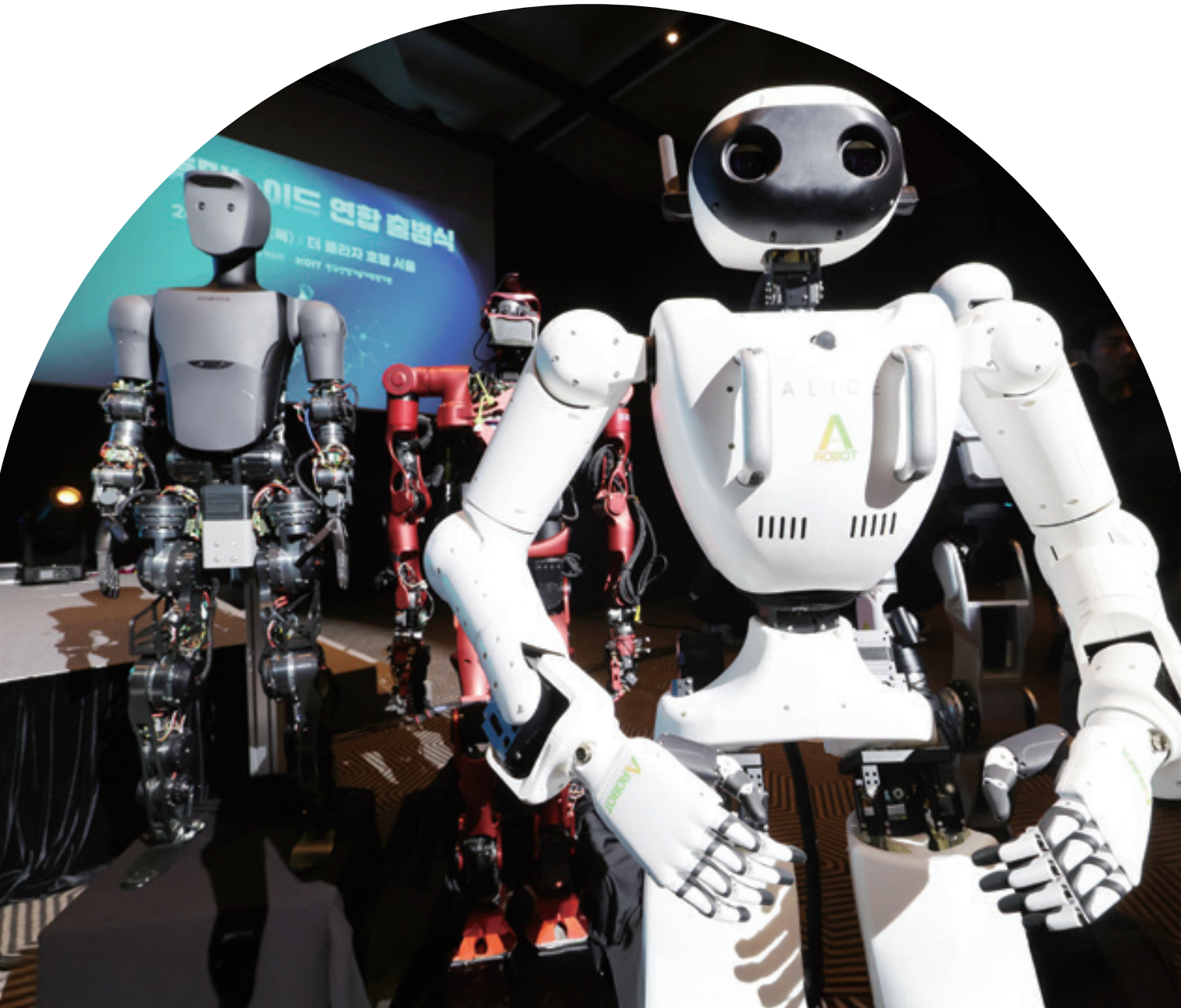


Tech Focus

Oct. 2025

Vol. 24



Focus Story > Flow

글로벌 휴머노이드 상용화 경쟁에서
K-휴머노이드 생존 전략

Changing Tomorrow > R&D Project①

전기차·풍력 산업의 숨은 힘,
희토류 영구자석

Changing Tomorrow > R&D Project②

더 자유롭게 더 정밀하게,
복강경 수술의 한계를 넘다

R&Dism > 슬기로운 기술 생활

‘건고 달리고 들고’ 휴머노이드
움직임을 책임지는 모터와 감속기



<테크 포커스>
웹진 보기
매월 10일 오픈

Tech Focus

Oct. 2025

<테크 포커스> 웹진에서 10월호 기사를 확인하세요! techfocus.kr

Vol. 24



Focus Story

2

Infographic

IT's HOT, 휴머노이드 로봇!

4

History

휴머노이드 로봇의 개발사

8

Film&Tech

스크린 속 인간형 로봇들

10

Flow

글로벌 휴머노이드 상용화 경쟁에서 K-휴머노이드 생존 전략

16

Fall in Tech

로봇 시대, 법과 윤리가 답해야 할 질문들

22

Keitoon

휴머노이드의 시간 여행

Changing Tomorrow

24

R&D Project①

성림첨단산업(주)

전기차·풍력 산업의 숨은 힘, 희토류 영구자석

28

R&D Project②

리브스메드

더 자유롭고 더 정밀하게, 복강경 수술의 한계를 넘다

32

R&D Sense

#희토류



등록일자 2013년 8월 24일 발행일 2025년 10월 5일 발행인 한국산업기술기획평가원 원장 전윤중 발행처 한국산업기술기획평가원, 한국산업기술진흥원, 한국공학한림원
주소 대구광역시 동구 첨단로8길 32(신서동) 한국산업기술기획평가원 후원 산업통상자원부 편집 및 제작 (주)한경매거진앤북(02-360-4816)
인쇄 (사)한국적수장애인협회디지털사업단(053-965-7277) 문의 한국산업기술기획평가원(053-718-8332) 잡지등록 대구동, 라00026
본지에 게재된 모든 기사의 판권은 한국산업기술기획평가원이 보유하며, 발행인의 사전 허가 없는 기사와 사진의 무단 전재, 복사를 금합니다.
필자의 원고 및 취재원의 인터뷰 방향은 한국산업기술기획평가원의 입장과 일부 차이가 있거나 다를 수 있습니다.



R&Dism

48

슬기로운 기술 생활

‘걸고 달리고 들고’ 휴머노이드 움직임을 책임지는 모터와 감속기

54

공학자의 시선

이상민 충남대학교 생물환경화학학과 교수

가축분뇨에서 청정영양료로, 버려진 것들의 두 번째 삶

58

잡 인사이드

서원상 극지연구소 기획조정부 부장

우리의 임무는 극지의 자연을 유지하고 보전하는 것입니다

—

62

Review

똑소리단 리뷰

63

Notice

독자 퀴즈

33

R&D Policy

제조업 혁신의 두 축: ‘AX’와 ‘휴머노이드’가 바꿀 산업 지형

36

Tech Q&A

똑소리 나는 일상 속 과학 이야기

One More Tech

40

Tech for Earth

‘NFT’ 활용한 생태계 복원 실험

44

키워드 산책

로봇이 온다! 정말?



“언젠가 로봇이 우리 일을 대신 해주겠지?” 연구실 속 상상에 불과했던 휴머노이드 로봇이 이제 글로벌 산업 현장과 가정 속으로
성큼 다가왔다. 단순한 과학 실험이 아니라 제조·물류·서비스 등 현실 문제를 해결하는 기술로 자리 잡으며,
전 세계적으로 투자와 연구가 빠르게 확산되고 있다. 머지않은 미래에 우리 삶을 바꿀 휴머노이드 로봇 기술에 대해 알아보자.

IT'S HOT, 휴머노이드 로봇!

TREND 1 왜 지금 휴머노이드인가?



전 세계 65세 이상 인구 증가 추이



2024년

2054년

약 **8억3000만** 명 전체 인구 대비 비율 약 **17** 억 명
전체 인구의 **17%** 약 **2배** 증가 전체 인구의 **33%**

자료 : UN, World Population Prospect(2024)

2025~2030년
전 세계 노동시장 구조적 변화 예상



새로운 일자리 창출

기존 직업이 사라지거나 사라질
가능성이 있는 일자리

약 **1.7** 억 개

약 **9200** 만 개

자료 : World Economic Forum, <Job Outlook 2025~2030> 보고서

TREND 2 글로벌 휴머노이드 로봇 시장 규모



2024년 약 **18** 억 달러

연평균 성장률
50.2%

2030년 약 **138** 억 달러

자료 :마켓앤마켓

TREND 3 주요국 투자 현황 및 대표 기업

Figure AI

투자액 6억7500만 달러

마이크로소프트, 오픈AI, 엔비디아, 아마존, 인텔캐피탈 등이 투자. 산업용 및 가정용 휴머노이드 로봇 개발을 목표로 하며, AI 기반의 언어 처리 및 물리적 조작 능력을 갖춘 로봇 개발 중.

X Square Robot

투자액 1억 달러

자체 멀티모달 AI 모델을 기반으로 인지, 판단, 조작을 통합하는 체화 지능 로봇^① 개발 중.

Robot Era

투자액 6900만 달러

칭화대 연구진이 설립한 로봇 기업으로 인간 수준의 체화 지능을 구현하는 범용 휴머노이드 로봇 개발 중.

Neura Robotics

투자액 1억2300만 달러

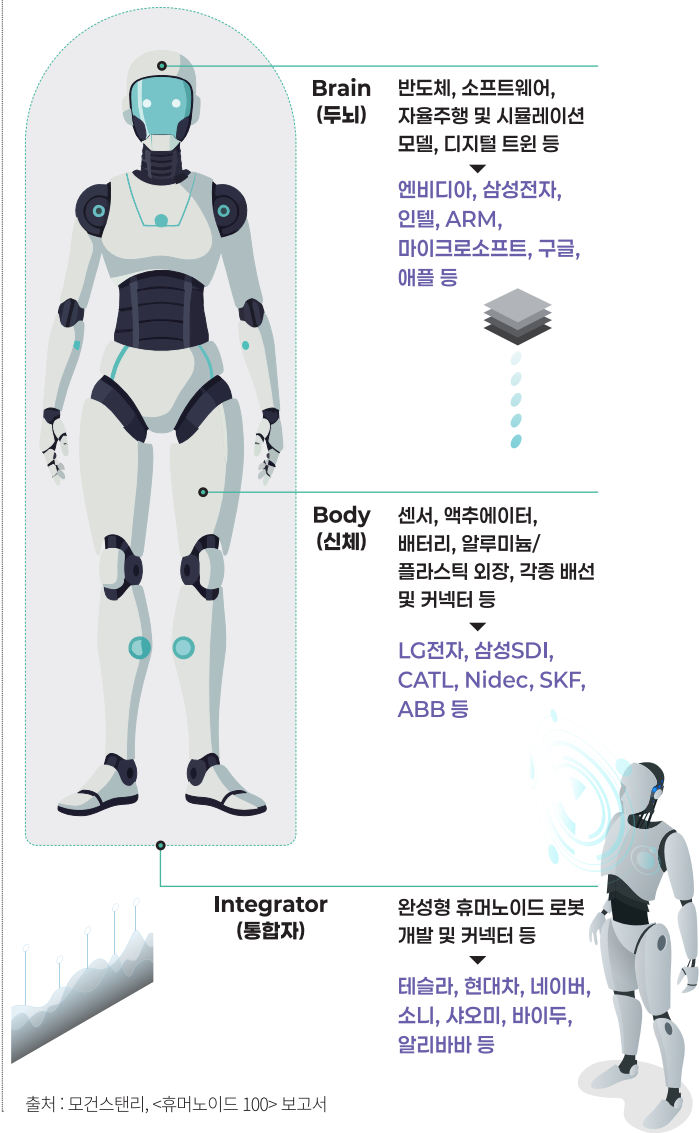
슈바벤^{Schwaben} 지역 기반, 인지형^{Cognitive} 로봇 기술 중심으로 기술 개발 중이며, 하드웨어·소프트웨어 통합 개발 중.

대한민국?

- 'K-휴머노이드' 연합 출범(2025. 04).
- 산업부 주도로 40여 개 기업, 대학, 연구소 참여하는 산학연 협력체.
- 2030년까지 1조 원 이상 투자해 범용 휴머노이드 로봇과 핵심 부품, AI 기술 개발을 목표로 함.
- 주요 과제는 로봇 공용 AI 모델, 고성능 하드웨어, 핵심 부품 국산화, 인재·스타트업 육성, 수요 기업 실증 협력 등.

① 체화 지능 로봇 : 단순한 소프트웨어가 아닌 센서, 구동기 등을 통해 실제 세계와 상호작용하며 학습 및 행동하는 로봇.

TREND 4 휴머노이드 분야별 주요 기업



TREND 5 휴머노이드 로봇 기술의 과제



- 기술적 미성숙** 안정적 보행, 손동작, 에너지 효율은 아직 한계
- 비용 문제** 고가 하드웨어와 부품이 상용화 진입장벽
- 안전성 우려** 인간과 밀접한 상호작용 시 안전 확보 필요
- 윤리·법 제도 공백** 노동 대체 논란, 법적 책임 문제
- 지속 가능한 생태계** 스타트업 중심이라 장기 투자와 시장 형성 불확실

휴머노이드 로봇의 개발사

우리는 어릴 적부터 그렇게 배워왔다.
‘로봇이란 사람과 비슷하게 생긴 기계’라고
말이다. 하지만 알고 보면 휴머노이드 로봇은
로봇 개발의 끝판왕에 근접하는 존재다.
그만큼 만들기 어려운 휴머노이드 로봇,
과연 어떤 과정을 거쳐 발전해왔을까.

글 이동훈 과학 칼럼니스트



먼저 질문을 던져보자. 사람들은 왜 휴머노이드 로봇을 만들고 갖기를 원하는가? 우선 심리적 이유 때문이다. 사람과 비슷한 모습이면 그만큼 친숙함을 느낀다. 인간과 상호작용을 하기도 쉽다. 다양한 작업을 수행하는 범용성을 확보할 수도 있다. 무엇보다 인간을 위해 만들어진 환경을 그대로 활용할 수 있다. 이렇게 만들어진 휴머노이드 로봇은 노동력 부족 문제 해결 및 생산성 향상에도 바로 기여할 수 있다.

하지만 휴머노이드 로봇을 만들기란 결코 쉽지 않다. 휴머노이드 로봇은 두 발로 서서 걸을 수 있어야(2족 보행) 하는데, 이것부터 어렵다. 울퉁불퉁한 지형이나 경사면에서 넘어지지 않고 안정적으로 움직이려면 고도의 균형 제어 기술이 필요하다. 이는 로봇의 무게중심을 실시간으로 계산하고 제어하는 복잡한 알고리즘과 정교한 센서 및 구동 부품인 액추에이터^{Actuator} 등을 요구한다. 또한 27개의 뼈와 20여 개의 관절로 이루어져 물건을 잡고 누르고 조작하는 등 매우 복잡하고 정교한 작업을 수행하는 인간의 손을 모방하는 것도 매우 어려운 일이다. 인간의 근육과 같은 에너지 효율성, 관절과 같은 고성능 액추에이터, 뛰어난 인지 및 판단 능력을 갖추는 것도 중요한 과제다. 그러나 산이 있기에 오른다 했던가? 그렇게 어려운 과제이기에 많은 개발자들이 오늘도 더욱 완벽한 휴머노이드 로봇을 만들기 위해 도전하고 있다.

과학 시대 이전, 로봇에 대한 꿈

과학 시대 이전에도 인간은 자신과 닮은 존재를 만들어 생명을 불어넣고자 하는 상상력을 발휘했다. 이러한 상상은 신화와 전설, 민담 속에 ‘자동으로 움직이는 인간형 존재’로 나타나는데, 이는 오늘날의 로봇 개념과 매우 유사하다. 대표적으로 그리스 신화 속의 청동 거인 탈로스, 아프로디테 여신의 힘으로 조각상에서 사람으로 둔갑해 자신을 만들어준 미술가 피그말리온과 결혼한 갈라테아, 히브리 랍비가 만들었다는 진흙 거인 골렘 등을 예로 들 수 있다.

물론 과학기술이 고도로 발달한 요즘도 만들기 힘든 휴머노이드 로봇을 그 시대 사람들이 보유했을 리는 없다. 하지만 ‘그 시대 로봇’들을 다룬 신화와 전설을 보면 인류가 아주 오래전부터 ‘인간을 닮은 기계’를 갖고 싶어 했음을 알 수



15세기에 이미 로봇을 상상했던 레오나르도 다빈치. 그의 손에서 탄생한 ‘기계 기사’는 인간과 닮은 기계를 만들고자 했던 인류의 오랜 꿈을 보여준다.

있다. 또한 그에 따른 윤리적·철학적 고민을 해온 것도 알 수 있다. 그 같은 고민은 오늘날까지 전해 내려왔다. 현대의 전투 로봇과 닮은 탈로스, 반려 로봇과 닮은 갈라테아, 통제를 벗어난 시의 위험성을 떠올리게 하는 골렘의 이야기에서 그런 부분을 느낄 수 있다.

현대적인 로봇공학이 발전하기 이전에도 사람들은 이런저런 자동인형을 만들었다. 그들은 주로 왕실이나 귀족을 위한 장난감, 예술품, 혹은 종교적 목적으로 제작되었다. 오늘날의 로봇처럼 복잡한 센서나 인공지능을 갖추진 않았지만, 기계적인 원리를 이용해 인간과 유사한 움직임을 재현했다는 점에서 로봇의 원시적인 형태라고 볼 수 있다.

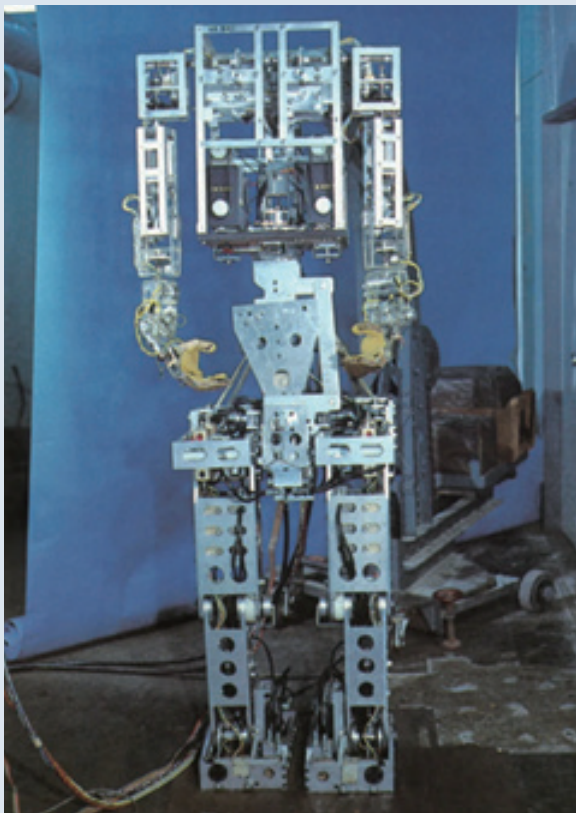
이런 자동인형들은 고대 그리스 시대부터 존재해왔다. 당시에도 이미 물, 증기, 또는 추의 무게를 이용해 자동으로 움직이는 인형이 있었던 것이다. 이후 기술이 더욱 발전하면서 레오나르도 다빈치가 설계한 기계 기사, 18세기 프랑스 발명가 자크 드 보캉송이 만든 ‘피리 부는 양치기 소년’, ‘오리 인형’ 등의 자동인형, 같은 세기 스위스 시계 기술자 피에르 자케 드로가 만든 ‘글 쓰는 인형’, ‘악기 연주하는 인형’, ‘그림 그리는 인형’ 등, 그 움직임도 실제 인간과 더욱 비슷해졌다. 하지만 현대적인 기준에서 보면 이것들은 결코 로봇이라고 부를 수 없다. 센서도 인공지능도 없으므로 외부

환경을 감지해 적절한 대응을 할 수 없었기 때문이다. 제대로 된 로봇의 출현은 인공지능과 센서가 발달한 20세기까지 기다려야 했다.

20세기, 현대적 휴머노이드 로봇의 등장과 발전

통상적으로 사상 최초의 현대적 로봇은 1961년에 등장한 미국의 산업용 로봇 유니메이트^{Unimate}를 꼽는다. 그렇다면 최초의 현대적 휴머노이드 로봇은 무엇일까? 그로부터 10여 년 후인 1973년에 등장한 와봇-1^{WABOT-1}이라는 것이 중론이다.

와봇-1은 일본 와세다대학교 가토 이치로^{加藤一郎} 교수팀이 개발했다. 무엇보다 이 로봇은 2족 보행이 가능했다. 정적 보행이라는 방식으로 한 발을 내딛고 몸의 균형이 안정된 후 다음 발을 내딛는 식이었다. 물론 오늘날의 로봇에 비하면 매우 느리고 불안정했지만 당시로서는 혁명이었다. 또한 팔과 손을 가지고 있어 물건을 잡고 운반할 수 있었으며,



명실공히 세계 최초의 휴머노이드 로봇 '와봇-1'. 1973년에 등장한 '와봇-1'은 현대 휴머노이드 로봇의 시대를 열었다.

촉각 센서로 물건의 접촉을 감지할 수 있었다. 외부 환경을 인식하는 눈 역할의 카메라와 센서를 통해 물체 거리와 방향도 측정할 수 있었다. 또 사람의 말을 이해하고, 간단한 일본어로 대화할 수 있는 음성인식 및 합성 기능이 탑재되었다. 즉 동작, 인지, 의사소통이라는 현대 로봇의 3대 핵심 요소를 최초로 휴머노이드 몸체 안에 통합한 사례다. 이는 로봇이 산업 현장에서 여러 작업을 수행할 수 있는 가능성을 보여주었다.

1984년에는 같은 개발팀에 의해 와봇-2도 개발됐다. 와봇-2의 가장 큰 특징은 피아노 연주가 가능하다는 점이었다. 와봇-2는 음성 및 시각 센서를 통해 악보를 인식하고, 인식된 음을 손가락으로 피아노 건반에 정확히 입력할 수 있었다. 또한 인간의 명령에 따라 음악을 연주하는 것도 가능했다. 이는 로봇이 노동력을 대체하는 존재를 넘어, 인간의 삶을 풍요롭게 할 수 있는 잠재력을 보여준 중요한 사례로 평가받는다.

한편 일본 기업 혼다는 1986년부터 E0를 시작으로 E6까지 총 7개의 E 시리즈 모델을 개발, 2족 보행 기술을 집중적으로 연구했다. E6는 자체적으로 균형을 잡고, 계단을 오르내리거나 장애물을 넘는 등 상당한 수준의 2족 보행 능력을 보여주었다. E 시리즈의 연구 성과와 기술은 이후 개발된 P 시리즈를 거쳐, 2000년에 공개된 아시모^{ASIMO}의 기반이 되었다.

21세기, 점차 생활 속으로 다가오는 휴머노이드 로봇

아시모는 휴머노이드 로봇의 기술적 완성도를 한 단계 끌어올린 혁명적인 존재다. 자연스러운 보행과 더불어 뛰기, 계단 오르내리기 등 고도화된 동작을 안정적으로 수행했다. 경사로에서도 넘어지지 않고 자유롭게 움직일 수 있었다. 또한 공을 차거나, 쟁반을 나르거나, 악수하는 등 섬세한 동작이 가능했다. 아시모는 여러 전시회와 행사에서 대중에게 공개돼 휴머노이드 로봇의 가능성을 널리 알렸고, 일본의 기술력을 상징하는 아이콘이 되었다.

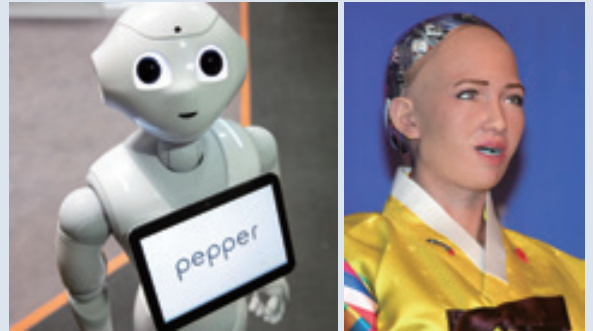
이에 자극받아 오준호 KAIST 교수팀도 2004년 휴머노이드 로봇 휴보^{Hubo}를 개발했다. 휴보는 독자개발 기술로 아시모처럼 자연스러운 2족 보행이 가능하다. 특히 휴보는

'DARPA 로보틱스
챌린지'에서 당당히 우승한
우리나라의 후보. 재난
상황에서 인간을 대신해
임무를 수행할 수 있다.



2015년 미국 국방부 산하 국방고등연구계획국(DARPA, Defense
Advanced Research Projects Agency)이 주최한 'DARPA 로보틱스
챌린지'에서 우승해 세계적으로 주목받았다. 이 대회는
2011년 후쿠시마 원전 사고에서 착안, 재난 상황에서 인간을
대신해 구조 임무를 수행하는 로봇의 성능을 겨루는 대회다.
후보는 자동차 운전, 문 열고 들어가기, 밸브 잠그기, 사다리
오르기 등 8가지 미션을 모두 성공적으로 완수해 압도적인
점수 차이로 우승했다. 이는 재난 구조 로봇의 가능성을
보여주면서 로봇의 유용성에 대한 인식을 높인 사례였다.

이후 휴머노이드 로봇의 보행 기술은 날이 갈수록 발전했다.
공중제비까지 도는 보스턴다이나믹스의 아틀라스^{Atlas}가
대표적인 사례다. 이러한 기술 발전에 힘입어 일론 머스크는
테슬라에서 개발한 옵티머스^{Optimus} 로봇을 사상 최초의 보급형
휴머노이드 로봇으로 완성하겠다고 밝히기까지 했다. 수백만
대 규모의 대량생산과 합리적인 가격을 통해 자동차보다 더 큰
가치를 창출하는 로봇을 목표로 하고 있다.



인간과의 감정 교류 가능성을 시험한 페퍼(왼쪽). 세계 최초로 로봇
시민권을 부여받은 소피아(오른쪽).

또한 로봇 기술은 인간에게 무형의 도움을 주는, 즉 감정
교류를 하는 방향으로도 발전하고 있다. 2014년 소프트뱅크가
선보인 로봇 페퍼^{Pepper}가 좋은 사례다. 페퍼는 사람의 표정과
목소리 톤을 분석해 기분을 파악할 수 있다. 또한 로봇
자신의 감정적 반응을 표현할 수도 있다. 이런 기능을 통해
사용자가 슬퍼 보이면 위로의 말을 건네거나, 웃으면 함께
웃을 수 있다. 페퍼는 고객 응대, 정보 제공 및 안내 임무에
투입돼, 사람들과 직접 교류하며 서비스를 제공하는 로봇의
가능성을 보여주었다. 2016년 한센로보틱스가 선보인
소피아^{Sophia}는 여기서 더 나아갔다. 인간과 덜 닮은 페퍼와는
달리 소피아는 인간과 매우 유사한 얼굴과 표정 기능을 갖고
있다. 2017년에는 사우디아라비아로부터 세계 최초로 로봇
시민권을 부여받아 큰 화제가 되기도 했다.

미래의 휴머노이드 로봇은 어느 방향으로 발전할 것인가?
우선 물리적 능력의 강화로 더욱 자연스러우면서도 강하고
정밀한 동작이 가능해질 것이다. 지능 역시 인공지능의
발전으로 자체 판단 및 학습 능력이 발달할 것이다. 이를
기반으로 휴머노이드 로봇은 상용화와 대중화를 거쳐 삶
곳곳에서 모습을 보일 것이다.



이동훈 과학 칼럼니스트

<월간 항공> 기자, <파퓰러사이언스> 외신기자 역임. 현재 과학·인문·국방
관련 저술 및 번역가. <과학이 말하는 윤리>, <화성 탐사> 등의
과학 서적을 번역했다.

스크린 속

인간형
로봇들

SF 작품의 역사는 그야말로 인간형 로봇을 소재로 한 작품의 역사라고 해도 과언이 아니다. 인간의 손으로 만들었지만 때때로 인간보다 더욱 인간적인 모습도 보여주던 영화 속 그 수많은 로봇. 그런 로봇들을 다룬 세 작품을 엄선해보았다.

글 이경원 과학 칼럼니스트

〈이브의 시간〉

로봇은 인간의 종일 뿐인가



〈이브의 시간〉 포스터.

인간과 완전히 동일한 외모를 지닌 로봇 ‘안드로이드’가 실용화된 미래의 일본. 고등학생 리쿠오(후쿠야마 준 분)는 자기 집 가정부 안드로이드 사미(다나카 리에 분)가 ‘이브의 시간’이라는 카페를 몰래 드나든다는 것을 알고 친구와 함께 ‘이브의 시간’을 찾아가 본다.

리쿠오는 그 가게에서 다양한 로봇을 보게 된다. 상대를 인간으로 착각하고 사랑에 빠진 로봇 커플, 어린아이의 양육을 돕는 할아버지 로봇, 주인에게 버려진 로봇 등이 나온다. 사미는 이 가게에서 주인 리쿠오를 위해 더 맛있는 커피 만드는 법을 자발적으로 배우기도 했다. 하지만 인간에 수렴하는 로봇을 혐오하던 정부 내의 보수파는 이 가게를 단속하려고 하는데….

아직 다가오지 않은 인간형 로봇의 대중화 초기를 예견한 작품이다. 작품 속에서 인간은 오히려 로봇보다 더 문제 있는 존재들로 그려진다. 인간은 로봇의 역할을 인간의 종에만 한정할 것인가, 아니면 인간의 친구 또는 그 이상으로 승격시킬 것인가를 놓고 의견 충돌을 벌이고 적개심을 표출한다. 정작 로봇들은 인간과의 평화로운 공존을 원하는데도 말이다. 또한 첨단기술에 대한 일본의 관점을 엿보고 싶다면 볼 만한 작품이 아닐 수 없다. 아이보, 페퍼 등의 로봇에게 아낌없는 사랑을 쏟았던 그들 아닌가.

<디멘션 W>

인간의 (멀시받는) 친구가 된 로봇

일본 만화가 이와하라 유지의 동명 작품을 극화한 애니메이션이다. 배경은 서기 2072년의 미래. 새로 발견된 W 차원은 인류의 에너지 문제를 반영구적으로 해결했다. 그러나 이 차원에서 에너지를 무단 횡령해 쓰는 사람들도 생긴다.

W 차원 에너지를 전 세계에 독점 배포하던 기업 뉴 테슬라 에너지사는 사립 탐정 마부치 교마(오노 다이ске 분)를 고용해 에너지 횡령범들을 단속한다. 홀로 일하던 교마 앞에 어느 날 우연히 나타나 함께하게 된 인간형 로봇 유리자키 미라(우에다 레이나 분). 평범한 인간을 아득히 뛰어넘는 능력으로 교마를 도와주지만, 교마는 그런 고마운 미라에게 늘 ‘고물’이라 욕하며 차갑게 대한다. 그 이유는 둘의 과거에 드리운 짙은 그림자 때문이다. 미라는 희귀병을 앓던 교마의 부인 아즈마야 미야비(오쿠타니 카에데 분)의 뇌를 이식하기 위해, 미야비의 몸과 똑같이 만든 의체였던 것이다. 그러나 미야비는 이식 수술을 받아보기도 전에 악당 하루카 시마이어(카지 유키 분)의 손에 살해당하고 말았다. 교마는 아내와 같은 외모를 하고 있지만 다른 인격을 지니고 있는 미라를 견딜 수 없었다. 그래서 둘은 결국 어떻게 되냐고? 궁금하면 작품을 보시라!

이 작품은 인간과 로봇의 관계뿐 아니라 여러 이론물리학 주제에 대한 작가의 시각도 돋보인다. 질량-에너지 등가 원리($E=mc^2$), 차원론, (다중)우주론, 엔트로피 증가로 인한 우주의 열 죽음 등의 개념이 애니메이션의 문법에 맞게 편곡되어 소개된다. 특히



하루카 시마이어와의 싸움은 유명한 SF 영화 <인터스텔라>를 연상시킬 정도다.

<디멘션 W> 포스터.

<아르마 짱은 가족이 되고 싶어>

사람들을 이어주는 로봇

<아르마 짱은 가족이 되고 싶어> 포스터.



일본 만화가 나나테루의 작품 <소녀형 병기는 가족이 되고 싶어>를 극화한 애니메이션. 9월부터 일본 현지 방영이 시작되는 따끈따끈한 신작이다. 두 천재 과학자 카미사토 엔지(스즈키 료타 분)와 요바네 스즈메(이치미치 마오 분)는 힘을 합쳐 소녀형 전투 로봇 아르마(츠키시로 히카 분)를 개발해낸다. 뛰어난 성능에 만족스러워하던 두 과학자. 하지만 아르마가 엔지와 스즈메를 갑자기 “아버지, 어머니”로 부르기 시작하자 당혹스러워한다. 아르마는 “나를 낳아주신 남 녀를 아버지, 어머니로 부르는 게 당연한 거 아니냐”라며 두 과학자와 함께 가족처럼 살아간다. 서로에게 연심을 느끼고 있었지만 그 감정에 솔직하지 못했던 두 과학자. 자신들이 만든 로봇을 딸처럼 키우면서 서로에 대한 마음을 알아가고 인정하게 된다.

다정한 SF 가족 코미디를 지향하는 이 작품. 그 이면에는 아이들에게 감정적으로 충분히 성숙할 기회를 주지 않은 채 몸만 키우기 일쑤인 현대 문명에 대한 고발, 그리고 그렇게 미성숙한 어른들이 일으키는 문제들을 첨단기술로 해결할 수 있지 않을까 하는 희망이 담겨 있다. 인간은 동류 인간뿐 아니라 로봇에게도 정을 줄 수 있는 생물이다. 또한 이미 로봇들이 치매나 자폐증 등의 정신질환 치료에 활용되고 있는 것을 고려하면, 인간을 더욱 인간답게 해주는 인간형 로봇에 대한 새로운 기대도 갖게 한다.

2025년 사람의 신체 구조를 닮은 휴머노이드 로봇이 인류 세계에 등장했다. 휴머노이드 로봇은 등장과 함께 인류에게 많은 질문을 던졌다. 인류는 휴머노이드와 일자리를 놓고 경쟁하는 관계일까? 아니면 공존하는 동반자로 살아가야 할까? 휴머노이드 로봇의 본격적인 데뷔 무대가 펼쳐짐에 따라, 이 글에서는 휴머노이드 개발과 상용화 관점에서 ‘한국의 위기 대응’을 위한 경쟁과 협력, 사회적 파장을 고민하고, 그 준비 상황을 살펴보고자 한다.

글 최정단 한국전자통신연구원 AI로봇연구본부 본부장



중국 상하이 인공지능 대회



글로벌 휴머노이드 상용화 경쟁에서 K-휴머노이드 생존 전략



2025 세계 로봇학회에서 중국 로봇 전문 기업 부스터로보틱스의 '부스터T1'이 축구를 하고 있다. 중국의 휴머노이드 로봇은 빠른 시장 출시와 대규모 양산 능력으로 세계시장을 공략할 예정이다.



중국의 빠른 속도의 모방과 대량화 전략의 위협

2025년 7월 중국 상하이에서 열린 '세계 인공지능 대회'^{WAIIC 2025}와 베이징에서 열린 '세계 로봇학회'^{World Robot Conference 2025}는 기술 전시회 수준을 넘어 '휴머노이드 올림픽'이라 불릴 만한 무대였다. 최신 인간형 로봇 50여 개를 앞다투어 선보이며, 누가 더 자연스럽고 실용적인 로봇을 내놓을 수 있는지 겨뤘다. 중국 기업이 공개한 혁신 모델 'AgiBot A2'는 키 169cm, 몸무게 69kg이며, 최대 2시간까지 운용할 수 있는 것으로 보고되었다. 보행과 손동작의 정교함, 표정을 통한 감정 표현까지 과시하면서, 기술 개발 단계를 넘어 실제 대량 규모의 상업화 가능성을 본격적으로 알렸다. 중국은 이미 전기차, 드론, 스마트폰을 통해 입증된 공급망 통합^{Supply Chain Integration} 시스템을 구축하고 있다. 휴머노이드의 부품 조달, 조립, 품질관리까지 수직적으로 통합된 시스템을 이용해 단기간에 수천 대 로봇을 초고속으로 양산 가능할 것이다. 이는 빠른 시장 출시와 대규모 공급능력으로 가격경쟁력을 높여 결국 세계시장 점유율을 확대하는 전략적 무기화가 가능할 것으로 예측된다. 기술적 세부 성능에서는

다소 부족하더라도 '빠른 시장 점령'이라는 목표에는 탁월한 접근이다. 중국은 시장점유율을 기반으로 '사실상의 표준'을 만들어 가격과 물량으로 세계시장을 장악하고 산업 지배권을 확산하려는 전략으로 파악된다. 하지만 아직 중국이 직면한 문제점도 있다. 기술 쇼를 넘어 실제 산업 현장에 안정적으로 투입될 수 있는지는 여전히 의문점이 남아 있다. 이 점은 후발주자인 우리가 공략해야 할 핵심 전략이다.



미국의 생존 전략은 생산성 창출

미국 기업들은 현실적이고 실리적이다. 공장과 물류 현장에서 바로 활용할 수 있는 휴머노이드 모델 개발에 적극적으로 투자하며, 수익화 경쟁에 돌입한다. 미국 기업은 '투자 대비 생산성'^{ROI, Return on Investment} 극대화를 앞세워 시장을 선점하려 한다. 테슬라, 피규어^{Figure} AI 등의 스타트업은 공통적으로 무엇을 위해 '휴머노이드 로봇을 사용할 것인가?'라는 질문에 집중한다. 물류 창고, 제조 현장, 가정 내 서비스까지, 이들은 시장점유율을



미국 테슬라의 옵티머스(위), 피규어 시의 피규어1 (아래). 미국은 '투자 대비 생산성^{ROI}'을 극대화해 시장을 선점하려는 전략이다.

먼저 확보하면 기술은 발전과 완성도를 갖추게 된다는 실리적 전략을 펼친다. '로봇이 창고에서 단순 반복 작업을 몇 초 더 단축하는가', '제조 현장에서 인력 비용을 얼마나 절감하는가'가 핵심 지표다. 이러한 접근은 속도가 빠르다는 장점이 있지만, 동시에 부작용도 예견된다. 인간의 일자리가 빠르게 대체될 수 있다는 공포가 사회 곳곳에서 증폭된다는 것이다. 미국의 휴머노이드 상업화는 경제적 경쟁을 넘어 노동구조 재편이라는 민감한 사회적 문제를 정면으로 건드리고 있다. 이는 곧 산업구조 전환과 직결되며, 미국식 휴머노이드는 냉정한 효율성 척도 기반 생태계를 구축 중이다.



유럽의 독특한 길, 비행·우주·재난용 인간을 뛰어넘는 보완재 휴머노이드

이탈리아 인공지능지능연구소 AMI Lab., Artificial and Mechanical Intelligence는 제트엔진 4개를 로봇의 팔 또는 배낭 형태로 장착해 지면에서

약 50cm를 날 수 있는 휴머노이드 로봇을 발표했다. 이것은 비행과 지상 보행, 조작 능력 확보를 목표로 한 재난 대응용 휴머노이드 로봇이다. 인간이 닿을 수 없는 영역, 즉 붕괴 현장이나 산불 지역 같은 극한 환경을 겨냥했다. 이 로봇은 걷거나 날아다니며 사람을 구조할 수 있도록 설계되었다.

또한 독일항공우주센터^{DLR, Institute of Robotics and Mechatronics}에서 개발한 휴머노이드 로봇 TORO 등은 우주 환경 또는 우주선·우주정거장에서의 조작, 정비 및 보조작업을 위해 개발 중이다. 독일 뉴라 로보틱스^{Neura Robotics}사의 4NE1 등 휴머노이드 최신 프로젝트는 인간과의 협업 기능을 강화하기 위해 인간-환경 상호작용 등 감성적 인터페이스 개발에 중점을 둔다.

유럽에서 개발 중인 휴머노이드 로봇은 인간의 신체 일부를 닮았을 뿐, 사람이 접근하기 힘든 극한 환경(재난, 우주)에서의 탐사·구조·정비 중심의 응용을 목표로 한다. 로봇이 실제 극한 현장과 고신뢰 산업 체계 속에 실전 배치되도록 인간과 환경의 상호작용, 안전성, 다양성을 중점 개발 중이다. 유럽의 극한 환경 휴머노이드 로봇 개발 전략은 기술적 리스크가 크고 진입장벽은 높지만, 성공할 경우 기술적 리더십 확보 가능성도 크다는 장점이 있다. 유럽의 휴머노이드 로봇 개발 전략은 휴머노이드가 반드시 인간과 똑같아야 할 필요는 없다는 것과, 인간을 대신하기보다 인간을 보완하고 확장하는 도구로서 더 큰 가치를 가질 수 있다는 시사점을 준다.



이탈리아 인공지능지능연구소에서 실험한 iRonCub3. 유럽은 극한 환경 휴머노이드 개발을 핵심 전략으로 삼는다.



휴머노이드 제조와 생산성의 기술 전쟁터에서 K-휴머노이드 연합

2025년 4월 출범한 K-휴머노이드 연합은 연구 협의체 또는 기술 프로젝트 그 이상의 의미가 있는 첫걸음이다. 한국이 전 세계적으로 본격화된 휴머노이드 산업 경쟁에 뒤처지지 않고 새로운 주도권을 만들어내겠다는 국가적 선언이다. 중국이 ‘속도와 양산’을, 미국이 ‘ROI와 생산성’을, 유럽이 ‘극한 환경 특화’를 내세우는 상황에서, 한국은 산업에 기반한 연구기관들과 정부 정책이 힘을 합쳐 하나의 생태계를 구축한다는 점에서 그 의미가 크다. 기업, 연구소, 대학이 힘을 모아 휴머노이드 로봇 생태계를 키우겠다는 선언은 시의적절한 정부 주도 전략이다. K-휴머노이드 연합의 비전은 사회적으로는 국민 안전과 복지 제공, 산업적으로는 새로운 글로벌 성장 동력 제시, 휴머노이드 공급망의 주도권 확보다. 이러한 비전은 한국적인 특화 전략으로, 기술의 추격자가 아니라 새로운 리더십 창출이 요구되는 시점을 반영한다.

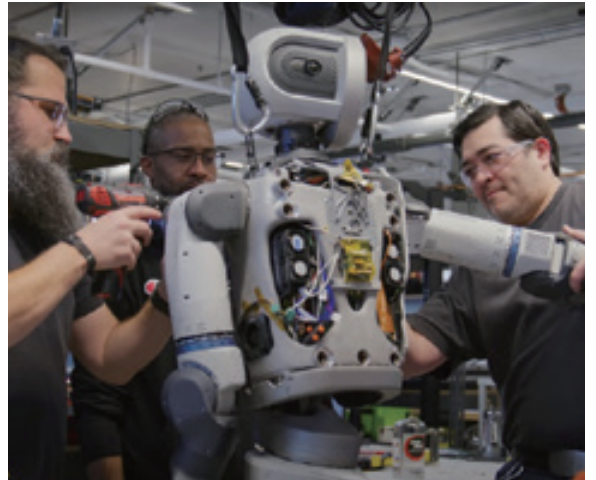


한국형 휴머노이드 확보를 위한 차별성, 로봇 파운데이션 모델

전 세계는 ‘빠르게 잘 걷는 로봇’과 ‘물건을 나르는 로봇’ 경쟁력에서 일부 성과를 보여주었다. 그러나 휴머노이드의 경쟁력은 지능이 결정하며, 고수준 지능은 데이터와 학습 모델이 요구된다. 로봇 파운데이션 모델^①은 대규모 데이터와 멀티모달 학습(언어·영상·힘 센서 데이터)을 기반으로, 다양한 환경에 즉시 적응 가능한 범용적 사전 학습 지능을 제공한다. 기존 로봇이 특정 작업만 수행했다면, 파운데이션 모델은 도메인 특화의 데이터 학습, 파인 튜닝을 통해 작업 일반화^② 성능과 상황 이해^③에서 압도적인 차이를 만들어낼 수 있는 기반 지능이다. 휴머노이드 기술의 성패는 휴머노이드와 로봇 파운데이션 모델, 그리고 적용 도메인에 특화된 데이터 파이프라인의 조합에 의해 결정된다. 중국이 ‘물량’으로, 미국이 ‘ROI’로 경쟁한다면, 한국은 ‘로봇 파운데이션 모델과 표준’을 무기로 내세워야 한다. 특히

‘K-휴머노이드 연합’은 글로벌 휴머노이드 산업 경쟁에서 새로운 주도권을 만들어내고자 하는 한국의 첫걸음이다.





한국이 보유한 언어·로봇 제어 데이터, ICT 인프라, 5G/6G 네트워크에서의 강점을 기반으로, 휴머노이드-파운데이션 모델 융합 플랫폼을 구축할 수 있는 토대가 확보되었다. 글로벌 휴머노이드 기술 주권을 확보하기 위해 로봇 파운데이션 모델 개발을 전략 축으로 데이터 주권과 국제표준 리더십, 사회문제의 수요 해결이라는 목표를 차별화 전략으로 삼아야 한다.



한국, 휴머노이드 산업 글로벌 허브로 도약할 현실과 기회

한국은 이미 자동차, 반도체, 조선 등 제조 산업 전반에서 세계 최고 수준의 자동화 경험을 축적해왔다. 이 경쟁력은 글로벌 무대에서 충분히 입증되었으며, ‘제조 강국’ 타이틀은 더 이상 의심의 여지가 없다. 그러나 한국 사회가 직면한 초고령사회와 노동인구 불균형 문제로 인해, 생산성 경쟁을 넘어선 첨단기술 기반의 새로운 전략이 요구된다. 이러한 한국의 미래 위기에 대응하기 위해 제조 산업뿐 아니라 돌봄·재활·헬스케어 분야의 인력 부족은 해결해야 할 당면 과제다. 또한 지진·화재·원전 사고 같은 재난 대응 분야에서도 휴머노이드는 인간의 한계를 넘어서 위험을 대신할 수 있다. 휴머노이드는 단순한 로봇 산업의 확장이 아니라 사회적 안전망을 강화하는

① 로봇 파운데이션 모델 : 대규모 데이터와 다양한 작업을 학습해 여러 로봇에 적용할 수 있도록 설계된 범용 인공지능 기반 모델.

기술혁신이며, 국민의 안전을 위한 필수 불가결한 자산으로 확산될 전망이다.

휴머노이드 산업은 부품 및 소재, 소프트웨어, 안전 인증, 산업 표준, 서비스를 아우르는 거대한 생태계가 필요하다. 한국은 이미 정밀 제조 기술과 자동차, 조선 등 글로벌 공급망 관리 경험을 보유하고 있다. 한국은 제조와 서비스 산업 기반에서 완결형 휴머노이드 공급망 생태계를 구축하여 개발과 테스트를 통한 기술 안전성을 확보하고, 나아가 단순 수요국이 아닌 글로벌 공급망의 허브로 성장할 수 있다. 제조 강국의 경험과 인프라를 토대로 산업에서 일상, 나아가 재난 대응까지 아우르는 완결형 생태계를 구축하여, 인류의 삶을 혁신하는 휴머노이드 강국으로 우뚝 설 수 있다. 한국의 휴머노이드 개발은 단순한 기술 투자가 아니라 사회적 위기를 기회로 전환하는 국가적 도약의 발판이다. 이 거대한 가능성을 실현하기 위해 결단과 실행이 필요하다.



최정단 한국전자통신연구원 AI로봇연구본부 본부장

한국전자통신연구원에서 30여 년 동안 텔레매틱스 및 자율주행차 개발을 직접 주도하고, 휴머노이드를 비롯한 휠과 다족 보행 AI 로봇 시스템 개발을 위한 연구 기획 및 개발 관리 업무를 맡고 있다. 한국산업기술보호전문위원회, 서울특별시 자율주행자동차 시범운행지구 운영위원회 등 다양한 공공부문 위원회와 자동차공학회 여성위원회 회장 및 모빌리티 플랫폼 분과위원장 등 학회에서 활동 중이다.

로봇 시대, 법과 윤리가 답해야 할 질문들

더 이상 공상과학 영화 속 이야기가 아니다. 인간과 유사한 외형과 사고능력을 갖춘 휴머노이드는 점차 우리 삶에 깊숙이 스며들고 있다. 이들은 인간과 직접 상호작용하며 사회적 관계를 맺는 존재로 다가온다. 로봇 시대의 본격적인 개막을 앞두고, 우리가 마주한 법적·윤리적 질문에 대한 답을 찾아야 할 시점이다.

글 김병필 KAIST 기술경영학부·기술경영전문대학원 초빙교수

이제 인공지능은 화면 속에서만 작동하는 소프트웨어가 아니다. 최근 인간과 유사한 외형, 움직임과 사고능력을 갖춘 휴머노이드 로봇이 다수 제시되고 있다. 테슬라는 ‘옵티머스^{Optimus}’라는 휴머노이드 로봇을 개발, 개선해나가고 있다. 일본의 소프트뱅크는 이미 2015년에 감정 인식 기능을 탑재한 ‘페퍼^{Pepper}’ 로봇을 보급하고자 시도한 바 있다. 국내 기업들 역시 제조업이나 물류 현장에서 축적한 로봇 기술을 기반으로 돌봄·교육 등 다양한 가정용 휴머노이드 로봇 시장 진출을 모색하고 있다.

이러한 변화는 단순히 새로운 제품이 시장에 출시되는 차원을 넘어선다. 휴머노이드 로봇은 단순 반복 작업을 수행하는 산업용 로봇과는 질적으로 구분되기 때문이다. 이들은 인간과 직접 상호작용을 하며 사회적 관계 속에서 역할을 맡는 존재가 될 수 있다. 예를 들어 노인이나 아이를 돕는 돌봄 휴머노이드가 등장할 경우 가족의 일원처럼 인식될 수도 있다. 이는 법적 규율, 윤리적 판단, 사회적 수용성에 걸쳐 다층적 논의를 불러일으킨다.





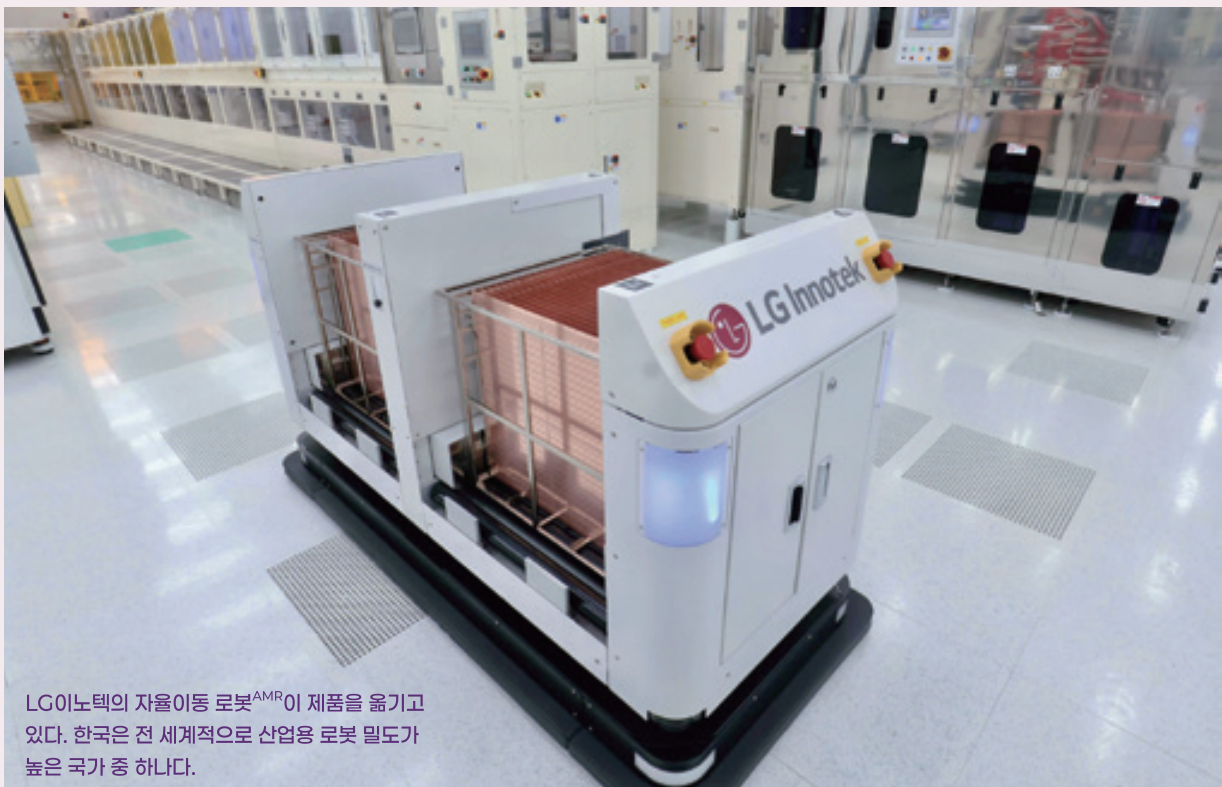
현재 우리의 법 제도가 이러한 변화를 충분히 뒷받침할 수 있을까? 법적·제도적 준비는 이제 시작 단계다. 로봇의 카메라와 센서를 통해 수집하는 데이터에 대한 프라이버시를 어떻게 보장할 것인가, 휴머노이드와 상호작용하는 인간의 안전을 보장하기 위한 규율을 어떻게 마련할 것인가, 그리고 오작동으로 인한 사고가 발생할 경우 누가 손해를 부담할 것인가 등 여러 문제가 제기된다. 이 글은 우리가 휴머노이드 로봇 산업에서 선도 국가로 자리매김하기 위해 어떠한 법적·제도적 노력이 진행되고 있는지, 나아가 우리에게 주어진 과제는 무엇인지 살펴본다.

로봇 산업 강국, 지속적 발전과 확산을 위한 지원책은?

대한민국은 세계적인 산업용 로봇 강국이다. 국제로봇연맹^{IFR}의 <2024 세계 로봇공학 보고서>에 따르면, 한국의 산업용 로봇 밀도는 노동자 1만 명당 1000대를 넘는다. 전 세계 평균 162대에 비추어 압도적인 수치다. 정부는 로봇 산업을 지원하기 위한 노력을 지속해왔다. 2008년에 이미 ‘지능형 로봇 개발 및 보급 촉진법(이하 지능형로봇법)’을 제정했다. 이 법은 로봇 산업 육성에 초점을 맞춘 진흥법의 성격을 가진다.

이 법에 따라 정부는 주기적으로 지능형 로봇의 발전과 보급을 위한 기본계획을 수립하고, 실태조사를 수행해야 한다. 또한 로봇 기술 실증을 위한 테스트베드 및 체험 환경을 위해 로봇랜드를 조성하는 사업도 진행할 수 있다. 나아가 지능형 로봇 전문 기업을 지정하여 지원할 수 있도록 하고 있다.

한편 2023년 개정된 지능형로봇법은 자율주행 로봇의 운전에 관한 법적 기반을 마련했다. 무엇보다 개정법은 배송 등을 위해 자율주행으로 운행할 수 있는 지능형 로봇을 ‘실외이동 로봇’으로 정의한 다음 보도에서의 운행을 허용했다. 이는 로봇 업계가 오랫동안 요구해왔던 사항이 반영된 것이다. 다만 보도 운행을 위해서는 안전성을 검증받아 운행 안전 인증을 취득해야 하고, 보도



LG이노텍의 자율이동 로봇^{AMR}이 제품을 옮기고 있다. 한국은 전 세계적으로 산업용 로봇 밀도가 높은 국가 중 하나다.

등에서의 운행으로 인해 발생할 수 있는 인적·물적 손해배상을 위해 책임보험 가입을 의무화했다.

이처럼 지능형로봇법은 로봇의 발전과 확산을 위한 여러 지원책을 포함하고 있다. 다만 이러한 진흥 중심의 법률은 휴머노이드가 생활 속으로 들어오며 발생하는 새로운 문제들을 모두 해결하기에는 한계가 있다. 특히 중요하게 고려해야 할 영역은 바로 사생활 보호 및 안전성 확보다.

사생활 보호 내재화를 위한 개인정보보호법 개정

휴머노이드 로봇이 우리 생활에 들어오면서 가장 중요한 문제로 떠오르는 것은 바로 사생활 침해 위험성이다. 로봇은 카메라, 마이크, 센서를 통해 사람의 얼굴, 음성, 행동 패턴을 끊임없이 수집하고 분석한다. 이는 방대한 양의 개인정보 처리로 이어지며, ‘항상 켜져 있는 감시장치’로 전락할 수 있다는 우려를 낳고 있다.

우리 법 제도는 이러한 문제에 대응하기 시작했다.

‘개인정보보호법’은 2023년 개정을 통해 드론이나 로봇 등 ‘이동형 영상정보 처리기기’에 대한 규정을 신설했다. 이와 함께 개인정보보호위원회는 관련 가이드라인을 발표하여, 로봇 등을 통한 개인정보 수집·활용에 대한 기준을 제시하고 있다.

개인정보보호법상 로봇을 통해 수집되는 영상정보에 적용되는 주요 규율은 다음과 같다. 첫째, 촬영 사실을 표시해야 한다. 로봇이 무엇을 기록하고 어떤 자료를 수집하는지 명확히 알려야 한다. 로봇의 카메라 작동 여부를 LED 점등이나 알림음으로 표시하는 것이 그 예다. 둘째, 운영관리 방침을 마련해야 한다. 영상정보의 수집 목적, 보관기간, 관리 책임자 등을 명시한 운영 방침을 수립해야 한다. 셋째, 안전성 확보 조치를 수행해야 한다. 구체적으로 암호화나 접근 제어 같은 기술적 보호조치를 통해 개인정보 유출이나 오남용을 막아야 한다. 마지막으로 정보 주체의 권리를 보장해야 한다. 사용자는 자신이 촬영된 영상이나 녹음된 음성 데이터에 대해 조회, 정정, 삭제 요구할 수 있는 권리를 가진다.

프라이버시 보호를 내재화하는 것은 휴머노이드 확산의 중요한 전제가 된다. 2021년에 발생한 가정용 월패드 해킹 사건은 집 안의 영상이 불법적으로 유출될 수 있음을 보여주었다. 사생활 보호를

개인정보보호법 개정안은 로봇의 정보 수집 규정을 구체화 해 사생활 침해 위험을 줄이는 데 중점을 둔다.



확실하게 보장하지 못한다면 누구도 자기 집 안에 휴머노이드 로봇을 선택 들여놓지 못할 것이다.

로봇이 일으킨 사고, 책임은 누가?

휴머노이드 로봇은 자율적인 판단 능력과 인간과의 물리적 상호작용을 특징으로 하기에, 안전성을 보장하는 것이 무엇보다 중요하다. 2026년 시행을 앞둔 ‘인공지능 발전과 신뢰 기반 조성 등에 관한 기본법(이하 인공지능기본법)’은 바로 이러한 인공지능 시스템의 안전성과 신뢰성을 확보하기 위한 최초의 입법이다.

인공지능기본법은 ‘고영향 인공지능’이라는 개념을 새롭게 도입하여 사람의 생명, 신체의 안전 및 기본권에 중대한 영향을 미치거나 위험을 초래할 우려가 있는 인공지능 시스템에 대해 안전성 확보 의무를 부과한다. 구체적으로는 위험관리 방안과 이용자 보호 방안을 수립·운영해야 한다. 또한 고영향

인공지능에 대한 사람의 관리·감독이 가능해야 하며, 기술적으로 가능한 범위에서 인공지능의 작동에 관한 설명 방안도 수립·시행해야 한다. 이러한 안전성과 신뢰성 확보를 위한 조치 내용을 확인할 수 있는 문서를 작성하고 보관할 필요도 있다. 다만 산업 진흥을 고려해 인공지능기본법 위반에 대한 벌칙은 상대적으로 낮고, 법 시행 후 업계 적응을 위한 계도기간을 둘 예정이다.

현재는 휴머노이드 로봇이 ‘고영향 인공지능’으로 명시적으로 분류돼 있지는 않다. 다만 의료 분야에서 활용되는 경우 ‘디지털 의료기기’로서 고영향 인공지능에 해당할 가능성이 있다. 나아가 향후 돌봄·교육·공공안전 분야와 같이 인간의 삶에 직접적이고 중대한 영향을 미치는 용도로 활용될 경우, 고영향 인공지능의 범위에 새롭게 편입될 가능성도 있다. 간병 로봇이 환자를 잘못 돌보거나, 교육용 로봇이 학생들에게 예기치 않은 사고를 일으키지 못하도록 안전성·신뢰성 확보 조치를 취할 필요성이 부각될 것이다.

이러한 잠재적 위험을 관리하기 위해 우리는 인공지능기본법의 틀 안에서 휴머노이드 로봇에 대한 안전성 검증 및 인증 절차를 발전시켜나갈 필요가 있다. 이는 산업 진흥과 더불어 휴머노이드 로봇이 가져올 사회적 위험을 최소화하고, 신뢰를 기반으로 한 로봇 산업의 발전을 이끄는 필수적인 과제다.

복잡한 책임 소재, 보험제도 등 보완책이 중요

휴머노이드 로봇이 일으킨 사고에 대해 누가, 어떻게 손해를 배상할 것인지 명확히 하는 것은 기술이 사회에 정착하기 위한 필수 전제다. ‘제조물책임법’에 따르면, 제조업자는 제조물의 결함으로 인해 발생한 손해에 대해 피해자에게 배상할 책임을 진다. 그러나 휴머노이드 로봇은 제조업자의 책임만으로는 해결하기 어려운 복잡한 사고를 일으킬 수 있다. 로봇의 결함뿐만 아니라 이용자의 사용상 부주의가 결함돼 사고가 발생한다면, 책임 소재와 범위가 불분명해지는 문제가 생길 수 있다.

이러한 불확실성 속에서 보험제도는 매우 중요한 역할을 할 수 있다. 비교하자면 자동차는 수많은 인명 및 재산 피해 사고를 일으킬 수 있지만, 보험 가입이 의무화되어 있고 그에 따른 배상 제도가

AI 관련 법규	관련 법규 상태	주요 내용
지능형 로봇 개발 및 보급 촉진법 (지능형로봇법)	2023년 5월 일부 개정	· 자율주행 로봇(실외이동 로봇)의 보도 운행 허용 · 안전성 검증 및 책임보험 가입 의무화(실외이동 로봇에 한해)
개인정보보호법	2023년 3월 일부 개정	· 드론, 로봇 등 ‘이동형 영상정보 처리기기’에 대한 규정 신설 · 로봇 촬영 사실 표시, 운영관리 방침 마련, 안전성 확보 조치 의무화 · 정보 주체(사용자)가 자신의 데이터에 대해 조회, 삭제 등을 요구할 권리 보장
인공지능 발전과 신뢰 기반 조성 등에 관한 기본법(인공지능기본법)	2025년 1월 제정, 2026년 1월 시행	· ‘고영향 인공지능’ 개념 도입 : 사람의 안전에 중대한 영향을 미치는 AI 시스템에 대해 안전성 확보 의무 부과 · 위험관리 및 이용자 보호 방안 수립 · 사람의 관리·감독 의무 · 기술적으로 가능한 범위 내에서 AI의 작동에 관한 설명 방안 수립 · 안정성 및 신뢰성에 확보 내용 문서화 및 보관
제조물책임법	유지	· 제조업자가 제조물의 결함으로 발생한 피해에 대해 배상 책임 · 휴머노이드 로봇의 경우, 제조업자 책임만으로는 해결하기 어려운 복잡한 사고가 발생할 수 있어 보험제도 등의 보완책 필요



배경훈 과학기술정보통신부 장관이 9월 12일 '취임 50일 기자간담회'에서 AI 기본법 및 AI 관련 정책 방향을 제시했다. 이날 배 장관은 내년 1월부터 시행 예정인 인공지능기본법의 과태료 조항을 기업 부담을 고려해 최소 1년 이상 유예한다고 밝혔다.

확립돼 있어 많은 이들이 안심하고 사용할 수 있다. 이처럼 보험을 통해 위험을 분산하고, 사고 발생 시 피해자에게 신속하고 충분한 보상을 보장하는 것은 휴머노이드 로봇에 대한 사회적 수용성을 높이는 효과적인 방안이 될 수 있다.

결국 휴머노이드 로봇 사고에 대한 책임 문제는 혁신을 지나치게 제약하지 않으면서도, 이용자들이 충분히 안심할 수 있는 적절한 수준에서 균형을 찾아야 한다. 지능형로봇법이 실외이동 로봇의 사고에 대비해 책임보험 가입을 의무화한 것은 참고하기 좋은 사례다. 이는 기술의 발전과 사회적 수용성을 동시에 확보하는 현실적인 대안이 될 수 있다.

로봇과 함께하는 미래, 제도적 준비가 필요하다

휴머노이드 로봇은 이제 인간과 상호작용을 하며 사회적 관계를 맺는 존재로 다가오고 있다. 한국은 2008년 지능형로봇법을 제정해 로봇 산업 진흥을 위한 기반을 다져왔다. 2023년 개정된 개인정보보호법은 로봇에 의한 사생활 침해를 막기 위한 기준을 제시했다. 내년에 시행될 인공지능기본법은 안전성과 신뢰성 확보 방안을 마련하고 있다.

여전히 해결해야 할 과제는 남아 있다. 휴머노이드 로봇의 안전성 및 신뢰성 확보 방안을 좀 더 구체화하고, 안전성 검증 및 인증 절차를 발전시켜나가야 한다. 또한 자동차보험처럼 로봇 보험제도를 확립해 피해자를 보호하고 산업계의 부담을 덜어주는 방안도 모색해야 한다. 이러한 제도적 노력이 선행될 때 비로소 우리는 휴머노이드 로봇과 공존하는 미래를 안전하게 맞이할 수 있을 것이다.

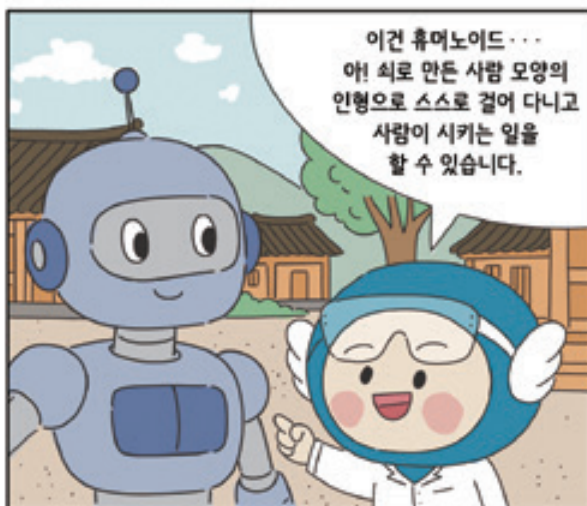
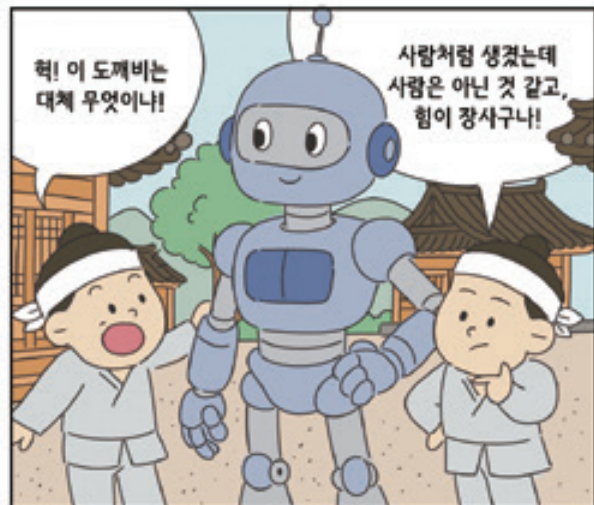
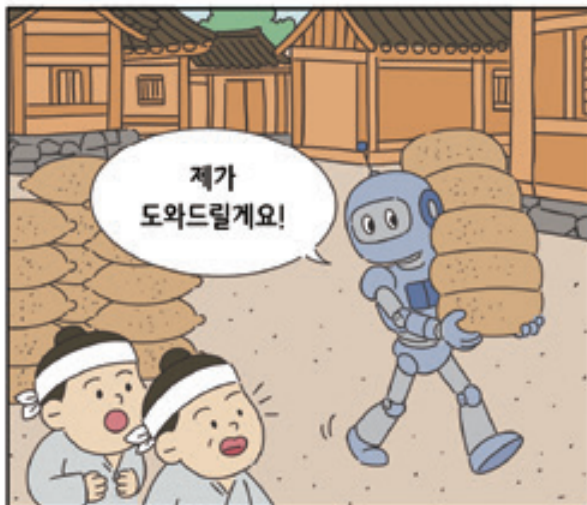


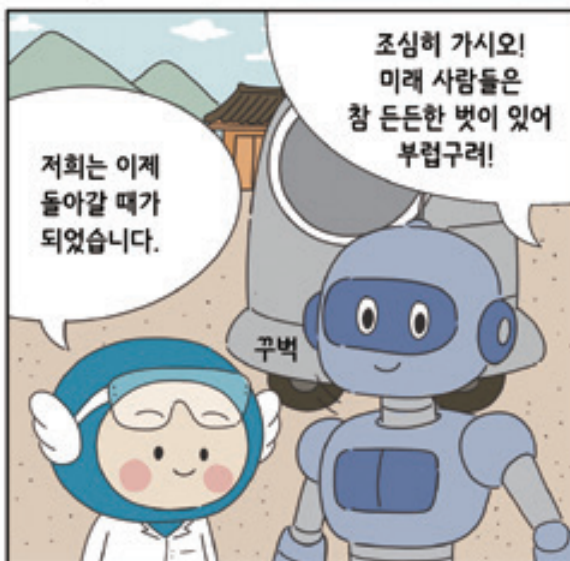
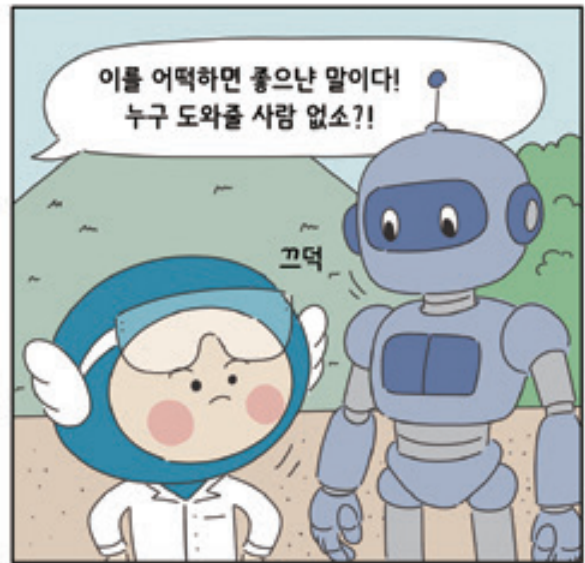
김병필 KAIST 기술경영학부-기술경영전문대학원
초빙교수

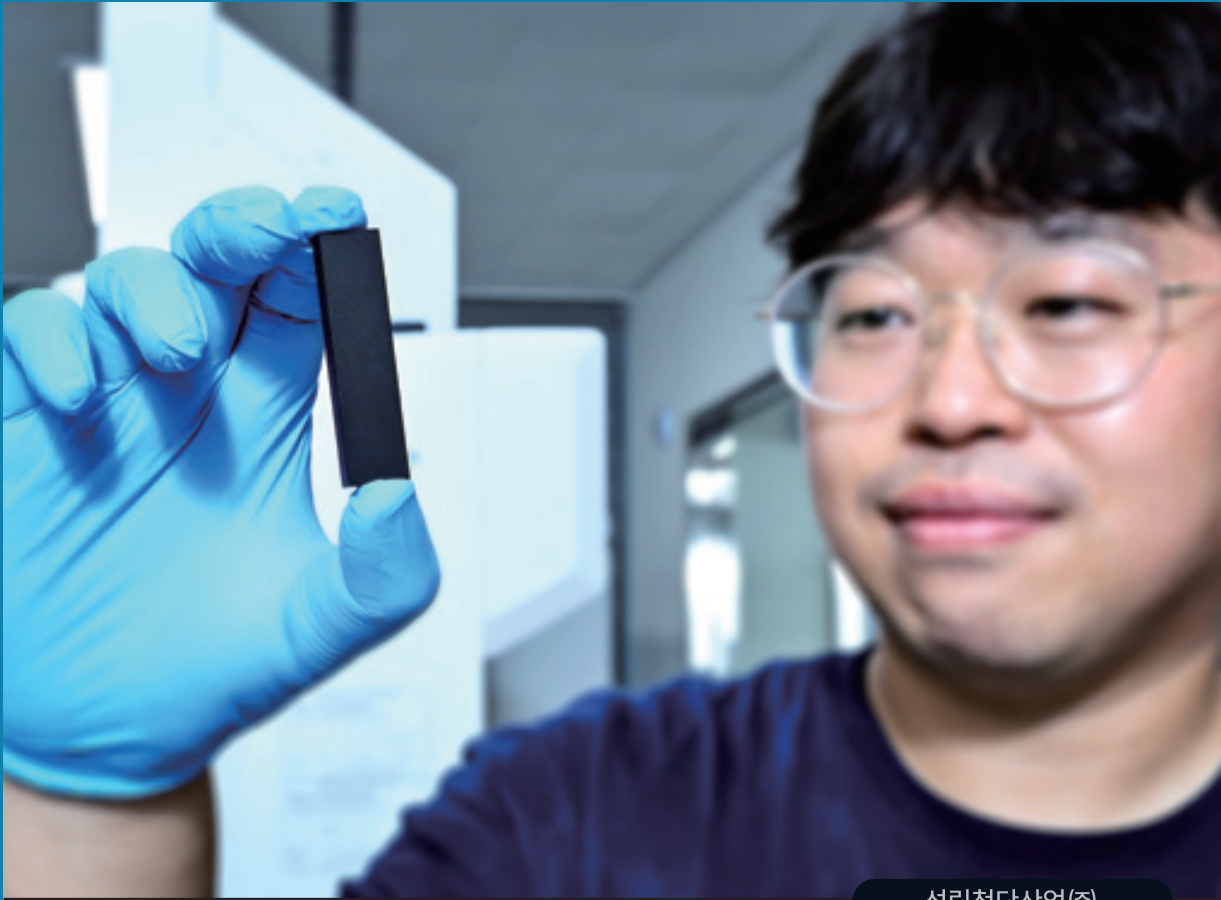
서울대학교 전기공학부 졸업 후 프로그래머로 3년간 일했다. 이후 사법시험에 합격해 사법연수원 38기에서 수석 수료했다. 변호사로서 다양한 실무 경험 후 2018년부터 KAIST 기술경영학부 및 기술경영전문대학원에서 4차 산업 관련 법률 연구에 힘쓰고 있다.

휴머노이드의 시간 여행

만화 다즈디자인 현아







성림첨단산업(주)

전기차·풍력 산업의 숨은 힘, 희토류 영구자석

산업 효율을 좌우하는
국내 유일의 고품성 영구자석 기술

전기차와 풍력발전 등 첨단산업이 빠르게 확산되면서 눈에 보이지 않지만 핵심 역할을 하는 소재가 있다. 바로 희토류 영구자석이다. 국내 유일의 희토류 영구자석 제조기업 성림첨단산업은 폐모터와 폐자석을 활용한 재활용 기술과 고성능 자석 제조 기술을 결합해, 친환경 산업 생태계와 국내 공급망 안정화에 핵심적인 기여를 하고 있다.

글 김선녀 사진 서범세

연구과제명	폐모터 활용 친환경 희토류 회수 및 영구자석 소재 제조기술
제품명(적용 제품)	희토금속 및 희토 영구자석
개발기간(정부 과제 수행기간)	2020. 04. 01~2024. 12. 31
총 정부출연금	60억2200만 원
개발기관	성림첨단산업(주), 케이에스엠메탈스, 연화신소재

전력 없이 움직이는 자석

친환경 자동차, 풍력발전기, 냉장고·에어컨 등 다양한 제품의 핵심 부품으로 쓰이는 희토류 영구자석은 ‘첨단산업의 비타민’으로 불리며 단순한 금속 소재를 넘어 산업 혁신의 원동력으로 평가받고 있다. 성림첨단산업은 폐모터와 폐자석에서 희토류 원소를 회수해 고성능 영구자석으로 재활용하는 기술을 개발, 국내 공급망 안정화와 친환경 제조를 동시에 실현하며 업계에서 독보적인 위치를 점하고 있다.

영구자석이란 외부에서 전기를 공급하지 않아도 자력을 유지하는 자석을 말한다. 즉 에너지를 사용하지 않아도 계속해서 자기장을 만들어낼 수 있는 물질이다. 영구자석은 모터에서 가장 효과적으로 그 기능을 활용할 수 있다. 모터는 서로 다른 자기장이 만나 회전운동을 만들어내는데, 이때 영구자석이 한쪽 자기장을 담당한다. 덕분에 모터는 더 효율적으로 작동하며, 크기 대비 강력한 힘을 낼 수 있다. 이러한 특성 덕분에 전기차, 풍력발전, 로봇, 드론 등 다양한 산업에서 필수 부품으로 자리 잡았다. 특히 전기차 모터의 핵심 구성 요소로 활용되면서, 에너지 효율과 출력 향상에 기여한다는 점에서 산업적 가치가 매우 높다.

예를 들어 전기차에서는 효율적으로 배터리 에너지를 회전력으로 전환하고, 풍력발전기에서는 바람의 에너지를 안정적으로 전기에너지로 변환하는 역할을 수행한다. 자력과 크기, 형태가 자유로운 고품성 희토자석이 사용되는 이유가 바로 여기에 있다. 성림첨단산업 김동환 CTO는 “고특성 자력을 안정적으로 구현할 수 있는 기술이 없으면, 완성차나 풍력발전기 설계의 효율성을 최대화할 수 없다”고 강조했다.

희토류 영구자석, 폐모터에서 되살아나다

하지만 희토류 영구자석 산업에는 큰 도전 과제가 존재한다. 전 세계 희토자석 생산의 90% 이상이 중국에 집중돼 있어, 공급 안정성과 가격변동 문제가 항상 산업 리스크로 작용한다는 점이다.

성림첨단산업은 기존 희토자석 산업의 환경적·경제적 한계를 극복하기 위해 폐모터와 폐자석에서 희토류 원소를





폐모터와 폐자석에서 희토류를 회수하는 건식 정련 공정 장비. 친환경적이고 안전한 기술로 핵심 소재를 재활용해 희토류 공급망 안정화에 기여한다.

회수하고 이를 영구자석 소재로 재활용하는 기술을 개발했다. 일반적인 금속 재활용이나 전자 폐기물 처리와 달리, 희토류 회수는 자석 합금 제작, 수소 처리, 분말화, 자장 성형과 소결^①을 거쳐 최종 고품성 영구자석으로 완성되는 복잡한 공정을 거친다. 특히 기존에는 습식 정련 방식을 주로 사용했는데, 이 경우 화학 용액을 사용하면서 다량의 폐수와 이산화탄소 배출 등 환경 및 안전 문제가 발생했다. 반면 성림첨단산업은 메탈 할라이드^{Metal Halide} 반응 원리를 이용한 건식 정련 공정을 개발해 친환경적이고 안전하게 회수 공정을 수행할 수 있게 됐다. 메탈 할라이드 방식은 마그네슘과 폐자석의 접촉을 통한 물리적인 방식으로 희토류가 분류되기 때문에 기존 습식 정련 대비 유해가스 발생이 거의 없고 안전성이 높다.

이러한 친환경 건식 정련 기술은 소재 확보를 넘어 산업적 파급력도 매우 크다. 전기차와 풍력발전 등 신산업 확대와 맞물려 희토류 영구자석 수요는 급증하고 있으며, 폐자석 기반 재활용 기술을 통해 국내 공급량의 약 20%까지 안정화가 가능할 것으로 기대된다. 무엇보다 이번 과제는 난도 높은 기술 개발에 성공했다는 자체만으로도 산업적으로 큰 의미가 있다.

“국내에서 생산한 희토류는 특수한 방법으로만 안정적인 활용이 가능한데, 폐자석을 원료로 사용할 경우 별도의 기술이 필요합니다. 폐자석 속에는 몇 종류의 희토류가 섞여 있습니다. 이를 효율적으로 추출하고, 추출한 희토류를 안정적으로 자석 소재로 활용할 수 있도록 하는 이원 합금 기술^{Binary Alloy Method}이 이번 개발 기술의 핵심입니다.”

끝없는 R&D로 이뤄낸 희토류 자립 로드맵

본 과제를 통해 성림첨단산업은 폐자석을 활용하여 고품성 영구자석을 생산할 수 있는 기술적 완성도를 확보했다. 2024년 말 폐자석에서 회수한 희토류금속을

이용해 영구자석 제도가 가능함을 검증했으며, 향후 소량 생산을 시작해 2027년경에는 국내 자급에 필요한 원료 공급량을 확보할 수 있을 것으로 전망된다.

더 나아가 성림첨단산업은 작년부터 폐자석을 바로 분말화하여 자석 공정에 투입하는 쇼트 루프^{Short Loop} 재활용 기술 개발에도 나섰다. 일반적으로 폐자석 재활용은 완제품으로부터 희토류를 회수하는 롱 루프^{Long Loop} 방식과, 자석 제조공정 중간에 재활용하는 쇼트 루프 방식으로 구분된다. 쇼트 루프 기술은 정련 단계를 거치지 않아 원가를 낮출 수 있고, 손실이 적어 경제성이 높다. 다만 모든 자석을 쇼트 루프 방식으로 활용할 수 있는 것은 아니므로 일부는 정련을 거친 롱 루프 방식으로, 나머지는 쇼트 루프로 병행 투입해 효율적인 리사이클링이 가능하다. 이러한 접근을 통해 비용 부담이 큰 건식 정련의 단점을 보완하고, 해외에서 시행 중인 습식 정련보다 경쟁력 있는 폐자석 재활용 체계를 구축할 수 있다.

앞으로 성림첨단산업은 전기차, 풍력, 로봇, 드론 등 다양한 분야에 맞춘 기술 개발 로드맵을 마련하고, 핵심 기술들을 차근차근 개발해나갈 계획이다. 희토류 자석은 기술 개발이 제품 가격에 직접적인 영향을 미치기 때문에, 기술 개발은 성림첨단산업의 필수 불가결한 과제다. 멈추지 않고 끊임없이 새로운 기술을 개발해나갈 성림첨단산업의 미래가 기대된다.

① 소결 : 분말 상태의 고체 입자들을 높은 온도에서 가열해, 서로 확산 및 결합시켜 치밀한 고체(덩어리)로 만드는 공정.



과제를 진행하면서 가장 어려웠던 부분은 무엇인가?

국내에서 연간 사용되는 6000~7000톤 규모의 희토자석 가운데 폐모터를 충분히 수집할 수 있는 체계적 시스템이 없어 원료 확보가 쉽지 않았던 점이 가장 큰 어려움이었다. 현재 사용되고 있는 완성품에 들어간 자석 중 실제로 수거되는 폐자석의 양은 10%가 채 되지 않는다. 폐품을 회수해 부품들을 분리 및 처리하는 전문 업체는 물론, 체계적인 폐자석 수거 시스템 구축이 필요하다. 그렇게 된다면 폐자석을 통해 90% 이상 자급자족이 가능하다고 본다.

과제를 수행하면서 보람 있었던 점은 무엇인가?

대한민국 희토자석 공급망의 마지막 퍼즐을 맞췄다는 점이다. 프로젝트를 위해 7개의 다양한 분야에서 컨소시엄을 진행했다. 이렇게 많은 기관이 모여 유기적으로 일관된 목표를 갖고 함께 나아가는 것은 결코 쉬운 일이 아니다. 각 기관이 가진 목표가 분명했고, 함께 좋은 시너지를 내며 작업한 과정과 결과가 모두 좋았다.

2020년 전기차와 풍력발전 등 신산업이 확대되던 시점에, 과제를 통해 달성하고자 했던 주요 목표는 무엇이었나?

그 무렵부터 현재까지 전 세계 희토자석은 중국이 사실상 독점 공급하는 상황이어서, 경제적·정치적 이슈에 따라 국내 자동차나 가전산업 분야에서 조달에 어려움이 발생할 가능성이 높았다. 이에 당사는 기술 개발을 통해 중국 의존에 따른 수급 불안을 해소하고, 중국을 탈피한 희토자석 공급망 구축을 최우선 과제로 삼아 사업을 추진해왔다.



성림첨단산업(주)는?

폐모터를 활용한 희토자석 재활용 및 고특성 영구자석 제조 기술을 개발하는 국내 선도기업이다. 폐자석 수거부터 정련, 쇼트 루프 재활용까지 단계별 최적화 연구를 통해 안정적 원료 확보와 효율적 재활용 체계를 구축하고 있으며, 이를 바탕으로 전기차, 풍력, ESS 등 첨단산업에 필요한 희토자석 공급과 친환경 산업 생태계 조성에 기여하고 있다.

더 자유롭게 더 정밀하게, 복강경 수술의 한계를 넘다

90도 다관절로 구현한
차세대 협동형 복강경 보조로봇

리브스메드



작은 절개와 빠른 회복이 가능한 최소침습수술은 이제 선택이 아닌 필수다. 그러나 기존 복강경 기구의 한계와 고가 로봇 수술 시스템의 장벽은 의료 접근성을 제한해왔다. 리브스메드는 이러한 간극을 메우기 위해 ‘협동형 복강경 보조로봇 시스템’을 개발, 정밀성과 경제성을 모두 갖춘 K-메디컬 혁신 모델을 제시한다.

글 김선녀 사진 김기남

연구과제명	자유로운 위치전개가 가능한 동작용 보조로봇과 집도원의 수술을 보조하는 조종용 보조로봇으로 구성된 복강경 수술 협동형 보조로봇 시스템의 개발
제품명(적용 제품)	STARK™ Surgical System
개발기간(정부 과제 수행기간)	2020. 05. 01. ~ 2023. 12. 31.
총 정부출연금	44억 원
개발기관	(주)리브스메드(주관 연구개발 기관), 구미전자정보기술원, 한국로봇융합연구원, 서울대학교병원
참여 연구진	· 리브스메드 : 이정주, 정순용, 윤진혁, 정창화, 송용재, 김소연, 심진아, 김세라 외 12명 · 구미전자정보기술원 : 전금상, 허영준 외 4명 · 한국로봇융합연구원 : 황희선, 최승원, 김태환 외 10명 · 서울대학교병원 : 공성우, 권우일, 신지연 외 6명

지금은 최소침습수술 시대

수술 로봇은 지난 20년간 의학의 판도를 바꾼 차세대 의료 기술이다. 의사의 손과 눈을 보조해 정밀성과 안전성을 높이며, 개복과 기존 복강경 수술^①의 한계를 뛰어넘어 최소침습수술^{MIS, Minimally Invasive Surgery}^②의 확산을 이끌었다. 환자들은 작은 절개와 빠른 회복을 선호하고, 의료진은 정밀하면서도 안정적인 수술을 위한 기술적 지원을 기대한다. 실제로 최소침습수술 시장은 매년 7~10% 성장하고 있으며, 2030년에는 개복수술보다 높은 비중을 차지할 것으로 보인다. 고령 환자뿐 아니라 빠른 일상 복귀를 원하는 젊은 환자들에게도 MIS는 필수적인 선택지가 되고 있다.

기존 일자형 복강경 수술 기구는 의사의 손목과 팔 움직임에 제한이 있어 정밀한 조작이 쉽지 않았다. 반면 대형 로봇 수술 시스템은 관절형 기구를 활용해 자유로운 조작이 가능하지만, 가격 부담 때문에 일부 대형 병원에서만 사용할 수 있다. 이러한 한계를 해결하기 위해 2011년 이정주 대표가 설립한 리브스메드는 누구나 접근할 수 있으면서도 수술의 정밀성과 효율성을 동시에 높이는 기술을 목표로 삼고 있다.



리브스메드가 개발한 협동형 보조로봇 시스템으로 수술을 시연하는 모습. 기존의 90도 다관절 원천기술과 과제를 통해 발전시킨 다관절 기구의 정밀 움직임 제어 기술을 활용해, 기존 복강경 수술의 난제를 극복했다.

리브스메드의 대표 제품인 아티센셜^{ArtiSential}은 세계 최초의 핸드헬드^{Handheld}^③형 다관절 복강경 수술 기구다. 의사의 손 움직임을 그대로 재현하면서 상하좌우 90도 다관절 구조를 핸드헬드로 구현해 기존 일자형 기구의 한계를 극복했다. 고가 로봇 수술 장비 없이도 정밀 수술이 가능하도록 설계되어 현재 72개국과 공급계약을 체결했으며, 46개국에서 매출을 올리고 있다.

다관절 구조로 정밀 제어 기술 확보

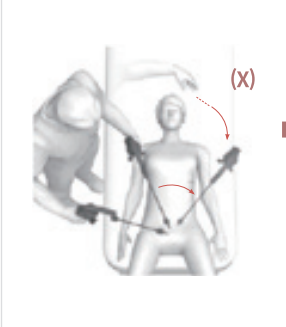
‘복강경 수술 협동형 보조로봇 시스템 개발’ 과제는 리브스메드의 기술적 비전을 확장하는 프로젝트로, ‘경제성과 실용성을 갖춘 국산 수술 로봇’이라는 뚜렷한 목표를 세웠다.

이번 과제에서 리브스메드는 기존 보유한 90도 다관절 원천 기술을 기반으로, 복강경 수술을 한 단계 업그레이드하는 협동형 보조로봇 시스템을 개발했다. 로봇 시스템은 크게 세 가지 역할을 수행한다. 수술용 기구를 다양한 방향으로 자유롭게 배치하고 조정하는 동작 보조로봇, 음성 명령과 자동 기능으로 최적의 수술 시야를 제공하는 카메라 보조로봇, 그리고 외과의사가 여러 기구와 카메라를 직관적으로 제어할 수 있도록 돕는 조종 보조로봇이다. 현장에서는 이 세 가지 요소가 유기적으로 결합해, 좁고 복잡한 수술 부위에서도 의사가 좀 더 안정적이고 유연하게 수술할 수 있다.

- ① 복강경 수술 : 복부에 작은 구멍을 내어 카메라와 기구를 넣고 진행하는 수술 방식.
- ② 최소침습수술 : 몸에 상처를 최소화하면서 환자의 부담을 줄이는 수술.
- ③ 핸드헬드 : 직접 손에 쥐고 조작할 수 있는 기구.

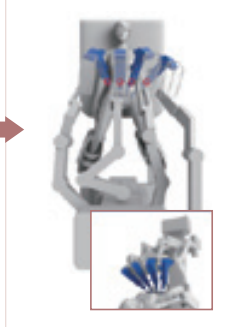
기존 복강경 수술

인체 팔의 한계로, 로봇은 가능한 위치에 수술 기구를 전개할 수 없음.



로봇 수술

집도의의 위치에 상관없이 자유로운 위치로 수술 기구를 전개할 수 있음.



과제 제안 개념

조종 보조

- 가상 수술 암
- 수술자의 위치에 적합하게

동작 보조

- 로봇 구동
- 기존 기구 사용 가능 다자유도 기구
- 일자형 기구
- 기구 어댑터 모듈

의미

- 반인+반로봇(환자 옆에서 집도)
- 로봇에서만 가능했던, 자유로운 조직 접근법 구현
- 하나의 조종 로봇으로 여러 개의 동작 로봇 제어
- 기존 기구와 병용(저비용 수술)

정순용 R&D개발실장은 “우리는 단순히 기구를 움직이는 수준을 넘어, 최대한 집도의의 손과 동일하게 반응할 수 있는 정밀 제어 기술을 확보했다”고 강조한다. 게다가 이번에 개발한 시스템은 기구 배치의 자유도를 크게 확장해, 수술실 동선과 환자의 체형에 맞춰 유연하게 세팅할 수 있다. 또한 복잡한 수술 환경에서 의사와 로봇이 동시에 여러 기구를 다룰 수 있도록 협동 제어 방식을 적용해, 기존 복강경 수술의 난제를 해결했다.

특히 리브스메드의 기술이 기존 수술 로봇과 차별화되는 지점은 바로 90도 이상의 다관절 구조다. 기존 로봇의 관절 각도가 약 60도에 머무는 데 비해, 리브스메드의 로봇은 훨씬 넓은 각도를 구현해 좁은 수술 공간에서도 세밀하고 안정적인 조작이 가능하다. 또한 이번 과제에서 개발한 모듈형 구조와 소형화를 통해 비용 및 공간에 대한 부담을 크게 줄였다. 필요할 경우 신속하게 개복수술로 전환할 수 있는 것도 현장 의료진에게 큰 장점이다.

리브스메드가 꿈꾸는 첨단 의료기술의 민주화

현재 복강경 수술 협동형 보조로봇 시스템은 임상시험계획 승인 단계까지 완료했고, 이를 토대로 한층 고도화한 후속 모델 시제품 개발도 마친 상태다.

그러나 리브스메드는 과제를 통해 확보한 기술적 성과에 안주하지 않고, 자체적인 투자와 개발을 더해 더욱 효율적이고 완성도 높은 제품과 기술을 개발 중이다. 이 기술이 상용화되면 수술 시간 단축과 출혈 감소, 합병증 위험 최소화는 물론, 무엇보다 기존 수술 로봇 대비 1/4~1/5 수준의 수술

비용으로 더 많은 환자가 첨단 수술의 혜택을 누릴 수 있다. 특히 원격 수술 기술과 결합되면, 지역과 경제력에 관계없이 세계 최고 수준의 수술을 실시간으로 제공할 수 있다.

국내 의료기기 산업에도 구조적 변화가 예상된다. 리브스메드는 복강경 수술 기구부터 수술 로봇까지 수직계열화를 구축하면서, 국내 부품·소재 업체와 상류 밸류체인이 함께 성장할 수 있는 기반을 마련했다. 리브스메드가 개발 중인 차세대 수술 로봇 스타크^{STARK}는 외과수술 풀 라인업의 기술력을 집약한 결과물로, 단순한 수술 도구를 넘어 디지털 서저리^{Digital Surgery} 시대로의 전환을 선도할 수 있는 잠재력을 갖추고 있다.

리브스메드가 그리는 의료의 미래는 첨단 기술의 민주화다. 이를 위해서는 차별화된 원천기술 확보, 과감한 투자, 체계적인 글로벌 지원과 규제 혁신이 필수적이다. 리브스메드는 이러한 전략을 바탕으로 세계 의료 시장에서 경쟁력을 확보하며, 누구나 안전하고 효율적인 수술을 받을 수 있는 세상을 만들어가고 있다.



과제를 진행하면서 가장 어려웠던 부분은 무엇인가?

가장 큰 어려움은 초기 전문 인력의 부족이었다. 로봇 전문가가 부재한 상태에서 출발하다 보니, 3년 8개월이라는 길지 않은 기간의 초반을 시행착오로 적잖이 소모해야 했다. 물론 그 과정에서 많이 배웠지만, TRL 8단계 과제에서는 시간 자체가 매우 귀한 자원이었기에 부담이 컸다. 2년 차에 로봇 전문가가 합류하고 전담

조직을 정비한 이후에는 개발이 본격적으로 속도를 내기 시작했고, 이후부터는 기술적 난제라기보다 시간과의 싸움이었다.

개발 과정에서 리브스메드만의 노하우나 팀이 배운 교훈이 있다면?

가장 큰 교훈은 ‘될 때까지 한다’는 집념의 중요성이었다. 혁신적인 기술 개발 과정에서는 수많은 실패와 좌절이 따르지만, 포기하지 않고 끝까지 해내는 의지가 결국 돌파구를 만들어낸다는 것을 깨달았다. 또한 의료 현장의 목소리를 끊임없이 듣는 것이 핵심이었다. 의료진이 실제로 필요로 하는 기술이 무엇인지 파악하고, 그것을 구현할 때까지 끈질기게 개선을 반복하는 과정에서 진정한 혁신이 탄생한다는 것을 배웠다.

정부 R&D 과제에서 개선되길 바라는 부분이 있다면?

로봇은 다학문 분야라 수술 도메인, 엔드툴, 로봇 기구부, 소프트웨어, 하드웨어까지 각 분야의 전문가가 모두 모여야 개발이 가능한데 작은 규모의 업체는 이런 전문 인력이 언제나 부족하다. 개발 초기에 방향 관련 조언을 해줄 수 있는 전문 지식을 갖춘 멘토 프로그램이 있으면 큰 도움이 될 것 같다.



리브스메드는?

최소침습 수술 기구 및 수술 로봇 개발·제조 기업으로 세계 최초로 상하좌우 90° 다관절 구조를 구현한 핸드헬드형 다관절 복강경 수술기구 ‘아티센셀’을 개발했다. 최근 협동형 복강경 보조로봇 시스템을 개발했으며, 이를 기반으로 국내 첨단 의료 기기 산업 발전에 기여하고 있다. 더불어 최소침습수술 분야 혁신 모델을 구축해 K-메디컬 분야의 새로운 표준을 만들어가고 있다.

R&D 사전

#희토류 Rare Earth Elements

지구의 지각에 광물 형태로 극미량 분포하는 17개 원소를 총칭하는 단어다. 화학적으로 안정적이며 자성, 전도성, 내열성 등이 뛰어나 첨단산업의 비타민으로 불린다.



희토류는 크게 경희토류(라이트 희토류)와 중희토류(헤비 희토류)로 나뉘며 스마트폰, 전기차, 풍력터빈, 미사일 등 미래 산업의 핵심 부품 생산에 필수적으로 사용된다.

적용 사례

#포스코인터내셔널, 희토류·영구 자석 통합 생산기지 구축 추진

포스코인터내셔널은 9월 18일 미국 리엘레먼트 테크놀로지스와 희토류 공급망 강화를 위한 업무협약^{MOU}을 체결했다고 밝혔다. 양사는 이번 협약에서 미국 내 희토류 및 영구자석 통합 생산단지 구축을 위한 협력 방안을 모색했으며, 포스코인터내셔널은 희토류 중간재를 담당하고, 리엘레먼트는 분리 및 정제 기술을 제공하기로 논의했다.

지구적 스케일의 답을 찾다

#한국희토류산업협회 출범

산업통상자원부는 1월 2일 한국희토류산업협회 설립 허가 공고를 게시했다. 한국희토류산업협회는 희토류 산화물 및 금속 등 연관 산업 밸류체인 전반의 상호 동반성장과 국가 경제발전을 도모하기 위해 설립됐으며, 9월 22일 서울 용산구에서 창립식을 진행했다.



#한중, 희토류·핵심 광물 수출통제 대화 개최

9월 11~12일 산업통상자원부는 서울에서 중국 상무부와 '제2차 한중 수출통제 대화'를 개최했다. '한중 수출통제 대화'는 수출통제 관련 정보를 교환하고 산업 공급망 안정화 방안을 논의하기 위해 지난해 신설한 정부 간 소통 채널이다. 이날 양국은 핵심 광물 산업 공급망 안정화 방안을 심도 있게 논의했다.



유사 개념

#도시 광산 Urban Mining

폐가전제품이나 폐휴대폰 등 도시에서 버려지는 폐기물에서 금, 은, 팔라듐, 희토류 같은 유가금속을 추출해내는 산업을 의미한다. 천연 광산 채굴을 대체할 지속 가능한 자원 확보 방안으로 주목받고 있다.

#전략 광물 Strategic Minerals

첨단산업 및 국가안보에 필수적인 광물로, 수급 위기가 발생할 경우 국내 산업에 큰 파급효과를 미치는 광물을 통칭한다. 희토류 외에도 리튬, 코발트, 흑연 등이 포함된다.

#희소금속

매장량 자체가 매우 적거나, 매장량은 많지만 고품위 광석이 적거나 순수 금속으로 추출이 어려워 경제성이 낮은 금속자원을 말한다. 희토류는 희소금속에 포함되며, 이외에도 리튬, 코발트, 니켈 등 다양한 원소가 여기에 속한다.

심화 개념

#희토류 자석 Rare-Earth Magnet

네오디뮴Nd, 사마륨Sm 같은 희토류 원소의 합금으로 만든 영구자석으로, 현재 상용화된 자석 중 가장 강력한 자성을 지닌다. 전기차 모터, 로봇 등에 필수적으로 사용된다.

#이온 흡착 희토류 광상

이온 흡착형 광상은 풍화작용에 의해 점토광물에 희토류가 흡착돼 형성되며, 광석 상태의 희토류 광물에 비해 채굴과 추출이 용이하다. 중국 남부 일대에 주로 분포돼 있다.

#희토류 분리 정제

채굴된 희토류 광석에서 순수한 개별 희토류 원소를 분리해내는 공정을 의미한다. 희토류 산업의 핵심 경쟁력으로, 현재 전 세계 정제 역량의 85% 이상이 중국에 집중돼 있다.

제조업 혁신의 두 축 : 'AX'와 '휴머노이드'가 바꿀 산업 지형

글 김리안 <한국경제신문> 기자

국내

1000개 기업 손잡고 2030 제조 AI 전환 시대 연다



9월 10일 산업통상자원부와 대한상공회의소는 서울 웨스틴조선호텔에서 제조 AX 얼라이언스를 공동 출범했다.

전 세계적으로 디지털 전환^{Digital Transformation}과 인공지능^{AI}이 산업 패러다임을 바꾸는 핵심 열쇠로 떠오르고 있다. 미국, 유럽, 중국 등은 이미 제조업에 AI를 적극 도입해 공정 자동화, 공급망 예측, 품질관리 등에서 획기적인 성과를 내고 있다. 한국 역시 고도화된 기술 경쟁과 글로벌 수요 변화, 원자재 및 에너지 비용의 불확실성이 커지는 가운데, 전통적인 제조 강국으로서의 입지를 유지하고 미래산업에서 주도권을 확보해야 한다는 압박이 커지고 있다.

한국 정부가 '제조 AX 얼라이언스'^{M.AX Alliance}를 발족하며 본격적인 제조 AI 전환^{Manufacturing AI Transformation}(줄여서 'AX') 시대의 문을 열었다. 2025년 9월 10일 산업통상자원부와 대한상공회의소는 업종별 대표 기업, AI 기업, 소재·부품 기업, 대학·연구기관 등 1000여 개 내외 기관이 참여하는 얼라이언스를 공식 출범시켰다.

민관 합심, 10개 분과로 구성된 다각적 추진체계

이번 TF에는 대기업뿐 아니라 중견·중소 제조기업, 학계, 연구기관 등이 폭넓게 참여한다. 단순한 정부 주도가 아닌, 산업계의 다양한 수요와 현장의 목소리를 직접 반영하겠다는 취지다. TF는 AI 제조 기술 개발, 데이터 표준화 및 공유 체계 구축, 현장 적용을 위한 제도 개선, 전문 인력 양성 등 네 가지 축을 중심으로 세부 과제를 추진할 예정이다.

얼라이언스는 AI 팩토리, AI 제조·서비스, AI 유통·물류, 자율주행차, 휴머노이드, 자율 운항 선박, AI 가전, AI 방산, AI 바이오, AI 반도체 등 10개 분야 분과로 구성되었다. 각 분과에서는 해당 분야의 기술적 과제, 제품·서비스 상용화, AI 모델 개발 등을 중점적으로 추진한다.

삼성전자 화성 반도체 공장 현장. 제조 AI 전환은 복잡하고 정밀한 생산 라인에 AI를 적용해 생산성과 품질을 높이고 글로벌 경쟁력을 강화하는 핵심 전략이다.



목표치와 지원 전략

정부는 이 얼라이언스를 통해 2030년까지 100조 원 이상의 부가가치 창출을 기대하고 있다. 이를 위해 정부는 제조 AX 얼라이언스를 중심으로 산업 AI 확산을 추진하며 예산, 자금, 인프라, 제도 전반에 걸쳐 종합적인 지원 방안을 마련하고 있다. 내년 산업부 AI 예산(안)을 포함해 향후 예산 편성 시 얼라이언스가 제안하는 과제를 최우선 반영하고, 제조·AI·소재·부품 기업 간 협업 프로젝트를 중점 지원할 예정이다. 또한 국민성장펀드 등 민·관 펀드를 활용해 AI 팩토리 확산, 업종 특화 AI 모델 개발, 인프라 구축 등에 필요한 자금을 지원하고, 제조 현장 실증 공간, 가상 시뮬레이션, 테스트베드, GPU 및 데이터센터 등 AI 인프라를 제공할 계획이다. 이와 함께 규제 개선과 AI 융합 제품·데이터 처리 표준 마련을 추진하고, ‘산업인공지능전환촉진법(가칭)’ 제정을 통해 전문 기업 육성, 협력 프로젝트를 지원, 데이터 활용 기반 강화 등 제도적 뒷받침을 마련할 방침이다.

왜 지금 ‘제조 AX’인가

제조업 중심의 한국 경제는 노동비용 상승, 공급망 혼란, 기술 패권 경쟁 등 여러 외부 리스크에 노출돼 있다. AI 기반의 자동화, 생산성 향상, 품질 및 효율 개선은 이러한 리스크를 완화할 수 있는 유력한 해법으로 평가된다. 또한 글로벌

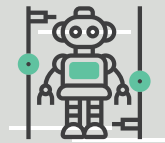
경쟁이 AI 기술을 중심으로 심화됨에 따라, AI를 단순 도구가 아니라 제조업 경쟁력 자체를 결정짓는 요소로 인식하는 것이 중요하다는 목소리가 높아지고 있다.

‘제조 AX’는 Manufacturing AI Transformation & Expansion을 함축하는 개념으로, 단순히 생산공정 일부를 자동화하는 수준을 넘어 산업 전반을 AI 기반으로 확장·전환하겠다는 의지를 담았다. 정부는 이를 통해 한국이 AI 제조 분야에서 글로벌 선도국으로 도약할 수 있을 것이라 기대한다.

물론 산 넘어 산이다. AI 기술 적용이 가능한 제조 현장은 다양하지만, 기술 격차, 데이터 확보 및 공유, 인력 재교육, 중소·지방기업의 참여 확장 등은 해결해야 할 숙제다. 규제 완화와 표준화 작업도 시급히 이뤄져야 한다는 지적이 나온다.

하지만 참여 규모와 민간 주도의 열기가 예상롭지 않다는 점에서 기대 또한 크다. 정부는 얼라이언스가 단순한 정책 구호를 넘어 실제 산업 현장에서 성과를 창출하는 플랫폼을 목표로 하고 있다. 제조업 중심 국가로의 전환을 넘어 AI 중심 국가로의 도약을 준비하겠다는 선언인 셈이다.

중국, 2025 휴머노이드 로봇 양산 체제 목표

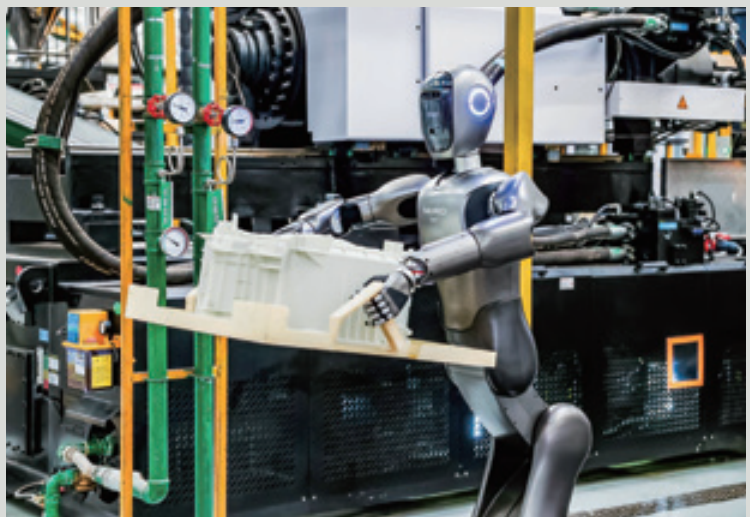


중국이 휴머노이드 로봇을 차세대 성장 동력으로 삼고 본격적인 산업화에 나섰다. 공업정보화부^{MIT}는 2025년까지 휴머노이드 로봇 양산 체제를 구축하겠다는 청사진을 내놓았고, 주요 도시 항저우와 충칭은 기업 보조금과 산업 육성책을 통해 중앙정부 전략에 힘을 보태고 있다. 세계적으로 인공지능과 자동화 기술이 급속히 확산하는 가운데, 고령화와 인건비 상승은 중국 제조업의 경쟁력을 위협하는 주요 요인으로 지적된다. 이러한 배경에서 휴머노이드 로봇은 단순 반복 작업이나 위험 업무, 노동력 부족을 메우는 대안으로 주목받고 있다.

공업정보화부가 발표한 ‘휴머노이드 로봇 혁신 개발 가이드라인’에 따르면, 중국은 2025년까지 핵심 기술 확보, 주요 부품 공급망 안정화, 시험 생산 체계 마련을 완료해 양산 기반을 다진다는 계획이다. 나아가 2027년까지는 국제 수준의 기술력과 산업 생태계를 확보해 휴머노이드 로봇을 국가 경제성장의 새로운 엔진으로 삼겠다는 구상이다. 중앙정부의 전략에 발맞춰 지방정부도 발 빠르게 움직이고 있다. 항저우시는 로봇과 AI 기업을 대상으로 매출 기반 보조금과 기술 개발 인센티브를 제공하며 산업 집적을 강화하고 있다. 충칭 또한 규제 완화와 산업 클러스터 조성을 추진, 로봇기업 유치에 나서고 있다. 이 같은 정책은 스타트업부터 대기업까지 참여를 촉진하며 산업 전반에 활력을 불어넣고 있다.

중국 정부의 목표대로라면 향후 몇 년 내 제조·물류·서비스 등 다양한 산업 현장에서 휴머노이드 로봇의 시범적 활용이 본격화될 전망이다. 생산성 향상과 공급망 자립을 이끌 수 있다는 점에서 긍정적 평가가 나온다. 그러나 여전히 감지·제어·인간과의 상호작용 등 기술 성숙도 부족, 비용 부담, 일자리 대체 우려와 같은 사회적 수용성 문제가 과제로 남아 있다.

중국의 휴머노이드 로봇 산업은 아직 초기 단계지만, 중앙정부의 강력한 정책 추진력과 지방정부의 지원책이 결합하면서 세계시장에서 빠르게 입지를 넓힐 가능성이 높다. 전문가들은 “2025년은 중국 휴머노이드 로봇 산업이 연구개발 단계에서 상용화 단계로 전환되는 분기점이 될 것”이라고 전망한다.



중국 세탁기 공장에 배치된 메이디의 휴머노이드 로봇. 중국은 2025년까지 휴머노이드 로봇의 생산 체계를 구축해 양산 기반을 다질 계획이다.

과학은 즐겁게, 세상은 새롭게

똑소리 나는 일상 속 과학 이야기

우리가 일상에서 무심코 경험하는 현상들 뒤에는 신기한 과학 원리가 숨어 있습니다. 똑소리난 여러분이 보내주신 질문 속 흥미로운 과학의 세계로 여러분을 초대합니다.

글 과학 커뮤니케이터 '과즐러' 백정엽 박사

Q. 아이스크림은 녹으면 왜 더 달게 느껴질까?

아이스크림을 먹다 보면 마지막 남은 녹은 부분이 유난히 달게 느껴집니다. 보통 액체가 된 아이스크림이 혀에 닿는 면적이 넓어지기 때문에 더 달다고 생각하는데, 사실 더 근본적인 이유가 있습니다. 바로 우리 혀의 미각세포에 있는 'TRPM5'라는 특별한 채널 때문입니다. 이 채널은 온도에 매우 민감한 '단맛 온도계' 역할을 합니다. 2005년 <네이처> 연구에 따르면, 차가운 상태(4°C)와 녹은 상태(20°C)의 아이스크림을 비교했을 때, 같은 당도임에도 녹은 아이스크림이 40% 정도 더 달게 느껴졌습니다. 다른 연구에서는 반대로 30°C의 설탕물을 5°C로 냉각하면 설탕의 단맛이 63% 정도 감소했습니다.

우리는 이러한 원리를 아이스크림뿐 아니라 일상에서도 다양하게 경험합니다. 차가운 콜라보다 미지근한 콜라가 더 달게 느껴지고, 달콤한 화이트와인을 차갑게 마시면 단맛이 줄어드는 것도 모두 'TRPM5'의 온도 민감성 때문입니다

Q. 잠을 잘 자면 기억력이 더 좋아지는 이유는?

'잠자는 동안 뇌도 쉬고 있다'는 것은 완전한 오해입니다. 오히려 우리 뇌는 잠자는 동안 하루 동안의 기억을 정리하는 중요한 작업을 수행합니다. 깊은 잠(서파수면) 단계에서는 '기억 고착화'라는 과정이 일어납니다. 단기 기억을 담당하는 해마가 그날의 경험을 재생하며, 중요한 정보를 장기 기억 저장소인 대뇌피질로 전송합니다. 실제 연구에서 이를 확인할 수 있습니다. 수면 중 음향으로 깊은 잠을 방해한 그룹은 다음 날 학습 능력이 감소했으며, 반대로 깊은 잠을 유도한 그룹은 기억력이 향상되었습니다. 시험 전날 밤샘 공부나 비효율적인 이유가 바로 여기에 있습니다. 단기적으로는 시험 점수를 얻을 수 있지만, 장기 기억으로 저장되지 못해 누적 학습 효과를 얻기 어렵기 때문입니다. 어쨌든 제 머릿속에 남은 게 별로 없었던 이유가 여기에 있었네요.

Q. 나이가 들면 왜 기억력이 떨어질까?

기억력이 떨어진다고 하니 갑자기 소설 <마지막 잎새>가 떠오르네요. 뇌의 노화는 나무가 봄, 여름, 가을, 겨울의 계절을 거치는 것과 유사합니다. 나무가 가을, 겨울을 지나면서 잎이 떨어지고 가지는 짧아지는 것처럼 인간도 나이가 들면서 기억을 저장하는 뇌 영역의

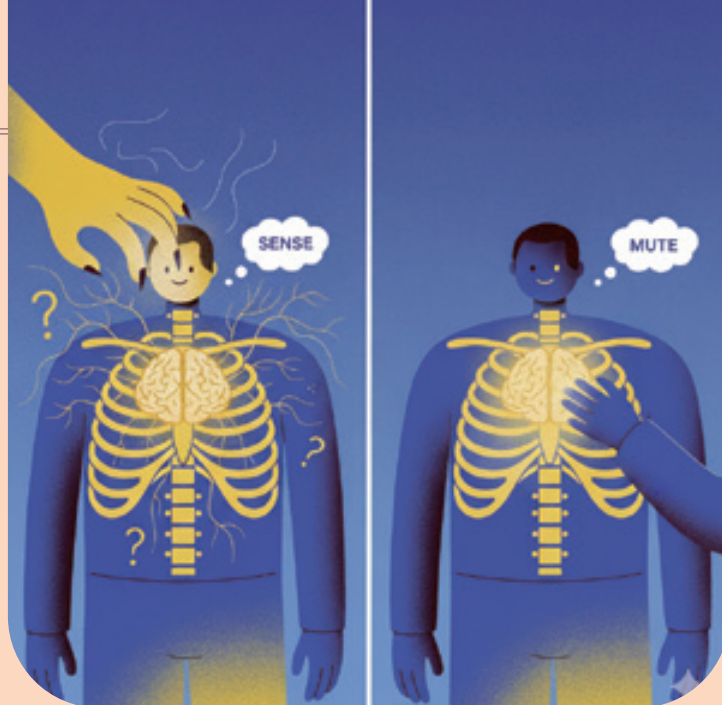


물리적인 크기가 서서히 ‘수축’하기 시작합니다. 특히 이마엽과 해마 같은 영역에서 변화가 두드러집니다. 건강한 상태에서도 60세 이후 해마는 연간 0.3~2% 내외로 위축되며, 신경세포 간 연결점인 시냅스는 연령에 따라 20~30% 정도 감소합니다. 이러한 변화가 뇌의 정보처리 속도가 느려지고 새로운 정보를 학습하거나 저장된 기억을 꺼내는 능력을 저하하는 가장 직접적인 원인입니다. 그러나 앞서 <마지막 잎새>를 언급했듯이 현 과학계에서는 뇌의 노화 속도를 줄이고 더 나아가 노화를 멈출 수 있는 다양한 연구 결과가 발표되고 있습니다.

주 3회, 총 150분 이상 중강도 이상의 유산소 운동, 새로운 언어를 배우거나 독서·악기 연주를 통한 복합적인 인지훈련, 뇌혈관 및 신경염증을 줄이는 식단 조절, 규칙적이고 충분한 수면을 위해 노력한다면 떨어지지 않는 잎새처럼 오랫동안 기억력을 유지할 수 있습니다.

Q. 왜 스스로 간지럼 태우기는 불가능할까?

간지럼의 핵심은 ‘예측 불가능’입니다. 우리 뇌는 움직임을 명령할 때 그 결과를 미리 예측하는 신호를 함께 만들어냅니다. 이러한 예측 신호는 소뇌에서 생성됩니다. 내가 나를 만질 때 소뇌가 ‘이건 내 행동으로 인한 감각’이라는 신호를 보내 간지럼 반응을 억제합니다. 실제로 fMRI 촬영 결과, 스스로 자극할 때 감각을 처리하는 뇌 영역의 활동이 다른 사람이 자극할 때보다 크게 줄어들었습니다. 반면 조현병 환자는 이 시스템이 제대로 작동하지 않아 스스로 간지럼 태우기가 가능하기도 합니다. 흥미롭게도 버튼을 눌러 간지럼 태우게 하는 로봇 장치를



이용하면 스스로 약간의 간지럼을 느낄 수 있다는 연구도 있습니다. 단, 간지럼을 예측하지 못하도록 로봇이 명령을 수행하는 데 0.2초 이상의 시간차가 있어야 합니다.

Q. 술이 깨면 왜 머리가 아플까?

숙취 두통은 복합적인 원인으로 발생합니다. 알코올은 간에서 두 단계로 분해됩니다.

1단계 : 에탄올 → 아세트알데하이드
(유해 물질)

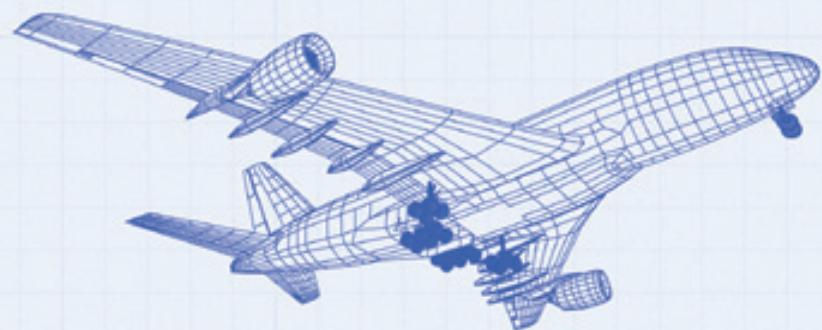
2단계 : 아세트알데하이드 → 아세트산
(무해 물질)

과음하면 2단계가 따라가지 못해 아세트알데하이드가 축적되어 뇌혈관을 확장하고 뇌압을 상승시킵니다. 술 마시고 머리가 ‘욱옥’ 하는 느낌이 바로 아세트알데하이드 때문이죠. 하지만 진짜 숙취 두통은 알코올 섭취 후에 시작됩니다. 알코올 섭취를 중단하면 뇌의 시상하부가 부신에 신호를 보냅니다. 그러면 부신에서 스트레스

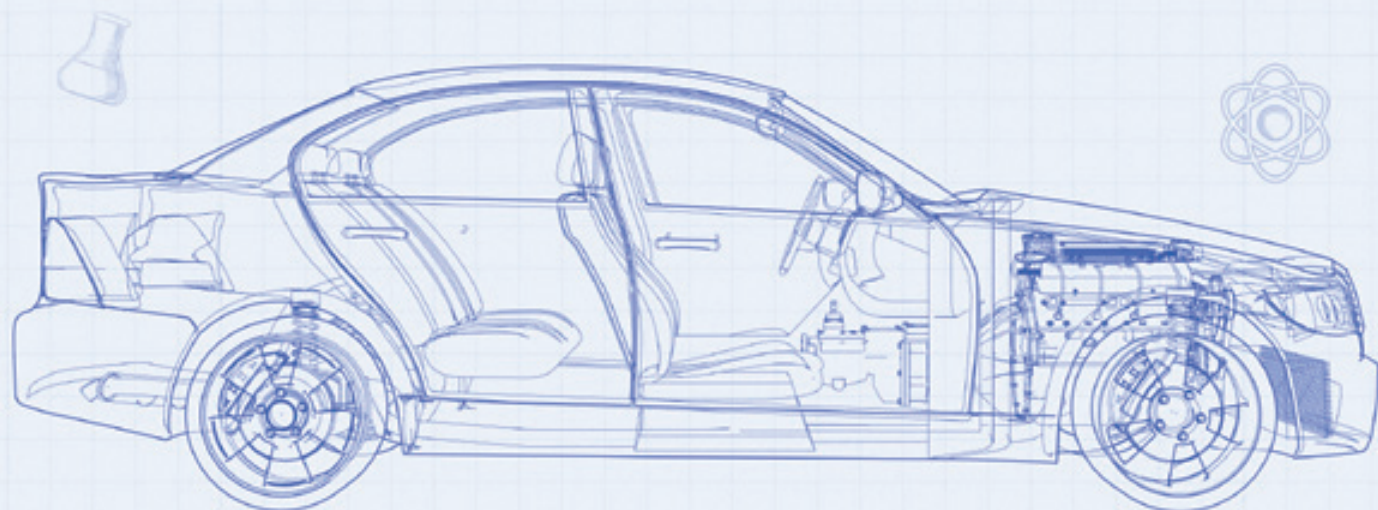
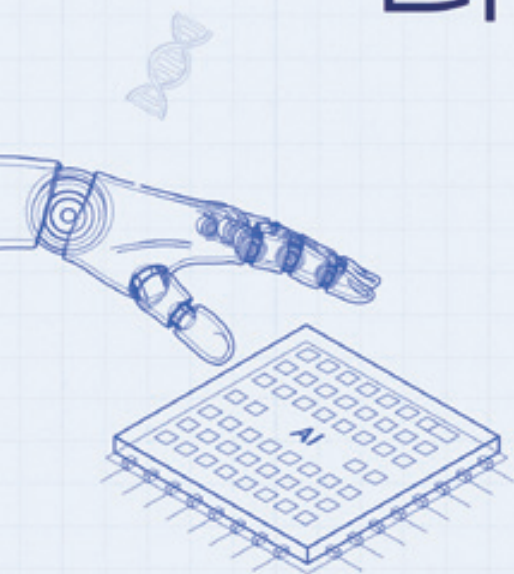
호르몬인 코르티솔을 분비합니다. 코르티솔 호르몬은 명령을 내린 뇌로 이동해서 세포를 자극해 염증을 일으키는 화학물질인 사이토카인 분비를 촉진합니다. 염증성 사이토카인이 분비되면 뇌에 염증이 발생합니다. 그래서 술 마시고 머리가 깨질 듯이 아픈 건 아세트알데하이드에 의해 증가한 뇌압뿐만 아니라 코르티솔에 의한 뇌 신경염증으로 인한 영향도 있습니다. 그런데 술 깨고 머리가 아픈 원리를 알기보다 그런 걸 알 필요 없이 적당하게 술 마시는 것부터 시작하는 건 어떨까요?



과학 커뮤니케이터 ‘과즐러’ 백정엽 박사
경희대학교 생물학과를 졸업한 뒤 같은 대학에서 신경과학 박사학위를 받았다. 국가독성과학연구소에서 박사후연구원으로 활동하고 있으며, 뇌과학을 기반으로 한 강연과 칼럼을 통해 과학 대중화에 기여해왔다. 현재 ‘과학을 즐기는 사람’이라는 뜻의 ‘과즐러’라는 이름으로 유튜브·방송 등 다양한 채널에서 뇌과학을 쉽고 재미있게 이야기하고 있다.



대한민국의 내일을 설계하다



미래를 열다 KEIT

한국산업기술기획평가원



‘NFT’

활용한 생태계 복원 실험

글 이승균 환경 <ESG> 기자

시드볼트 NFT 컬렉션은 참여자가 온·오프라인 미션을 통해 NFT를 수집하면 수집된 NFT 수에 비례해 실제 자생식물¹ 보전지가 조성되는 방식으로 운영된다. 이는 세계 유일의 야생식물 종자 영구 저장시설 ‘백두대간 시드볼트’에 보관된 종자 이미지를 기반으로 NFT를 발행해 멸종위기 식물의 가치를 알리기 위함이며, 기술과 환경을 연결한 참여형 ESG(환경·사회·지배구조) 모델이라는 평가를 받고 있다.

시민의 디지털 참여, 생물다양성 보전으로 이어져

이 실험은 NFT 발행과 수집을 넘어 시민의 디지털 참여가 생물다양성 보전이라는 실질적인 성과로 이어지도록 설계됐다.

시민들은 ‘요원’으로 참여해 온라인 퀴즈와 인증 미션을 수행하고 NFT를 획득하며, 이에 따라 실제 자생식물 보전지가 조성된다. 개인의 행동이 생태계 복원으로 연결된다는 점에서 교육적 효과도 크다는 분석이다.

수도권 중심 환경 캠페인의 한계를 보완하기 위해 온라인과 전국 단위의 오프라인 참여 방식도 병행했다. 시민들은 퀴즈와 미션을 통해 NFT를 획득하는 ‘포켓씨GO’ 이벤트에 참여해 시드볼트 NFT 홈페이지, 오픈 채팅방, 인스타그램 등에서 이스터에그형 콘텐츠를 탐색하며 미션을 수행했다. 동시에 전국 각지의 친환경 장소를 직접 방문해 현장 QR코드를 인증하면 NFT를 수집할 수 있도록 해 폭넓은 시민 참여를 유도했다.

보라매공원에서 진행된 ‘시드볼트 NFT 컬렉션’ 프로그램 현장. 디지털 기술^{NFT}을 통해 시민들이 오프라인에서 직접 환경보호에 기여하는 의미 있는 활동을 펼쳤다.





‘치유’를 주제로 보라매공원에서 진행된 시드볼트 NFT 캠페인.

시드볼트 NFT 컬렉션은 환경재단의 기획과 생물다양성 보전 노하우를 기반으로 설계됐다. 시민이 재미있게 참여하면서 자연스럽게 환경 메시지를 체감할 수 있도록 게임화(게이미피케이션) 요소를 도입했으며, NFT 획득 과정에 생물다양성 교육 콘텐츠를 접목해 학습과 실천이 동시에 이뤄지도록 구성했다.

기술 파트너인 두나무는 업비트 NFT 플랫폼을 통해 NFT 자동 발급, 현장 QR코드 스캔 등 시스템을 지원했다. 발급된 NFT는 캠페인 참여 인증, 행사 입장권 등으로도 활용됐으며, 보유 NFT를 조합해 새로운 NFT를 생성할 수 있는 기능을 마련해 참여자들의 몰입도를 높였다.

보전지 조성은 단순 식재를 넘어 생태적 의미와 교육효과를 함께 담는 데 중점을 뒀다. 환경재단은 한국수목원정원관리원과 함께 생육환경, 기관 전문성, 시민 접근성 등을 고려해 보전지를 선정하고, 각 공간이 생물다양성 보전과 시민교육의 거점 역할을 하도록 기획했다.

세 시즌 거치며 온라인에서 현장 체험으로 확장

시드볼트 NFT 컬렉션은 2023년부터 세 차례에 걸쳐 시즌별로 운영됐는데, 시즌 1은 NFT 기술에 대한 시민의 접근성을 높이기 위해 온라인 중심으로 진행됐다. 반려식물 인증 이벤트, 생물다양성 퀴즈 등 총 9종의 NFT가 발행됐으며, 1만여 명이 참여했다. 시즌 2는 오프라인 활동을 중심으로 확대됐다. 시즌 1

참여자 투표로 선정된 ‘무궁화’를 주제로 아르떼뮤지엄 부산 시드^{SEED}관에서 미디어아트 전시가 열렸고, 14만여 명이 이곳을 방문했다.

지난 5~7월에 진행된 시즌 3는 ‘치유’를 키워드로 생태적 가치를 직접 체험할 수 있는 프로그램을 마련했다. 서울 보라매공원 내 부스에서 명상 요가, 토크 콘서트 등 자연과 교감하는 체험 프로그램을 운영했으며, 성향 진단에 따라 자생식물 씨앗과 NFT를 제공했다.

NFT 활용한 ESG 실험, 환경 캠페인의 새 장 열다

세 시즌을 거치며 총 4만 명 이상 캠페인에 참여했고, NFT 발행 수는 10만 건을 넘어섰다. 환경재단에 따르면 시민 참여를 바탕으로 조성된 자생식물 보전지는 총 2000m²에 이른다. 시즌 1은 신구대학교 식물원에 약 587m² 규모로 보전지 1호를 조성해 83종 4800여 개체의 자생식물을 심었다. 시즌 2는 진해 보타닉뮤지엄에 무궁화 테마 보전지 2호(1130m²)를, 시즌 3는 서울 보라매공원에 약 430m² 규모의 보전지 3호를 마련할 예정이다.

한편 시드볼트 NFT 컬렉션은 디지털 기술을 활용한 시민 참여형 ESG 실험으로 많은 주목을 받았다. NFT라는 디지털 자산이 환경 메시지를 전달하는 매개체가 될 수 있음을 입증한 사례로, NFT 수집을 통해 생태 보전에 직간접적으로 기여할 수 있는 기회를 시민에게 제공했다. 이로써 환경 참여의 진입장벽은 낮아지고 접근성은 높아졌다는 평가를 받고 있다.

① 자생식물 : 특정 지역에서 인간의 도움 없이 자연적으로 살아가는 식물을 의미한다. 오랜 시간 동안 해당 지역의 기후, 토양, 환경에 적응하며 진화해왔기 때문에 지역 생태계에서 중요한 역할을 담당한다.



화제의 ESG 제품

포스코, 친환경 소재 적용 '프리미엄 스테인리스 싱크' 선보여

포스코가 유럽 최대 시스템 주방 업체 프랑케^{Frankie}와 손잡고 친환경 소재를 적용한 '프리미엄 스테인리스 싱크'를 선보인다. 이번 제품은 세계적으로 강화되는 탄소 규제에 발맞춰 포스코가 개발한 스테인리스 소재로 제작했다. 포스코는 생산과정에서 스크랩(금속 고철) 사용 비율을 90% 이상으로 높이고, 제철소에 설치된 태양광발전 등 재생에너지를 활용해 탄소 배출을 줄였다. 또 제품 개발 초기부터 독일의 제3자 인증기관인 TUV SUD로부터 실사를 거쳐 공신력까지 확보했다. 포스코는 이번 출시와 관련해 이탈리아 베로나에서 프랑케와 신제품에 대한 소재 공급 업무 협약식을 진행했다. 프랑케 역시 유럽 시장 내 프리미엄 제품 출시를 지속적으로 추진해왔으며, 포스코와 협력해 탄소 배출 저감 제품군을 확대할 수 있게 됐다.





인공지능 생성 이미지 (실제 제품과 무관함)

태광산업, 식물성 원료 냉감 섬유 ‘에이스쿨-바이오’ 출시

태광그룹의 섬유·석유화학 계열사 태광산업은 국내 최초로 식물성 원료를 활용한 친환경 나일론 원사 ‘에이스쿨-바이오^{ACECOOL-BIO}’를 출시했다. 이 제품은 기존 화학섬유의 단점을 개선해 흡습성과 통기성이 뛰어나다. 습하고 더운 여름에도 쾌적한 상태를 유지할 수 있어 스포츠웨어는 물론 기능성 이너웨어, 하절기 워크웨어 등 활용도가 높을 것으로 기대된다. 태광산업은 친환경 제품에 대한 관심 증대와 지구온난화로 인한 냉감 섬유 수요 확대에 대응하고자 에이스쿨-바이오를 개발했다는 설명이다. 해당 제품은 제조 과정에서 발생하는 탄소 배출량을 기존 냉감 섬유와 비교해 절반 이하로 줄였을 뿐 아니라 염색 공정도 단축해 에너지 사용 절감이 가능하다.

한일시멘트, 친환경 타일 접착제 ‘하이폭시’ 출시

한일시멘트가 기존 에폭시계 타일 접착제의 접착력은 유지하면서 작업 편의성을 강화한 신제품 ‘하이폭시’를 출시했다. 에폭시계 타일 접착제는 시멘트계나 아크릴 본드 계열의 타일 접착제에 비해 접착력이 우수해 다양한 타일 부착에 사용된다. 하지만 냄새가 자극적이며 작업 가능한 시간이 짧다는 단점이 있다. 2022년부터 약 3년간 개발 과정을 거쳐 출시된 하이폭시는 이러한 단점을 보완한 타일 접착제다. 냄새가 없고, 휘발성 유기화합물^{VOC}을 방출하지 않아 친환경적이다. 또 폴리머 성분을 배합해 변형 저항성이 높고, 에폭시계 접착제(60분)에 비해 작업시간이 길다(90분)는 장점이 있다.



로봇이 온다! 정말?



로봇은 오랫동안 인간의 상상 속에 머물렀지만, 이제는 일상과 산업 현장에서 현실이 되고 있다.

로봇 기술의 발전과 그에 따른 사회적 책임을 탐구하는 교양서부터 로봇 기술사를 아름다운 그림으로 풀어낸 백과사전, 로봇과 인간성의 철학적 의미를 사유하는 고전 희곡 등을 소개한다.

현대의 우리가 짊어져야 할 선택과 책임을 생각해볼 수 있다.

글 유아영 과학 칼럼니스트, <평행 세계의 그대에게> 저자

<천재 로봇공학자 다니엘라 루스의 MIT 로봇 수업>

다니엘라 루스, 그레고리 몬 지음 / 김성훈 옮김 / 김영사 펴냄

챗GPT가 시를 쓰고 그림을 그리며 전 세계를 놀라게 했을 때, 미국의 SF 작가 요안나 마치에프스카 Joanna Maciejewska가 X에 이렇게 논평했다. “AI를 무조건 밀어붙이는 것의 문제가 뭔지 알아? 방향이 틀렸다는 거야. AI가 내 빨래와 설거지를 대신 해줘서 내가 예술과 글쓰기에 집중하길 바라는 것이지, AI가 내 예술과 글쓰기를 대신 해줘서 내가 빨래와 설거지를

하게 되길 바라는 게 아니거든.”
이 책을 쓴 다니엘라 루스가 이 논평을 봤다면 과연 뭐라고 했을까? 아마도 이렇게 말하지 않았을까 싶다. “조금만 기다려요! 로봇공학계에는 인간이 하고 싶지 않은 작업을 로봇에게 맡길 수 있는 성공 사례가 많이 나와 있어요. 빨래 개기를 포함해서 말이죠! (물론 시제품이 실제 상품으로 나오기까지는 시간이 좀 걸릴 거예요.)”

AI? 이제 로봇이 필요해!

최근 몇 년간 눈부신 발전을 이룬 AI가 실제로 우리 집에서 빨래를 개고 설거지를 하려면, AI만으로는 한참 부족하다. 아직은 네트워크상에만 머물러 있으니까. AI가 우리가 사는 물리적인 세계로 내려오려면, 우리와 함께 보고 듣고 움직이는 로봇공학이 필수로 접목돼야 한다.

로봇 기술의 과거와 현재, 미래를 개괄적으로 살펴보는 이 책의 저자는, 제목을 인용해 설명하자면 ‘천재 로봇공학자’ 다니엘라 루스 MIT 전기공학 및 컴퓨터공학 교수다. 그는 특히 모달식 로봇과 다중로봇 시스템, 제어 알고리즘 분야의 세계적인 권위자로, 컴퓨터과학 및 인공지능연구소^{CSAIL} 소장도 맡고 있다. CSAIL 연구소는 7명의 맥아더상 수상자와 8명의 튜링상 수상자를 포함해 수백 명의 연구원이 800개 이상의 연구 프로젝트를 수행하고 있는 세계 최고의 컴퓨터과학 연구센터이자 MIT에서 가장 큰 연구실이다. 루스 교수는 역대 최초의 여성 소장이자, 역대 최장기 소장. 그러니 그만큼 AI와 로봇공학의 현재와 미래를 설명할 수 있는 사람은 드물 것이다. (아마 그래서 한국어판 제목이 이렇게 지어졌을 것이다. 원제는 <마음과 칩 : 로봇과 함께하는 밝은 미래>^{The Heart and the Chip: Our Bright Future with Robots}로, 한국어판 제목과는 전혀 다르다.)

책은 로봇공학과 AI에 대한 이해를 돕는 훌륭한 입문서 역할을 한다. ‘1부 꿈’에서는 힘을

증강시켜주는 로봇, 인간이 도달할 수 있는 범위를 넓혀주는 로봇, 시간을 아껴주고 중력을 거슬러 위로 오르는 로봇 등 흥미로운 연구 사례를 다양하게 보여준다. ‘2부 현실’에서는 로봇을 만드는 연구자답게 이런 로봇들을 만드는 데 어떤 난제가 있고, 로봇공학계가 이를 어떻게 돌파하려 하는지 쉽게 설명한다.

어떻게 미래를 준비할 것인가

1, 2부도 흥미롭지만, 대다수 비(非)로봇공학자들이 가장 관심 있게 볼 부분은 아마도 ‘3부 책임’일 것이다. ‘어떻게 미래를 준비할 것인가’라는 부제가 붙은 3부에서 저자는 ‘위험 시나리오’를 제시한다. 실로 놀라운 발전 속도를 유지했을 때 따라 나올 수 있는 위험한 상황들을 다양하게 상상한 것이다.

그리고는 기술이 사람들에게 미치는 영향을 조율하기 위해서는 사회과학 분야와 정책 및 소통 전문가들도 기술 논의에 참여해야 한다고 제시한다. 또 로봇과 AI 시스템은 보안성, 보조적, 인과성, 설명 가능성 등 11가지 속성을 가져야만 한다고 주장한다.

루스 교수는 “로봇은 도구라는 점을 잊지 말아야 한다”며 “본질적으로 로봇은 선하지도, 악하지도 않다. 로봇의 미래는 우리가 그것을 어떻게 사용하느냐에 달려 있다”고 단언한다. 그는 책을 읽는 독자에게 기술을 제대로 알고, 깊이 생각하고, 적극 참여하라고 촉구한다. “이런 기술을 이용해 더 나은 세상을 만들 방법을 상상하고 계획을 세우지 않는다면, 우리가 이런 기술을 개발하는 것이 무슨 소용인가?”라면서.

#로봇윤리

#인공지능

#미래로봇

#로봇공학

<로봇랜드 - 세상 모든 로봇들이 사는 곳>

베르타 파라모 지음 / 성소희 옮김 / 그림씨 펴냄

당신이 알고 있는 로봇은 어디까지인가?

아름다운 그림으로 만나는 로봇 백과사전이다. 로봇 기술사를 ‘세상 모든 로봇들이 사는 땅, 로봇랜드 방문하기’라는 콘셉트로 소개하는 것이 아주 흥미로운데, 책을 펼치는 순간 아름다운 일러스트에 한 번 더 탄다. 그도 그럴 것이 저자는 여러 국제도서전에서 수상 경력에 있는 어린이책 작가로, 대학에서 건축과 일러스트레이션을 공부했다고 한다. 로봇 역사를 개괄하고 있지만, 시간순이 아닌 성격에 따라 로봇들이 분류돼 있다. 인간과 닮은 로봇들이 사는 1호선, 로봇 동물들이 사는 2호선, 하늘을 관측하는 로봇들이 사는 3호선 등 12개 노선이 있으며, 길을 잃지 말라는 친절한 안내 문구도 적혀 있다. 기획이 아주 흥미로운 데다 백과사전답게 정보도 풍부해서, 구비해두고 자주 들춰보면 좋을 책이다.

#로봇역사

#백과사전

#로봇랜드

<R. U. R. 로쭈 유니버설 로봇>

카렐 차페크 지음 / 유선비 옮김 / 이음 펴냄

과학기술의 방향성을 질문하는 고전

체코 문학의 거장 카렐 차페크가 1920년에 펴낸 희곡. ‘로봇’이라는 단어가 세상에 처음 등장한 작품이다. 강제 노역을 뜻하는 체코어 ‘로보타’에서 군중과 집단주의를 상징하는 ‘로봇’이라는 단어를 만든 것인데, 그의 형 요세프 차페크의 아이디어였다고. 이 작품 이후 인간을 공격하는 로봇 이야기가 무수히 번주되면서 인류는 미래 로봇에 대한 막연한 공포를 갖게 됐다. 당장 현대 전쟁터만 봐도 이미 킬러 로봇이 있다. 그러니 우리가 물어야 할 것은 ‘누가 어쩌서 로봇에게 살육을 허가하는가?’가 돼야 할 것이다. 로봇이란 말이 처음 등장한 예술 작품이 집단주의와 전쟁, 인간성의 파괴 등을 탐구하고 있다는 사실 자체가 많은 것을 말해준다.

#카렐차페크

#희곡

#로보타



유튜브 찾아볼까?



화학하악

▶ 나노로봇, 정말 가능할까?

의료용 나노로봇 기술!

나노화학자 장홍제 교수가 알려주는 나노로봇의 현재와 미래. 원격 상전이 금속, 나노 모터 추진체, 자가 연료 구동 기술 등 지금 연구 중인 다양한 기술을 알 수 있다. “SF에 등장하는 나노로봇은 물리적으로 만들어질 수 없다”라고 단호하게 결론 내리지만, 의료용 로봇은 이미 상당히 구체적으로 발전하고 있다고 전한다.

#나노로봇

#나노모터

#약물전달



YTN 사이언스

[사이언스포럼] 시로 무장한 휴머노이드 로봇이 온다

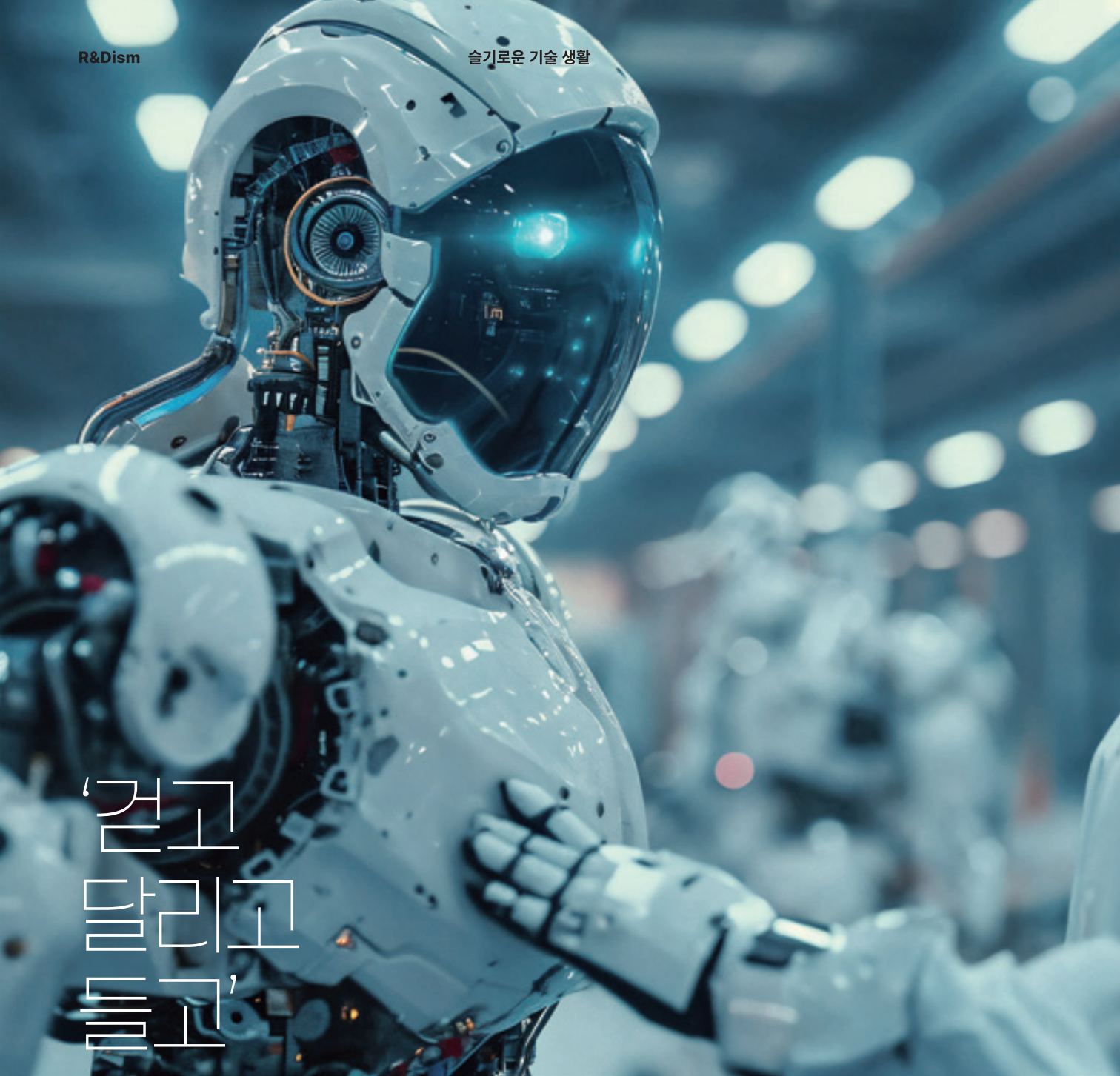
‘로봇’을 말할 때 가장 먼저 머릿속에 떠오르는 이미지는 바로 인간의 모습을 한 휴머노이드다. 하지만 인간과 닮지 않아도 특정 업무를 훌륭히 수행하는 로봇이 이미 활용되고 있는데, 굳이 휴머노이드가 꼭 필요할까? 휴머노이드를 개발하기 위해 가장 중요한 것은 뭘까? 한국을 대표하는 로봇공학자 한재권 박사의 답을 들어보자.

#휴머노이드

#인공지능

#노동력





‘걷고
달리고
들고’

휴머노이드 움직임을 책임지는 모터와 감속기

휴머노이드 로봇이 움직이는 걸 보며 설렜던 경험, 누구나 한 번쯤 있을 겁니다. 사람처럼 걷고, 달리고, 물건을 들고, 악수하고, 대화까지 하는 모습은 우리의 가슴을 뛰게 하죠. 공상과학^{SF} 영화에서만 보던 사람 닮은 휴머노이드 로봇, 과연 어떤 장치와 원리로 구동되는지 알아보까요?

글 김형자 과학 칼럼니스트



노동자 대신한 작업 효율성 극대화가 목표

올해는 ‘휴머노이드(인간형) 로봇’을 빼고 이야기하긴 어렵습니다. 세계적인 로봇기업들이 휴머노이드 로봇을 잇달아 발표하고 있기 때문입니다. 미국 인공지능^{AI} 반도체 기업 엔비디아의 CEO 젠슨 황은 이제 휴머노이드 로봇이 세상 변화의 중심에 서게 될 거라고 말합니다.

휴머노이드^{Humanoid}는 인간을 뜻하는 영어 ‘휴먼^{Human}’에 닮았다는 의미의 접미사 ‘-oid’를 붙인 말로, 사람 형태의 로봇을 뜻합니다.

사람처럼 두 팔과 두 다리가 있고, 얼굴을 통해 시각과 청각 등 여러 데이터를 수집하는 로봇입니다. 실제 인간처럼 몸을 자유자재로 움직일 수 있으면서 사고도 할 수 있다면 최고의 휴머노이드일 것입니다.

사실 휴머노이드 로봇은 과거부터 꾸준히 이어져 왔습니다. 하지만 사람 닮은 휴머노이드를 만든다는 건 정말 어렵습니다. 예를 들어 사람 걸음을 흉내 내는 로봇을 만든다고 합시다. 이때 로봇의 뼈대를 만드는 것은 어렵지 않습니다. 하지만 두 다리를 차례차례 이동하고, 이에 맞춰 무게중심을 옮겨 두 발로 걷는 동작 하나하나를 미세하게 제어해 넘어지지 않고 자연스럽게 움직이도록 만드는 프로그램 작업이 생각처럼 쉽지 않습니다.

그런데 왜 이런 어려운 작업의 휴머노이드 로봇을 만들려고 하는 걸까요. 인간의 편의를 위해서라면 굳이 인간 모습으로 만들지 않아도 대안이 많습니다. 이미 우리 곁에는 공장에서 부속 조립 같은 단순 반복 작업을 하는 로봇팔, 눈 역할 센서로 주변 환경을 인식해 집 안을 알아서 깨끗하게 청소해주는 로봇청소기, 주변 사람이나 물체를 감지해 충돌하지 않고 손님 테이블까지 음식을 안전하게 가져다주는 식당의 서빙 로봇 등이 있습니다.

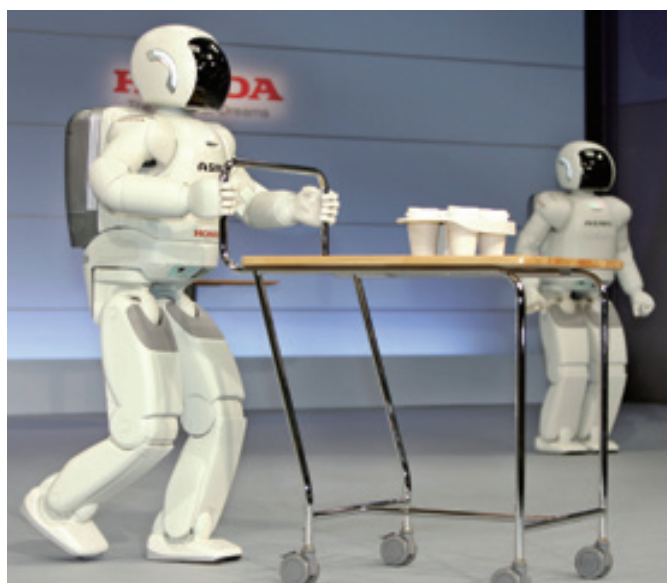
그럼에도 불구하고 꼭 휴머노이드 로봇이어야 하는 이유는 작업 과정에서의 효율성 때문입니다. 로봇이 어떤 작업을 할 때 사람 손을 거치지 않고 끝낼 수 있어야 하는데, 지금은 그렇지 못합니다. 예를 들어 식당 서빙 로봇의 경우 음식을 나를 수는 있지만 접시를 올리고 내리는 일은 사람이 직접 해야 합니다. 로봇청소기는 바닥을 청소할 수는 있지만 종이 뭉치 같은 쓰레기는 치우지 못하고, 쿠션 등을 정리하려면 사람 손을 거쳐야 합니다.

휴머노이드 로봇이 주목받는 가장 큰 이유는 노동력 부족 때문입니다. 국제노동기구^{ILO}에 따르면, 전 세계 GDP(국내총생산)에서 노동이 차지하는 비중은 50%가 넘습니다. 특히 북미 지역은 60%가 넘는 세계 최대 시장입니다. 미국의 경우 트럭 운전자, 교사, 간호사, 비행기 조종사 등 특정 직업군의 인력 부족 현상이 심각합니다. 14억 인구의 중국도 농촌과 공장, 요양 시설에서 일할 노동자를 구하지 못해 식량자급률과 공장가동률이 떨어지고 있습니다. 이런 곳에서 휴머노이드 로봇은 더 많은 일자리를 대체할 수 있습니다. 미국과 중국이 휴머노이드 로봇 시장을 주도하는 배경에는 이런 사정이 있습니다.

사람에게 적합한 작업환경에 쉽게 적응

사람처럼 생기지 않은 로봇은 한 가지 일만 잘합니다. 예를 들어 자동차 제조공정을 맡은 산업용 로봇은 용접, 조립, 도색 등 반복적인 작업을 잘하도록 설계되었습니다. 반면 우리가 사는 집과 일하는 공간, 사무실 책상 같은 도구의 외형이나 크기, 물리적 배열, 교통수단 등은 모두 인간을 위한 규격으로 만들어져서, 일반 로봇에게는 결국 사람의 손길이 필요하거나 동작에 제한이 있습니다.

그렇기에 로봇이 사람처럼 걸으면서 물건을 들어 올리는 등의 다양한 작업을 수행하려면 크기도 사람과 비슷해야 합니다. 휴머노이드 로봇은 그 자체로 사람의 역할을 대신하므로, 자율주행 로봇처럼 길 턱을 없애는 등



2000년대 휴머노이드 로봇 기술의 선구자였던 혼다의 '아시모'. 사람처럼 두 발로 걷고 달리는 모습으로 세상을 놀라게 했다.

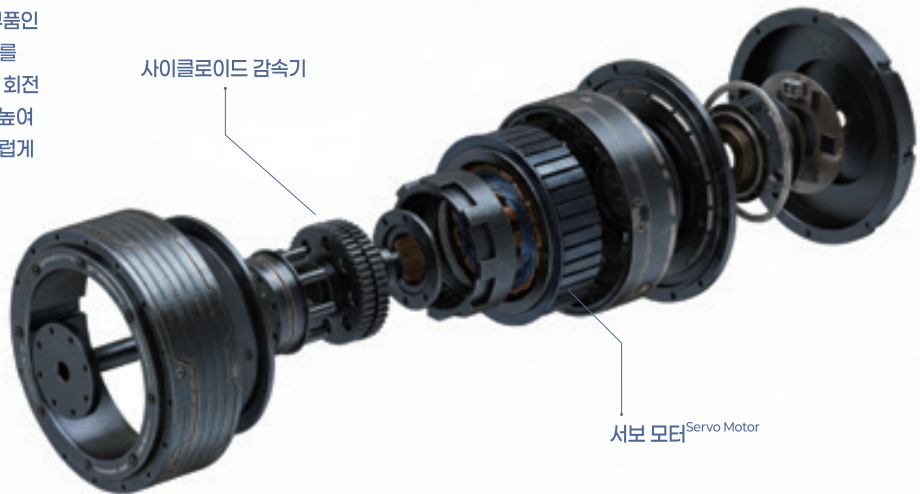
별도의 인프라 조성이 필요하지 않습니다. 사람에게 맞게 조성된 작업환경에 그대로 투입하면 됩니다. 이는 휴머노이드 로봇이 인간 사회의 환경에 가장 쉽게 적응할 수 있다는 이야기입니다. 인간을 위해 만든 공간에서 로봇이 인간과 함께 인간의 도구를 사용하여 같은 작업을 할 수 있다는 것은, 휴머노이드의 가장 큰 덕목이자 절대적 가치가 존재함을 의미합니다.

세계에서 처음 인간형 로봇을 만들어 세상을 놀라게 한 것은 일본 와세다대 가토 이치로 교수팀이었으며, 이후 최초로 인간의 자연스러운 움직임을 구현한 것은 일본 기업 혼다였습니다. 1980년대부터 2족 로봇을 연구한 혼다는 2000년 어린이아이 몸집의 2족 직립보행 로봇 '아시모'를 발표했습니다. 2011년엔 사람처럼 걷고 달리고 대화하는 4세대 버전까지 발표하며 10여 년간 휴머노이드 로봇 기술력의 총아임을 입증했습니다. 하지만 최대 운용 시간이 1시간밖에 되지 않는 배터리 문제 등으로 매끄럽게 상용화로 연결되지 못했습니다. 결국 2018년경 아시모 사업은 종료되었습니다. 현재는 여러 기업이 AI를 탑재한 휴머노이드 로봇을 속속 개발하고 있습니다.

인간처럼 움직이는 기술의 핵심, 모터와 감속기

휴머노이드 로봇의 몸체는 상체, 하체, 팔, 손가락, 발가락 등으로 구성됩니다. 이들 구성 요소는 인간의 신체 구조를 모방하여 설계합니다. 근육과 관절도 마찬가지로입니다. 사람이 팔과 다리 등을 움직이려면 근육과 관절이 중요한데, 로봇에서는 관절 역할을 하는 구동장치 '액추에이터'의 성능이 곧 동작범위를 결정합니다.

로봇의 관절을 움직이는 핵심 부품인 액추에이터. 모터가 회전에너지를 만들고, 사이클로이드 감속기가 회전 속도를 줄이는 대신 힘(토크)을 높여 로봇의 움직임을 정밀하고 부드럽게 제어한다.



액추에이터는 모터와 감속기로 구성됩니다. 사람마다 힘의 차이가 있듯, 로봇에서의 힘의 차이는 감속기와 모터의 회전량에 달려 있습니다. 모터는 빠르게 회전해 로봇의 움직임을 직접 담당하는 핵심 요소입니다. 하지만 단독으로 사용할 경우 강한 힘을 내기 어렵거나 세밀한 제어가 불가능합니다. 그 모터의 회전을 힘으로 바꿔주는 게 바로 감속기입니다.

감속기는 모터의 고속 회전 속도를 낮추고, 회전력(토크)을 증가시키는 역할을 합니다. 원리는 이렇습니다. 감속기가 모터의 회전을 줄이면, 감속된 회전에너지가 회전력으로 전환됩니다. 감속 비율을 높여 회전에너지를 더 많이 줄이면 줄일수록 에너지는 사라지지 않고 더 강한 회전력으로 변하게 돼, 작은 크기의 모터로도 충분한 힘을 낼 수 있습니다. 무릎·팔꿈치·손목과 같은 강한 힘이 필요한 로봇의 관절에 감속기가 필수적으로 활용되는 이유입니다.



사람의 팔을 섬세하게 쥐고 놓을 수 있는 로봇의 손. 제조업, 의료 등 다양한 분야에서 활용할 수 있다.

또 감속기는 로봇이 유연하면서도 안정적인 동작을 구현할 수 있도록 돕는 역할도 합니다. 감속기가 없는 로봇은 관절이 흔들리거나 갑작스러운 동작에서 불안정해질 가능성이 높습니다. 그런데 감속기가 적용되면 회전 속도가 줄어들어 로봇의 무게중심이 조절되고 불필요한 진동이 억제돼, 관절의 움직임이 좀 더 안정적이고 부드러워집니다.

이러한 안정적인 성능은 로봇이 힘을 발휘해야 하는 작업, 예를 들어 무거운 물체를 들어 올리거나 매우 정밀한 위치로 이동해야 하는 작업에서 꼭 필요합니다. 감속기의 정밀도가 높을수록 로봇의 동작이 더욱 정확하고 일관되게 이뤄지며, 이는 결국 작업의 품질과 생산성에 직결됩니다. 감속기는 로봇 원가 비중에서 30% 이상 차지할 정도로 중요도가 높습니다.

휴머노이드 로봇에 사용되는 감속기는 하모닉, 유성 기어, 사이클로이드 등 여러 종류가 있습니다. 이 가운데 대표적인 감속기는 사이클로이드입니다. 사이클로이드는 내구성이 뛰어나고, 외부 충격에도 강하며, 높은 부하를 잘 견뎌, 로봇이 더욱 강한 힘을 내게 하는 데 적합합니다.

AI와 로봇의 결합, 로봇산업의 판도를 바꾸다

휴머노이드 로봇은 AI 기술이 발전하면서 부쩍 주목받고 있습니다. 이제 로봇 기술은 AI와 함께 세상의 변화를 이끌 양대 축입니다. 그동안 로봇은 기술적인 한계 때문에 응용 분야에 제약이 있었지만, AI가 접목되면서 드디어 큰 변화를 일으키고 있습니다. 챗GPT 같은 생성형 AI 기술 덕에 로봇은 단순히 프로그래밍된 명령을 수행하는 것을 넘어, 스스로 상황을 판단하고 동작을 개선할 수 있는 능력을 갖게 됐습니다.

젠슨 황은 ‘물리적^{Physical} AI’ 개발이 본격화되면서 사람 닮은 로봇이 현실화되고 있다고 말합니다. 물리적 AI는 휴머노이드 로봇이나 자율주행차 같은 물리적 기기에 탑재되는 AI입니다. 물리적 형태를 갖춘 디바이스(기기)에 AI가 탑재돼, 외부와 소통하면서 데이터를 생성·축적해 스스로 학습하고 행동하는 최종 진화형 AI인 셈입니다.

1세대 휴머노이드 로봇은 견고 제한적인 작업만 가능했습니다. 이에 비해 2세대는 ‘대형 언어 모델^{LLM}’과 인간이 사물을 받아들이는 방식과 동일하게 학습하는 ‘대형 멀티모달^{LMM}’을 통해 사람의 행동을 따라 배우고 소통하며, 좀 더 다양한 작업을 할 수 있도록 진화하고 있습니다. 현재 생성형 AI,

에이전트 AI 등 다양한 AI 기술이 발전하고 있지만 결국 그 궁극적인 목표는 물리적 AI이며, 이를 구현할 수 있는 핵심이 바로 로봇입니다.

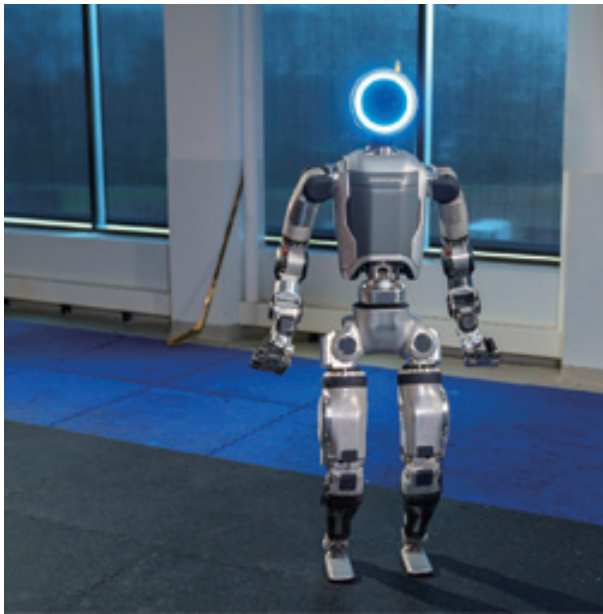
휴머노이드 로봇 기술은 아직 초기 단계에 있습니다. 하지만 AI와 결합하면서 많은 발전과 이정표가 세워질 것으로 예상됩니다. 앞으로는 로봇이라 부르는 것이 맞는지, AI 시스템이라 부르는 것이 맞는지조차 모호해지는 시대가 될 것입니다.

개발 중인 세계의 휴머노이드 로봇

지금 지구촌에서는 휴머노이드 로봇 개발이 한창입니다. 그 종류는 50가지가 넘고, 기능도 점점 다양해지고 있습니다. 아시모 이후 지금까지는 로봇기업 보스턴다이나믹스의



로봇의 손을 자유롭게 움직일 수 있다는 것을 보여주는 위로보틱스의 ‘알렉스’. 정교하고 부드러운 손동작으로 로봇 기술이 발전하고 있음을 보여준다.



자유자재로 움직이는 휴머노이드 로봇, 보스턴다이나믹스의 ‘아틀라스’. 지속적인 기술 업데이트를 통해 새로운 가능성을 열어가고 있다.

‘아틀라스’ 시대가 이어졌습니다. 물체를 들어 올리는 건 아틀라스의 기본입니다. AI 머신러닝 모델을 활용해 부품의 위치와 종류를 인식한 후 옮겨질 지점을 판단해 집어 들고, 이동식 보관함의 부품별 수납공간에 꽂아 넣기도 합니다. 보행하다 넘어져도 직접 일어나고, 앞구르기에 공중제비까지 할 수 있습니다. 전신 동작에서는 최고의 움직임을 보여줍니다.

테슬라의 휴머노이드 로봇 ‘옵티머스’는 22개의 ‘자유도(로봇을 움직이게 하는 데 필요한 최소 단위)’를 구현한 손 관절을 갖춰 사람 손처럼 섬세한 수준의 복잡한 동작을 합니다. 예를 들어 달걀을 집어 들 뿐 아니라 바늘에 실을 꿰 정도로 정교한 작업을 할 수 있습니다. 이러한 섬세한 조작 능력은 제조업에서 의료 분야까지 다양한 산업에 적용될 수 있습니다.

집 청소와 정리는 물론 식사 준비까지 돕는 가정용 휴머노이드 로봇도 공개됐습니다. 노르웨이의 로봇기업 ‘1X로보틱스’가 개발한 ‘네오 감마’가 그것입니다. 네오 감마는 청소기를 돌리고, 세탁 바구니를 들어 빨래를 돌립니다. 전기포트의 물이 끓자 주인 부부에게 뜨거운 물과 티백이 담긴 컵을 가져다줍니다. 또 현관으로 나가 집주인이 들고 온 식재료를 받아 들고 주방으로 옮긴 후 식사 준비를 돕습니다.

물론 아직은 로봇이 인간과 같은 수준의 자유도(수백 개 관절)와

자연스러운 행동을 구현하려면 갈 길이 멍니다. 하지만 전문가들은 휴머노이드 로봇이 미래의 핵심 성장 동력 역할을 할 것으로 예측합니다. 수년 전만 해도 상상 속에서만 가능했던 자율 보행 로봇, 사람과 유사한 형태의 협동 로봇이 실제로 우리 곁에서 서서히 모습을 드러내고 있기 때문입니다. 이제 곧 다양한 형태의 로봇이 사람 대신 업무를 수행하거나 사람과 협업하는 광경이 우리 눈앞에 펼쳐질 것입니다. 인간 세상에서 함께 어우러질 휴머노이드 로봇, 기대해도 좋습니다.



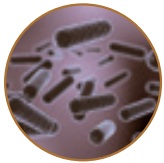
김형자 과학 칼럼니스트

청소년 과학 잡지 <Newton> 편집장을 지냈으며,
현재 과학 칼럼니스트와 저술가로 활동 중이다.
저서로는 <구멍에서 발견한 과학>, <먹는 과학책>
등이 있다.

가축분뇨에서 청정연료로, 버려진 것들의 두 번째 삶

매일 아침 커피 한잔으로 하루를 시작하는 우리, 그 커피 찌꺼기가 축산업의 골칫거리를 해결하는 열쇠가 될 수 있다는 사실을 아시나요? 연간 35만 톤 넘게 발생하는 커피박[®]과 5200만 톤에 달하는 가축분뇨가 만나 청정연료로 변신하는 이야기는, 단순한 기술 개발을 넘어 우리 사회가 직면한 환경문제에 대한 근본적인 해법을 제시합니다.

글 이상민 충남대학교 생물환경화학학과 교수



우리 일상 속 불편한 진실

회식이나 가족 모임에서 빠질 수 없는 소고기와 돼지고기. 현대 사회에서 식습관의 변화로 육류 소비량은 지속적으로 증가하고 있고, 우리 일상은 이제 축산업과 밀접한 관계를 맺고 있습니다. 하지만 그 이면에는 숨기고 싶은 그림자가 있습니다. 바로 가축분뇨입니다. 2023년 국내에서 발생한 가축분뇨는 연간 약 5200만 톤으로, 이는 500ml 페트병으로 환산하면 수천억 개에 달하는 엄청난 양입니다. 이 가운데 88%가 퇴비로 처리되고 있으나, 과잉 살포와 부적절한 처리로 토양의 질소·인 축적이 OECD 국가 중 최상위권을 차지하고 있습니다. 그 결과 가축분뇨로 인한 악취 민원이 전체 악취 민원의 35%를 차지하고, 지하수 오염과 녹조 발생 같은 환경문제가 끊이지 않습니다.

이 문제의 해결책은 바로 가축분뇨 처리에 있습니다. 가축분뇨를 퇴비로만 쓸 것이 아니라 혐기소화^② 공정을 거쳐 바이오가스로 전환한다면 도시가스로 활용할 수 있습니다. 하지만 여기서도 큰 어려움이 있습니다. 전체 가축분뇨의 42%를 차지하는 우분(소똥)은 깔짚으로 사용되는 톱밥이나 왕겨와 같은 목질계 바이오매스 때문에 기존의 바이오가스 시설로는 처리할 수 없다는 점입니다. 돈분(돼지똥)과 달리 우분은 에너지화 방법이 제한적이어서, 대부분 퇴비로만 처리됐던 것입니다.

한편 아침마다 마시는 커피. 커피를 내리는 데 사용한 원두의 99.8%는 커피박으로 버려져 연간 약 35만 톤이 발생하며, 이를 처리하는 데도 많은 온실가스가 배출됩니다. 그런데 커피박의 발열량은 무려 5600kcal/kg으로, 석탄 못지않은 ‘에너지 덩어리’입니다.

“왜 우리는 에너지가 부족하다고 하면서, 귀한 에너지 자원을 그냥 흘려보내고 있을까?”

이 질문이 바로 연구의 출발점이었습니다.

미생물의 힘으로 완성되는 ‘발효에너지’

바이오가스로 전환하기 어려운 우분을 에너지로 활용하는 가장 효율적인 방법은 고체연료화입니다. 현재 석탄을 대체하는 신재생에너지로서의 고체연료는 주로 우드칩^③이나 우드펠릿^④에 의존하고 있습니다. 하지만 이들 고체연료는 대부분 수입에 의존하고 있어 장기적으로 국내 신재생에너지 안보를 확립하는 데 걸림돌이 되고 있으며, 가격 또한 지속적으로 높아져 발전사에서 어려움을 겪고



매일 버려지던 커피박. 사실 석탄 못지않은 발열량을 가진 에너지 덩어리다.

있습니다. 따라서 우분을 고체연료로 활용하는 산업의 수요는 매우 높은 현실입니다. 그러나 이 과정에도 큰 기술적 장벽이 있는데 바로 건조과정입니다. 일반적으로 우분은 70% 이상의 수분을 포함하고 있어, 고체연료로 활용하기 위해서는 20% 미만으로 함수율^⑤을 낮춰야 합니다. 그러나 산업에서 보편적으로 활용되는 열풍 건조나 디스크 건조 같은 물리적인 건조 방식으로는 막대한 에너지가 소모돼 친환경적인 면이나 경제적인 면에서 오히려 손해가 되기도 합니다.

이에 충남대학교 연구진은 ‘유용 미생물’과 ‘커피박’이라는 두 가지 열쇠에 주목했습니다. 가축분뇨를 열을 가해서 말리는 것이 아니라, 유용 미생물을

- ① 커피박 : 커피를 만들고 남은 커피 원두 찌꺼기.
- ② 혐기소화 : 산소가 없는 미생물이 유기물을 분해하는 과정으로, 메탄·이산화탄소 등의 바이오가스를 생산한다.
- ③ 우드칩 : 나무를 잘게 썰어 압축한 목재 폐기물.
- ④ 우드펠릿 : 나무를 톱밥 같은 작은 입자로 분쇄, 건조, 압축하여 원기둥의 알갱이 모양으로 가공한 제품.
- ⑤ 함수율 : 어떤 물체가 포함하고 있는 수분 비율.

활용해 자체 발열로 빠르게 발효·건조하는 기술을 개발했습니다. 국내 축분 슬러지⁶에서 발굴한 신규 유용 미생물들은 놀라운 능력을 보여주었습니다. 이 미생물은 악취의 주원인인 암모니아를 98.5% 이상 제거하며, 유기물 분해 과정에서 60~80°C의 산화열을 발생시켜 물리적 건조 에너지를 60% 이상 절약할 수 있습니다. 여기에 커피박이 ‘부스터’ 역할을 합니다. 발열량이 무려 5600kcal/kg에 달하는 커피박을 우분과 혼합하면 고체연료의 품질이 획기적으로 높아집니다.

기술은 실험실 안에서만 머무르지 않았습니다. 해당 연구는 전국 최초로 ‘산업융합촉진법에 따른 규제특례’를 승인받았습니다. 기존 가축분뇨법은 가축분뇨 외 다른 물질과의 혼합을 금지했지만, 우리 기술은 농업 부산물을 50% 미만 혼합하여 실증 생산이 허용되었습니다. 이는 기술 개발이 법 제도의 변화까지 이끈 사례로, 진정한 혁신의 모습을 보여주었습니다. 현재 전주김제완주축협 김제자원순환센터와의 공동 연구를 통해 실증 설비가 가동 중이며, 법적 기준(3000kcal/kg)을 충분히 충족하는 고체연료가 대량 생산되고 있습니다. 하루 6톤의 우분이 투입되면 7일 이내 4톤의 고체연료가 펠릿 형태로 완성됩니다. 또한 커피박을 축사 깔개로 활용하면 분뇨와 함께 처리되는 과정에서 축사 내 암모니아 농도를 절반 이하로 줄일 수 있어, 실제 농가에서 “냄새가 크게 줄어 삶의

질이 달라졌다”는 반응이 나오고 있습니다. 이 기술은 환경문제 해결과 동시에 농가 실익 개선이라는 두 마리 토끼를 잡은 셈입니다.

기술을 넘어 철학으로

이 연구를 진행하면서 느끼는 가장 큰 보람은 ‘버려지는 것들의 재탄생’을 목격하는 것입니다. 처리비용만 연간 수백억 원이 드는 커피박과 환경오염의 주범으로 여겨지던 가축분뇨가 만나 청정에너지로 거듭나는 모습은 순환 경제의 진정한 의미를 보여줍니다. 저는 생물공학자로서 기술이 문제를 해결하는 도구일 뿐 아니라 사회의 패러다임을 바꾸는 철학이어야 한다고 믿습니다. 우분 고체연료화 기술은 단순히 폐기물을 연료로 바꾸는 기술이 아니라 농촌 지역의 에너지 자립을 가능하게 하고, 축산

6 슬러지 : 물속 부유물질이 가라앉아 생긴 침전물 또는 진흙처럼 걸쭉한 상태.

연간 5200만 톤 이상 발생하는 가축분뇨를 청정에너지로 만드는 혁신적인 기술을 통해 지속 가능한 축산업을 실현한다.





가축분뇨와 커피박을 섞어 고체연료를 생산하는 고속 발효 건조장치. 유용 미생물을 활용한 발효 기술로 환경문제 해결과 농가 실익이라는 두 마리 토끼를 잡았다.

농가의 경영을 보다 친환경적이고 경제적으로 바꾸주며, 연간 92만 톤의 이산화탄소 감축 효과를 가져오는 종합적인 해결책입니다.

우분 고체연료화 공정 v1



이 기술이 상용화되어 전국에 보급되면 우리 일상에 어떤 변화가 일어날까요? 가장 직접적으로는 축산업으로 인한 악취 문제가 크게 개선될 것입니다. 또한 커피전문점이나 식품회사에서 골치 아프던 커피박 처리 문제도 해결되어, 폐기물 처리비용이 연간 200억 원 이상 절감될 것으로 예상됩니다. 더 나아가 이 기술은 국가적으로 새로운 에너지 생태계를 만들어 화석연료 의존도를 줄이고, 국가 에너지 자립도를 높이는 지역별 에너지 자립형 도시 모델이 될 수 있을 것으로 기대합니다.

현재 연구는 발전소에서의 시험 연소를 통해 상용화 가능성을 최종 검증하고 있습니다. 또한 이 기술은 우분뿐 아니라 돈분, 음식물쓰레기, 하수 슬러지 등 모든 유기성 폐기물에 적용할 수 있으며, 에너지도 고체연료에 머무르지 않고 합성가스나 바이오수소까지 확장 가능한 종합 신재생에너지 기술로 발전할 수 있는 잠재력을 갖고 있습니다. 따라서 이 기술이 축산 농가부터 발전사, 정부, 지자체까지 전국에 확산되어 축산업의 지속가능성을 높이고, 국가 에너지 자립을 실현하며, 나아가 탄소중립 사회 구현에 기여하기를 바랍니다. 작은 기술 하나가 만들어낼 수 있는 거대한 변화의 가능성을 믿으며, 오늘도 연구실에서 미래를 준비해봅니다.



이상민 충남대학교 생물환경화학과 교수
서울대학교 화학부 졸업 후 동 대학에서 생화학 전공으로 박사학위를 받았다. SK이노베이션, 한국에너지기술연구원에서 연구원으로 활동했으며, 2023년 충남대 생물환경화학과 교수로 부임해 미생물을 이용한 화학 소재 개발 등 환경미생물학, 대사공학 연구에 힘쓰고 있다.

우리의 임무는 극지의 자연을 유지하고 보전하는 것입니다

서원상 극지연구소 기획조정부 부장

국제환경법을 전공한 연구자로 시작해 극지연구소에서 정책·법제 연구, 전략기획, 기획조정부까지 거친 12년의 여정을 통해 과학과 행정을 잇는 다리 역할을 하고 있는 서원상 부장. 그는 기회의 땅, 기회의 바다 극지를 잘 보전하고, 관측하며, 예측하는 것이 미래세대를 위해 우리가 할 수 있는 최선의 노력이라고 말한다. 지난한 과정이지만 의미 있다고 믿는 극지 연구를 위해 과학 행정가의 역할을 담당하고 있는 서원상 부장을 만나본다.

글 김선녀 사진 김기남



법학 전공자에서 ‘과학 행정가’로 전향하신 계기가 궁금합니다. 어떤 고민과 과정을 거쳐 극지연구소 기획조정부 자리에 오게 되었나요?

전환이라기보다는 자연스러운 흐름이었습니다. 저는 국제환경법을 전공했는데요. 처음엔 극지연구소의 국제법·극지정책 분야 연구직 채용 공고를 보고 지원했습니다. 입사 초기에는 정책 부서에서 근무하다 차세대 쇄빙연구선 건조사업단 단장을 맡아 예비타당성조사 기획을 담당하면서 산·학·연·관·민의 다양한 니즈와 협력을 위한 소통을 통해 큰 그림 보는 방식을 배웠습니다. 이후 전략기획부를 맡아 정책개발, 연구기획, 연구사업 관리, 연구성과 확산으로 이어지는 소위 ‘전 주기 연구사업 관리’ 업무를 맡게 되었죠. 예타가 연구자 입장에서 다양한 이해관계자와 소통하는 방향이었다면, 전략기획부는 행정가 입장에서 연구자와 소통하는 방향성을 경험하게 된 것입니다. 지난해 기획조정부로 자리를 옮겨 극지연구소가 국회, 정부, 지자체, 언론, 민간과 소통하고 협력하는 창구 역할을 하고 있습니다. 이것이 국제법 연구자로 입소해 12년 후 행정가가 된 제 이야기입니다.

극지연구소가 무엇을 하는 곳인지 간단하게 설명해주세요.

일반적인 해양이나 육지에는 없는, 그리고 극지에만 있는 것이 바로 얼음입니다. 아주 오랜 옛날부터 켜켜이 쌓여온 얼음이지요. 그 안에 많은 역사가 화학 분자, 액체, 기체, 광물로서 기록되어 있습니다. 극지연구소는 얼음 그리고 얼음이 녹는 과정, 녹은 이후까지 얼음으로부터 파생되는 지구환경 변화를 관측하고, 데이터를 통해 과거와 현재의 극지 현황을 살펴보는 것입니다.

많은 연구 분야 중에 극지 관련 연구에 끌리신 배경도 궁금합니다. 극지에도 실제로 다녀오셨나요?

미지의 공간이 가진 매력 때문이었죠. 무엇보다 빙하가 녹기 시작하면 극지에 대한 세간의 관심이 달라질 거라고 생각했습니다. 기존 남극조약 체제가 존재하지만 기후변화로 인해 더 많은 국가들이 이해당사자가 되어 협의에 나설 텐데, 이로 인해 변화할 많은 상황이 곧 무궁무진한 연구 거리가 되죠.

극지 방문은 2023년 가을 남극 장보고과학기지에 처음 다녀왔습니다. 비행기에서 내려 광활한 얼음 위에 섰을 때 그저 무한히 겸손해지더군요.

제가 타고 왔던 군용기는 물론 인간이 너무 작고 힘없이 느껴졌어요. 여기서 살아남으려면 서로 의지하고 도와야 한다는 생각이 들었습니다.

지구환경의 ‘쿨링 시스템’으로 불리는 극지가 인간의 인위적 개발로부터 어떤 위협을 받고 있나요? 특히 기후변화의 영향에 대해 어떻게 보시는지요?

극지는 지구온난화, 기후변화에 가장 빨리 반응하는 곳이고, 이러한 극지의 환경 변화가 다시 지구환경 시스템을 작동시켜 기후변화를 가속하고 있습니다. 인간의 인위적인 개발 행위는 이미 지구에 심각한 환경 손상과 변화를 초래해왔고, 남극과 북극도 다르지 않습니다. 또한 남극에 가해지는 직접적인 활동들도 위협이 될 수 있습니다. 과거에는 남극에서 과학자만 활동할 수 있었지만, 현재 다양한 형태의 관광이 남극에서 이뤄지고 있습니다. 북극해 얼음이 녹기 시작하면서 ‘콜드러시’라는 신조어와 함께 항로, 수산, 광물자원에 대한 기대도 커지고 있죠. 극지에 대한 인간의 이러한 관심과 활동이 무조건 나쁘다고 말할 수는 없지만, 극지의 자연환경을 최대한 손상하지 않는 선에서 이뤄져야겠죠.

최근 기후 위기, 기상이변, 해양쓰레기, 생물다양성 감소 등 지구적 환경문제 속에서 극지연구소 전략기획부가 추구하는 정책적 방향성은 무엇입니까?

극지연구소의 역할은 남극과 북극의 결빙 해역, 남극대륙과 북극의 동토^❶, 극지역의

❶ 동토: 1년 내내 얼어 있는 상태를 의미하며, 땅속 깊이까지 얼어 있는 영구 동결층을 가리킨다.



대기와 우주를 관찰하는 것입니다. 극지 현장의 관측 데이터를 토대로 지구환경의 과거와 과거로부터 현재에 이르는 과정을 이해하고, 다시 현재로부터 미래를 예측해 국민과 인류에게 우리 삶의 터전이 되는 극지의 현황을 알리는 것입니다. 극지연구소가 지향하는 방향성은 전에도 그랬고, 앞으로도 변하지 않을 것입니다.

극지 연구는 한 나라의 문제가 아니라 국제적 연대가 필요한 분야입니다. 현재 극지 연구 선진국은 어디이며, 이들과의 협력은 어떻게 진행되고 있나요?

우리나라는 다른 선진국에 비해 비교적 늦은 1980년대 이후 극지 연구에 착수했습니다. 그러나 쇄빙연구선 아라온호, 남극의 세종과학기지과 장보고과학기지, 북극의 다산과학기지 등 인프라를 통해 세계 각국의 우수 연구진과 교류할 수 있었고, 지금은 여전한 선도국 반열에 올랐다고 생각합니다. 우리나라는 비교적 일찍부터 극지 연구를 시작한 미국, 영국, 독일, 프랑스, 이탈리아, 노르웨이, 호주, 뉴질랜드, 칠레, 중국, 일본 등과 핵심 정보를 주고받거나 공동 연구 등을 통해 다양한 국가와 지속적으로 협력하고 있습니다.

극지 환경의 남극과 북극은 어느 한 나라의 재력과 기술력으로

탐사할 수 있는 곳이 아닙니다. 극지에서 살아남으려면 국적 불문하고 서로 협력할 수밖에 없습니다. 국제 협력은 앞으로도 계속될 것이며, 더욱 활성화될 것입니다.

극지에서의 자원 활용과 환경보호 사이에 어떻게 균형을 잡아야 한다고 보십니까?

극지연구소의 기본적인 역할은 과학 연구와 환경보존입니다. 하지만 광물자원과 수산자원이 인간에게 꼭 필요한 것이죠. 환경과 개발은 과학적 데이터가 선택 판단의 기준이 돼야 한다고 생각합니다. 많은 국제조약이 정책적 결정에 앞서 ‘현재 과학적으로 가장 신뢰할 수 있는 증거’^{Best and Available Science}

^{Evidence}에 근거할 것을 요구하고 있습니다.

하지만 그 판단이 정확하지 않다면 저는 언제나 보존에 가치를 두겠습니다.

인공지능, 위성, 원격 센서 같은 디지털 기술이 극지 연구에 어떤 변화를 가져오고 있나요?

극한 환경의 극지역에서 원격탐사와 인공지능은 매우 유용한 수단이며 이미 사용되고 있습니다. 그러나 위성은 광역의 변화를 보기에는 좋지만 현장 관측보다 정확도가 떨어지고, 인공지능은 결국 최초 설정값의 영향을 받겠지요. 양질의 데이터를 얻기 위해서는 위험을 감수한 현장 조사가 가장 적합한 상황입니다. 많은 연구자들이 과학적 신념으로 위험을 감수하고 현장 조사를 지속하고 있습니다. 물론 안전과 빠르고 다양한 활용을 위해 기술의 순기능을 잘 접목해야 한다고 생각합니다.

극지에 대한 부장님의 철학은 무엇인가요?

극지는 미지의 공간입니다. 위험일지 기회일지 모르지만 모든 사람, 모든 나라가 미래를 위한 기회라고 믿고 달려가는 곳입니다. 저는 국제환경법을 전공했는데, 공부하다 보면 현재와 미래세대, 선진국과 개도국, 개발과 환경 등 대립되는 가치의 형평성에 관한 철학적 고민을 하게 됩니다. 우리가 흔히 알고 있는 ‘지속 가능한 개발’의 본래 뜻은 ‘환경의 지속가능성이 유지되는 한도 내에서 경제개발을 하자’는 것이었습니다. 즉 자연환경의 보존과 보호가 그 핵심이자 개발을

제한하는 기준이었던 것이죠. 저는 남극과 북극이 현재세대의 개발 대상이 아니라 미래 세대를 위해 남기는 유산이기를 바랍니다.

이 분야에 관심 있는 학생들이 지금부터 어떤 상상력과 꿈을 키우면 좋을지 조언 부탁드립니다.

종합적으로 보는 습관을 들이길 바랍니다. 과거에는 특정 분야의 전문가와 기능인 양성·육성에 절대적인 힘을 쏟았지만, 기능 하나로만 보면 우리는 결코 로봇이나 인공지능을 이길 수 없습니다. 앞으로는 전문성만으로 사회의 리더가 되기는 어려울 것입니다. 융합하는 능력이 필요하고, 이런 능력은 다양하고 이질적인 분야에 대한 관심에서 시작됩니다.

다양한 경험을 거쳐 과학 행정가의 길에 걷게 된 부장님의 앞으로의 행보가 궁금합니다.

정책 전문가와 과학기술 행정가로서도 더 성장하고 싶어요. 정책 기능에서 가장 중요한 건 소통과 융합이지만 개인 능력의 깊이도 당연히 있어야 한다고 생각합니다. 정책 담당자의 지식이 얇고 넓게만 퍼져 있다면 과학자와 제대로 대화를 할 수 없거든요. 과학자만큼의 깊이를 갖고 소통해야 해요. ‘내가 하는 정책은 깊이가 있었는가’에 대한 고민을 늘 하고 있어요. 동시에 연구자로서의 본성도 남아 있습니다. 남은 시간 동안 연구자로서의 열망을 이어가고 싶은 마음도 있고요. 메커니즘이 전혀 다른 두 분야인 만큼 항상 고민하고 여전히 배우고 있습니다. 소통할 수 있는 행정가, 깊이 있는 전문가가 되기 위해 계속해서 노력할 것입니다.

서원상 부장은 누구

국제환경법을 전공한 후 극지연구소에서 12년간 정책기획, 연구사업 관리, 전략기획을 거쳐 현재 기획조정부를 이끌고 있는 과학 행정가다. 극지활동진흥법 입법 추진, 남극연구활동진흥기본계획 수립, 남극조약협약당사국회의 및 남극해양생물자원보존위원회 정부 대표 등의 역할과 업무를 수행했으며, 차세대 쇄빙연구선 건조사업단 단장을 맡아 예비타당성조사 기획을 담당했다. 현재 기획조정부에서 극지연구소의 소통 창구 역할을 하며 극지 환경보호와 지속 가능한 개발을 연결하는 다리 역할을 하고 있다.

<테크 포커스>의 든든한 서포터

똑소리단



똑 똑하게 **소** 통하고 **리** 뷰하는 <테크 포커스> 독자 **단**

똑소리단은 산업기술에 관심 있는 다양한 연령층의 독자로 구성되어 있으며, 매월 표지를 선정하고 콘텐츠와 관련한 의견을 제안하는 등 활발한 활동을 이어가고 있습니다. <테크 포커스>를 함께 만들어가는 똑소리단의 9월호 리뷰를 확인해보세요!

김유진

사실 캐즘이라는 단어를 처음 들었을 때 어떤 단어인지 짐작조차 못 할 만큼 생소했습니다. 그런데 유튜브와 토스라는 대중적인 사례로 쉽게 다가오게끔 구성돼 있어서 좋았습니다! 기술 상용화의 현실적인 난관들을 이해할 수 있었고, 제도 측면에서도 생각할 수 있는 계기가 된 것 같습니다.

김선웅

캐즘에서는 '완전 완비 제품'의 개념도 중요합니다. 이는 단순히 기술만 뛰어난 것이 아니라 서비스, 지원, 인프라 등 보완 요소가 모두 갖추어져 대중이 불편함 없이 사용할 수 있는 상태를 의미합니다. 예를 들어 전기차가 아무리 우수해도 충전 인프라가 없다면 대중화하기 어렵습니다. 우리나라의 상황도 유사하며, 이를 '한국형 캐즘'이라 부릅니다. 따라서 정부는 공공 조달 제도, 규제 샌드박스 등을 활용해 이 문제를 해결해야 합니다. 결국 아무리 우수한 기술이라도 사람들의 생활과 시장에 자연스럽게 안착해야 성공할 수 있습니다.

이수영

이번 글은 캐즘 개념을 단순한 마케팅 용어가 아니라, 20세기 초 자동차 사고 사례부터 로저스의 확산 이론, 제프리 무어의 저서에 이르는 역사적 맥락 속에서 풀어낸 점이 인상 깊었습니다. 신기술이 사회에 등장할 때 대중은 위험이 충분히 줄고 안정성이 검증되기 전까지 쉽게 수용하지 않는다는 사실을 구체적으로 보여준 점이 흥미로웠습니다. 다만 기술이 캐즘을 넘은 뒤 어떻게 새로운 시장을 확장해 나갔는지에 대한 분석이 부족한 점은 아쉬웠습니다.

박재완

이번 호를 보면서 새로운 아이디어가 어떻게 현실에 적용되고 있는지, 그 아이디어들이 모여서 큰 기술이 된다는 것도 새삼 다시 느끼게 됩니다. R&D Sense에서는 전구체^{Precursor}에 대한 명확한 정의와 개념을 정리해서 유익했습니다. 이런 것들이 더 많이 소개되면 좋겠습니다. 가령 요즘 사이버 관련 해킹이나 사이버테러 때문에 불안한데 랜섬웨어, APT, DDoS, 스미싱, 해킹, 스피어피싱 등 관련 용어를 한번 정리해주는 것도 유익할 것 같습니다.

류창흔

포스코퓨처엠은 포스코 재직 시 출자 관리 회사의 하나로, 대주주 입장에서 전반적인 전략을 포함해 경영관리를 한 적이 있습니다. 포스코의 미래 성장전략의 일환으로 2차전지 사업에 전력을 다해 지원했는데, 현시점에서 R&D 차원에서든 가시적인 성과가 나타나고 있다는 소식에 매우 자랑스럽습니다. 회수 금속으로 전구체를 만들고 공급망을 안정시키는 시도는 국가 산업으로도 큰 의미가 있으며, 자원이 부족한 우리나라가 추구해야 할 기본 방향이라고 생각합니다.

김형우

비행기, 찌꺼기, 페인트, 해파리 등 다양한 자연에서 빌려온 기술 이야기가 무척 흥미로웠습니다. 비행기 이야기는 어릴 때부터 알고 있던 내용이지만, 이렇게 많은 사례가 있다는 건 새로웠습니다. 그중에서도 혼합 이야기가 가장 기억에 남았습니다. 물에 젖을수록 접착력이 높아 수술 상처에도 활용된다니 신기했고, 그 발견자가 우리나라 연구자라는 사실도 인상적이었습니다. 앞으로 이런 생체모방 기술이 어떤 새로운 혁신을 끌어낼지 더욱 기대됩니다.

조재현

‘캐즘^{Chasm}’이라는 것을 이번에 <테크 포커스>를 통해 알게 되었습니다. 진입장벽, 허들과 같은 느낌인데 여러 가지 사례를 통해 이해하기 쉬웠습니다. 제가 생각하기엔 지금 가정용 3D프린터가 캐즘의 중요한 변곡점인 것 같은데 3DP 적용 기술, 메이커, 가격대, 윤리적인 문제 등을 기획기사로 다뤄주면 좋겠습니다.

정일성

김태근 큐빅셀 대표님의 말씀처럼 연구자가 비즈니스를 해서 연구개발을 산업화할 수 있는 환경과 그런 도전을 환영하는 문화가 확산되기를 소망해봅니다.

신기술의 캐즘 극복을 위한 정부의 조정자 역할을 수행하는 부문에도 정책기획가, 제도연구가와 같은 직무에 기술 연구 개발자들이 진출한다면 좀 더 융합적인 사고와 창의적인 시장화 전략이 구현되리라 생각합니다.

윤예은

이번 호에서는 ‘캐즘’이라는 개념을 중심으로 기술 확산의 어려움과 이를 극복하기 위한 조건들을 다룬 점이 인상 깊었습니다. 특히 우리나라가 겪고 있는 ‘한국형 캐즘’ 문제를 통해, 연구개발 단계에서의 성과가 곧바로 시장 성공으로 이어지지 않는다는 현실적인 부분을 알게 되었습니다. 제도적 지원이나 수요 창출 같은 요소들이 함께 뒷받침되지 않으면 좋은 기술도 빛을 발하기 어렵다는 점에 크게 공감했습니다.

윤은영

캐즘에 대해 이렇게 심도 있게 바라본 적이 있구나 싶습니다. 너무너무 유익한 기사였습니다. R&D 전략을 수립할 때 R&D 구간 내 죽음의 계곡만 고민하고 시장에서의 이슈는 R&D 밖 영역으로 치부하는 경우가 여전히 많습니다. R&D 과정에서 사업화 계획을 동시에 요구하고는 있지만 여전히 형식적인 부분이 많은데, 캐즘을 계기로 좀 더 적극적인 대비·대응이 필요하겠다고 느꼈습니다.

독자 퀴즈의 정답을 맞춰주세요!

퀴즈에 참여해주신 정답자 중 추첨을 통해 소정의 상품을 보내드립니다. 퀴즈 정답과 휴대폰 번호를 grintjssu@hankyung.com으로 보내주세요.

독자 선물은 교환, 환불이 불가합니다.
전화번호 누락, 오류 등으로 인한
반송 시 재발송하지 않습니다.

20명 증정

퀴즈 정답자
모바일 쿠키 교환권



인간과 유사한 외형과 움직임, 사고능력을 갖추고 우리 삶에 깊숙이 스며들 준비를 하는 ○○○○○로봇은 더 이상 공상과학 영화 속 이야기가 아니다. 단순한 기계의 역할을 넘어 산업 내 필수 로봇으로, 가정 내 반려 로봇처럼 인식되기도 하는 이들은, 사생활 보호와 책임 소재 등 수많은 법적·윤리적 질문을 던지고 있다.

산업의 내일을 읽고 기업의 오늘을 이끕니다.

미래산업 활성화 기술 극저온 냉각

→ 제208회 T-MAP 세미나

[제208회 T-MAP 세미나] 미래산업 활성화 기술 극저온 냉각

극저온 냉각 기술? 단어 자체도 생소한 이 기술이 미래 첨단산업에서 아주 중요한 역할을 하고 있다는 사실 알고 계신가요? 에너지, 우주, 양자컴퓨팅 등 미래 첨단산업에서 극저온 냉각 기술이 어떻게 사용되고 있고, 앞으로 어떤 것들까지 해낼 수 있을지 한국기계연구원 고석준 실장님과 함께 알아보겠습니다!

#T-MAP #세미나 #극저온냉각 #미래산업
#한국기계연구원

전시회를 통해 본 차세대 디스플레이 기술동향 및 R&D 방향

→ 제209회 T-MAP 세미나

[제209회 T-MAP 세미나] 전시회를 통해 본 차세대 디스플레이 기술 동향 및 R&D 방향

지난 5월 미국 산호세에서 세계적인 디스플레이 기술 전시회 'SID 2025^{Display Week 2025}'가 개최되었는데요. 디스플레이 기술은 우리나라가 세계 1위를 달리고 있는 분야로 중국, 일본 등을 비롯한 다양한 경쟁국의 기술 동향을 예의주시할 필요가 있겠습니다. 전시회 현장 분위기와 다양한 국가들의 디스플레이 기술 동향을 KEIT 박영호 디스플레이 PD와 함께 만나보겠습니다.

#T-MAP #디스플레이 #기술동향 #R&D
#SID2025 #한국산업기술기획평가원 #KEIT

KEIT 공식 유튜브 채널을 통해 영상을 확인해보세요!
@official_keit

Tech Focus

산업통상자원부 산하 R&D 전문 기관
한국산업기술기획평가원이 발행하는 국내외 산업기술의
모든 것을 담은 전문지 <테크 포커스>



<테크 포커스> 웹진(techfocus.kr)에서 신간호와
함께 과월호도 모두 만나보세요!

<테크 포커스> 웹진 보기 매월 10일 오픈





**보이는 것 부러
보이지 않는 것 까지**

**초격차 산업기술 R&D
초협력으로 이뤄집니다**



산업통상자원부



한국산업기술기획평가원
Korea Planning & Evaluation Institute of Industrial Technology

9 773022 717003
ISSN 3022-7178

