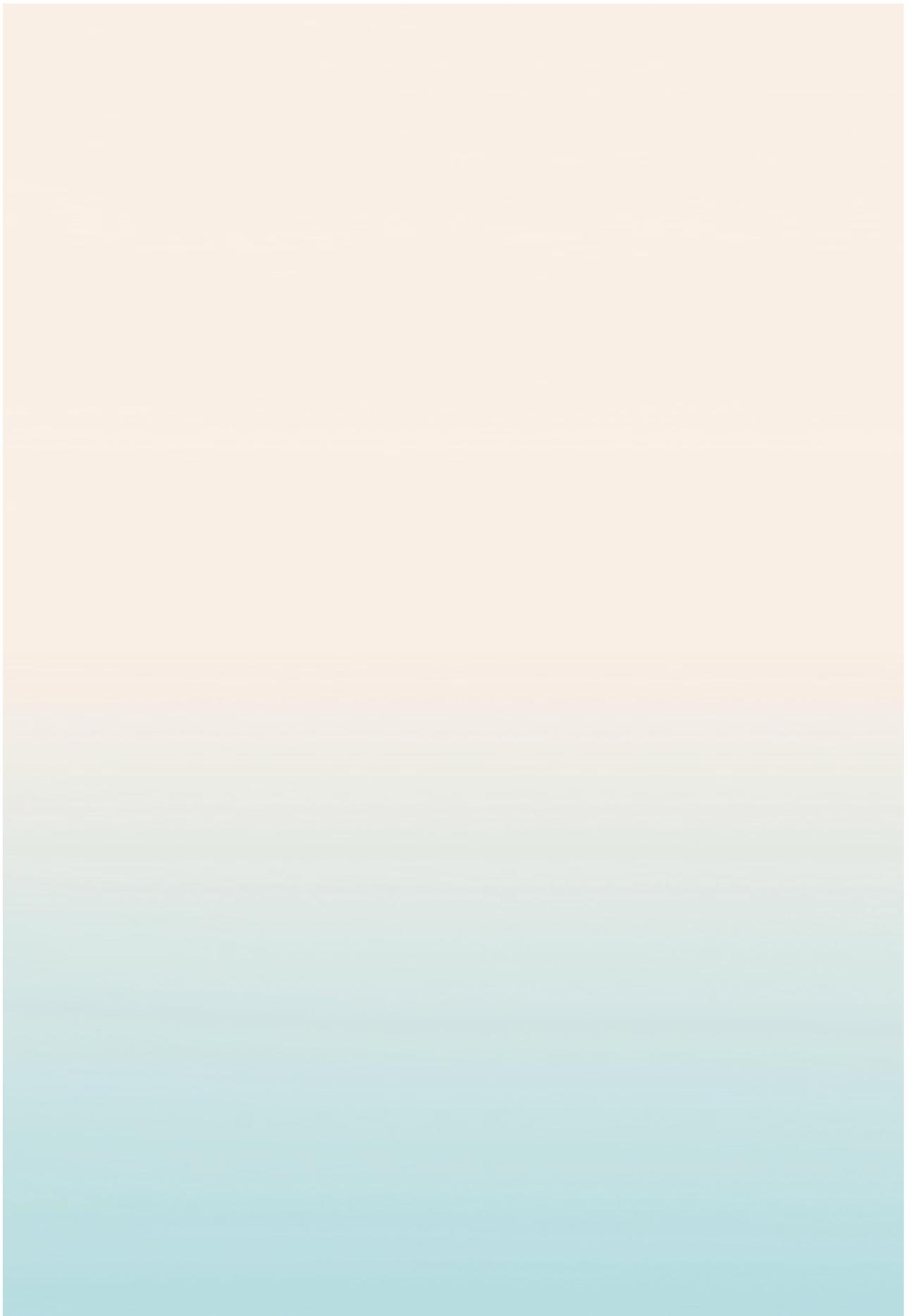
- K바이오 기업들이 최근 주목받고 있는 리보핵산(RNA) 치료제 시장에서 원료 생산부터 플랫폼 개발, 후보물질 발굴까지 글로벌 생태계를 구축해 나가고 있다.
- 6일 제약·바이오업계에 따르면, 에이비엘바이오와 올릭스는 RNA 기반 기술을 바탕으로 글로벌 제약사와 기술수출 계약을 체결했고, 에스티팜은 RNA 치료제의 핵심 원료인 올리고뉴클레오타이드를 생산할 수 있는 기반을 확보해 RNA 치료제 생산기지로 입지를 다지고 있다.
- RNA 치료제는 디옥시리보핵산(DNA)의 유전 정보를 바탕으로 단백질 생성을 차단하거나 조절하는 방식으로 작용하는데, 기전과 구조적 특성에 따라 짧은 간섭 리보핵산(siRNA), 메신저 리보핵산(mRNA), 안티센스 올리고(ASO) 등으로 구분된다. 이들 치료제는 희귀 질환부터 암, 감염병 등 다양한 질환에 적용될 수 있어 차세대 치료제로 주목받고 있다.
- 에이비엘바이오는 지난달 초 글락소스미스클라인(GSK)과 최대 4조 1,000억 원 규모의 기술 이전 계약을 체결했다. 이번 계약은 뇌혈관장벽(BBB) 셔틀 플랫폼 ‘그랩바디-B’를 기반으로 새로운 퇴행성 뇌질환 치료제를 공동 개발하기 위한 것이다.
- 그랩바디-B는 인슐린 유사 성장인자1수용체(IGF1R)를 활용해 약물이 BBB를 넘어 뇌 조직까지 효과적으로 전달되도록 할 수 있는 기술이다. GSK는 이 플랫폼을 활용해 항체는 물론, siRNA, ASO 등 올리고뉴클레오타이드나 폴리뉴클레오타이드 기반의 퇴행성 뇌질환 치료제 개발에 나설 계획이다.
- 올릭스는 올해 2월 일라이 릴리와 siRNA 기반 대사이상 지방간염(MASH) 및 기타 심혈관·대사 질환 후보물질인 ‘OLX702A’에 대해 기술 수출 계약을 맺었다. OLX702A는 siRNA 기반으로 MARC1 유전자를 타깃해 미토콘드리아 기능을 활성화하는 기전이다. 기존 MASH 치료들이 간단한 증상 개선에 그쳤던 것과 달리 미토콘드리아 자체를 활성화해 더 근본적인 해결책을 제시한다는 점에서 차별성이 있다.

기타

재계 ‘글로벌 사우스’ 주목…

대체 판로 뚫는다 (아주경제, 2025.05.09.)

- 우리나라의 주요 수출국인 미국·중국을 둘러싼 경제적 불확실성이 증폭되면서 재계가 대체 판로 개척에 사활을 걸고 있다. 특히 중국을 제치고 세계 1위 인구 대국으로 등극한 인도 공략에 공을 들이는 모습이다.
- 9일 재계에 따르면, 인도와 관련해 ‘1990년대 초기 중국처럼 저렴하고 풍부한 노동력을 공급할 수 있고 구매력도 크게 증가할 가능성이 높은 국가’라는 평가다.
- 인도 정부 역시 ‘메이크 인 인디아(Make in India)’ 정책을 앞세워 외국인 투자 유치에 적극적이며, 생산연계인센티브(PLI) 등 다양한 지원책으로 투자 기업에 화답하고 있다.
- 삼성전자는 1995년 인도에 진출한 후 노이다·첸나이 공장과 애프터서비스(AS)센터 3,000곳 등 광범위한 현지 인프라를 구축하면서 인도 최대 전자기업으로 성장했다.
- LG전자는 노이다·푸네 공장에 이어 스리시티에 3공장을 짓기 시작했으며, 현대차그룹은 첸나이·아난타푸르 공장에 더해 푸네에 3공장을 건설 중이다.
- 지난해 12월 인도 공대 3곳과 혁신센터를 설립한 현대차는 올해부터 5년간 100억 원을 투자해 소프트웨어(SW), 배터리, 전기차 등에 대한 공동 연구에 나선다.
- 인도 내 4곳에 연구소를 둔 삼성전자는 산학 협력 강화를 위해 현지 대학들과 공동으로 삼성 이노베이션 캠퍼스를 설립하고 있다.
- 인도를 넘어 남반구 주요 개발도상국을 일컫는 ‘글로벌 사우스’에 대한 관심도 고조되는 분위기다. 국제금융센터 통계를 보면, 우리나라 전체 수출 중 글로벌 사우스 비중은 약 30%에 달한다. 단일 경제체는 아니지만, 미국(18.7%)과 중국(19.5%)보다 높다.
- 코트라 관계자는 “글로벌 사우스 지역으로 새로 진출하려는 기업들에서 문의가 많았다”며 “중동아시아에 대한 관심도 커지고 있고, 인도는 자동차·부품·철강 기업들이 관심을 보였다”라고 설명했다.



산업/기술 동향

- 1 새로운 생태계로 진화하는 휴머노이드 로봇
- 2 Physical AI의 등장과 휴머노이드 로봇의 산업화
- 3 AI 자율제조 기술 동향
- 4 제조 AI 파운데이션 모델 및 제조 특화 공통 AI 모델 개발

새로운 생태계로 진화하는 휴머노이드 로봇

박일우 로봇 PD | KEIT 기계로봇장비실

전진우 센터장 | 한국로봇산업진흥원 휴머노이드센터

요약

- 글로벌 경제사회 환경의 변화에 따른 노동력 공급 부족 현상은 인공지능 기술의 발전을 배경으로 한 피지컬 AI의 핵심인 휴머노이드 로봇에 주목하도록 만들었다. 휴머노이드 로봇이란 인간(human)의 형태와 움직임을 유사하게 모방한(-oid) 로봇을 뜻하며, 인간에게 위험하고 도달하기 어려운 공간에서의 작업을 대신 수행할 수 있다는 장점을 지닌다.
- 로봇 학습 기술의 발달은 휴머노이드 로봇을 보다 유용하게 만드는 역할을 한다. 크게 동작 데이터 수집 기술과 행동 복제 기술로 나뉘는데, 이를 토대로 로봇 파운데이션 모델에 기반한 학습 데이터 증강 기술이 발달하고 있다.
- 로봇 학습 기술의 발달은 다양한 휴머노이드 로봇 개발을 촉발시키고 있다. 미국의 피규어 01 (OpenAI, FigureAI), 아폴로(Apptronik), 리플렉스 로봇(Reflex Robotics), 옵티머스(Tesla) 등이 버전을 업그레이드하여 발표하고 있다. 또한 각국은 동작 제어 퍼포먼스를 보여주는 중국의 GR-1 (Fourier Intelligence), G1 (Unitree Robotics), 한국의 RB-Y1 (레인보우로보틱스), 아틀라스(보스턴다이내믹스), 일본의 티칭 로봇(Toyota Research Institute), 캐나다의 피닉스(Sanctuary AI), 노르웨이의 네오(1X Technologies) 등을 선보이고 있다.
- 우리는 한국형 파운데이션 모델 기술을 고도화하고 국내 로봇 데이터의 집적화, 클라우드 로보틱스 기반의 로봇 데이터 통합 아키텍처를 구상해야 하며, 미·중 간 첨예한 경쟁 속에서 생존 전략을 마련해야 한다. 아울러 휴머노이드 로봇이 미래 국가 안보와 연결되리라는 예측에 대비하여 사전 준비가 필요한 시점이다.

1. 휴머노이드 로봇의 대두

배경

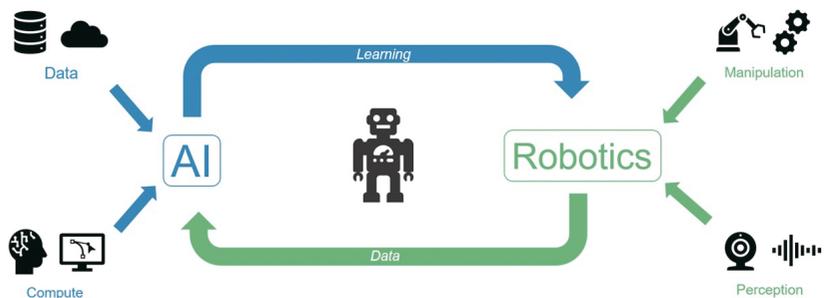
- 인건비 상승과 고령화 및 글로벌 공급망 재편 등 경제사회적 환경의 변화에 따라 노동력 공급 부족 현상이 나타나고 있으며, 각국에서는 경쟁력을 유지하기 위해 다양한 노력을 기울이고 있다. 특히 디지털 시대를 지나 거대 언어 모델(LLM) 기반의 ChatGPT 같은 상용화 인공지능 서비스가 확산되면서 AI 시대로의 전환이 가속화되고 있다.
- 아날로그 시대가 디지털 시대로 전환되기 위해서 Digitization(디지털화) 과정이 이루어졌듯 AI가 모든 학습 데이터를 이해하기 위해 Tokenization(토큰화) 과정이 요구되고 있다. 자연어, 이미지, 소리, 물리 법칙 등 데이터의 조합을 통해 토큰을 만들어 주는 알고리즘이 개발되면서 AI가 비로소 효용 가치를 드러내기 시작했다. 이런 배경 가운데 물리적 세계에서 동작이 이뤄지는 피지컬 시인 휴머노이드 로봇이 주목을 받고 있다.
- 휴머노이드 로봇이란 인간(human)의 형태와 움직임을 유사하게 모방한(-oid) 로봇을 뜻한다. 일반적으로 인간 근골격계의 모양과 해부학 및 이족 보행 능력을 모방하는 방식으로 설계가 이뤄지며, 고도의 센서 시스템과 인공지능이 요구된다. 휴머노이드 로봇은 인간의 행동 공간에서 같은 도구와 기물들을 활용하는 데 용이하며, 나아가 인간에게 힘들고 위험할 뿐 아니라 도달하기 어려운 공간에서의 작업을 대신 수행할 수 있다는 장점이 있다.

그림 1

휴머노이드 로봇의 대두 배경

출처: 모건스탠리리서치

(2024.06.)



휴머노이드 로봇 시장 예측

- 현재 미국과 중국의 휴머노이드 로봇 기업들을 중심으로 본격적인 양산 계획을 밝히고 있으며, 2025년은 휴머노이드 로봇 산업의 원년이 될 것으로 전망되고 있다.

- 글로벌 투자은행 골드만삭스의 보고서에 의하면 글로벌 휴머노이드 시장 규모는 연평균 50.2%의 고성장이 예상되며, 오는 2030년에 138억 달러(약 20조 원), 2035년에는 약 380억 달러(약 55조 원) 규모로 성장이 예상된다.
- 모건스탠리는 향후 10년 내 최대 60조 달러(약 8경 6,622조 원)까지 성장할 것이라는 전망과 함께 휴머노이드 로봇이 향후 10년간 기술 투자의 핵심 주체가 될 것이라는 장밋빛 전망을 제시하기도 했다.

그림 2

휴머노이드 로봇 시장 성장 전망
출처: 골드만삭스, 「머니투데이」
재인용 (2024. 12.)



2. 로봇 학습 기술 동향

동작 데이터 수집 기술

- 인간의 동작 데이터 수집 방법에 따라 관련 기술을 크게 비전 센서 기반과 착용형 센서 기반의 2가지 방식으로 구분할 수 있다. 비전 센서 기반은 다시 마커 사용과 마커 미사용으로 구분된다.

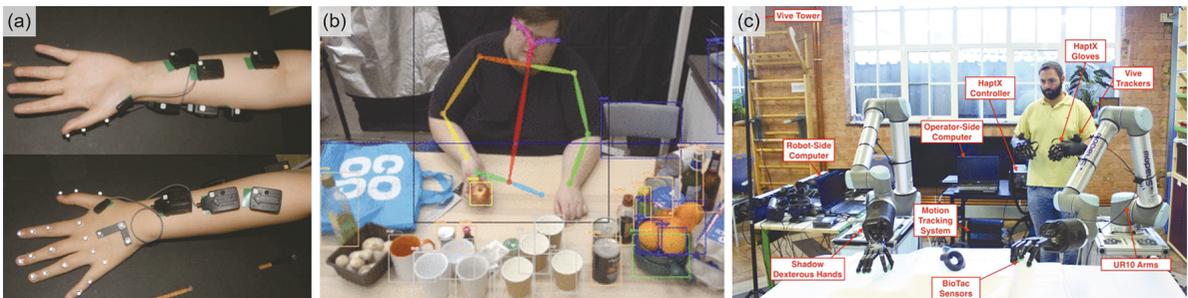


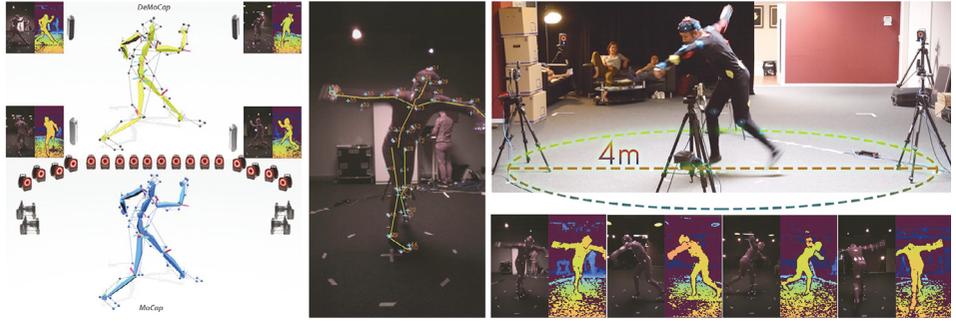
그림 3

동작 데이터 수집 방법:
(左) 비전 센서 기반(마커 사용),
(中) 비전 센서 기반(마커 미사용),
(右) 착용형 센서 기반

- 비전 센서 기반 마커 사용 방식은 반사 마커나 기타 시각적 요소를 신체에 부착하여 사람의 움직임을 추정하는 기술이다. 다른 동작 데이터 수집 방식에 비해 높은 정확도로 사람의 동작 자료를 수집할 수 있으나 물리적인 마커를 신체에 부착해야 하므로 자연스러운 동작을 방해할 수 있다는 단점이 있다.

그림 4

적외선-깊이 카메라를 사용하는 마커 기반 VR 모션 캡처 애플리케이션인 DeMoCap
출처: *International Journal of Computer Vision* (2021.10.)



○ 비전 센서 기반 마커 미사용 방식은 사람의 관절과 같은 본질적인 특징을 인식하여 움직임을 추정하는 기술이다. 수집된 이미지로부터 추론을 통해 신체적 특징을 추출하기 때문에 카메라 노이즈와 같은 외란(disturbance)의 영향을 받아 마커 기반의 방식보다 정확성은 떨어질 수 있으나 자연스러운 동작 데이터를 얻을 수 있고 전신 동작을 추정하는 데 더 적합한 것으로 평가된다.

그림 5

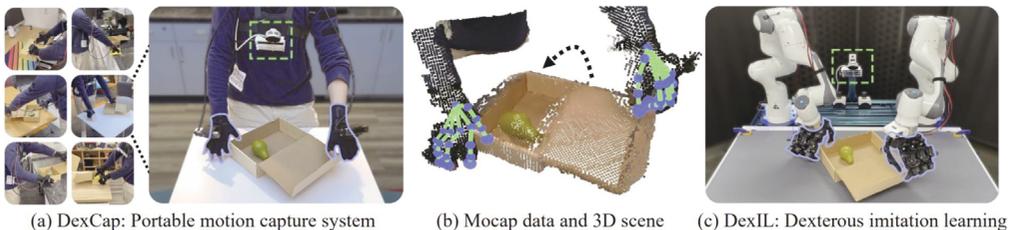
단일 이미지에서 손을 3D로 재구성할 수 있는 접근법인 HaMeR (Hand Mesh Recovery)
출처: CVPR papers (2024)



○ 착용형 센서 기반 방식은 사람의 신체 일부(손, 팔 등)에 센서를 부착한 후 수집되는 움직임 데이터를 사용하여 사람의 움직임을 추정하는 방식이다. 센서 배치로 인한 다중 센서 교정, 자기장 매핑과 관련된 문제가 존재하지만, 비전 센서 기반의 데이터 수집 기술보다 넓은 작업 공간을 가진다는 장점이 있다.

그림 6

휴대형 손 동작 캡처 시스템인 DexCap
출처: Stanford University (2024.07.)



행동 복제 기술

- 행동 복제(BC, Behavior Cloning)란 로봇의 행동 정책(policy, π) 학습을 위한 강화 학습 과정에서 초기 탐색(exploration)을 최소화하기 위해 인간의 전문가 시범(expert demonstration)을 통해 연속된 상태-동작 시퀀스(state-action sequence) 궤적을 수집하여 모방하도록 지도 학습(SL, Supervised Learning)하는 것을 의미한다.
- 인간 전문가가 제공한 상태와 그에 대응하는 행동을 학습 데이터로 사용하여 학습된 정책이 동일한 상태에서 같은 행동을 출력하도록 하는 기술이다. 즉 학습된 정책이 전문가의 행동을 최대한 정확하게 모방하는 방향으로 조정되어 새로운 상태에서도 전문가와 유사한 행동을 취하도록 한다.
- 이러한 행동 복제 기술은 환경과 상태의 복잡도가 낮은 단순 작업의 경우 학습 효율성이 높지만, 전문가가 제공하지 않은 상태-동작 시퀀스가 요구되는 높은 환경 복잡도에서의 작업은 오차가 커지고 성능이 급격히 저하될 수 있는 한계가 있다.
- 행동 복제의 한계는 제한된 탐색(limited exploration)에서 발생하게 되며, 최근 보다 넓은 상태 범위에서 높은 품질의 전문가 시범을 제공·수집할 수 있도록 하는 다양한 기술이 발표되고 있다. 특히 마스터-슬레이브(master-slave) 방식의 원격제어부터 비전 기반의 모션 캡처까지 다양한 입력 방식을 통합해 복잡한 행동을 보다 효과적으로 캡처하고, 행동 복제에서 일반적으로 발생하는 분포 불일치를 줄이기 위한 연구가 계속되고 있다.

그림 7

스탠퍼드대

Trossen Robotics의 모바일 알로하(Mobile ALOHA) 시스템(左)과 DexCap(右)의 사례

출처: UC Berkeley (2023.04.), Stanford University (2024.07.)

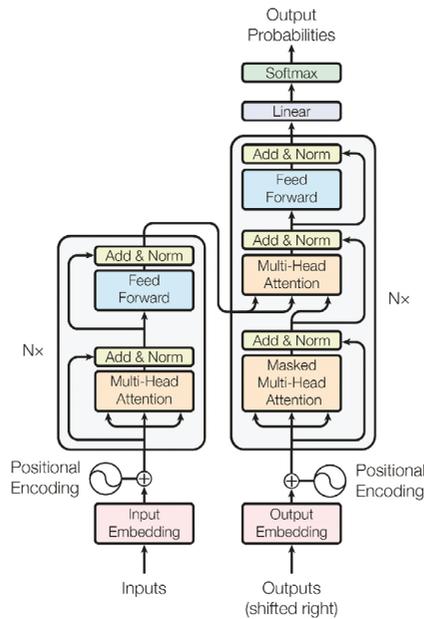


- Transformer는 딥러닝 아키텍처로 2017년 Google이 자연어 처리를 위해 2017년에 발표된 “Attention Is ALL You Need” 논문에 처음 소개되었다. 데이터의 각 부분을 병렬로 처리할 수 있어 대규모 데이터 세트를 효율적으로 학습할 수 있으며, Self-Attention 메커니즘을 가지고 있어 자연어 처리의 전통적 모델인 RNN(Recurrent Neural Network)과 LSTM(Long Short-Term Memory)이 가지고 있는 긴 문장에 대한 제약 문제를 해결한 것으로 평가된다.

그림 8

Transformer Model의 아키텍처

출처: “Attention Is All You Need” (2023.08.)



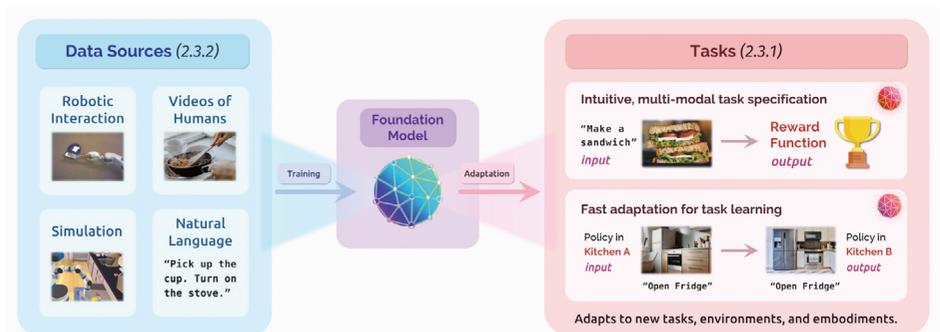
- Foundation Model은 Transformer 아키텍처를 활용한 것으로, 대규모 데이터 세트를 활용해 사전에 학습된 인공지능 모델이다. 특정 작업에 맞게 추가적인 학습을 통해 자연어 처리, 컴퓨터 비전, 멀티모달[비전-언어], 로봇공학 등의 도메인에 적용할 수 있다.

그림 9

로봇공학 도메인에 적용된

Foundation Model

출처: Stanford University (2022.07.)



- 자연어를 처리하기 위해 LLM(Large Language Model)은 많은 양의 텍스트 데이터로부터 학습된 모델로 텍스트 생성, 문서 요약, 번역 등을 할 수 있다. LLM 모델에는 OpenAI에서 개발한 GPT(Generative Pre-trained Transformer)와 Google에서 개발한 BERT(Bidirectional Encoder Representations from Transformers) 등이 있다.
- 그러나 로봇 Foundation Model은 로봇에게 요구되는 task(작업)를 동적으로 변화하는 실세계에 적용하는 데 많은 불확실성을 가진다는 한계가 있다. 로봇 학습에 사용되는 데이터는 복잡하고 동적으로 변화하는 실제 세계의 환경을 반영해야 하지만, 특정 상황에 국한되어 데이터가 수집되면서 데이터가 양적으로 부족하고 다양성이 떨어질 수밖에 없다.
- 또한 로봇 Foundation Model은 다양한 작업과 환경에 적용되기 위해 범용성을 갖추어야 하지만, 모델을 학습시키는 동안 데이터 세트 내에 존재하는 task로 특화된다는 문제점이 존재한다. 이에 따라 다양한 데이터를 만들기 위해 자동으로 데이터를 수집하는 연구와 동작들 간의 유사성을 반영해 일반화를 진행하는 보완 연구가 지속되고 있다.

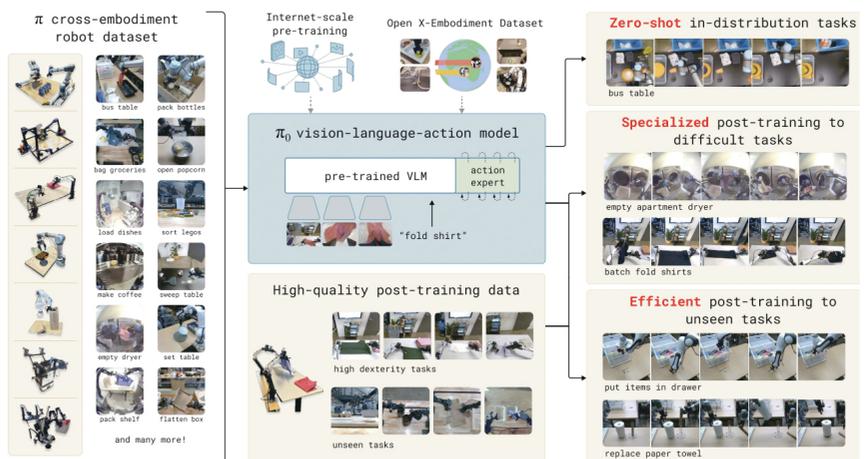
그림 10

구글 딥마인드에서 로봇이 주변 환경을 더 잘 이해하고 탐색할 수 있도록 하는 기술인 AutoRT
출처: Google Deepmind (2024.07.)



그림 11

서로 다른 환경에서도 빠르게 작업을 학습하고 수행하도록 개발한 Physical Intelligence의 로봇 제어 소프트웨어인 π_0 (Pi-zero)
출처: imaginative.com (2024.10.)

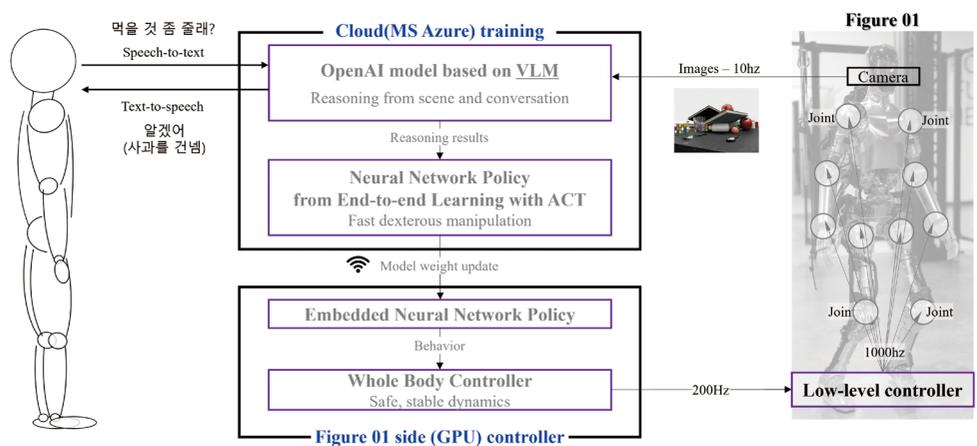


3. 국내외 휴머노이드 개발 동향

미국 OpenAI의 Figure 01

- ‘Figure 01’은 OpenAI의 ChatGPT 비전과 speech-to-speech 기술을 사용한 대화형 휴머노이드 로봇으로, OpenAI의 AI 기술을 사용하여 시각적 판단과 언어 이해 능력을 갖추고 있다.
- Figure 01은 언어 추론과 처리를 위해 GPT와 같은 OpenAI의 거대 언어 모델을 활용한다. 이를 통해 자연어를 사용해 사람의 명령을 이해하고 상호작용할 수 있으며, 언어 입력과 함께 시각적 정보를 이해하고 처리하기 위해 시각 언어 모델(VLM)도 사용하고 있다. 이는 GPT의 언어 모델과 DALL·E 이미지 생성기 같은 AI 기술이 통합된 모델이다.

그림 12
Figure 01의
작동 프레임워크



미국 Appteronik의 Apollo

- ‘Apollo’는 작업자와 같은 공간에서 작업을 수행할 수 있는 범용 휴머노이드 로봇으로, 주변 상황에 따라 동작 속도를 조절하거나 멈출 수 있다. 엔비디아의 로봇 학습을 위한 새로운 범용 기반 모델인 프로젝트 ‘그루트(GR00T)’와 통합되어 향상된 서비스를 제공한다.
- Apollo의 주요 컴퓨팅 시스템에는 온보드 NVIDIA Jetson AGX Orin 및 Jetson Orin NX 모듈이 포함되어 GR00T 기반 모델을 효율적으로 사용하여 다양한 작업을 수행할 수 있으며, 인간의 시범을 통해서 학습할 수 있다.

그림 13

Apptronik의 휴머노이드 로봇
'Apollo'

출처: 애플트로닉(apptronik.com)



미국 Reflex Robotics의 Reflex Robot

- 'Reflex Robot'은 반복적인 작업을 수행하는 작업자를 지원하도록 설계된 휴머노이드 로봇이다. 내부 디자인은 센서와 로봇 암이 위아래로 움직일 수 있는 바퀴형 베이스에 연결된 몸통으로 구성되어 있으며, 박스/음료 포장, 팔레타이징, 피킹 작업 등을 수행할 수 있다.
- 또한 HITL(Human-in-the-loop) AI 기술을 적용하여 사람과 로봇 간의 상호작용에 초점을 맞추고 있는데, 사람의 피드백(데이터에 레이블을 붙이거나 모델의 출력을 검토/수정)을 통해 지속적으로 학습하면서 성능을 개선할 수 있다는 것이 특징이다.

그림 14

Reflex Robotics의
휴머노이드 로봇 'Reflex Robot'

출처: Brian Heater



미국 Tesla의 Optimus

- 테슬라는 2026년 대량생산을 목표로 한 휴머노이드 로봇 ‘옵티머스’ 프로젝트를 진행하고 있다. 이미 약 1,000대의 로봇을 공장에 시범 배치하기 위해 추진 중이다. AI 기술과 센서 융합을 통해 복잡한 가정이나 산업 환경에서도 안정적인 작업의 수행을 목표로 하고 있다.
- 인간의 동작 데이터를 수집할 수 있는 모션 캡처 기술을 활용하여 옵티머스의 동작을 훈련시키고 있다. 이와 같은 방법은 로봇이 인간의 동작을 모방할 수 있도록 하는 비용 대비 효율적인 방법으로, 옵티머스를 활용한 가사 지원, 노인 돌봄, 일상적인 집안일 등 다양한 분야에서 활용을 추진하고 있다.
- 특히 테슬라의 Full Self-Driving(FSD)을 기반으로 하는 주변 환경 인식 기술과 강화 학습 기반 제어 기술을 통해 휴머노이드 로봇이 계란을 깨지 않고 잡는 등 고차 행동 수행이 가능하게 했다.

그림 15

Tesla의 휴머노이드 로봇
Optimus Gen 2

출처: 유튜브 Tesla 채널



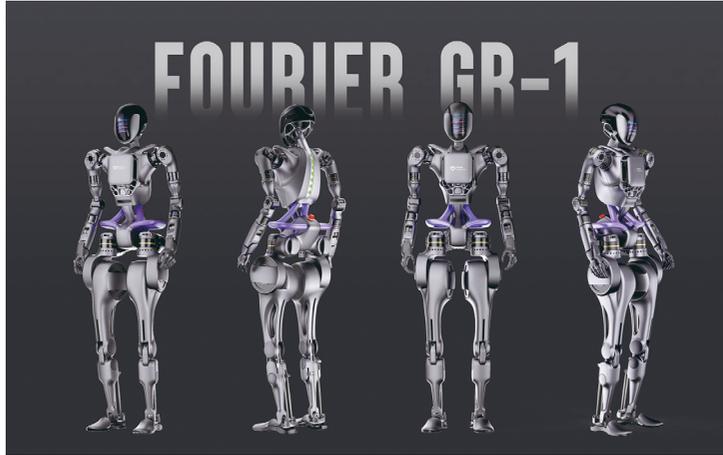
중국 Fourier Intelligence의 GR-1

- ‘GR-1’은 양산형 휴머노이드 로봇으로 인간과 같은 생체 공학적 구조로 되어 있어 빠르게 걷거나 경사면을 안정적으로 내려올 수 있다. 특히 둥근 물체를 잡을 때 인간 손가락의 동작 범위를 모방하여 물체를 안정적으로 잡을 수 있고, 시각적 피드백을 활용해 물체를 잡기 위한 동작 경로를 자동으로 계산할 수 있다는 특징이 있다.

- LLM 기반의 자연어 처리와 음성 인식을 활용하여 말하고 들을 수 있기 때문에 인간이 명령을 내리면 이해하고 응답할 수 있다.

그림 16

Fourier Intelligence의
휴머노이드 로봇 GR-1
출처: Fourier Intelligence

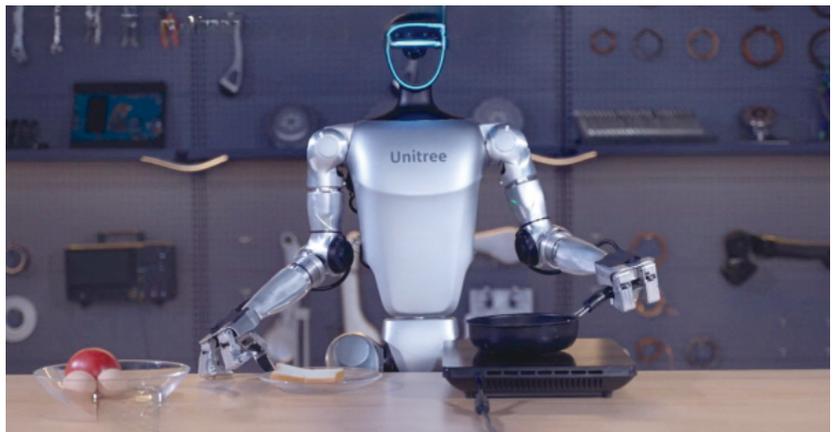


중국 Unitree Robotics의 G1

- 'G1'은 연구와 산업 응용 및 교육 목적으로 다용도·적응형 플랫폼으로 설계되었다. 23~43 자유도를 가졌으며, 힘-위치 하이브리드 제어 기술을 결합하고 사람의 손동작을 시뮬레이션하여 정밀한 작업도 수행할 수 있다. G1은 인간과 상호작용이 필요한 다양한 작업을 지원하는 것을 목표로 한다.
- 또한 G1은 자연어를 이해하고 생성하여 인간과의 상호작용을 촉진할 수 있으며, 시각적 정보를 언어 입력과 통합하여 환경을 해석하고 반응하는 능력을 향상시킬 수 있다는 것이 특징이다.

그림 17

Unitree Robotics의
휴머노이드 로봇 G1
출처: Unitree Robotics



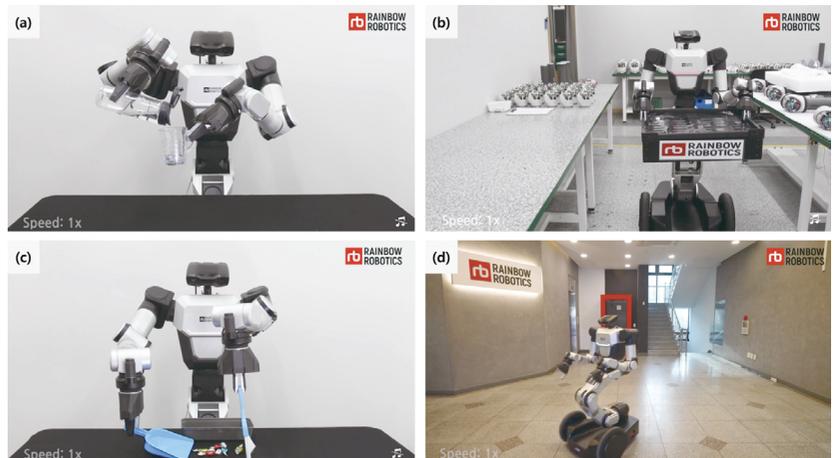
한국 Rainbow Robotics의 RB-Y1

- ‘RB-Y1’은 2024 스마트공장·자동화산업전(SF+AW 2024)에서 일반 대중들에게 최초 공개되었다. 이동형 양팔 로봇으로 외팔형이나 고정형 산업용 로봇의 한계를 극복하여 다양한 산업 현장에서 반복적이고 정밀한 작업을 가능하게 했다.
- 양팔의 자가 충돌 영역을 설정하여 demonstration을 수행할 때 스스로 충돌을 방지하는 기술(Self-Collision Detection)을 채택하고 있으며, 로봇이 주변 지도를 만들고 탐색할 수 있도록 SLAM 기술을 자율 탐색에 사용하고 있다.
- 모바일 알로하와 유사하게 Master-Slave Teleoperation을 통해 demonstration data를 습득해 저장하고 학습한다. 알로하와 다른 특징으로는 Master Device로 Master Arm이나 VR Device를 이용한다는 점이다.

그림 18

레인보우로보틱스의 RB-Y1

출처: 레인보우로보틱스

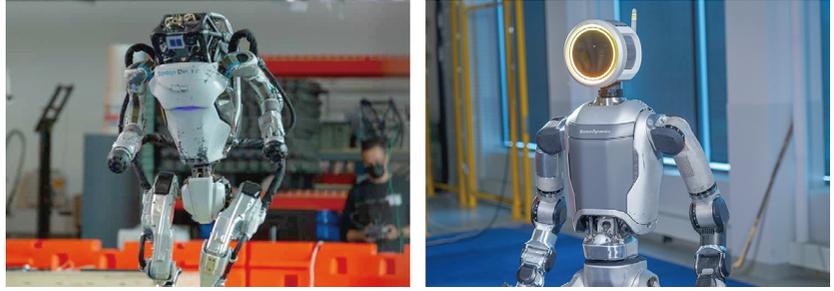


한국 Boston Dynamics의 ATLAS

- 2013년 처음 공개된 Boston Dynamics의 ATLAS는 인간의 운동 능력을 가진 휴머노이드 로봇을 목표로 개발되었다. 실시간 주변 환경 인식과 모델 예측 기반 제어를 통해 험지 극복, 균형 잡기, 파쿠르 등의 동작이 가능하다.
- 2024년 기존 유압식 구동의 ATLAS가 아닌 전기 구동의 새로운 ATLAS를 공개했는데, 전기 구동식 ATLAS는 효율적인 동작을 위해 동작 범위를 기존의 ATLAS와 다르게 인간의 동작 범위에 제한되지 않는 특징이 있다.

그림 19

Boston Dynamics의
휴머노이드 로봇 ATLAS
출처: 보스턴 다이내믹스



일본 Toyota Research Institute의 Teaching Robot

- TRI는 집처럼 복잡하고 역동적인 환경을 지원할 수 있는 ‘Teaching Robot’을 만드는 데 중점을 두고 있으며, 능숙한 조작, 변형이 가능한 물체의 처리, 투명이나 반사 표면과의 상호작용 등 다양한 작업을 수행할 수 있다.
- 노인이나 장애인 지원에 중점을 두고 청소, 요리, 정리 같은 집안일을 수행함으로써 가사 업무 지원, 의료 관련 지원을 제공할 뿐 아니라 일상적인 의료 절차도 수행하여 환자 치료와 재활 등의 업무까지 지원하는 것을 목표로 하고 있다.
- 티칭 로봇은 데모를 통해 새로운 동작을 빠르고 안정적으로 학습할 수 있고, 광범위한 프로그래밍이나 시행착오 주기의 필요성이 크게 줄어든다는 특징이 있다. 또 Visuomotor Policy를 조건부 잡음 제거 확산 프로세스로 표현하여 로봇의 동작을 생성하는 새로운 방법을 연구하고 있다.

그림 20

TRI의 Teaching Robot
출처: Toyota Research
Institute



캐나다 Sanctuary AI의 Phoenix

- Sanctuary AI에서 범용적으로 활용하기 위해 개발한 휴머노이드 로봇인 ‘Phoenix’는 AI 제어 시스템인 Carbon™으로 구동되며, 다양한 센서 정보를 바탕으로 인간과 상호작용하고 스스로 판단하여 작업을 결정하고 수행한다. Phoenix는 작동 측면에서 Carbon™ AI 시스템 하에서의 자율 수행, 조종사의 원격제어, Pilot-Assisted 작동의 3가지 방식으로 운영이 가능하며, 아직은 보행이 불가능하다.
- Phoenix는 특정 작업에 대해 학습시켜서 특정 목적으로만 사용하는 것이 아니라 사람이 할 수 있는 모든 작업에 대해 범용적으로 수행하기 위해 개발되었다. 현재까지 공개된 수행 가능한 작업에는 바코드 스캔하기, 샌드위치 만들기, 혈압 측정하기 등이 있다.
- Carbon™은 Sanctuary AI의 독점 AI 제어 시스템으로 딥러닝과 강화 학습을 통해 훈련된 AI를 사용하며, 이를 통해 Phoenix가 사람과 같이 생각하고 행동할 수 있도록 한다. LLM을 통해 사람과 의사소통이 가능하므로 사람의 지시대로 작업을 수행하거나 질문을 하거나 협조를 구하는 등 상호작용이 가능하다.

그림 21

물건의 바코드를 스캔하는 Phoenix

출처: Sanctuary AI



노르웨이, 1X Technologies의 NEO

- 노르웨이의 로봇 기업 1X Technologies는 차세대 가정용 휴머노이드 로봇 ‘NEO Gamma’를 선보이며 주목받았다. 가정 내 이동과 물건 조작 능력을 크게 강화하여 커피 내리기, 빨래, 청소 등 일상의 가사 업무를 수행할 수 있도록 고안된 것이 특징이다.

- NVIDIA GROOT N1 모델을 활용해 컵을 잡는 행동, 손에서 손으로 옮기는 행동 등 NEO의 행동 모델을 훈련했다. 또 강화 학습 및 시뮬레이션-현실 간 오차 최소화 기법을 함께 활용해 가정이라는 환경의 복잡한 요소에도 적용할 수 있는 자율성과 안정성을 확보하고자 했다.
- 시뮬레이션에서는 사전에 대규모 훈련을 수행한 뒤 최소한의 추가 데이터만으로 실제 가정 내 환경에 빠르게 적응하는 방식을 도입했다.

그림 22

X1 Technologies의
휴머노이드 로봇 NEO Gamma
출처: Nvidia



4. 시사점

- 한국형 로봇 파운데이션 모델 기술의 고도화 필요
 - 로봇 파운데이션 모델 기술이 데이터 생성, 시뮬레이션 데이터 활용, 데이터 증강, 학습 및 업데이트 등의 기능을 기반으로 로봇의 학습 효율성·성능에 크게 이바지하는 기술인 만큼 향후 그 중요도가 급격히 증가할 것으로 예상된다. 그러므로 한국형 로봇 파운데이션 모델 기술의 고도화에 적극적 지원이 필요할 것으로 판단된다.
- 국내 로봇 데이터의 집적화 추진
 - 점차 대규모화될 것으로 예상되는 로봇 데이터의 수집, 저장, 처리, 관리뿐만 아니라 고성능 컴퓨팅 자원과 데이터 보안을 제공하여 관련 산업계 이해관계자들이 효율적이고 안전하게 로봇 데이터를 활용할 수 있도록 인프라 구축을 추진할 필요가 있다.
 - 국내 로봇 데이터 집적화 추진을 통해 로봇 학습 데이터 수집 플랫폼을 구축하고, 생성된 데이터를 수집·가공하여 산학연 공유를 통해 국내 홈 서비스 로봇의 기술 개발을 지원할 필요가 있다. 또 플랫폼의 포털을 통해 서비스 로봇과 관련한 기업·기관이 해당 원본이나 가공된 데이터들을 쉽고 편리하게 검색하고 다운로드받을 수 있도록 생태계 시스템을 구축해야 할 것이다.

- 클라우드 로봇틱스 기반 로봇 데이터 통합 아키텍처의 구상
 - 로봇에 요구되는 인공지능이 지속적으로 복잡해지고 다양한 학습 방법과 모델 기술이 로봇에 적용됨에 따라 로봇의 데이터 처리는 클라우드를 기반으로 구조화되고 있다. 즉 다양한 데이터와 지식이 다양한 주체들에게 공유되어 관련 기술 시장의 고도화를 촉진할 것으로 예상된다.
 - 따라서 클라우드 로봇 데이터 통합 아키텍처는 로봇 생태계의 다양한 요소 기술과 지식 공유 체계를 제공하며, 로봇들의 경험 축적과 공유를 가능하게 하는 기반 기술로 자리 잡을 것으로 기대된다.

- 미·중 휴머노이드 기술력 확보 경쟁 대응
 - 장기적으로 노동력 부족 대응뿐만 아니라 현재 진행되고 있는 전기차 산업에 있어 중요한 경쟁 라인업인 저가형 전기차(Affordable EV)의 경쟁력 향상을 위한 인건비 절감과 휴머노이드 투입은 필수적으로 변하고 있다.
 - 많은 휴머노이드 전문 기업들이 있으나 자율주행 기술을 활용한 휴머노이드 개발은 테슬라와 샤오펑(Xiaopeng, 小鹏)의 경쟁이 진행될 것으로 예상된다. BYD 역시 머지않아 휴머노이드에 대한 구체적인 실적 발표가 전망되는 만큼 우리나라의 제 산업 역량을 아우르는 전략을 수립해야 한다.

- 병력 자원 보완, 방산 등 국가 안보와 관련된 국산화 필수 활용 시장에 대한 준비
 - 현재의 국방 획득 프로세스는 기술 발전의 속도를 반영하기 어렵고 유연성이 부족하다는 문제가 있다. 미국, 유럽 등 주요 군사 강국들은 혁신적인 획득제도를 활용하여 로봇 기술을 적극적으로 도입하고 있다. 한국 역시 기술 발전을 고려한 진화적 획득 프로세스를 도입할 필요가 있다. 궁극적으로 휴머노이드 로봇은 단순한 보조 전력이 아니라 미래 전장에서 중요한 전투 자산으로 자리 잡을 것으로 예상된다.
 - 군사용 휴머노이드 로봇은 미래 전장에서 핵심 전력의 역할을 수행할 것으로 예측된다. 이를 위해 유무인 복합전투체계와 연계한 SW와 HW를 연동시키고, 특히 통신망과 주파수 체계 등 플랫폼 관련한 상호운용성(Interoperability)을 고려하여 연구 개발에 대한 투자가 필요한 시점이다.

출처 및 참고문헌

1. Anargyros Chatzitofis, et. al., “DeMoCap: Low-Cost Marker-Based Motion Capture”, *International Journal of Computer Vision* Vol. 129, pp. 3338-3366., 2021.10.15.
2. Georgios Pavlakos, et. al., “Reconstructing Hands in 3D with Transformers”, CVPR 2024 papers, Computer Vision Foundation, pp. 9826-9836., 2024.
3. Chen Wang, et. al., “DexCap: Scalable and Portable Mocap Data Collection System for Dexterous Manipulation”, Stanford University, 2024.07.04.; arXiv:2403.07788v2.
4. Tony Z. Zhao, et. al., “Learning Fine-Grained Bimanual Manipulation with Low-Cost Hardware”, Stanford University, UC Berkeley, Meta, 2023.04.23.; arXiv:2304.13705v1.
5. Rishi Bommasan, et. al., “On the Opportunities and Risks of Foundation Models”, Stanford University, 2012.07.12.; arXiv:2108.07258v3.
6. Guoqiang Hu, et. al., “Cloud robotics: architecture, challenges and applications”, *IEEE network* Vol. 26. Issue 3, pp. 21-28. 2012.05.17.
7. Roya Firoozi, et. al., “Foundation Models in Robotics: Applications, Challenges, and the Future”, *The International Journal of Robotics Research* Vol. 44. Issue 5, pp. 701-739. 2023.12.13.
8. Ashish Vaswani, “Attention Is All You Need”, 2023.8.2.; doi.org/10.48550/arXiv.1706.03762.
9. Michael Ahn, “AutoRT: Embodied Foundation Models for Large Scale Orchestration of Robotic Agents”, Google DeepMind, 2024.07.02.; arXiv:submit/5704135.
10. “Humanoids: Investment Implications of Embodied AI”, Morgan Stanley research, 2024.6.26.
11. “데이터 중심의 로봇 생태계 전환”, OSP(산업통상자원R&D전략기획단), 2024.
12. 차두원, “02 기술개발 단계를 넘어 서비스로 진화하는 자율주행 산업”, 『2045 대한민국 디지털 혁신 전략』, 한국지능정보사회진흥원, 2024.12.
13. 김종현, “휴머노이드 로봇, 특이점이 온다”, 『하나금융연구소 산업 이슈』 제7호, 하나금융연구소, 2024.10.7.
14. 김대원·이재국, “AI 기반의 유·무인 복합전투체계 발전을 위한 제언”, 『국방기술진흥연구소 이슈페이퍼』 Vol. 09., 국방기술진흥연구소, 2023.10.31.
15. 김용균, “커넥티드 로봇 D.N.A 동향과 시사점”, 『ICT SPOT ISSUE』 2021-10, 정보통신기획평가원(IITP), 2021.07.30.
16. 이현무·김주혁, “진화적 획득제도, 취지를 잘 살려야”, 『국방논단』 제1789호(20-6), 한국국방연구원, 2020.02.17.
17. 이채환, “로봇과 클라우드의 결합 ‘클라우드 로보틱스’ 시대 본격화”, 『GTT KOREA』, 2024.12.12.
18. 송진국, “국방 휴머노이드 로봇 국내 기술로 본격 개발”, 『국방신문』, 2021.02.15.
19. 최태범, “2030년 집집마다 '로봇 집사' 들인다...내년 휴머노이드 산업 빅뱅”, 『머니투데이』, 2024.12.28.
20. Chris Mckay, “Physical Intelligence Unveils π_0 , A Foundation Model for General Robot Control”, *maginative.com*, 2024.10.31.
21. <https://dex-cap.github.io>
22. <https://auto-rt.github.io>

2

Physical AI의 등장과 휴머노이드 로봇의 산업화

박일우 로봇 PD | KEIT 기계로봇장비실

한재권 교수, CTO | 한양대학교 ERICA 로봇공학과, (주)에이로봇

요약

- 인간형 로봇인 휴머노이드 로봇이 Physical AI의 핵심 폼팩터로 주목받으면서 미국과 중국을 중심으로 신생 휴머노이드 로봇 개발 회사에 대한 공격적인 대규모 투자와 함께 연구 개발이 빠르게 진행 중이다.
- 인간 형상으로 만든 휴머노이드 로봇은 인간처럼 보이려고 만든 것이 아니라 다양한 일을 수행하려고 만들다 보니 인간형이 된 것이다. 휴머노이드 로봇의 본질은 인간을 닮은 것이 아니라 로봇을 다양하게 범용으로 사용함으로써 경제성을 확보하려는 것이다. 즉 인구 절벽을 막을 수 있는 로봇은 임의의 다양한 일을 가장 잘 수행할 수 있는 휴머노이드 로봇이다.
- 많은 사회학자들은 2020년대를 두고 AI 산업혁명의 시대라고 평가한다. 그러나 AI가 산업 전반을 바꾸고 인류의 삶 자체를 바꾸고 있다고 평가하기에는 부족한 면이 없지 않다. 하지만 AI가 휴머노이드 로봇과 결합한다면 분명 인간의 삶은 이전과 다른 새로운 모습일 것이라 예측할 수 있다. 즉 진정한 AI 산업혁명은 어쩌면 휴머노이드라는 범용 기기와 결합할 때 비로소 시작될 것이다.
- AI와 휴머노이드 로봇의 결합이 새로운 산업혁명을 가져올 것으로 기대되고 있지만, 휴머노이드 로봇에 필요한 AI가 기존의 LLM으로 대표되는 대화, 이미지, 음성을 생성하는 것과는 큰 차이가 있다. 로봇은 스스로 행동을 생성해야 하기 때문이다. 로봇이 인간의 일을 수행하기 위해서는 더 정밀한 움직임 데이터가 필요했고, 특정 임무를 수행하기 위해서는 특정 동작에 대한 양질의 움직임 데이터가 요구된다. 좋은 AI 행동 모델을 만들기 위해서 더 높은 수준의 데이터가 필요한 것이다.

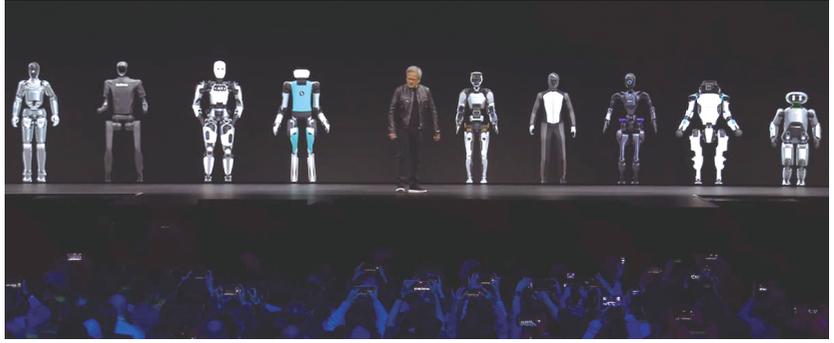
- 메타버스의 등장은 휴머노이드 로봇에게 또 다른 희망의 길을 열어 주었다. VR 세상을 실현시키기 위한 도구인 HMD 기기를 로봇에 연결한 뒤 HMD를 인간에게 씌우면 인간은 로봇의 시각에서 보고 행동할 수 있게 된다. 인간이 하는 허공에서의 움직임은 로봇이 실제로 일을 수행할 수 있는 양질의 데이터로 변환된다. 이러한 시도와 새로운 AI를 실제 물리 법칙이 적용되는 생활 공간에서 쓸 수 있는 AI를 Physical AI라고 칭하게 되었다. 이 Physical AI와 휴머노이드 로봇의 결합은 AI 산업혁명을 실현시킬 핵심 개념이다.
- 세계는 지금 AI와 휴머노이드 로봇이 만들어 낼 새로운 산업혁명의 승자가 되기 위해 전열을 가다듬고 각종 전략을 수립하여 수행하고 있다. 특히 미국과 중국은 패권 경쟁의 핵심 전장으로 휴머노이드 로봇 개발을 점찍었고, 패권 전쟁에서 승리하기 위해 동원할 수 있는 모든 수단을 동원하고 있다. 이처럼 절체절명의 상황에서 K-휴머노이드 연합을 출범에 이어 더 많은 기업과 기관들이 뜻을 모아 생태계를 조성할 수 있다면 새로운 산업혁명을 이끌 수 있을 것이다.

1. Physical AI의 등장

- 지난 1월 CES 2025에서 NVIDIA의 젠슨 황(Jensen Huang) CEO는 '로봇의 챗GPT 순간'이 오고 있다고 선언하면서 로봇과 자율주행차 개발을 위한 NVIDIA Cosmos 플랫폼을 공개했다. 이 선언의 핵심은 Physical AI라는 물리 세계에서 사용할 수 있는 인공지능이 본격적으로 등장한다는 것이다. 지금까지는 스크린 안에 갇혀 있던 인공지능이 로봇의 도움을 받아 물리적 공간으로 나오므로써 이전에 상상하지 못했던 새로운 서비스와 산업이 싹트고 있다.
- 특히 인간형 로봇인 휴머노이드 로봇이 Physical AI의 핵심 품팩터로 주목받으면서 미국과 중국을 중심으로 신생 휴머노이드 로봇 개발 회사에 대한 공격적인 대규모 투자와 함께 연구 개발이 빠르게 진행 중이다. 유튜브에서도 휴머노이드 로봇이 업그레이드되는 영상이 매일 경쟁적으로 공개되고 있다.
- 그러나 세상이 이렇게 빠르게 재편되는 순간에도 우리 주변에는 여전히 휴머노이드 로봇이 과연 성공적인 비즈니스 모델을 만들 것인지에 대한 의구심과 왜 로봇이 인간 형태를 띠어야 하는지에 대한 의구심이 끊임없이 제기되고 있다. 의심은 행동을 주저하게 만들며, 행동을 주저하는 동안 기회를 잡을 골든 타임은 지나간다. 수없이 뒤편이 지는 첨단기술 가운데 어떤 것이 유행이 지나면 사라지는 기술인지, 어떤 것이 산업혁명을 이끌어 내는 기술인지 구분할 수 있는 분별력이 필요한 시점이다. 분별력은 변화를 포착하고 기회를 만드는 능력이며, 선입관에 사로잡히지 않고 다각적으로 사회를 바라볼 때 키워진다.

그림 1

NVIDIA 젠슨 황 CEO의 CES
2025 기조연설에 등장한
휴머노이드 로봇
출처: 2024 NVIDIA GTC



2. 인구구조 변화에 따른 로봇 필요성의 증가

- 새로운 첨단기술이 등장할 때 이 기술이 유행에 따라 반짝 등장하고 마는 것인지, 세상을 바꿀 혁명의 시작인지 판단하는 방법에는 여러 가지 단계별 판별법이 있다. 그러나 시작은 분명 사회적 필요성에 대한 고찰일 것이다. 기술은 사회의 문제를 해결하는 도구로 활용될 때 그 빛을 발한다. 따라서 사회적으로 꼭 필요하지 않음에도 불구하고 신기하고 재밌는 기술로 사람들을 현혹할 때 유행에 따라 부침이 있었다.
- Physical AI가 적용된 휴머노이드 로봇의 사회적 필요성을 논하기 위해서는 인구구조 변화부터 살펴봐야 한다. OECD 주요 선진국들은 대부분 인구가 줄고 있으며, 특히 대한민국의 인구 감소 추세는 상당히 빠르게 진행 중이다. 저출산을 막기 위해 다양한 정책적 노력과 막대한 국가 재정을 투입했지만, 뚜렷한 반전의 기미는 보이지 않는다. 이대로 가다가는 우리 공동체가 붕괴할 것이 자명하다.
- 인구 감소에 따른 사회적 재앙은 아직 경험하지 못한 미래이기에 우리 사회가 얼마나 살기 어려워질지 감을 잡기는 어렵지만, 수치로 보면 이해가 될 것이다. 예를 들어, 1970년 한 해에 태어난 신생아 수는 100만 명을 넘었다. 그러나 2024년에 태어난 신생아 수는 25만 명을 넘지 못했다. 쉽게 말해 지난 55년 동안 출생아 수는 반의 반토막이 났다. 앞으로 20년이 지난 2045년이면 현재 태어난 25만 명의 아이들은 성인이 될 테고, 1970년에 태어난 100만 명은 75세의 노인이 된다. 그러면 25만 명의 성인이 100만 명의 노인을 부양해야 하고, 소수의 청년이 사회의 부가가치를 만들어 내는 역할을 오롯이 떠맡게 될 것이다. 이 예측은 전쟁이나 기근 같은 큰 재앙이 발생하지 않는 이상 틀릴 수 없다. 이로 인해 경제성장률은 마이너스를 벗어나지 못할 것이고 사회를 유지해 주는 서비스 시스템도 제대로 작동하기 어려워진다. 즉 우리는 공동체 붕괴라는 사회적 재앙을 앞두고 있다.

그림 2

인구 피라미드 전망

출처: 통계청 (2023.12.)



- 그러나 조금만 더 구체적으로 생각해 보면 인구 감소가 사회적 재앙을 가져오리라는 예측은 노동력이 인구 수와 같다는 전제하에서만 맞는 말이다. 만약 1970년에 태어난 100만 명의 노인을 부양할 수 있고 다양한 경제적 부가가치를 생산하는 노동력을 만들어 낼 수 있다면 우리 사회는 꾸준한 경제 성장을 달성하면서 붕괴하지 않는다는 시나리오가 가능해진다. 한편 로봇 기술은 인간의 노동력을 보조하거나 대체할 수 있는 기술이다. 인간에게는 위험하거나 어려운 일을 중심으로 로봇을 사용하여 부족한 노동력을 보완할 수 있다면 이보다 더 필요한 기술이 있을까 싶을 정도다.

3. 로봇 경제성 확보의 어려움

- 로봇이 인간의 일을 수행하도록 하는 생각만큼 쉬운 작업이 아니지만, 연구자들은 끊임없이 여러 방면에서 연구 개발에 도전했다. 그간 상당수의 로봇 개발 프로젝트가 성공적으로 마무리되었음에도 일상에서 볼 수 있는 로봇은 그리 많지 않다. 로봇을 보급·확산하지 못한 가장 큰 이유는 경제성 확보에 실패했기 때문이다. 그나마 우리 일상에서 잘 운영되고 있는 로봇을 꼽자면 협동 로봇, 서빙 로봇, 배송 로봇 정도다.
- 그렇다면 대부분 로봇이 경제성 확보에 실패한 반면, 소수의 로봇이 경제성 확보에 성공할 수 있었던 비결은 무엇일까? 대개 하나의 목적을 달성하기 위해 기획·개발된 로봇은 주어진 임무에 성공하고 나면 더 이상 쓸모가 없어져서 창고에 보관되는 경우가 많다. 로봇이 일해야 할 시간에 쉰다는 것은 그만큼 부가가치를 만들어 내지 못하기 때문에 투자 대비 수익률(ROI)이 낮아진다는 것을 의미한다.
- 로봇의 ROI를 높이기 위해서는 로봇이 쉴 새 없이 일해야 한다. 배송 로봇은 한 번의 배송으로 끝나는 게 아니라 배송해야 할 물건이 많이 쌓여 있고 종일 배송을 수행할 때 비로소 경제성이 발생한다. 서빙 로봇도 식사 시간에만 손님이 찾아오는 작은 식당보다 식사 시간이 아니어도 손님들이 계속 줄을 잇는 맛집에서 일할 때 경제성이 높아진다. 성공한 로봇들의 공통점은 하루 24시간 중 상당히 오랜 시간을 사용한다는 것이다.

- 즉 로봇의 경제성을 평가하는 핵심 키워드는 시간이다. 하루 24시간 중 얼마나 많은 시간 동안 일할 거리가 계속 제공되느냐에 따라 로봇 보급·확산의 성공을 가능할 수 있다.
- 로봇의 등장 이후 산업 현장에서의 반복적인 일은 제조용 로봇으로 부지런히 대체되고 있다. 하지만 현장의 상황 변화에 유연하게 대처하면서 다양한 업무를 수행해야 할 때는 로봇의 경제성을 확보할 수 없으므로 로봇보다 인간이 하기에 적합한 일이라고 여겨졌다.

그림 3

(주)뉴빌리티의 배송 로봇(左),
 (주)베어로보틱스의 서빙 로봇(右)
 출처: 「시타임스」(2023.06.),
 「로봇신문」(2020.09.)



4. 범용 휴머노이드 로봇의 등장

- 인간은 한 가지 일을 하루 종일 반복하면서 수행하기보다 다양한 종류의 도구를 사용하여 여러 가지 일을 상당히 정교하게 수행하고 있다. 아침에 잠자리에서 일어나서 저녁에 잠들 때까지 얼마나 많은 종류의 일을 얼마나 다양한 기기들을 사용해서 수행하는지 돌이켜 보면 적게는 수 개부터 많게는 수십 가지 종류의 일을 수행하고 있다.
- 그런데 로봇이 인구 절벽이라는 사회적 재앙을 막고 경제성을 확보하려면 하나의 로봇이 인간처럼 다양한 일을 수행할 수 있어야 하고, 현장 상황의 변화에 유연하게 대처할 수 있는 능력까지 갖춰야 한다. 기존의 단순 반복 작업은 이미 제조용 로봇과 자동화 장비들이 대체하고 있다. 그러므로 로봇이 경제성을 확보하기 위해서는 하루 종일 쉬지 않고 일해야 하고 하나의 일이 끝나면 바로 다른 일을 할 수 있어야 한다.
- 집안일을 예로 들자면 식사 준비가 끝나면 빨래를 해야 하고, 인간의 식사가 끝난 것을 보면 설거지를 해야 한다. 인간이 집에 없을 때는 청소를 하고 세탁물을 개어서 옷장에 넣어야 한다. 하루 종일 수많은 목적을 수행할 수 있다면 로봇은 쉬지 않고 일하게 되면서 비로소 ROI가 확보되고, 로봇 사업은 BEP를 넘겨 수익을 낼 것이다.

- 로봇이 인간처럼 다양한 일을 수행할 수 있도록 하려면 어떻게 설계해야 할까? 일은 주로 손이 하는데, 다양한 도구를 손으로 잡고 사용하여 일하는 능력을 증폭시킨다. 도구는 손이 잘 쥐고서 편리하게 사용할 수 있도록 디자인되었다. 그래서 로봇의 엔드 이펙터가 인간의 손처럼 설계된다면 인간이 만든 수많은 도구를 성공적으로 사용할 확률이 높아진다. 도구는 인간의 팔이 움직일 수 있는 적당한 크기와 무게로 만들어졌다. 따라서 로봇 손을 움직이기 위해 인간의 팔과 비슷한 길이와 힘을 낼 수 있다면 최적의 설계다. 도구는 사용하는 방향이 인간의 팔이 움직일 수 있는 공간에 맞춰져 있기 때문에 로봇 팔이 인간의 팔 구조와 비슷할수록 도구를 잘 사용할 수 있다. 따라서 인간과 비슷한 모양의 팔과 손이 다양한 일을 수행하기에 가장 좋은 설계라 할 수 있다.
- 손과 팔의 개수는 2개일 때 가장 효율적이다. 하나의 손이 일하는 것보다 두 개의 손이 협업할 때 할 수 있는 일의 종류와 성공 확률이 급격히 높아진다. 손이 3개일 때 2개보다 더 좋긴 하지만, 3개 이상일 때는 한 몸체에 있는 것보다 개체가 떨어져서 서로 위치가 반할 수 있을 때 훨씬 효율이 높다. 책상의 운반을 생각해 보면 쉽게 이해할 수 있다. 4개의 손이 있을 때 한 몸체에 붙어 있는 것보다 2개씩 2개 개체가 있을 때 더 다양한 크기와 모양의 책상을 운반할 수 있다.
- 결국 두 개의 손과 팔이 최적 형상이라고 볼 수 있다. 그리고 이 손과 팔은 고정되지 않고 스스로 이동할 수 있을 때 할 수 있는 일의 종류가 급격히 증가한다. 인간이 만든 가장 훌륭한 발명품 중 하나는 바퀴다. 이동하는 데 소모하는 에너지를 가장 최소화하고 싶다면 바퀴를 사용하면 된다. 따라서 두 손과 두 팔을 바퀴에 얹은 형상이 다양한 일을 수행하려는 로봇의 최적 설계라고 볼 수 있다.

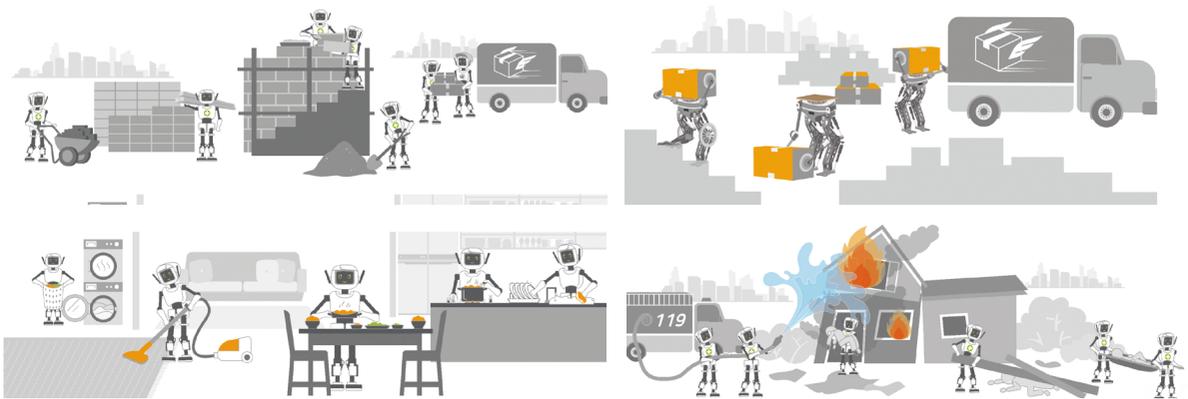


그림 4
인간의 다양한 일을 대체할 수 있는
범용 로봇인 휴머노이드 로봇

- 문제는 우리가 생활하는 공간에는 바퀴가 극복하기에 많은 장애가 있다는 것이다. 작업 환경이 깔끔하게 정돈된 곳에서는 바퀴를 쓰는 것이 가장 이상적이지만, 공사장처럼 정형의 공간이 아니라 사람이 상황에 따라 적당히 맞추어 가면서 일하는 곳에서는 바퀴 사용에 상당히 많은 제약이 따른다. 따라서 인간처럼 두 다리를 이용해서 이동할 때 로봇이 일할 수 있는 영역이 상당히 확장된다.
- 두 손과 두 팔 그리고 두 다리를 장착한 기계가 머리 없이 우리 곁에서 일을 수행하는 것을 본다면 어떤 느낌이 들까? 아마도 심리적으로 곁에 두기 쉽지 않을 것이다. 인간은 어떠한 개체가 인간의 형상과 비슷할수록 호감도가 증가하는데, 인간과 유사하지만 다른 부분이 있다면 그 부분 때문에 불쾌감이 증가하게 된다. 이런 심리적 작용을 언캐니 밸리(uncanny valley) 효과, 즉 불쾌한 골짜기라고 부른다. 얼굴 없이 돌아다니는 개체는 불쾌감을 불러일으킨다. 얼굴은 소통의 창이자 감정 교류의 도구이기 때문이다. 따라서 얼굴에 각종 센서를 넣어 데이터를 수집하고 적절한 표정과 제스처를 쓸 수 있어야 비로소 인간과 의사소통을 원활하게 수행할 수 있다.
- 인간 형상으로 만든 휴머노이드 로봇은 인간처럼 보이려고 만든 것이 아니라 다양한 일을 수행하려고 만들다 보니 인간형이 된 것이다. 휴머노이드 로봇의 본질은 인간을 닮은 것이 아니라 로봇을 다양하게 범용으로 사용함으로써 경제성을 확보하려는 것이다. 즉 인구 절벽을 막을 수 있는 로봇은 임의의 다양한 일을 가장 잘 수행할 수 있는 휴머노이드 로봇이다.

5. 새로운 산업혁명의 태동

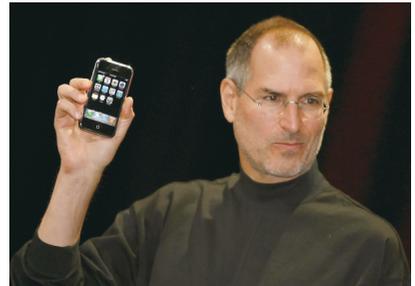
- 범용이라는 단어가 가진 힘은 막강하다. 범용 기기의 탄생은 새로운 비즈니스를 탄생시켰고, 기존의 산업 지형을 바꾸어 새로운 산업 생태계를 조성했다. 이러한 현상을 후세는 산업혁명이라 칭했다.
- 근래의 사례는 PC와 아이폰이다. 1981년에 등장한 개인용 컴퓨터는 설치하는 프로그램에 따라 다양한 일을 수행할 수 있는 기기였다. PC는 사무자동화의 수준을 한 차원 높였고, 인터넷과 결합하여 정보통신 혁명을 만들었다. 또 2007년 스티브 잡스가 아이폰을 세상에 선보이면서 모바일 혁명이 시작되었다. 아이폰이라는 기기는 통화, 문자, 음악, 사진, 영화 등 어느 한 가지 목적만 수행하기 위해 만든 게 아니다. 기존에 존재하던 휴대전화, 디지털카메라, MP3 플레이어, 인터넷을 모두 수행할 수 있는 범용 기기를 만들고자 함이었다. 그러자 예전에는 따로 떨어져 있어서 만들어질 수 없던 새로운 산업들이 우후죽순으로 생겨나기 시작했다. 사진과 비디오를 찍는

것에 인터넷을 붙이고 타이핑을 한 번에 할 수 있도록 만들자 소셜미디어가 탄생했다. 대중매체 환경의 중심은 기존의 신문과 방송에서 유튜브로 이동했고, 권력 지형마저 변화시켰다. 기존에는 생각지도 못했던 수많은 앱과 서비스가 등장했고, 인류는 이제 스마트폰 없이 살 수 없는 존재가 되었다.

- 위의 예시를 놓고 보면 범용 로봇인 휴머노이드 로봇은 그 궤를 같이한다. 휴머노이드 로봇은 배송 로봇, 서빙 로봇, 협동 로봇뿐 아니라 임의의 다양한 인간의 일을 수행하는 것을 목표로 한다. 휴머노이드 로봇을 사용해 어떤 서비스와 산업이 태동할 수 있을지 지금은 상상조차 어려울 정도로 무한대의 가능성을 가지고 있다.
- 많은 사회학자들은 2020년대를 두고 AI 산업혁명의 시대라고 평가한다. 그러나 AI가 산업 전반을 바꾸고 인류의 삶 자체를 바꾸고 있다고 평가하기에는 부족한 면이 없지 않다. 하지만 AI가 휴머노이드 로봇과 결합한다면 분명 인간의 삶은 이전과 다른 새로운 모습일 것이라 예측할 수 있다. 즉 진정한 AI 산업혁명은 어쩌면 휴머노이드라는 범용 기기와 결합할 때 비로소 시작될 것이다.

그림 5

범용 기기의 탄생과 새로운 산업혁명의 발생. 2001년 산호세에 있는 혁신기술박물관에서 빌 게이츠와 앤디 그로브가 IBM 5150 PC와 함께한 모습(左)과 2007년 아이폰을 공개하는 스티브 잡스(右)
출처: Paul Sakuma(AP), Tony Avelar(AFP)



6. 휴머노이드 로봇이 완성시킬 AI 산업혁명

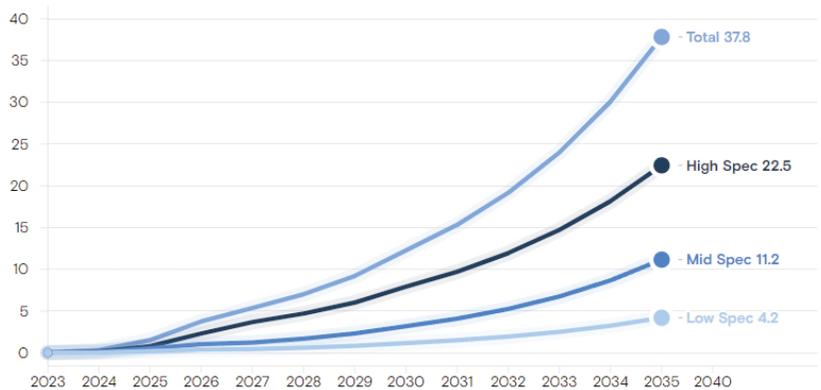
- 휴머노이드 로봇 관점에서 바라보면 AI는 충분조건이 아니라 필수 조건이다. 수십만 가지로 파악되는 인간의 일을 수행하기 위해 일일이 휴머노이드 로봇에 대해 제어 프로그래밍을 하는 것은 불가능하다. 로봇은 스스로 상황을 파악하고 적절한 판단을 하면서 자율적으로 움직일 수 있어야 한다. 다시 말해 AI의 발전 없이 범용 로봇의 탄생은 불가능하다.
- 2020년대 들어서서 생성형 AI로 대표되는 초거대 AI의 등장으로 인해 범용 로봇이라는 휴머노이드 로봇의 이상을 실현할 수 있다는 희망이 생겼다. 수십만 가지의 데이터를 확보해서 학습을 수행하고 스스로 적절한 결괏값을 출력하는 생성형 AI를 로봇에 적용하면 로봇도 스스로 행동할 수 있을 것이다.

- 휴머노이드 로봇이 실현 가능하다는 판단이 들자 새로운 산업혁명에서 강자가 되길 원하는 글로벌 탑티어 테크 기업들이 뛰기 시작했다. 테슬라의 일론 머스크는 휴머노이드 로봇 옵티머스 시리즈를 매년 선보이면서 테슬라 자동차 공장에서 인간의 작업을 대신 수행하는 모습을 보여주고 있다. 피규어 시의 피규어 시리즈 휴머노이드 로봇은 BMW 자동차 공장에서 일하고 있으며, 애플로닉의 아플로는 메르세데스-벤츠 공장에서 일하고 있다. 우리나라 현대자동차도 보스턴 다이내믹스의 아틀라스 로봇을 자동차 공장에 투입시킬 준비가 한창이다.
- 휴머노이드 로봇 개발 경쟁은 미국 기업들이 주도하고 있지만, 중국 기업들의 부상도 만만치 않다. 유니트리리는 저렴한 가격과 뛰어난 운동 성능으로 미국 기업들을 바짝 뒤쫓고 있다. 중국 기업들의 저가 공세는 이미 드론이나 로봇 청소기를 통해 세계 시장을 석권한 바 있는 강력한 전략이다.
- 휴머노이드 로봇의 실현 가능성이 빠르게 커지자 골드만삭스, 맥쿼리, 포춘 등 경제 예측 기관들은 기존의 예측치를 수정했다. 휴머노이드 로봇의 시장 규모가 현재 자동차 산업의 규모를 넘어설 것이라는 장밋빛 전망치가 앞다투어 발표되고 있다.

그림 6

급격한 증가가 예상되는
휴머노이드 로봇의 시장 규모

출처: 골드만삭스, 「시타임즈」 재인용
(2024.03.)



7. Physical AI의 등장

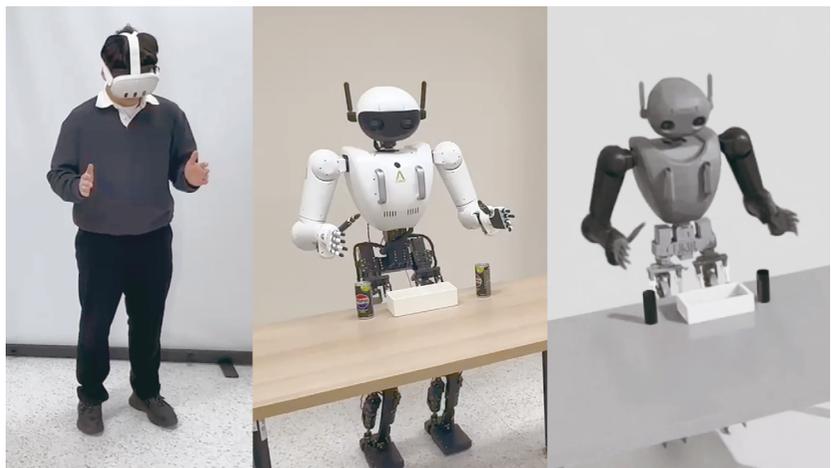
- AI와 휴머노이드 로봇의 결합이 새로운 산업혁명을 가져올 것으로 기대되고 있지만, 휴머노이드 로봇에 필요한 AI가 기존의 LLM으로 대표되는 대화, 이미지, 음성을 생성하는 것과는 큰 차이가 있다. 로봇은 스스로 행동을 생성해야 하기 때문이다.

- 기존의 AI 서비스는 인류가 이미 데이터를 풍부하게 확보한 텍스트, 이미지, 음성을 기반으로 발전했다. 그러나 로봇에 필요한 행동 데이터는 인류가 축적한 적이 없다. 그러나 동영상을 통해 인간의 움직임을 관찰할 수 있으므로 동영상에서의 인간 골격 움직임을 데이터로 만들려고 시도했다. 그러나 인간의 일을 수행하기 위해서는 더 정밀한 움직임 데이터가 필요했고, 특정 임무를 수행하기 위해서는 특정 동작에 대한 양질의 움직임 데이터가 요구된다. 좋은 AI 행동 모델을 만들기 위해서 더 높은 수준의 데이터가 필요한 것이다.
- 메타버스의 등장은 휴머노이드 로봇에게 또 다른 희망의 길을 열어 주었다. 실감나는 게임처럼 가상 세계와 실제 세상을 행동으로 연결하기 위해서 각종 VR 기기가 개발되었다. 이 VR 세상을 실현시키기 위한 도구인 HMD 기기를 로봇에 연결한 뒤 HMD를 인간에게 씌우면 인간은 로봇의 시각에서 보고 행동할 수 있게 된다. 인간이 하는 허공에서의 움직임은 로봇이 실제 일하는 움직임이 될 수 있고, 이때의 행동은 실제로 일을 수행할 수 있는 양질의 데이터로 변환된다.
- 이 행동 데이터를 기반으로 물리 법칙이 적용되는 시뮬레이터에 넣고 다양한 일을 수행하게 한다면 양질의 데이터를 대량으로 얻을 수 있고, 주어진 상황에서 스스로 판단하고 행동하는 AI 모델을 만들 수 있다.
- 이러한 시도와 새로운 AI를 실제 물리 법칙이 적용되는 생활 공간에서 쓸 수 있는 AI를 Physical AI라고 칭하게 되었다. 이 Physical AI와 휴머노이드 로봇의 결합은 AI 산업혁명을 실현시킬 핵심 개념이다.

그림 7

HMD를 이용한 휴머노이드 로봇의 모방 학습

출처: 에이로봇



8. K-휴머노이드 연합의 출범

- 세계는 지금 AI와 휴머노이드 로봇이 만들어 낼 새로운 산업혁명의 승자가 되기 위해 전열을 가다듬고 각종 전략을 수립하여 수행하고 있다. 특히 미국과 중국은 패권 경쟁의 핵심 전장으로 휴머노이드 로봇 개발을 점찍었고, 패권 전쟁에서 승리하기 위해 동원할 수 있는 모든 수단을 동원하고 있다.
- 사방이 강대국으로 둘러싸여 지정학적 리스크를 짊어지고 살아가는 우리나라는 변화에 뒤처지면 안 된다는 숙명을 가지고 있다. 새로운 기술에서 뒤처졌을 때 비극적인 역사를 겪어온 대한민국은 변화에 민감하게 반응하고 빠르게 뒤쫓는 능력을 갖춘 공동체다. 제조업 강국인 우리 공동체는 휴머노이드 로봇에 필요한 많은 기술과 환경 및 역량을 가지고 있다.
- 대한민국은 휴머노이드 로봇에 필수 요소 기술인 배터리, 반도체, 액추에이터를 모두 제작할 수 있는 몇 안 되는 국가이며, 각종 휴머노이드 로봇 경진대회에서 우수한 성적을 거두어 온 뛰어난 로봇 연구자들과 팀이 존재한다. 근로자 1만 명당 로봇 사용 대수를 측정하는 로봇 밀도는 압도적인 세계 1등으로, 로봇을 사용해서 산업을 지탱하는 대표적인 국가이기도 하다.
- 우리가 가진 능력을 과대평가해서는 안 되지만, 과소평가하는 것은 더 위험하다. 우리 공동체가 다른 누구보다 새로운 산업혁명의 주인공이 될 만한 가능성이 충분하다는 것을 인식하고 조금 늦었지만 다시 한번 심기일전해서 우리의 전매특허인 패스트 팔로워 전략을 다시 가동해야 할 때다. 먼저는 앞서가는 미국과 중국을 빠르게 따라잡고, 그다음에는 세계를 선도하는 큰 그림을 그리면서 나아가야 한다.
- 이처럼 절체절명의 상황에서 지난 4월 10일 휴머노이드 로봇에 필요한 기술을 갖춘 기업과 학교 및 연구소가 한자리에 모여 K-휴머노이드 연합을 출범한 것은 참으로 시의적절한 결단이었다. K-휴머노이드 연합은 최초 40여 개 기관으로 시작했지만, 더 많은 기업과 기관들이 뜻을 모아 생태계를 조성할 수 있다면 새로운 산업혁명을 이끌 수 있을 것이다. 우리가 휴머노이드 로봇으로 다시 한번 뛸 수 있다면 인구 절벽이 초래할 사회적 재앙을 방지하고 미래 세대에게 보다 나은 세상을 물려주게 될 것이다.

그림 8

2025년 4월 10일 공식 출범한

K-휴머노이드 연합

출처: 「한국일보」, 「이코노믹리뷰」

(2025.04.)



출처 및 참고문헌

1. 이주영, “뉴빌리티, 세븐일레븐과 도심 로봇배달 서비스 확대”, 「시타임즈」, 2023.06.19.
2. 조상협, “베어로보틱스, 자율주행 서빙 로봇 '서비' 선봬”, 「로봇신문」, 2020.09.28.
3. 임대준, “골드만삭스 "10년 뒤 휴머노이드 연간 100만대 이상 생산"”, 「시타임즈」, 2024.03.27.
4. 이상무, ““K드림팀 뭉쳤다”...2030년까지 '휴머노이드 최강국' 노린다”, 「한국일보」, 2025.04.11.
5. 김효경, “정부, K휴머노이드 연합 출범…“2030년 최강국 목표””, 「이코노믹리뷰」, 2025.04.10.
6. “인간형 로봇 'ALICE v4', 양방향 Sim-Real 전송 시연”, 에이로봇.; eng.arobot4all.com.
7. “인구상황판”, 통계청, 2023.12.: kosis.kr/visual/populationKorea/PopulationDashBoardMain.do
8. NVIDIA Korea, “GTC 2024 총정리: NVIDIA CEO 젠슨 황, “생성형 AI 시대 위한 프로세서를 혁신합니다””, blog.nvidia.co.kr, 2024.3.20.

AI 자율제조 기술 동향

3

이성훈 자율제조 PD | KEIT 기계로봇장비실

송병훈 센터장 | 한국전자기술연구원 자율제조연구센터

이진성 팀장 | 한국전자기술연구원 자율제조연구센터

정재윤 교수 | 경희대학교 산업경영공학과

요약

- 최근 제조업의 패러다임 변화와 인구 구조의 변화 등으로 인해 제조 산업에서는 AI 기술을 활용하여 로봇·기계·시스템이 자율적으로 협업 생산하는 AI 자율제조 기술의 중요성이 대두되고 있다.
- AI 자율제조(Autonomous Manufacturing)는 제조 공정을 구성하는 로봇·기계·시스템에 산업 AI 기술을 융합하여 생산 고도화와 자율화를 구현하는 미래 제조 환경을 의미한다.
- AI 자율제조 기술의 범위는 아직 명확하게 정의되지 않은 상태이나 향후 연구 개발이 필요한 핵심 기술을 고려할 때 산업 인공지능, 제조 데이터 및 AI 플랫폼, 지능형 로봇·장비로 구분할 수 있다.
- 관련 기술 동향으로 볼 때 AI 자율제조에 적합한 특정 솔루션/제품이 아직 준비 중이거나 시장에 출시되지 않아 미래 도전 가능성이 매우 큰 분야다.
- 최근 국내에서는 AI 자율제조 관련 연구 개발 과제가 시작되었으며, 이를 통해 AI 자율제조 분야에 대한 기술 개발을 주도하여 국내 제조업의 경쟁력을 높이고자 한다.

1. AI 자율제조 기술의 개념

AI 자율제조의 등장 배경

- 제조업은 산업혁명과 더불어 지속적으로 발전해 왔다. 1차 산업혁명에서는 증기기관, 2차 산업혁명에서는 컨베이어 벨트 시스템을 활용한 대량생산, 3차 산업혁명은 정보통신 기술을 접목한 생산 자동화가 이뤄졌다. 현재는 산업용 IoT, 빅데이터, 인공지능, 로봇이라는 4대 핵심 기술과 기존 제조 기술의 결합을 통해 제조업을 첨단화시키는 4차 산업혁명이 진행 중이다.
- 이처럼 제조업의 혁신적인 발전은 대내외적 환경 변화 및 기술적 혁신과 밀접한 연관이 있다. 1~3차 산업혁명은 효율적인 대량생산을 통한 비용적 우위를 가지기 위한 노력이었으며, 4차 산업혁명은 고객 맞춤형 유연생산 기반의 고품질·고기능 제품의 생산을 위한 환경 변화에 대응하는 것이다.
- 빠르고 다양한 변화를 요구하는 현 시장 상황에서 기존 제조업의 생산 체계는 소품종 대량생산에 최적화되어 있다. 때문에 다양한 수요 변동에 대응하기에는 시간과 비용이 과도하게 소요되는 문제가 있어 유연성 확보가 어려우며, 이는 단순 직면 과제가 아닌 기업의 생존과 직결되는 상황이다.
- 현재 우리나라 제조업의 노동생산성은 2021년 팬데믹 이후 큰 폭의 증가세를 보였으나, 그 이후로는 둔화 추세다. 2023년 제조업 노동생산성지수는 108.2로 전년 대비 0.1% 감소했다. 국내 제조업 평균가동률 또한 지난 10년간 70% 초중반 수준에서 등락을 보이는 가운데 2021년 이후 하락세가 두드러진다.

표 1

제조업 노동생산성지수 및 평균가동률(2014~2023년)

출처: 국회입법조사처 (2024.06.)

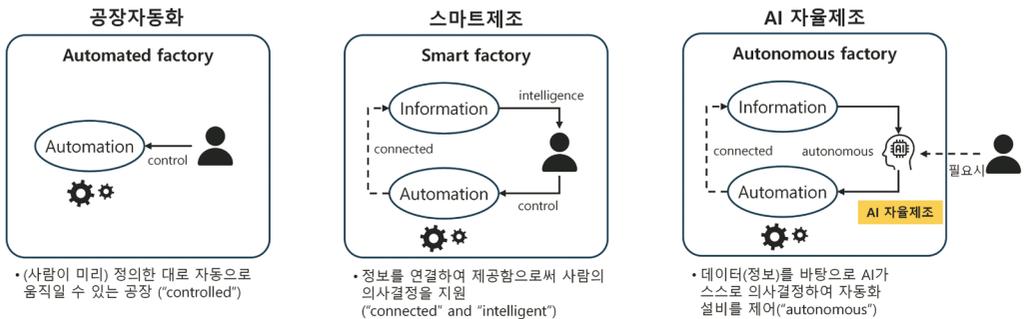
	2014년	2019년	2020년	2021년	2022년	2023년
제조업 노동생산성 지수	95.8 (0.2)	101.0 (0.3)	100.0 (-1.0)	108.1 (8.1)	108.3 (0.2)	108.2 (-0.1)
제조업 평균가동률	76.2 (-0.4)	73.3 (-0.6)	71.1 (-2.2)	74.6 (3.5)	74.5 (-0.1)	71.9 (-2.6)

- 이러한 문제 해결을 위해 제조업은 산업용 IoT, AI·빅데이터, 디지털트윈 등 첨단제조 기술을 활용한 생산 체계를 통해 높은 생산성과 품질을 유지할 필요가 있다. 최근 AI 기술이 비약적으로 발전하면서 제조업의 현안을 해결하고 작업자의 개입을 최소화하는 자율제조(Autonomous Manufacturing)가 가능한 기술적 토대가 마련되고 있다.

AI 자율제조 개념

- AI 자율제조는 제조 공정을 구성하는 로봇·기계·시스템에 산업 AI 기술을 융합하여 생산 고도화와 자율화를 구현하는 미래 제조 환경을 의미한다.
- 4차 산업혁명으로 대표되는 스마트제조(Smart Manufacturing)과 비교할 때, 스마트제조가 기존 제조 기술(Operation Technology)에 정보화(Information Technology)와 자동화(Automation Technology)를 결합한 것이라면 자율제조는 스마트제조에 AI 기반의 자율성-스스로 의사결정하고 제어하는-을 추가한 것이라 할 수 있다.
- 즉 공장자동화는 자동화 설비를 작업자(인간)가 직접 제어하는 것이며, 스마트제조는 정보화 기술을 자동화 설비에 적용하고 정보를 지원받아 작업자의 의사결정을 지원하는 것이다. 그러므로 AI 자율제조는 자동화 설비의 정보를 기반으로 AI가 자율적으로 운영하는 것이다.

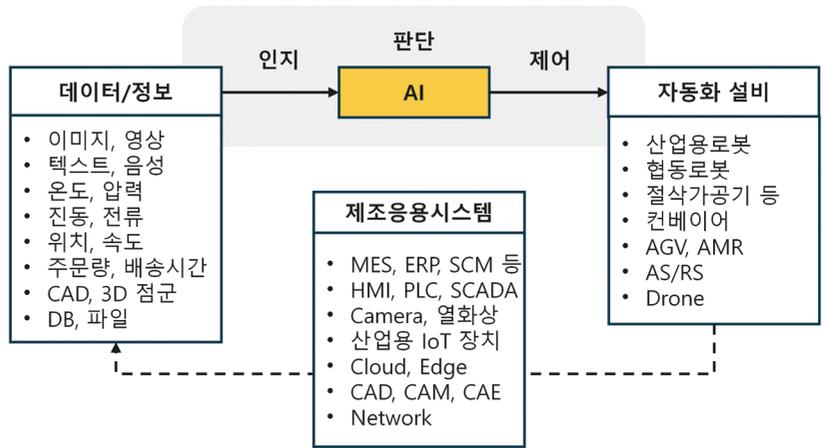
그림 1
공장자동화 vs
스마트제조 vs
AI 자율제조



- AI 자율제조에 대한 개념을 구체적으로 살펴보면 제조 전 과정(기획·설계 → 생산·운영 → 포장·출하 → 유통·서비스)에서 발생하는 데이터를 수집·저장·분석하여 현재 제조 공정의 상황을 인지하고 AI를 통해 판단한 후 자동화 설비(로봇, 각종 설비 등)를 제어하여 자율적으로 공정이 운영되는 것이다.
- 이를 시스템 관점에서 보면 제조 공정에서 발생하는 데이터, 실제 제조를 수행하는 자동화 장비, 그리고 제조 과정별로 제조 실행을 담당하는 제조 응용 시스템 같은 다양한 제조 구성 요소들이 AI 기술을 중심으로 서로 상호 연계되는 제조 시스템이다.

그림 2

시스템 관점에서 보는 AI 자율제조



- AI 자율제조는 AI에 의해 제조 공정을 자율적으로 운영하는 것이므로 자율주행 자동차와 비교된다. 일반적으로 미국자동차기술협회(SAE)가 정의한 자율주행의 5단계 국제 표준을 기준으로 자율제조의 단계적 수준을 정의하고 있으나 아직 명확한 체계가 없는 것이 현실이다.
- 스위스의 자동화 기술 및 로봇공학 전문 기업 ABB가 2020년에 제시한 자율공장에 관한 연구에서도 자율주행의 5단계 정의를 기반으로 자동화 시스템의 기능을 정의하고, 이를 제조 산업에 적용하여 자율공장의 5단계를 정의했다.

표 2

자율주행과 자율공장의 단계별 정의
출처 : Journal of Process Control (2020.04.)

단계	자율주행	자율공장
Level 0	비자율화: 운전자가 모든 운전 수행	비자율화: 작업자가 모든 제조 수행
Level 1	운전자 지원: 운전자가 운전, 조향이나 감 가속 둘 중 하나 지원	작업자 지원: 원격/디지털 지원을 통해 필요한 제조 운영에 대한 의사 결정 지원을 제공
Level 2	부분 자동화: 운전자가 운전, 조향이나 감 가속 둘 다 자동화	부분 자율화: 작업자의 요청에 의해 특정 상황에서 자율적으로 공정제어
Level 3	조건부 자동화: 운전자가 운전하나 제한조건에서 자율주행, 운전자가 언제든지 운전 개입	조건부 자율화: 특정 상황에서 공정을 제어하며, 문제점에 대해 경고하고 해결책을 제시하지만, 문제 해결은 작업자가 직접 수행
Level 4	고도 자동화: 특정 구간에서 완전 자율주행	고도 자율화: AI가 공정을 완전히 제어하지만, 작업자가 이를 감독
Level 5	완전 자동화: 모든 상황에서 자율주행	완전 자율화: 모든 상황에서 작업자 없이 자율 운영 수행

- 현재 자율제조 성숙도 모델과 관련된 다양한 연구를 살펴보면 대부분 자율주행 5단계 정의를 참고한다. 그렇지만 이렇게 정의된 5단계는 자율주행 기술과 같이 명확하게 단계별 제조를 정의하지 못한다. 특히 부분 자율화, 조건부 자율화, 고도 자율화 같은 단계는 모호한 측면이 없지 않다. 향후 AI 자율제조 기술의 발전 방향성 제시를 위해서라도 지속적인 연구가 필요한 부분이다.

AI 자율제조 기술의 범위

- AI 자율제조 기술의 범위는 아직 명확하게 정의되지 않은 상태이나 향후 연구 개발이 필요한 핵심 기술 부분을 고려할 때 크게 3가지로 분류할 수 있다.
- 첫 번째는 AI 자율제조 핵심 기술이라 할 수 있는 산업 인공지능(Industrial AI)이다. 산업 인공지능은 산업 설비로부터 발생하는 데이터를 기반으로 인공지능 기술을 산업 환경의 분석, 공정 관리, 설비 보전 등의 목적으로 활용하는 것을 의미한다. 산업 인공지능은 산업 도메인 지식과 인공지능 기술을 결합했다는 측면에서 일반적인 인공지능 기술과 다르며, 보다 높은 정확성과 신뢰성이 요구된다.

표 3

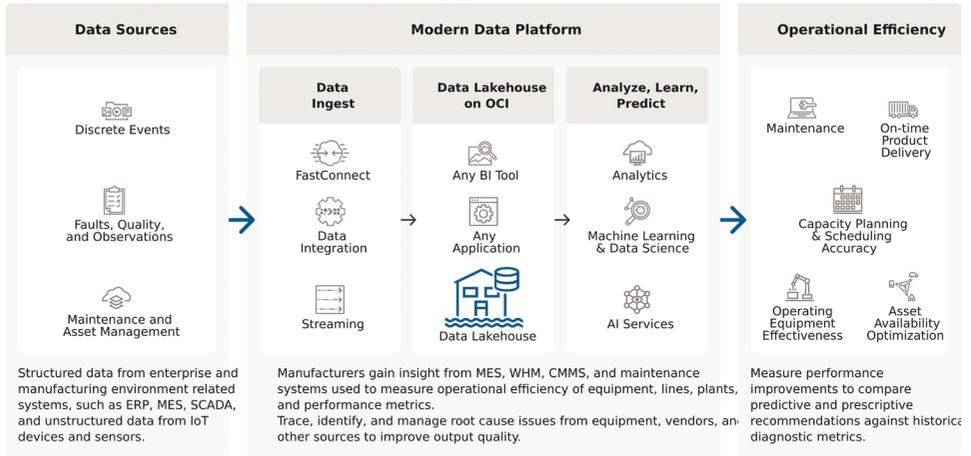
제조 현장에서 적용 중인 AI 기술들
출처: 「테크포커스」(2024.10.)

	특징	예시	이점
AI 분류 기술	데이터를 기반으로 특정 그룹이나 카테고리 나누는 과정	품질 검사, 공정 자동화, 재료 분류	생산성 향상, 불량률 감소, 비용 절감
AI 이상 징후 판독	공정에서 발생할 수 있는 비정상적인 상황이나 문제 징후를 자동으로 감지하고 분석	설비 유지 보수, 공정 품질 관리, 실시간 오류 감지	공정의 안전성 및 효율성 증대, 운영 비용 절감
자율주행 로봇	자동 유도 차량 AGV: 정해진 경로를 따라 이동 자율 이동 로봇 AMR: 실시간으로 경로를 계획하며 이동	공장·물류 창고에서 자재와 물품을 이동	생산성과 유연성을 기적으로 향상시킴
강화학습	제조 공정 내 다양한 변수를 다루며, 효율성 극대화와 자율 의사결정을 통해 최적의 생산성을 계산	생산 공정 최적화, 로봇 공정 최적화, 에너지 효율 관리	생산성 향상, 비용 절감, 품질 개선
대규모 언어 모델 및 생성형 AI	자연어 처리를 기반으로 사람처럼 언어를 이해하고 생성	지식 관리 및 기술 문서 자동화, 지능형 협업 도구	데이터 분석, 의사결정 지원, 예측 모델링, 협업 등에 유연하게 대응

- 두 번째는 제조 현장 내 공정 상황을 인지하고 AI가 자율적으로 판단할 수 있도록 지원하는 제조 데이터 및 AI 플랫폼 기술이다. 제조 현장 내 각종 자원(작업자, 설비, 시스템 등)의 데이터를 실시간으로 수집하고 AI가 분석을 통해 인지·판단할 수 있도록 데이터의 전처리·연계 및 관리하는 기능을 담당한다. AI와 SW 기술의 발전으로 제조 공정에서 사용하는 다양한 AI 모델의 생성·배포·관리를 수행하는 MLOps(Machine Learning Operations), AIOps(Artificial Intelligence for IT Operations) 같은 기술도 여기에 포함되며, 최근 이슈가 되고 있는 SDM(Software Defined Manufacturing) 기술 역시 해당된다.

그림 3

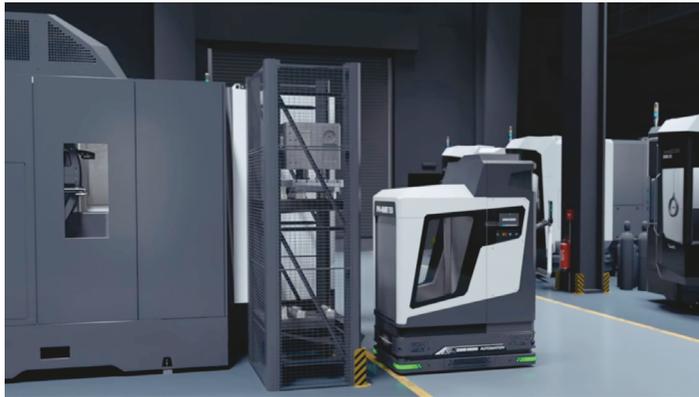
Oracle에서
제시하는
데이터 플랫폼의 기능
출처 : Oracle (2024)



- 세 번째는 제조 현장에서 직접 물건을 생산하는 공정을 구성하고 각종 로봇·장비를 산업 AI 기술과 연계하여 활용하는 지능형 로봇·장비 기술이다. 고객 맞춤형 유연 생산으로 변화하고 있는 제조업의 새로운 패러다임에 적응하기 위해서는 유연한 공정을 구성할 수 있어야 하며, 기존 로봇·장비에 데이터 연계 기능의 추가와 AI 내재화를 통해 자율적으로 운영될 수 있어야 한다.

그림 4

DMG MORI社의 AMR 활용 공정
출처 : DMG MORI (2024)



2. AI 자율제조 시장 동향

- AI 자율제조는 업계에서 통용되는 기술 체계나 제품 등에 대한 구분이 명확하지 않아 정확한 시장 규모를 추정하기 어렵지만, 관련 기술들로 간접적인 예상은 가능하다.
- 제조 산업의 AI 시장 규모는 2022년 15억 6천만 달러로 평가되었으며, 2030년까지 연평균 47.8% 성장하여 총 523억 7천만 달러에 이를 것으로 예상된다. 이처럼 시장의 급격한 성장은 각종 산업용 IoT 도입의 증가, 제조 데이터의 중요성 인식, 그리고 컴퓨팅 하드웨어 성능의 향상으로 시장 규모가 가속화되어 확대되기 때문이다.

그림 5

전 세계 제조 산업의 AI 시장 규모

출처 : Verified Market Research, 「GTT KOREA」
재인용 (2023.11.)

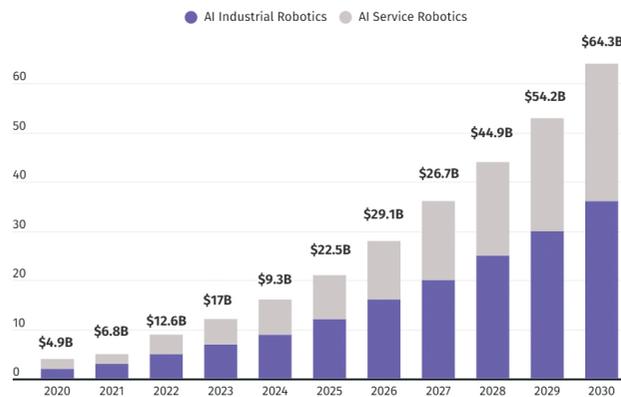


- AI 자율제조에서 핵심 분야 중 하나인 지능형 로봇 시장은 2022년 126억 달러에서 2030년까지 643억 달러로 성장할 것으로 평가된다. 이 중 산업용 로봇 시장은 절반 이상으로, 시장 규모가 큰 폭으로 성장될 것으로 예상된다.

그림 6

2020~2030년 부문별 AI 로봇틱스 시장 규모(단위: 10억 달러)

출처 : Statista, 「산업일보」 재인용 (2025.01.)

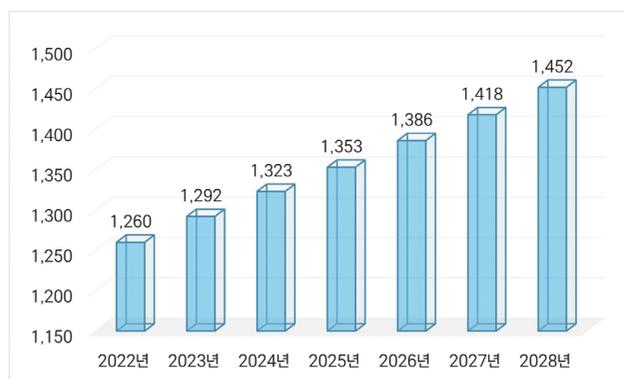


- 제조 공정에서 기계·장비의 동작 제어 및 데이터 인터페이스 등의 역할을 수행하는 지능형 공정제어 관리 시스템 분야는 2022년 126억 달러에서 연평균 2.4%씩 성장하여 2028년에는 145.2억 달러에 이를 것으로 예상된다. 이는 제조업에서 제조 공정의 실시간 데이터 관리 및 제어의 중요성이 부각되면서 산업용 IoT, 데이터 플랫폼, AI 등의 기술 확산이 주요 요인으로 판단된다.

그림 7

지능형 공정제어 관리 시스템 시장 규모 및 전망(단위: 십억 달러)

출처 : Fortune Business Insights (2023년)



3. AI 자율제조 관련 기술 동향

산업 인공지능 분야

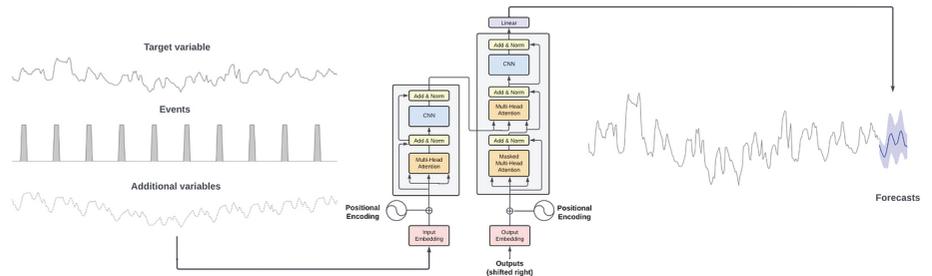
- 시계열(Time Series) 파운데이션 모델: 파운데이션 모델(Foundation Model)은 거대한 데이터로 사전 학습하여 다양한 문제를 해결할 수 있는 AI 기반 모델을 의미한다. 파운데이션 모델의 가장 큰 특징은 특정 문제를 해결하기 위한 특화 모델이 아닌, 일반화된 모델이라는 것이다. 최근 ChatGPT 등과 같은 거대 LLM 모델에서 이를 활용해 다양한 영역에서 훌륭한 결과를 보여 주고 있다. 하지만 ChatGPT의 경우 제조업보다 일상 영역에서 활용성이 높으며, 이미지, 텍스트 등 다양한 형태의 데이터로 학습을 수행한다. 그렇지만 제조업에서 본격 활용하기 위해서는 시계열 데이터로 사전 학습하여 다양한 공정에서 활용할 수 있는 특정 태스크에 적합한 AI 모델을 만드는 것이 필요하다. 최근 이러한 시계열 데이터를 위해 자체 거대 모델을 구축하는 연구들이 수행되고 있다. 대표적인 연구로 TimeGPT, TimesFM(Time Series Foundation Model), Moirai 등이 있다. 하지만 아직 현업에 적용되어 유의미한 결과를 얻은 사례는 없으며, 향후에도 지속적인 연구가 필요한 분야다.

그림 8

TimeGPT 모델의

작동 방식

출처 : *International Journal of Computer Applications* (2024.02.)



- 생성형 AI: 생성형 AI(Generative AI)는 학습한 데이터를 기반으로 새로운 데이터를 생성하는 기술을 의미한다. ChatGPT에서 사용자의 질문에 답을 하기 위해 텍스트를 생성하는 것이 여기에 해당된다. 일반적으로 제조업에서 AI를 적용하기 위해서는 학습을 위한 데이터가 필수이지만, 대다수는 현장에서 데이터를 수집하는 과정에서 데이터 불균형 문제에 직면하게 된다. 품질 분야에서는 양품/불량품, 설비 진단에서는 고장/정상 등의 데이터가 불균형을 이루게 되는 것이 대표적인 예다. 생성형 AI는 일반적으로 얻기 어려운 불량, 고장 데이터 등을 생성할 때 사용할 수 있으며, 이 외에 디지털 트윈 시뮬레이션에서도 현장을 보다 정교하게 묘사하는데 활용이 가능하다.

그림 9

NVIDIA의 생성형 AI를 활용한

디지털 트윈 적용 사례

출처: 유튜브 NVIDIA Omniverse

채널 캡처 (2024년)



제조 데이터 및 AI 플랫폼 분야

- SDM 플랫폼: 고객의 요구가 빠르게 변화하고 기업 간 경쟁이 심화되는 상황에서 제조 공장도 대량생산에서 유연 생산으로 변화가 필요한 시점이다. 고객의 요구에 빠르게 대처하는 공정 환경의 유연한 구성이 중요해짐에 따라 최근 제조 분야에도 SDx(Software Defined Anything/Everything)의 개념이 도입되고 있다. 즉 소프트웨어를 통해 유연한 인프라를 실현하고자 하는 것으로, SDS(Software Defined Storage), SDN(Software Defined Network) 등이 대표적이다. 제조업에서는 SDM(Software Defined Manufacturing)이라는 이름으로 공장 내 각종 제조 자원(로봇, 장비 시스템 등)의 데이터를 수집·연동하고 주요 제조 기능(자동화 프로그램, 생산 스케줄링, 공정 구성 등)을 소프트웨어를 이용하여 구성/재구성하는 역할을 담당한다. 유럽에서는 관련 연구가 이미 진행 중이나 데모 수준으로 제조 현장에는 아직 적용하지 못하고 있다. 국내에서는 현대자동차가 HMGICS에서 시험 적용 중에 있다.

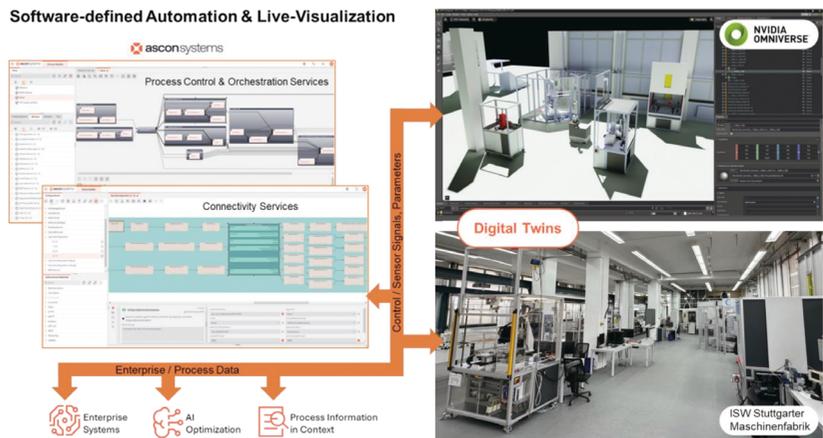
그림 10

Ascon Systems의 자동차 산업을

위한 SDM 플랫폼 데모 사례

출처 : Ascon Systems

(2024.06.)

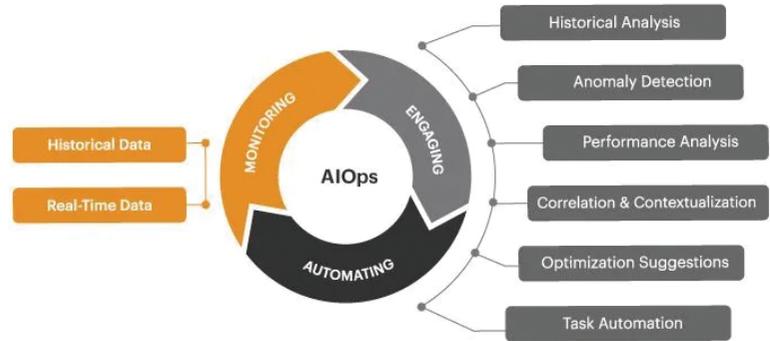


- AIOps: AI 자율제조에서 AI가 강조됨에 따라 단순히 데이터를 수집·관리하는 기능 중심의 플랫폼에서 공장 전체에 대한 AI 모델의 생성·배포·관리뿐만 아니라 모든 IT 운영을 AI로 실행하는 것으로 패러다임이 변화하고 있다. AIOps(Artificial Intelligence for IT Operations)는 MLOps와 같이 머신러닝 모델의 배포와 운영 자동화에서 한 걸음 더 발전한 플랫폼 기술이라 할 수 있다.

그림 11

AIOps 개념도

출처 : eG Innovations
(2021.07.)



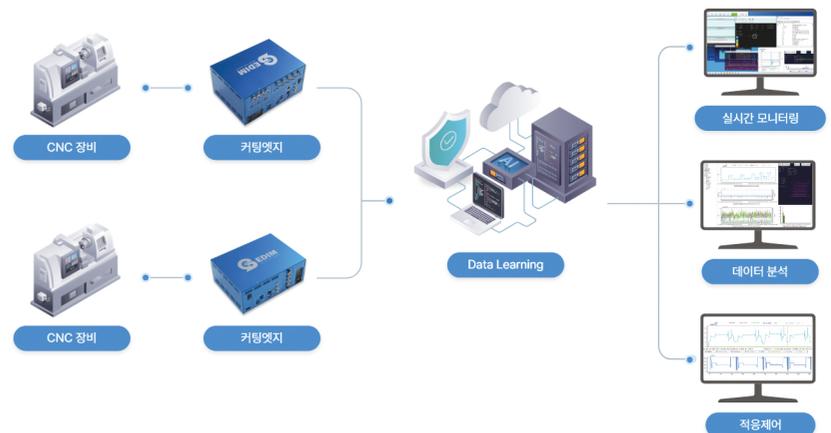
지능형 로봇·장비 분야

- 지능형 에지: 에지 컴퓨팅(Edge Computing)은 기기와 가까운 네트워크의 가장자리에서 지원하는 컴퓨팅 환경을 의미한다. 지능형 에지는 에지 장비에 AI 기능을 부여하여 데이터 분석을 가능케 한 것으로, 기존 단순 제조 장비의 데이터를 수집하고 장비 자체적으로 AI 기능을 수행하도록 만드는 기술이다. 기존 제조 장비에 SoC(System on Chip)를 장착하여 장비에 AI를 내재화하는 방법도 있으나, 에지 기술을 활용하는 것이 활용성과 비용 측면에서 유리하다. 국내 대표적인 사례로는 CNC 공작기계에 에지를 설치하여 데이터를 수집하고 가공기 상태 분석 및 적응 제어를 지원하는 스마트 커팅 기술이 있다.

그림 12

애드아임社의 스마트 커팅 솔루션

출처 : 애드아임 (2025년)



- 휴머노이드 로봇: 기존 산업용 로봇은 정해진 작업만 반복 수행하며, 작업 변경 시 재프로그래밍이 필요하다. 앞서 설명한 바와 같이 이제는 고객 맞춤형 유연 생산 체계가 필요한 상황이기 때문에 산업용 로봇 역시 AI를 활용해 로봇 스스로 환경을 인식하게 하고 상황에 따라 유연한 행동 조정이 필요하다. 이에 테슬라, BMW 등 선도적인 기업들은 제조 현장에 휴머노이드 로봇을 도입하여 제조 공정의 유연성을 높이고 제조 경쟁 우위를 확보하고자 노력 중이다. 휴머노이드 로봇의 제조업 적용 시 이점은 현재 제조업의 작업 환경과 작업 방식이 인간에게 최적화되어 있어서 현장에 바로 투입 가능하다는 점이다. 또한 최근 발전하고 있는 AI 기술을 적용할 시 인간처럼 다양한 작업을 수행할 수 있다는 점에서도 큰 의미가 있다.

그림 13

테슬라의 옵티머스(Optimus)

출처 : IoT World Today

(2024.02.)



4. 시사점

- 제조 산업은 인구 고령화로 인한 인구구조 변화와 탄소 배출 등과 같은 다양한 환경적 규제, 그리고 AI를 중심으로 한 첨단기술의 발전으로 많은 변화에 직면해 있다. 제조 패러다임 역시 소품종 대량생산에서 고객 맞춤형 유연 생산으로 변화하면서 이에 대응하기 위한 기술적 방안으로서 AI 자율제조 중요성이 크게 대두되고 있다.
- AI 자율제조는 기존의 공장자동화, 스마트제조와 달리 제조 공정 운영의 주체가 인간(작업자)에서 AI로 바뀌는 것을 의미하며, 이는 제조 기업과 각종 제조 응용 솔루션을 공급하는 기업 모두 AI 기술에 좀 더 관심을 갖고 기술 개발에 노력해야 함을 시사한다.
- AI 자율제조와 관련된 기술 동향에서는 최근 이슈가 되고 있는 부분을 중점 소개했다. 소개된 내용은 기술 분야로 작성하였으며, 이 분야에서 AI 자율제조에 적합한 특정 솔루션/제품이 아직 준비 중이거나 시장에 출시되지 않았기 때문이다.

- 이처럼 AI 자율제조 기술은 대부분 시작 단계에 불과하므로 향후 기술 개발을 통해 글로벌 시장을 선점하는 데 있어 정부의 지원과 업계의 노력이 필요하다. 또한 AI 자율제조는 단순히 아이디어 차원의 기술이 아니라 제조 현장에서 실질적 활용 가치의 증명이 필수적이기 때문에 현장 실증 중심의 연구 개발도 필요하다.
- 현재 우리나라 제조업은 대내외적으로 많은 문제와 직면하고 있으며, AI 자율제조는 이를 극복하기 위해 필수적인 기술이라 하겠다. 따라서 민간의 적극적인 참여를 위한 정부와 민간의 협력, 대규모 R&D 지원 등 종합적인 노력이 필요한 실정이다.

1. Thomas Gamer, et. al., “The autonomous industrial plant – future of process engineering, operations and maintenance”, *Journal of Process Control* Vol. 88. Issue 2, 2020.04.
2. Abhay Dutt Paroha, et. al., “A Comparative Analysis of TimeGPT and Time-LLM in Predicting ESP Maintenance Needs in the Oil and Gas Sector”, *International Journal of Computer Applications* Vol. 186. No. 8, 2024.02.
3. Azul Garza, et. al., “TimeGPT-1”, Nixtla, 2023.10.05.; arXiv:2310.03589v3
4. “Facility Management Market Size, Share, Trends & Covid-19 Impact Analysis, By Service Type, By Industry Vertical, and Regional Forecast, 2023-2030”, Fortune Business Insights, 2023.
5. 장영재, “AI 시대 제조업의 패러다임 변화 ‘자율제조’와 ‘산업 혁신’”, 「테크포커스」 Vol.12, KEIT, 2024.10.
6. 손지연 외, “제조 + AI로 실현되는 미래상: 자율공장”, 「전자통신동향분석」 제36권 제1호, 한국전자통신연구원, pp. 64-70. 2021.02.01.
7. 김호겸 외, “주력산업 지능화를 위한 제조 혁신 기술 동향”, 「전자통신동향분석」 제38권 제6호, 한국전자통신연구원, pp. 75-83. 2023.12.01.
8. 박누리, “AI 혁명 시대의 자율제조 확산을 위한 정책과제”, 「이슈와 논점」 제2246호, 국회입법조사처, 2024.06.13.
9. 정진욱, “'제조 산업의 AI' 연평균 47.8% 놀라운 성장”, 「GTT KOREA」, 2023.11.17.
10. 김우겸, “AI 로봇 시장, 2030년까지 280% 성장 전망...산업 혁신 이끈다”, 「산업일보」, 2025.01.31.
11. “Experimenting with ChatGPT and Generative AI in Omniverse”, NVIDIA Omniverse 채널; youtube.com/watch?v=4H9fJrcWK1c
12. Steven Vettermann, “How and why software-defined manufacturing is changing the industry”, ascon-systems.de, 2024.06.20.
13. Peter Claridge, “8 Key Capabilities of AIOps Tools to Make IT Monitoring Effective”, eginnovations.com, 2021.07.30.
14. Scarlett Evans, “Tesla Humanoid Robot Optimus: A Bare-Bones Look”, IoT World Today, 2024.02.01.
15. LG AI연구원, “시계열 Foundation 모델 최신 연구 동향”, 2024.05.03.; blog.naver.com/lgairesearch/223754018904
16. NVIDIA 홈페이지: blogs.nvidia.co.kr
17. 애드아이 홈페이지: ed-im.com
18. Oracle 홈페이지: oracle.com/industrial-manufacturing/cloud
19. DMG MORI 홈페이지: media.dmgmori.com

제조 AI 파운데이션 모델 및 제조 특화 공통 AI 모델 개발

4

이성훈 자율제조 PD | KEIT 기계로봇장비실

윤종필 센터장 | 한국생산기술연구원 제조AI연구센터

김민수 선임연구원 | 한국생산기술연구원 제조AI연구센터

요약

- 최근 AI 기술은 파운데이션 모델의 등장으로 비약적인 발전을 이루고 있으며, 이는 다양한 산업 분야에서 혁신을 촉진하고 있다. GPT, CLIP, SAM 등 대표 모델들은 자연어 처리와 컴퓨터 비전 분야를 중심으로 빠르게 확산되고 있으며, 제조업 역시 이와 같은 흐름에 발맞춰 변화하고 있다.
- 제조업은 설계, 제품 검사, 설비 진단, 공정 관리, 물류 등 다방면에 걸쳐 AI 기술의 도입이 활발히 이루어지고 있으며, 도메인 지식이 내재된 제조 특화 파운데이션 모델의 수요가 점차 증가하고 있다. 이러한 모델은 다양한 제조 환경에 유연하게 적용될 수 있으며, 적은 양의 데이터로도 빠르게 적응이 가능하다는 장점이 있다.
- 특히 제조 산업에서는 고정밀 예측, 실시간 대응, 다양한 데이터 유형에 대한 통합 분석 능력이 요구되므로, 기존의 초거대 모델 중심의 접근보다는 경량화된 실용적 모델 개발 전략이 중요하다. 초기 단계에서는 제품 검사, 설비 진단, 공정 최적화 등 데이터 축적이 활발하고 효과 검증이 용이한 분야부터 적용 범위를 넓혀가는 것이 바람직하다.
- 궁극적으로 제조 특화 파운데이션 모델은 높은 신뢰성과 적응성을 기반으로 제조 AI 생태계를 확장하는 핵심 인프라로 기능할 수 있으며, 산업 전반의 디지털 전환을 가속화하는 중요한 기술 자산이 될 것이다.

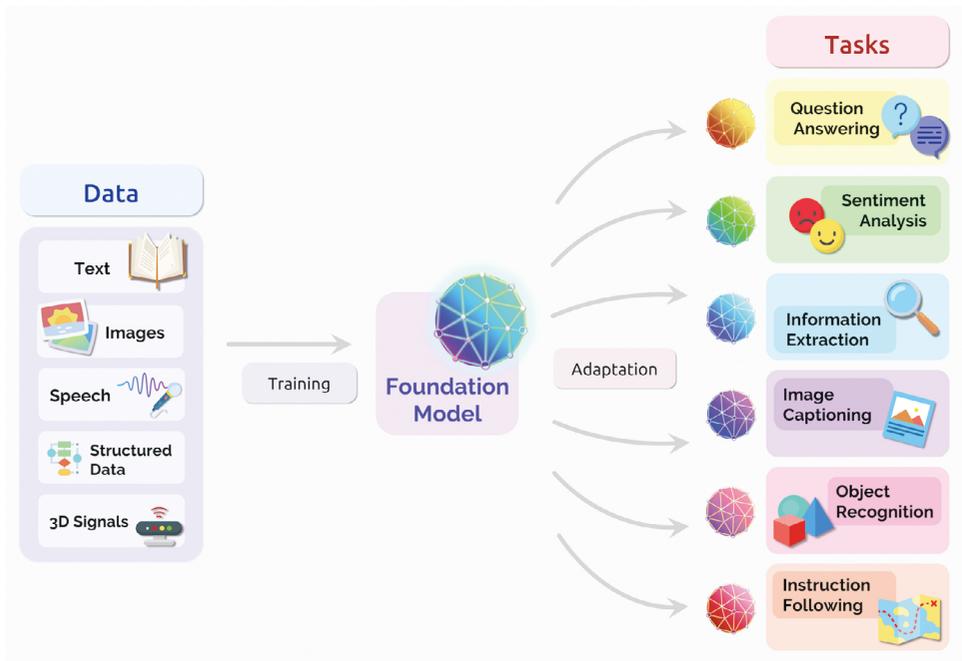
1. 제조 AI

파운데이션 모델

파운데이션 모델 개념

- 파운데이션 모델은 대규모 데이터 세트를 기반으로 학습되어 다양한 하위 작업에 적용할 수 있는 범용 AI 모델을 의미한다. 스탠퍼드대 인간중심AI연구소(HAI)의 파운데이션모델연구센터(CRFM)가 이 용어를 정의하고 대중화하였으며, 미국의 AI 관련 행정명령(「EO 14110」)에서는 “폭넓은 데이터에 대해 훈련된 AI 모델로, 일반적으로 자가 감독을 사용하고 최소 10억 개 이상의 매개변수를 포함하며, 다양한 맥락에서 적용 가능한 모델”로 정의하고 있다. 「유럽연합 인공지능법(EU AI Act)」 또한 유사하게 “다양한 데이터로 학습되어 일반적인 출력을 생성하고, 여러 고유한 작업에 조정될 수 있는 모델”로 명시하고 있다.

그림 1
파운데이션 모델의 개념
출처: Stanford University
(2021.08.)

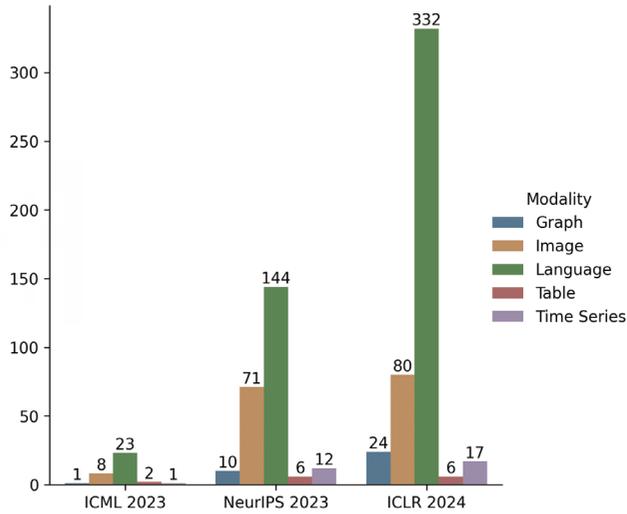


파운데이션 모델 유형

- 파운데이션 모델은 일반적으로 텍스트, 이미지, 오디오, 비디오 등 다양한 모달리티를 아우르면서 학습되며, 멀티모달(Multimodal) 환경에서도 강력한 성능을 발휘한다. 사전 학습(Pretraining) 단계에서 방대한 범위의 지식과 패턴을 습득한 후 특정 도메인이나 업무에 맞게 적응(Adaptation)되어 활용된다. 최근 ICML, NeurIPS, ICLR 등 주요 탐티어 학회에서 파운데이션 모델 관련한 논문 출판 건수가 지속적으로 증가하고 있으며, 다양한 모달리티를 다루는 연구 또한 확산되고 있다.

그림 2

파운데이션 모델 관련 연구 건수
출처: ICML 2024 (2024.07.)



○ 파운데이션 모델은 적응성, 효율성, 확장성이라는 세 가지 주요 특성을 갖는다. 적응성 측면에서는 하나의 모델이 다양한 도메인과 작업에 유연하게 적용 가능하며, 효율성 측면에서는 사전 학습된 모델을 활용함으로써 개발 시간과 자원을 절감할 수 있다. 또한 새로운 데이터와 업무에 대해서도 추가 학습(fine-tuning) 등을 통해 손쉽게 확장할 수 있다는 장점이 있다.

○ 파운데이션 모델의 개발 방향성은 크게 두 가지로 나뉜다. 첫째, 도메인 특화(Domain-specific) 모델로서 특정 데이터 유형(예: 자연어, 영상, 시계열 등)이나 특정 응용 분야(예: 제조, 의료, 법률 등)에 최적화되어 해당 도메인의 특성과 요구에 맞는 다양한 업무를 수행할 수 있도록 설계된다. 둘째, 업무 특화(Task-specific) 모델은 번역, 예측, 이미지 분할 등 특정 업무에 최적화되어 있으며, 도메인 특화 모델 대비 구현이 간결하고 성능 확보가 용이하다.

그림 3

대표적인 시계열 파운데이션 모델(TSFM)의 로드맵
출처: KDD 2024 Conference (2024.08.)

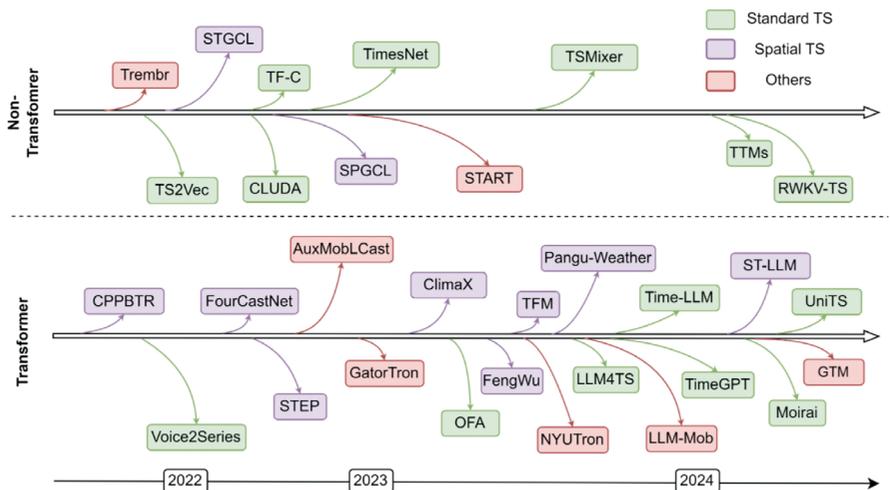
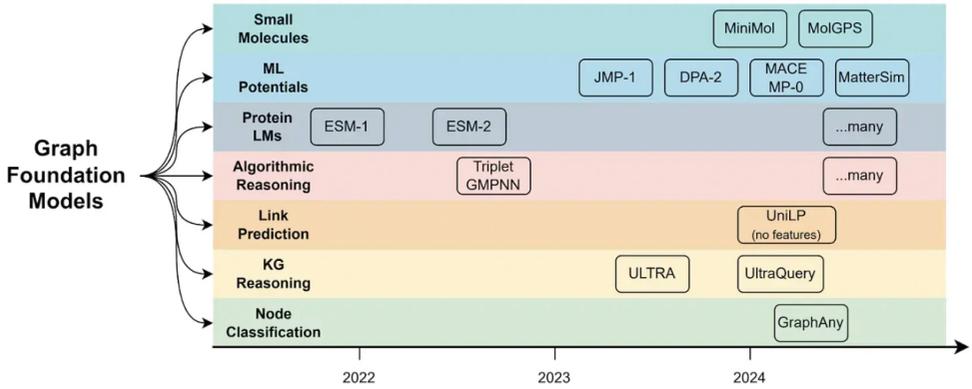


그림 4

그래프 기반 업무 특화
파운데이션 모델의
연구 동향
출처: towards
data science
(2024.06.)



○ 대표적인 도메인 특화 파운데이션 모델로는 OpenAI의 GPT-4를 들 수 있다. GPT-4는 1조 개 이상의 매개변수를 가진 초대규모 멀티모달(언어+이미지) 모델로, 텍스트 생성, 요약, 번역, 코드 작성 등 다양한 작업을 프롬프트 기반으로 수행할 수 있다. 이 모델은 Retrieval-Augmented Generation(RAG), OCR, 이미지 생성 및 이해 모델 등과의 결합을 통해 멀티모달 데이터를 처리할 수 있으며, 다양한 산업 분야에 폭넓게 활용되고 있다. 다만 GPT-4는 방대한 범위의 일반 지식을 바탕으로 동작하기 때문에 특수 도메인이나 특정 업무에 대한 이해가 부족할 수 있으며, 이러한 응용에서는 추가적인 검증과 조정이 필수적이다.

그림 5

멀티모달 기반 파운데이션 모델인
GPT-4
출처: GPT-4 Technical Report,
2023

GPT-4 visual input example, Extreme Ironing:

User: What is unusual about this image?

Source: <https://www.barnorama.com/wp-content/uploads/2016/12/03-Confusing-Pictures.jpg>

GPT-4: The unusual thing about this image is that a man is ironing clothes on an ironing board attached to the roof of a moving taxi.

○ 업무 특화 파운데이션 모델 중에서는 Meta AI에서 개발한 Segmentation Anything Model(SAM)이 대표적이다. SAM은 1,100만 개 이상의 이미지로 학습된 이미지 분할용 파운데이션 모델로, 거의 모든 객체에 대해 고정된 레이블 없이도 유연한 분할이 가능하다. 이 모델은 이미지 속 점, 박스, 텍스트 등 다양한 입력을 통해 사용자의 요구에 따른 세밀한 분할을 수행한다. 그러나 일반적인 인터넷 이미지로 학습되었기 때문에 제조업처럼 도메인 특성이 강한 분야에서는 별도의 적응 과정 없이는 일반화 성능이 저하될 수 있다.

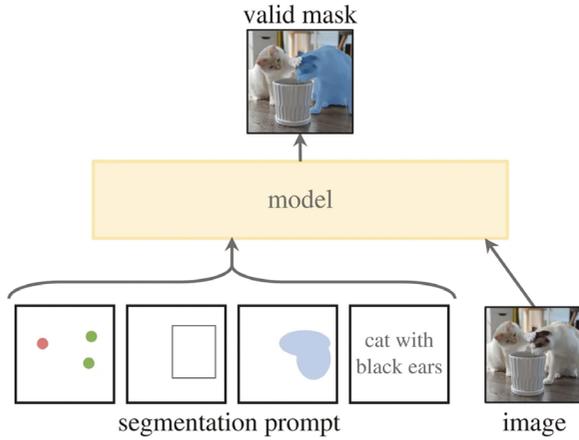
그림 6

이미지 분할 특화 파운데이션 모델인

SAM

출처: Meta AI Research,

FAIR (2023.04.)



- 파운데이션 모델은 다음 세 가지 방식으로 실질적인 응용이 가능하다. 사전 학습 그대로 활용(Direct Use), 부분 적응형 활용(Lightweight Adaptation), 그리고 도메인 확장형 적응(Cross-domain Adaptation)이다. 각 방식은 모델의 수정 수준, 요구되는 리소스, 대상 작업의 특성에 따라 선택된다.
- ‘사전 학습 그대로 활용’ 방식은 파운데이션 모델을 특정 작업에 적용할 때 별도의 파인튜닝이나 구조 수정 없이 있는 그대로 활용하는 접근법이다. 이 방식의 핵심은 프롬프트(Prompt) 기반 조작이며, 특히 다음과 같은 전략들이 사용될 수 있다.
 - ① 제로샷 학습(Zero-shot Learning): 예시 없이 단순히 지시문만으로 모델이 문제를 해결하도록 유도하는 방식,
 - ② 퓨샷 학습(Few-shot Learning): 프롬프트 안에 몇 가지 예시를 포함시켜 모델이 그 패턴을 일반화하도록 유도하는 방식,
 - ③ 단계적 추론 유도(Chain-of-Thought Prompting): 단계적 추론을 유도하여 복잡한 문제를 풀 수 있도록 설계하는 방식,
 - ④ 문맥 기반 학습(In-Context Learning): 문맥 정보나 배경지식을 프롬프트 내에 삽입하여 모델의 예측 성능을 향상시키는 방법 등이다.
- ‘사전 학습 그대로 활용’ 방식의 장점은 추가 학습 없이도 높은 일반화 성능을 활용할 수 있다는 것이다. 단점으로는 프롬프트 디자인에 따라 성능 편차가 크고, 특정 도메인이나 정밀 작업에는 최적화되지 않을 수 있다. 또한 모델이 언어를 입력으로 받을 수 있는 구조여야만 한다.

그림 7

제로샷 학습 및 단계적
추론 유도 연구의 사례
출처: NIPS 2022
(2022.11.)

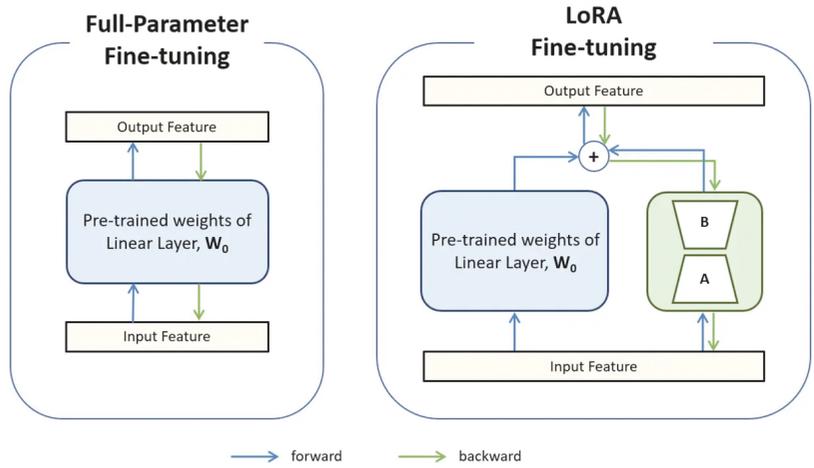
(a) Few-shot	(b) Few-shot-CoT
<p>Q: Roger has 5 tennis balls. He buys 2 more cans of tennis balls. Each can has 3 tennis balls. How many tennis balls does he have now? A: The answer is 11.</p> <p>Q: A juggler can juggle 16 balls. Half of the balls are golf balls, and half of the golf balls are blue. How many blue golf balls are there? A:</p> <p><i>(Output) The answer is 8. ❌</i></p>	<p>Q: Roger has 5 tennis balls. He buys 2 more cans of tennis balls. Each can has 3 tennis balls. How many tennis balls does he have now? A: Roger started with 5 balls. 2 cans of 3 tennis balls each is 6 tennis balls. $5 + 6 = 11$. The answer is 11.</p> <p>Q: A juggler can juggle 16 balls. Half of the balls are golf balls, and half of the golf balls are blue. How many blue golf balls are there? A:</p> <p><i>(Output) The juggler can juggle 16 balls. Half of the balls are golf balls. So there are $16 / 2 = 8$ golf balls. Half of the golf balls are blue. So there are $8 / 2 = 4$ blue golf balls. The answer is 4. ✔️</i></p>
(c) Zero-shot	(d) Zero-shot-CoT (Ours)
<p>Q: A juggler can juggle 16 balls. Half of the balls are golf balls, and half of the golf balls are blue. How many blue golf balls are there? A: The answer (arabic numerals) is</p> <p><i>(Output) 8 ❌</i></p>	<p>Q: A juggler can juggle 16 balls. Half of the balls are golf balls, and half of the golf balls are blue. How many blue golf balls are there? A: Let's think step by step.</p> <p><i>(Output) There are 16 balls in total. Half of the balls are golf balls. That means that there are 8 golf balls. Half of the golf balls are blue. That means that there are 4 blue golf balls. ✔️</i></p>

- ‘부분 적응형 활용’ 방식은 기존 모델의 전체 구조를 변경하지 않고 일부 파라미터만 조정하거나 추가 모듈을 삽입하는 방식으로 적은 자원으로도 높은 적응 성능을 확보하는 접근이다. 이는 전체 파라미터를 업데이트하는 방법에 비해 효율성과 경량화 측면에서 우수하며, 특히 자원 제약이 있는 모바일이나 에지 환경에서 효과적이다. 대표적으로 다음과 같은 기법이 활용될 수 있다.
- 모델 전체가 아닌 일부만 훈련하는 PEFT(Parameter-Efficient Fine-Tuning) 방법으로는 ① 저차원 적응 학습(LoRA, Low-Rank Adaptation): 기존 모델의 핵심 가중치(weight)를 직접 변경하지 않고 가볍고 구조가 단순한 보조 학습 경로를 추가로 붙여서 훈련시키는 방식, ② 특화형 적응 모듈(Adapter): 기존 레이어 사이에 소형 모듈을 일종의 플러그인 구조로 삽입해 훈련시키는 방식, ③ 프리픽스/프롬프트 튜닝(Prefix/Prompt Tuning): 모델의 입력에 붙는 프리픽스(Prefix)나 가상 토큰(Prompt embedding)만 훈련시키는 방식 등이 있다. 또한 큰 모델(Teacher)의 지식을 작은 모델(Student)로 전이하는 지식 증류(Knowledge Distillation), 모델을 저정밀도로 압축하여 연산 효율을 향상시키는 양자화(Quantization)를 활용할 수도 있다.
- 이러한 방법은 BERT, GPT, T5, CLIP, DALL-E 등 다양한 언어와 멀티모달 모델에 적용되며, 효율적인 커스터마이징이 가능하다는 점에서 활발하게 연구되고 있다.

그림 8

LoRA 기반 PEFT 방법

출처: Intel Developer Zone (2024년)

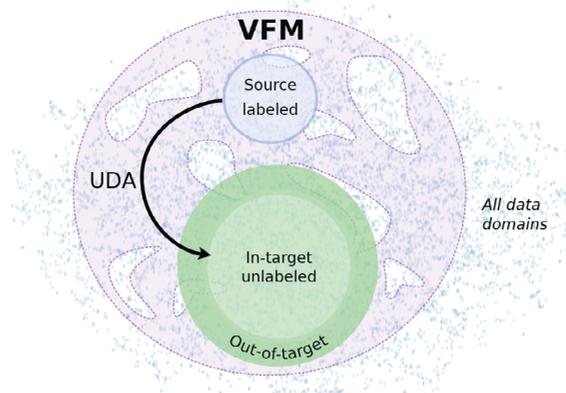


- ‘도메인 확장형 적응(Cross-domain Adaptation)’은 파운데이션 모델이 학습된 원래 도메인과는 다른 환경에 모델을 전이 적용하는 기술이다. 이 방식은 특히 제조, 의료, 법률 등 도메인 특화 데이터가 부족한 분야에서 매우 유용하다. 핵심은 도메인 간 갭(domain gap)을 줄이는 것이다. 여기에는 ① 도메인 적응 레이어(Domain Adaptation Layer): 모델 내부에 타깃 도메인 특화 레이어를 삽입해 해당 환경에 맞게 표현을 조정하는 방식, ② 도메인 불변 표현 학습(Domain-Invariant Representation Learning): 도메인 간 차이를 최소화하고 서로 다른 도메인에서도 일관되게 작동하는 공통 표현을 학습하는 방식, ③ 도메인 혼합 학습(Domain Mixup): 소스 도메인과 타깃 도메인의 데이터를 혼합하여 모델이 다양한 도메인에 적응할 수 있도록 학습하는 방식 등이 있다.
- 이를 통해 일반 도메인에서 의료, 금융, 제조 등 특수 분야로 적응하는 도메인 특화 적응이 가능하다. 크로스 도메인 적응은 다양한 산업 응용에서 데이터 부족 문제를 해결하고 파운데이션 모델의 재사용성과 확장성을 극대화하는 전략으로 각광 받고 있다.

그림 9

Domain adaptation의 개념

출처: 2024 IEEE/CVF Conference (2024.06.)



- 이처럼 파운데이션 모델은 다양한 데이터 유형과 작업 방식에 적응할 수 있는 유연성과 확장성을 바탕으로 사전 학습된 범용 모델을 다양한 도메인에 맞게 전이하거나 경량화하여 재활용하는 방식으로 진화하고 있다. 특히 입력 방식에 따라 직접 활용하거나 모델의 일부만 수정하는 경량 적응 또는 새로운 환경에 맞게 전이 적용하는 크로스 도메인 전략이 각각의 요구에 맞춰 선택될 수 있다. 이러한 기술적 흐름은 단일 목적형 AI의 한계를 넘어 범용 AI로서의 실용성을 확보하기 위한 핵심 전략으로 자리 잡고 있다.
- 제조와 같은 특정 도메인에 맞춘 파운데이션 모델의 개발을 위해서는 다음과 같은 핵심 기술이 필요하다. 첫째, 영상, 텍스트, 음성, 도메인 특화 데이터 등 이질적인 데이터를 통합 분석할 수 있는 멀티모달 처리 능력이 요구된다. 둘째, 일반 도메인 모델을 특화 데이터에 그대로 적용할 경우 성능 저하가 발생하기 때문에 크로스 도메인 적응(Cross-domain Adaptation)이나 경량 파인튜닝(Parameter-Efficient Fine-Tuning) 같은 도메인 특화 적응 기술이 필수적이다. 셋째, 다량의 데이터 확보가 어렵고 라벨링 데이터가 적은 특화 도메인 환경을 고려한 데이터 확보 전략, 데이터 생성 기술, 데이터 학습 기술이 요구된다. 최근 제조 영역에서도 공정 진단, 설비 예지 보전, 결함 검출 등을 위해 비전 기반의 멀티모달 파운데이션 모델 도입이 활발히 시도되고 있으며, 산업별 적응화 연구가 본격화되고 있다.

제조 AI 파운데이션 모델 개발 방향

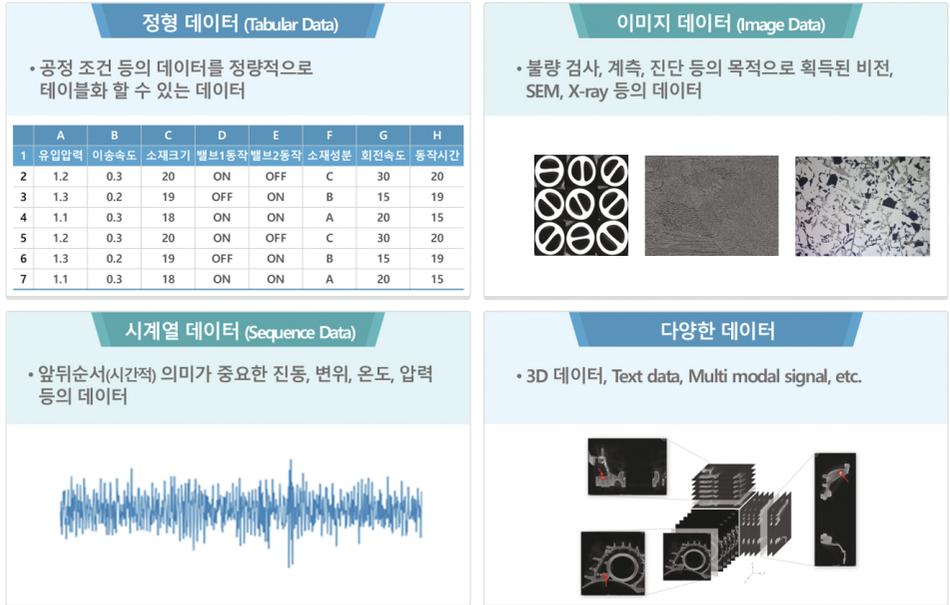
- 최근 제조업의 혁신 키워드로 떠오르고 있는 AI 자율제조(Autonomous Manufacturing)는 공장자동화를 넘어 제조 전 과정에서 AI 기반의 로봇·제조 설비를 활용하여 인간의 개입을 최소화하는 생산 기술을 의미한다. 그리고 자율제조를 구현하는 데 있어 AI 기술은 핵심적인 역할을 수행한다.
- AI를 제조 산업에 적용할 때는 다른 산업과 구별되는 몇 가지 특성이 존재한다. 우선 데이터의 형태가 매우 다양하고 비정형 데이터의 비중이 높으며, 이러한 데이터를 확보하는 데 높은 비용이 수반된다. 또 실시간 처리가 요구되는 응용이 많으며, 실제 물리적 시스템과 직접 연계되어 복잡한 생산 시스템과의 통합 운용이 필요하다. 따라서 이러한 제조 산업의 특수성을 충분히 이해하고, 이를 실제 현장에 효과적으로 적용하기 위해서는 AI 모델의 높은 정확도와 신뢰성 확보가 필수적이다.

그림 10

제조 산업의
다양한 데이터

출처:

한국생산기술연구원



- 제조업에 AI를 성공적으로 도입하기 위해 현재 제조 현장에서는 특정 산업, 설비, 제품에 특화된 개별 AI 기술 개발이 활발히 진행되고 있다. 이러한 개별 접근은 도입 초기에 빠른 성과를 도출할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 데이터 수집과 모델 설계가 개별 사례 중심으로 이루어지는 경우가 많아 확장성과 재사용성이 제한적이라는 한계를 안고 있다. 또한 산업 간 또는 설비 간에 지식과 데이터의 공유가 어려워 유사한 문제에 대해서도 반복적인 개발이 요구되는 비효율성이 존재한다.
- 이러한 한계를 극복하고 개발 속도와 높은 정확도를 갖는 제조 특화 AI 모델을 확보하기 위해서는 위에서 언급한 파운데이션 모델처럼 제조 데이터에 대해 깊이 있게 이해하는 제조 AI 파운데이션 모델의 개발이 필요하다. 이러한 모델은 다양한 제조 도메인에 유연하게 적용이 가능하며, 소규모 데이터만으로도 빠르게 적용할 수 있어 AI 도입의 효율성과 확장성을 동시에 확보할 수 있다. 또한 모델 조합, 적응화, 미세조정 등을 통해 원하는 기능을 수행할 수 있도록 최적화할 수도 있다.
- 제조 특화 공통 AI 모델은 제조 AI 파운데이션 모델 개발에 앞서 비교적 소규모의 데이터 세트로 이종 산업에 공통 적용 가능한 기술의 구현을 목표로 한다. 이러한 공통 모델은 파운데이션 모델 개발의 중간 단계로서 제조 데이터에 대한 이해를 기반으로 모델의 성능과 표현 능력을 고도화하고, 궁극적으로는 범용성과 정밀도를 겸비한 제조 AI 파운데이션 모델 구축으로 이어질 수 있다.

- 제조 특화 공통 AI 모델을 효과적으로 개발하기 위해서는 먼저 어떤 분야에서 AI 모델 개발이 활발히 이루어지고 있는지에 대한 체계적인 분석이 선행되어야 한다. 수요가 높은 분야일수록 데이터 축적이 용이하며, 이를 기반으로 공통 AI 모델의 개발 가능성과 활용성이 더욱 높아진다. 다양한 문헌 조사와 실제 개발 사례 분석을 통해 볼 때 제조업에서 AI 기술이 활발히 적용되고 있는 분야는 크게 5가지로 분류할 수 있다. 주요 적용 분야는 설계, 설비 진단, 제품 검사, 물류, 공정 관리 등이다.

그림 11

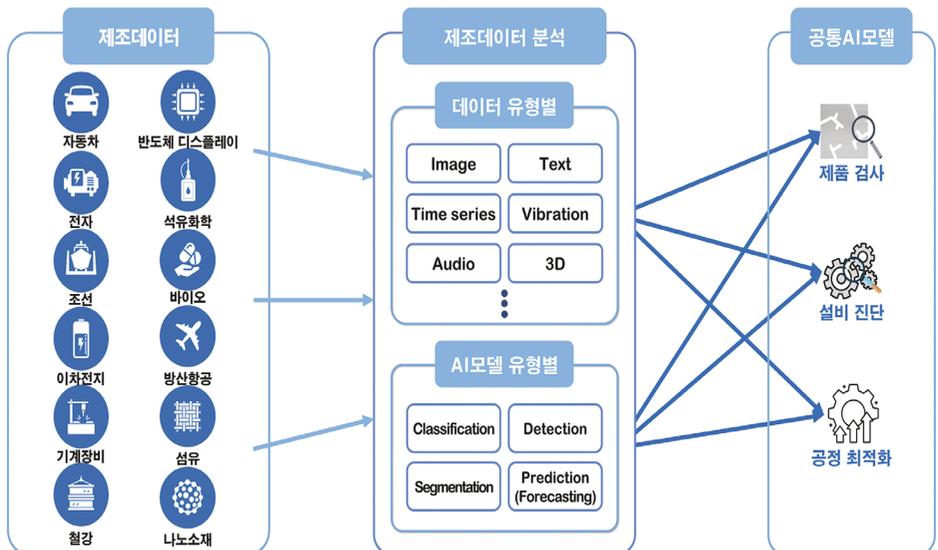
제조 특화 공통 AI 모델의
주요 적용 분야
출처: 한국생산기술연구원



- 5가지 주요 분야를 대상으로 데이터 특성과 AI 모델 유형을 분석한 결과, 이 중 3가지 분야에 대해 대표적인 공통 AI 모델 개념을 도출할 수 있었다. 본 절에서는 제품 검사, 설비 진단, 공정 최적화를 중심으로 각 분야별 공통 AI 모델의 개발 방향과 적용 가능성에 대해 구체적으로 살펴보고자 한다.

그림 12

공통 AI 모델을 위한
제조 데이터 분석
출처: 한국생산기술연구원

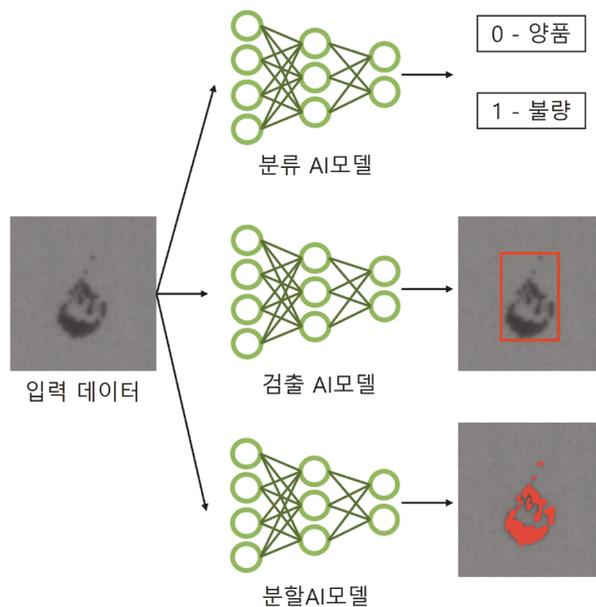


○ 제품 검사 분야에서는 주로 2D 이미지 데이터를 활용하며, 이를 기반으로 다양한 AI 모델이 적용되고 있다. 검사에 활용되는 AI 모델은 이미지의 고해상도 복원, 노이즈 제거, 결함 위치 검출, 결함 종류 분류 등 여러 기능을 수행한다. 특히 제품 결함 검사를 위한 핵심 AI 기능은 검출(Detection), 분류(Classification), 분할(Segmentation)의 세 가지로 구분할 수 있다. 검출은 이미지 내에서 결함이 존재하는 위치를 찾아내고 해당 결함의 종류를 구분하는 기능이다. 분류는 이미지 전체를 대상으로 정상 여부를 판단하거나 불량일 경우 어떤 유형의 결함인지 판별하는 역할을 한다. 분할은 결함의 위치를 화소 단위로 정밀하게 식별함으로써 결함의 형태와 경계를 정확하게 추출할 수 있는 고도화된 분석 기능을 제공한다.

그림 13

제품 검사 AI 모델

출처: 한국생산기술연구원



○ 이처럼 제품 검사를 위한 2D 이미지 데이터에 대해서는 AI 모델이 각기 특정 기능을 수행하도록 개발된다. 향후 제품 검사에 적용될 공통 AI 모델은 다양한 검사 목적에 유연하게 대응할 수 있도록 프롬프트 기반 구조를 갖추는 것이 중요하다. 공통 AI 모델에 ‘분류’라는 태스크 정보와 함께 대표 이미지를 프롬프트로 제공하면 모델은 이후 입력되는 이미지에 대해 정상/불량 여부를 자동으로 분류하는 기능을 수행한다. 동일한 방식으로 ‘검출’이라는 프롬프트와 함께 검출 대상이 포함된 예시 이미지를 입력하면 모델은 이미지 내의 특정 결함이나 객체를 자동으로 검출하게 된다. 이처럼 분류, 검출, 분할 등 결함 검사에 필요한 주요 기능을 하나의 공통 AI 모델로 통합하여 수행할 수 있다면 적은 양의 데이터만으로도 사전 학습 없이 다양한 검사 기능의 구현이 가능할 것으로 기대된다.

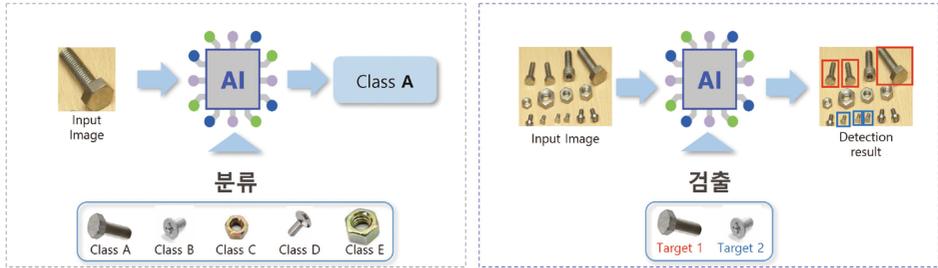
- 또한 이러한 공통 AI 모델은 비전 검사 시스템에서 촬영된 일반 2D 이미지뿐만 아니라 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope), X-ray, 열화상 카메라 등 다양한 센서 기반 이미지 데이터로도 확장이 가능하여 적용 범위가 매우 넓다.

그림 14

공통 AI 모델-결함 검사

예시

출처: 한국생산기술연구원



공통 AI 모델-설비 상태 진단

- AI를 활용한 설비 진단 분야는 설비 모니터링, 잔존 수명 예측, 예지 보전, 이상 감지 등 다양한 응용 영역으로 구성되어 있으며, 진동, 온도, 전류, 전압, 유량, 이미지 등 다양한 센서 데이터가 활용된다. 이처럼 목적과 기능, 데이터 유형이 매우 다양한 설비 진단 분야에서는 여러 공통 기능이 AI 기반으로 구현될 수 있다. 그중에서도 입력 데이터와 기준 데이터 간의 유사도를 판단하는 AI 모델은 설비 진단 전반에 공통적으로 적용 가능한 핵심 기능 중 하나로, 공통 AI 모델의 기반이 될 수 있다.
- 예를 들어 설비 상태를 진단할 때 AI는 실시간으로 수집되는 진동 시계열 데이터를 분석하여 해당 설비가 정상 상태인지, 이상 상태인지 판단할 수 있다. 일반적인 상태 진단용 AI 모델은 하나의 입력과 하나의 출력을 가지며, 실시간 진동 데이터를 입력받아 정상이면 0, 비정상이면 1과 같은 방식으로 결괏값을 출력한다. 반면 공통 AI 모델은 보다 범용적으로 활용 가능한 구조로 설계되어 2개의 입력-실시간 진동 데이터와 사전에 확보된 정상 데이터-을 동시에 받아들인다. AI 모델은 이 두 입력 간 유사도를 분석하여 출력하게 되며, 이를 기반으로 설비의 상태를 판단한다.
- 이러한 접근 방식에서는 소량의 정상/비정상 데이터를 확보해 두고, 현재 입력되는 실시간 데이터와의 유사도를 계산함으로써 어떤 상태에 더 가까운지를 판단할 수 있다. 즉 공통 AI 모델은 별도의 복잡한 학습 없이도 정상/비정상 상태를 유연하게 진단할 수 있는 구조로, 다양한 설비 진단 시나리오에 효과적으로 적용될 수 있다.

- 설비 상태를 단순히 정상과 비정상의 이진 분류가 아닌 n개의 상태로 세분화하여 진단할 경우, 공통 AI 모델을 n개 병렬로 구성하는 방식으로 확장할 수 있다. 이때 각 모델에는 비교하고자 하는 n가지 상태에 해당되는 대표 데이터를 입력으로 제공하고 실시간 입력 데이터와의 유사도를 각각 계산함으로써 가장 유사한 상태를 선택하는 방식으로 설비 상태를 판단할 수 있다.

그림 15

공통 AI 모델-신호 비교 AI 예시

출처: 한국생산기술연구원

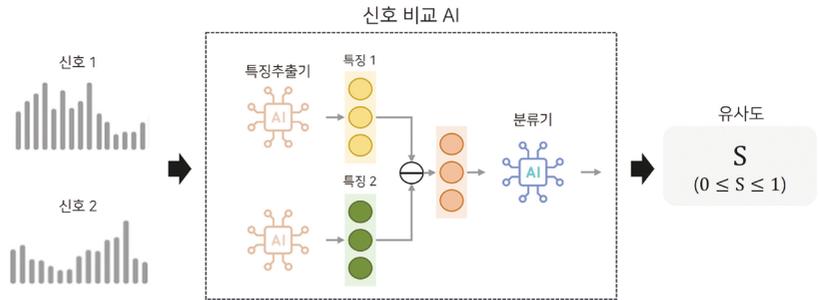
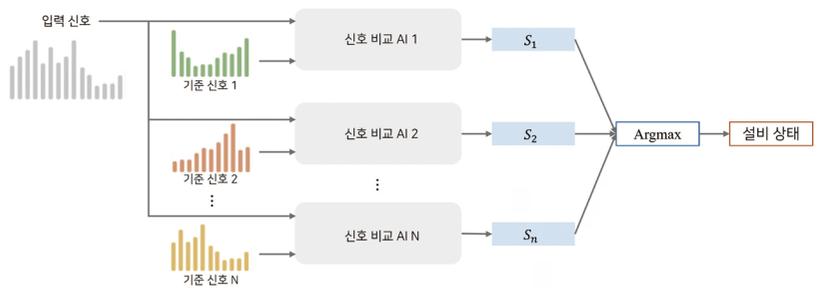


그림 16

공통 AI 모델-설비 상태 진단 예시

출처: 한국생산기술연구원



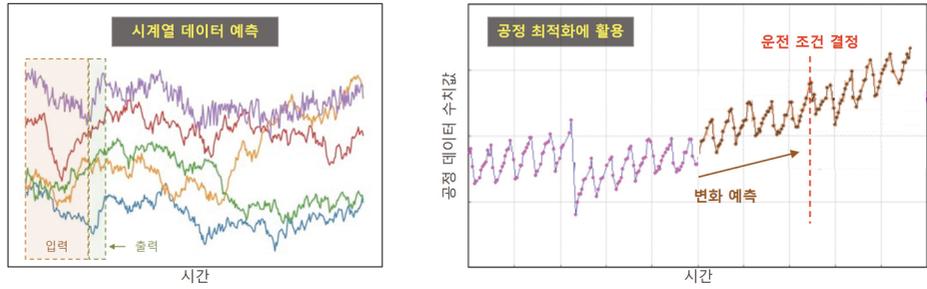
공통 AI 모델-공정 최적화

- 공정 최적화를 위한 공통 AI 모델의 개발은 다양한 방향으로 접근이 가능하다. 이는 공정 최적화가 매우 포괄적인 개념으로, 다양한 기술 요소와 응용 분야를 포함하기 때문이다. 그중에서도 시계열 데이터 예측은 여러 제조 산업에서 폭넓게 활용되고 있으며, 공정 최적화를 위한 핵심 기반 기술로 활용될 수 있다. 예를 들어 공정의 다양한 인자 중 주요 변수의 과거부터 현재까지의 시계열 데이터를 활용해 향후 변화 추이를 예측할 수 있다면 이를 통해 설비 운전 조건의 최적화, 소모품 교체 주기의 설정, 공정 제어 정밀화 등 다양한 최적화 작업에 활용될 수 있다. 그림 17은 이러한 시계열 예측 모델의 개념을 시각화한 것인데, 입력은 과거 시점의 시계열 데이터이고 출력은 미래 시점의 데이터를 예측하는 구조를 나타낸다.

그림 17

공동 AI 모델-공정 최적화 예시

출처: 한국생산기술연구원



2. 시사점

- 최근 AI 기술의 발전은 일반화 성능이 우수하고 다양한 다운스트림 태스크(Downstream Task)와 도메인에 광범위하게 적용될 수 있는 파운데이션 모델의 등장으로 가속화되고 있으며, 다양한 산업 분야의 혁신을 이끌고 있다. 기존의 개별 모델 개발 방식에 비해 개발 속도, 성능, 유지 보수성 측면에서 뛰어난 효율성을 보이고 있다. 특히 자연어 처리와 컴퓨터 비전 분야에서는 GPT, CLIP, SAM 등과 같은 대표 모델을 기반으로 다양한 산업 응용 기술이 빠르게 확산되는 추세다. 이러한 흐름은 제조업에도 마찬가지로 중요한 시사점을 제공하며, 설계, 결함 검사, 설비 상태 진단, 물류, 공정 관리, 디지털 트윈 등 다양한 제조 AI 응용 분야에서 도메인 지식이 내재화된 제조 특화 AI 파운데이션 모델의 필요성이 점차 커지고 있다.
- 제조 특화 AI 파운데이션 모델을 개발하기 위해서는 제조업 전반에 걸쳐 개별 AI 모델 개발 현황 및 제조 데이터를 면밀히 분석하고, 실제 산업 현장에서 높은 수요와 파급력을 가진 분야를 우선적으로 선정하는 전략적 접근이 필요하다. 예를 들어 결함 검사, 설비 예지 보전, 공정 최적화 등처럼 데이터 축적이 활발하고 실질적인 효과가 검증된 분야부터 파운데이션 모델 개발을 시작함으로써 현장 적용성과 기술 신뢰성을 동시에 확보할 수 있다. 이러한 방식은 제한된 자원과 데이터를 효과적으로 활용하면서도 단계적으로 제조 AI 생태계를 확장해 나갈 수 있는 실용 중심의 개발 전략으로 작용할 수 있다.
- 또한 일반적으로 파운데이션 모델 개발은 대규모 데이터를 이용하여 학습시킨 초거대 모델 중심으로 개발되고 있다. 이에 반해 제조 분야에서는 대규모 데이터 세트 구축이 상대적으로 어려운 상황이다. 따라서 상대적으로 경량화된 구조이면서 다양한 제조 문제를 풀 수 있는 제조업 특화 파운데이션 모델 개발의 전략적 접근이 요구된다.

출처 및 참고문헌

1. R. Bommasani, D. A. Hudson, E. Adeli, R. Altman, S. Arora, S. von Arx, et al., “On the Opportunities and Risks of Foundation Models”, Center for Research on Foundation Models(CRFM), Stanford Institute for Human-Centered Artificial Intelligence(HAI), Stanford University, 2021.08.16.: arXiv:2108.07258.
2. B. van Breugel & M. van der Schaar, “Why Tabular Foundation Models Should Be a Research Priority”, ICML 2024: Proceedings of the 41st International Conference on Machine Learning No. 2003, pp. 48976-48993, 2024.07.21.: arXiv:2405.01147.
3. Y. Liang, H. Wen, Y. Nie, Y. Jiang, M. Jin, D. Song, et al., “Foundation Models for Time Series Analysis: A Tutorial and Survey”, in Proc. 30th ACM SIGKDD Conf. Knowledge Discovery and Data Mining(KDD 2024), pp. 6555–6565, 2024.03.21.: arXiv:2403.14735.
4. Michael Galkin, “Foundation Models in Graph & Geometric Deep Learning”, towardsdatascience.com, 2024.06.18.
5. OpenAI, et. al., “GPT-4 Technical Report”, 2023.03.15.: arXiv:2303.08774.
6. A. Kirillov, E. Mintun, N. Ravi, H. Mao, C. Rolland, L. Gustafson, et. al., “Segment Anything”, Meta AI Research, FAIR, 2023.04.05.: arXiv:2304.02643.
7. T. Kojima, S. S. Gu, M. Reid, Y. Matsuo, Y. Iwasawa, “Large Language Models are Zero-Shot Reasoners”, NIPS 2022: 36th International Conference on Neural Information Processing Systems, No. 1613, pp. 22199-22213. 2022.11.28.: arXiv:2205.11916.
8. R. Saran, “Fine-Tune Llama 2 70B Model with DeepSpeed ZeRO-3 and LoRA* on Intel® Gaudi® 2 Accelerators”, 2024.03.04.
9. B. B. Englert, F. J. Piva, T. Kerssies, D. de Geus, G. Dubbelman, “Exploring the Benefits of Vision Foundation Models(VFM) for Unsupervised Domain Adaptation(UDA)”, 2024 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops(CVPRW), pp. 1172-1180., 2024.06.14.: arXiv:2406.09896.

박일우 로봇 PD 소개

2006년 한국생산기술연구원 연구원 | 2009년 (재)대전테크노파크 지능형로봇센터 팀장
2014년 한국로봇산업진흥원 | 2024.12.~ KEIT 입사



「이슈픽」을 처음 보는 연구자분들을 위해
자기소개 부탁드립니다.

안녕하십니까!
저는 작년 12월에 KEIT 로봇 분야 PD로 입사한 박일우입니다.
이전에는 한국로봇산업진흥원에서
산업부 기계로봇제조정책과 소관 업무인
"지능형 로봇 관련 정책 개발과 보급 확산"을
지원하는 업무를 수행했습니다.
지능형 로봇 기본 계획 수립을 통해 로봇 분야 기술 수준, 기술
개발 동향 및 산업 현황을 분석하여 연구 개발, 보급, 확산
사업을 기획하여 부처에 제안하는 업무와
로봇 활용을 저해하는 규제를
신제적으로 정비하는 사업 활성화 업무를 담당했습니다.

올해 로봇 분야에서

가장 주목해야 할 이슈는 무엇인가요?

올해 로봇 분야에서 가장 주목할 만한 이슈는
AI 자율제조와 'K-휴머노이드 연합'이라 생각합니다.
특히 휴머노이드 분야는 LLM, 비전 AI 등 AI 기술과의 결합으로
인간과 대화하고 환경을 분석하여 스스로 판단·행동하는
휴머노이드 구현 및 상용화가 가시화되고 있습니다.
이처럼 휴머노이드 로봇 시장 선점 경쟁이 첨예한 상황에서
우리나라는 신속하게 휴머노이드 로봇 특화 AI 개발과
AI 탑재형 범용 휴머노이드 플랫폼 개발이 필요합니다.

올해 신규 사업 및 과제 기획이나 선정 공고, 행사 등
계획이 있을까요?

이상과 같은 이유로 산업부는 지난 4월 10일
'K-휴머노이드 연합'을 출범시켰습니다.
연합 내 참여하는 전문가, 대학, 기업들을 중심으로
휴머노이드 로봇 산업 생태계를 조성하고자 합니다.
범용 휴머노이드 AI 모델, 범용 휴머노이드 로봇 플랫폼 개발에
R&D 지원, 다양한 제조·일상 환경에서 활용할 수 있도록
수요 기업과 함께 휴머노이드 로봇 플랫폼 실증 및
검증 프로젝트를 6월에 공고하여 추진하고자 합니다.

마지막으로 연구 수행자분들께

하고 싶은 말씀이 있다면?

산업부를 중심으로
휴머노이드 로봇 관련 신규 예산을 추진하고 있습니다.
미국과 중국이 앞서가는 상황 속에서
2030년 휴머노이드 최강국이 되기 위해서는
관련 기술 내재화 및 국내 생태계 조성이 중요합니다.
이를 위해서는 산학연 협력도 중요하게
산기평이 휴머노이드 산업 육성과 기술 개발을 위해
열심히 노력하겠습니다.
감사합니다.

이성훈 자율제조 PD 소개

2010~2016년 제주/대구테크노파크 선임연구원

2016년 ~ 구미전자정보기술원 책임연구원 | 2024.11.~ KEIT 입사



「이슈픽」을 처음 보는 연구자분들을 위해

자기소개 부탁드립니다.

지자체 산하 IT/SW 특화연구센터에서 지역 기업 일자리 창출 및 매출 신장 등 지역경제 활성화를 위한 정책 수립 업무를 수행해 왔습니다. 산업 현장의 생산성 향상을 위해 AI와 첨단장비 기술 결합 및 자율제조 시스템 관련 신규 과제 발굴·연구를 2013년부터 시작해서 약 10년 넘게 연구 개발하고 있습니다.

올해 자율제조 분야에서

가장 주목해야 할 이슈는 무엇인가요?

글로벌 컨설팅 기업 PwC의 보고서에 따르면, AI는 2030년까지 세계 GDP를 약 15.7조 달러 증가시킬 것이며, 연평균 14% 이상의 성장률로 예측하고 있습니다. 노동 생산성 향상이 초기 GDP 증가를 주도하고, 기업은 AI 기술을 활용해 노동 생산성을 '증강(Augment)'시키고 일부 작업과 역할을 자동화할 것으로 보고 있습니다. 미국이 범용 AI 사업에서는 독보적인 지위를 가지고 있지만, 제조업에 AI 기술의 적용과 활용에 대해서는 아직 장악하지 못했습니다. 산업 AI를 적용할 제조 기반 산업 환경(제조공정 데이터 수집 등)이 부족하기 때문입니다. 제조 현장에서는 상당량의 데이터가 수집되지만, 단순한 분석만으로 공장 상황을 제대로 파악하기 어렵습니다. 제조 도메인의 전문지식과 결합할 때 의미 있는 성과 도출이 가능합니다. 현재 공장에서는 작업자가 직접 장비와 기계들을 조작하면서 작업이 이루어집니다. 그러나 AI 기술이 생산 업무에 적용되고 기술이 발전하면 공장 운영 방식도 크게 변화할 것입니다. AI는 챗봇을 넘어 에이전트로서 인간의 개입 없이 자율적으로 다양한 작업을 수행하고 인간과 상호작용하여 가치를 생산해 내는 영역까지 확대되고 있습니다. AI는 실시간 데이터 분석을 통해 최적의 의사결정을 지원하지만, 작업자는

AI가 제안한 최적의 방안을 검증하고 조정하여 시행착오를 줄이는 방향으로 유도해야 합니다. 개별 기업의 특성을 반영한 전략을 수립함으로써 AI 기술이 자연스럽게 생산 현장에 정착될 수 있도록 지속적인 유지와 활용이 중요하다고 생각합니다.

올해 신규 사업 및 과제 기획이나 선정 공고, 행사 등 계획이 있을까요?

제조업이 당면한 생산성 향상 정체, 생산 인구 감소, 탄소중립 대응 등의 난제를 극복하고 산업 현장의 요구사항들을 분석하고자 합니다. 그래서 AI 자율제조 시스템의 도입과 확산으로 공급 기업(AI, 로봇 등)의 AI 자율제조 핵심 역량 확보를 목표로 후보 과제들을 기획할 예정입니다.

마지막으로 연구 수행자분들께

하고 싶은 말씀이 있으시다면?

AI를 결합하여 제조 현장을 인공지능화하는 새로운 산업화 전략이 기획과 도전 요인이 될 것입니다. 세계는 협력에서 경쟁 관계로 재편되어 탈세계화 경제구조로 급속히 변하고 있습니다. 산업 경제의 근간인 제조업에도 근본적 변화가 요구되고 있습니다. 글로벌 선도 기업들(지멘스, 테슬라 등)도 제조자동화에서 자율제조화로 기술 경쟁이 치열해지고 있습니다. AI 자율제조 선도 프로젝트의 개발 결과물을 현장에 적용하는 실증 연구를 지원하고 있는데, 다양한 성공 사례가 창출되었으면 합니다. 자율제조는 성공적인 도입으로 생산성 혁신, 비용 절감, 품질 향상 등 다양한 이점을 산업 현장에서 실질적으로 체감하게 되리라 확신합니다. AI 자율제조가 성공적으로 확산되어 제조 기업은 최첨단 공장으로 경쟁력을 강화하고, AI·SW·첨단 장비 등 기술 공급 기업들도 지속적으로 성장하는 생태계가 구축되었으면 합니다.

KEIT ISSUE PICK

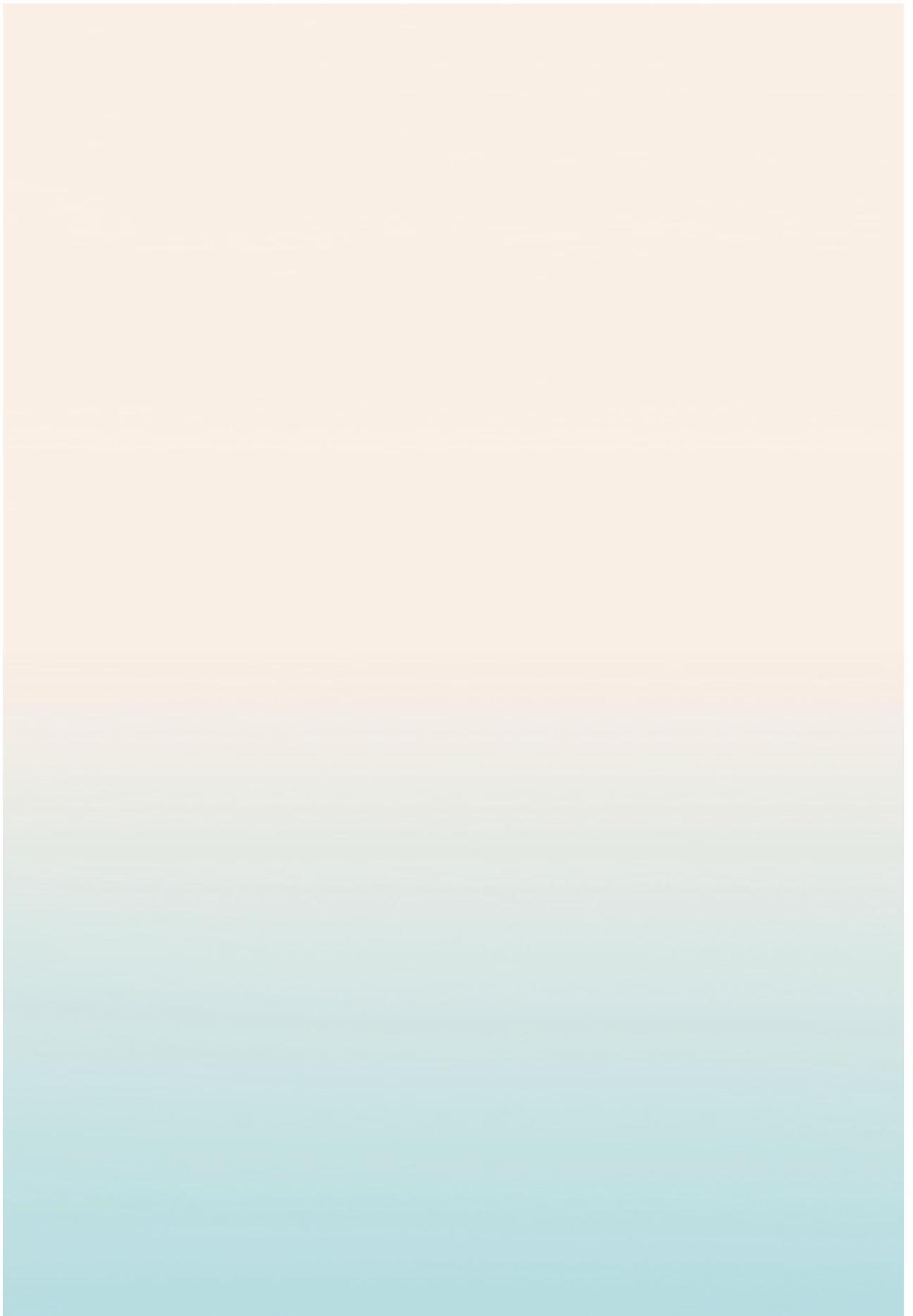
Vol. 2025 - 05

발행인 **전윤중**
발행일 **2025년 05월 30일**
발행처 **한국산업기술기획평가원(KEIT)**
주소 **대구본원 (41069) 대구시 동구 첨단로 8길 32**
 대전본원 (35262) 대전시 서구 문정로 48길 48, 계룡빌딩 3층
 서울사무소 (04513) 서울시 중구 세종대로 39, 상공회의소회관 4층
웹사이트 **www.keit.re.kr**

비매품

이 책의 저작권은 한국산업기술기획평가원에 있습니다.
무단전재와 복제를 금합니다.

기획 **한국산업기술기획평가원 전략기획본부 산업전략실**
 (41069) 대구시 동구 첨단로8길 32
 Tel. 053-718-8548
편집 · 제작 **한국산업기술문화재단 방송본부 미디어제작팀**
 (03925) 서울시 마포구 월드컵북로 396, 누리꿈스퀘어 비즈니스타워 4F
 Tel. 070-5050-9141
인쇄 **(주)디앤비크리에이티브**
 (04623) 서울시 중구 서애로5길 12-9, 한아빌딩 2층
 Tel. 070-4446-7363 Web. www.boxnv.co.kr



1 새로운 생태계로 진화하는 휴머노이드 로봇

박일우 로봇 PD | KEIT 기계로봇장비실

전진우 센터장 | 한국로봇산업진흥원 휴머노이드센터

피지컬 AI의 핵심인 휴머노이드 로봇은 인간에게 위험하고 도달하기 어려운 공간의 작업을 대신 수행할 수 있다. 로봇 학습 기술의 발달은 휴머노이드 로봇을 유용하게 만들고 있으며, 로봇 파운데이션 모델에 기반한 학습 데이터 증강 기술의 발달이 로봇 개발을 촉발시켰다. 이에 한국형 파운데이션 모델 기술을 고도화하고 미·중 간 첨예한 경쟁 가운데 생존 전략을 마련해야 할 것이다.

휴머노이드로봇 # 로봇학습기술 # 파운데이션모델 # 로봇데이터통합아키텍처

2 Physical AI의 등장과 휴머노이드 로봇의 산업화

박일우 로봇 PD | KEIT 기계로봇장비실

한재권 교수, CTO | 한양대학교 ERICA 로봇공학과, (주)에이로봇

인간형 로봇인 휴머노이드 로봇이 Physical AI의 핵심 품팩터로 주목을 받으면서 AI와 휴머노이드 로봇의 결합이 시도되고 있다. 하지만 양질의 움직임 데이터가 필요한데, 메타버스의 등장과 HMD 기기는 Physical AI를 실현시키면서 새로운 산업혁명을 이끌고 있으며, K-휴머노이드 연합은 생태계 조성의 시작이 될 것이다.

PhysicalAI # AI산업혁명 # AI+휴머노이드로봇 # K-휴머노이드연합

3 AI 자율제조 기술 동향

이성훈 자율제조 PD | KEIT 기계로봇장비실

송병훈 센터장 | 한국전자기술연구원 자율제조연구센터

이진성 팀장 | 한국전자기술연구원 자율제조연구센터

정재운 교수 | 경희대학교 산업경영공학과

제조업의 패러다임 변화와 인구 구조의 변화 등으로 제조 산업에 AI 기술을 활용한 로봇·기계·시스템이 자율적으로 협업 생산하는 AI 자율제조 기술의 중요성이 대두되고 있다. AI 자율제조 관련 기술 동향을 살펴보면서 제조업의 대내외적 문제를 해결하기 위해, 또 글로벌 시장 선점을 위해 필요한 협력과 지원을 검토해 본다.

AI자율제조 # 산업AI기술 # AIOps # 지능형에지 # SDM플랫폼 # 산업AI

4 제조 AI 파운데이션 모델 및 제조특화 공통 AI 모델 개발

이성훈 자율제조 PD | KEIT 기계로봇장비실

윤종필 센터장 | 한국생산기술연구원 제조AI연구센터

김민수 선임연구원 | 한국생산기술연구원 제조AI연구센터

AI 기술이 파운데이션 모델의 등장으로 자연어 처리와 컴퓨터 비전 중심으로 빠르게 확산되고 있으며, 제조업에서도 AI 도입이 활발히 이루어지고 있다. 특히 도메인 지식인 내재된 제조 특화 파운데이션 모델의 수요가 증가하면서 기존의 초거대 모델 중심 접근보다 실용적 모델 개발 전략이 중요해지고 있으므로 경량화된 실용적 모델인 제조 특화 공통 AI 모델의 중요성을 살펴보고자 한다.

제조AI # 파운데이션모델 # 제조특화AI # 공통AI모델

+ Science Fiction - 강동 사용자 매뉴얼

전윤호 | SF 작가·과학스토리텔러

새벽 5시, 로봇이 방귀를 핀다는 전화를 받고 조 과장은 일명 강동으로 불리는 'KAMT NG'를 수리하기 위해 깡시골로 차를 몬다. 사실은 기술을 전혀 모르는 박 전무가 농촌 고령화 문제를 해결하겠다며 최첨단 휴머노이드 로봇을 투입하면서 문제가 시작되었다. 박 전무가 실증 과제 설명회를 개최했을 때 스마트 농업 담당 하수진 주무관이 날카로운 질문을 하면서 박 전무를 절절하게 하는데...

휴머노이드로봇 # DAFC # 고령화사회 # 사회적반응 # KAMT

