

# TECH FOCUS

VOL. 3 JANUARY 2024  
1

로봇이라는 전설이 현실이 될 때  
어린 시절부터 우리는 로봇과 함께하는 일상이 펼쳐질  
거라고 배웠다. 그리고 그 전망은 착실하게 현실이 되어가고  
있다. 로봇과 우리의 역사 그리고 미래를 살펴본다.



<테크 포커스> 웹진 보기  
매월 10일 오름

로봇과 우리는 진정한 친구가 될 수 있을까?

34



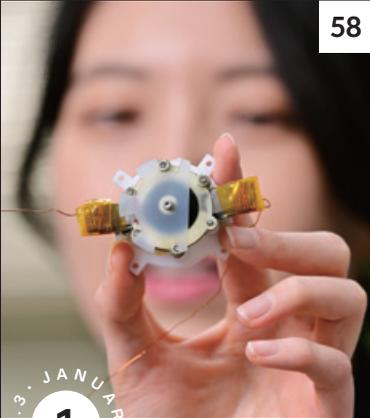
04



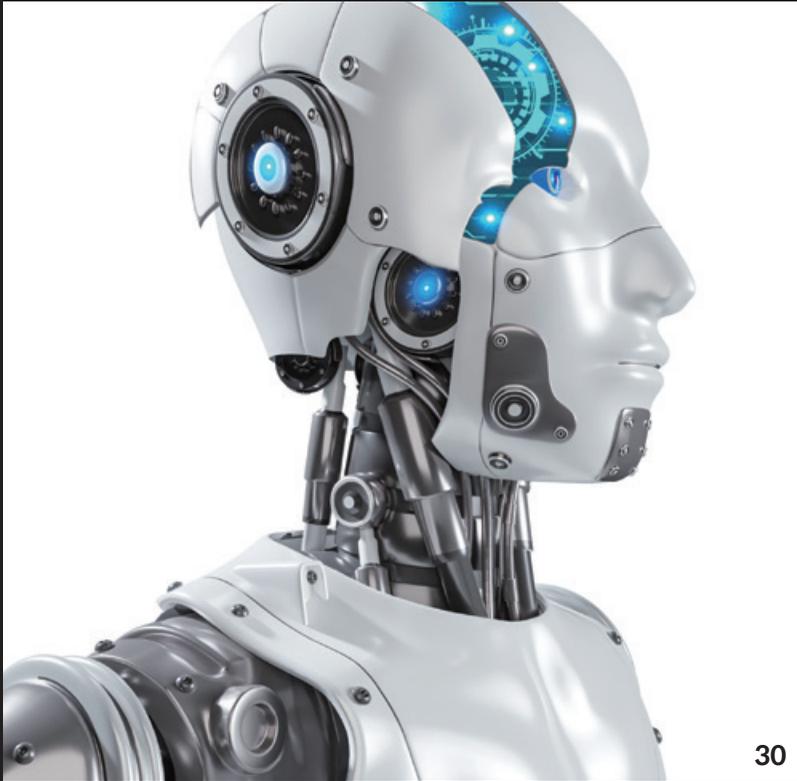
20



58



30



등록일자 2013년 8월 24일 발행일 2024년 1월 5일 발행인 한국산업기술기획평가원 원장 전운중 발행처 한국산업기술기획평가원, 한국산업기술진흥원, 한국에너지기술평가원, 한국공학한림원 주소 대구광역시 동구 첨단로8길 32(신서동) 한국산업기술기획평가원 후원 산업통상자원부 편집 및 제작 한국경제매거진(주)(02-360-4816) 인쇄 (주)타라티피에스(031-945-1080) 문의 한국산업기술기획평가원(053-718-8567) 잡지등록 대구등, 라00026

본지에 게재된 모든 기사의 판권은 한국산업기술기획평가원이 보유하며, 발행인의 사전 허가 없이는 기사와 사진의 무단 전재, 복사를 금합니다.

## Focus Story

02

### Intro

All About 서비스 로봇

04

### History

로봇이라는 전설이 현실이 될 때

10

### Trend

서비스 로봇

인간·로봇 공존 시대를 열다

14

### Issue

인공지능로봇이 인간과 공존하기 위한 방법

20

### Interview

한재권 한양대 ERICA 로봇공학과 교수

(주)에이로봇 최고기술책임자<sup>CTO</sup>

서비스 로봇 경쟁력, 핵심은 콘텐츠

## Global Tech

26

### Trend

사람을 살리는 닥터로봇

## 2024 산업 트렌드

30

2024년 산업 트렌드 BIG 7

## New Tech

34

올해의 산업혁신기술상

HD한국조선해양

대형 선박의 친환경 전기추진 실현에 바짝 다가서다

38

R&D 프로젝트

(주)넥셀

순수 국내 기술로 포괄적인 약물 심장 안정성 평가 표준을 선도하다

42

R&D 기업

STX엔진(주)

수출 통제 족쇄 풀고 K-방산 세계화 새로운 발판 마련한다

## ESG Tech Trend

46

ESG & Tech

희토류 재활용이 필요한 때

50

ESG Issue

NFT로 실현하는 ESG

## Tech & Story

54

테크 알쓸신잡

챗GPT 대화 실력의 비밀, 딥러닝

58

잡 인사이드

한경원 서울대 기계공학부 교수

첨단 로봇 기술 연구로 환자의 삶의 질 높인다

## Review & News

62

톡소리단 리뷰

64

News

독자 퀴즈



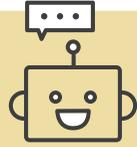
# ALL ABOUT ◆◆

# ◆◆ 서비스 로봇

## 서비스 로봇의 활용 분야

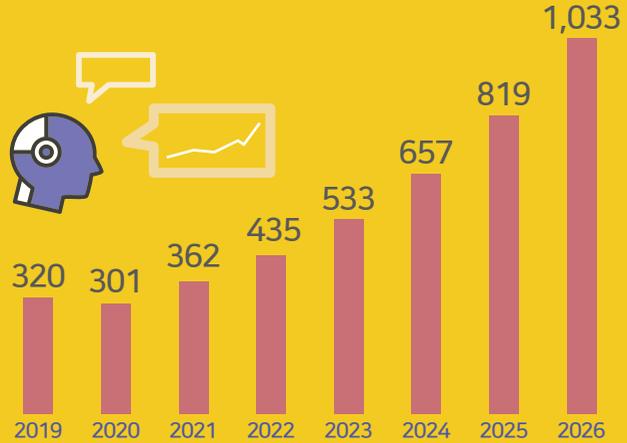


## 서비스 로봇이란?



산업 분야에서 사용되던 로봇이 가정, 의료 등 다양한 분야에서 활용되는 것으로, 크게 개인 서비스 로봇과 전문 서비스 로봇으로 나뉜다. 일반인에게 다양한 서비스를 제공하는 개인 서비스 로봇은 청소, 오락, 간병, 교육 등에 활용되고 있으며 전문적 분야에서 보조적 역할을 하는 전문 서비스 로봇은 의료, 국방, 건설, 경찰 업무와 관련한 서비스를 제공한다.

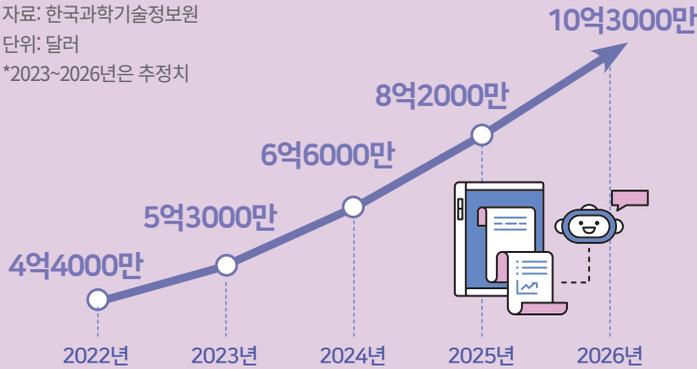
## 글로벌 서비스 로봇 시장 규모 추이



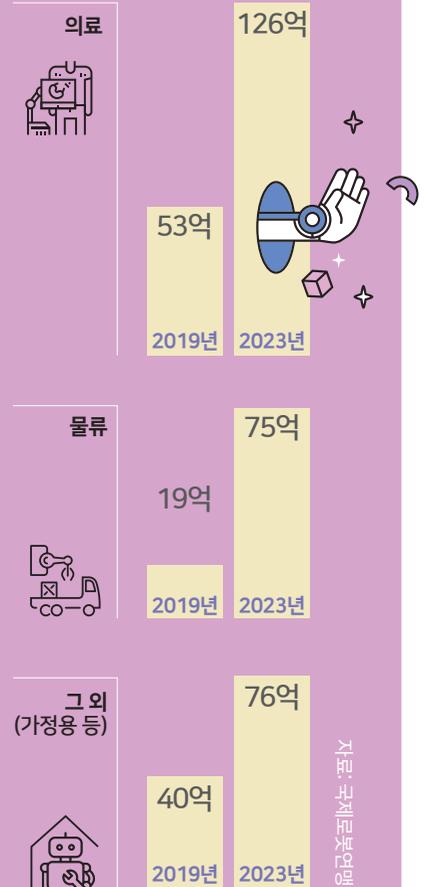
자료: 마켓앤마켓 단위: 억 달러

## 국내 서비스 로봇 시장 규모 전망

자료: 한국과학기술정보원  
단위: 달러  
\*2023~2026년은 추정치



## 분야별 서비스 로봇 시장



높은 시장

낮은 시장

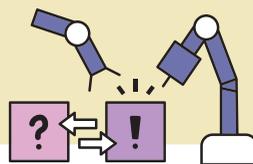
## 서비스 로봇의 상업화 상황

높음 낮음  
상업화 단계

물류로봇  
청소로봇  
농사로봇  
소셜로봇  
요리로봇  
잠수로봇

자료: ID techEx

기술 난이도



우리는 어릴 적부터 미래에는 로봇과 함께하는 일상이 펼쳐질 거라고 배워왔다.  
그리고 그 전망은 현실이 되어가고 있다. 그 일선에 서 있는 서비스 로봇.  
어떤 과정을 통해 발전해왔을까?

word 이동훈(과학 칼럼니스트)

## 로봇이라는 전설이 현실이 될 때 로봇과 함께해온 시간들

로봇의 어원은 노동을 의미하는 체코어 로보타<sup>Robota</sup>이다. 로보타는 일반적인 노동보다는 고역, 노역, 강제 노동 등 부정적인 느낌을 강하게 띤 노동을 지칭하는 말이다. 사실 이는 인간이 로봇에게 기대하는 바와도 부합한다. 인간이 로봇에게 시키고 싶어 하는 일은 어렵거나, 힘들고, 반복적이며, 지루하고, 직접 가기 힘든 곳에서 수행되는 일들이 많기 때문이다. 인간을 도와 이러한 일을 하는 로봇이 서비스 로봇에 대한 가장 대략적인 정의다.

서비스 로봇에 대한 엄밀한 기술적 정의는 아직 없다. 그러나 국제표준화기구에 따르면 ‘산업 자동화를 제외한 다른 용도에서 인간 또는 장비에 유용한 임무를 실행하는 로봇’이다. 그리고 국제로봇협회<sup>International Federation of Robotics, IFR</sup>에서는 ‘완전 자율



은행뿐 아니라 일정 수준 인간의 제어 개입은 물론 인간의 완전 원격 조종까지도 가능한 로봇'으로 보고 있다. 즉 인간과 물리적으로 격리되지 않고, 인간과 같은 공간에서 인간과 직접 협동하면서 산업 생산(특히 제품 제조) 이외의 다른 활동을 하는 로봇을 서비스 로봇으로 분류하는 것이 학계 및 업계의 중론이다. 그래서 일각에서는 서비스 로봇이라고 하지 않고 협동로봇(Collaborative Robot의 줄임말로 Cobot 또는 Corobot)이라고 부르기도 한다.

#### **인간과 협동하는 로봇**

서비스 로봇의 특징은 인간과 같은 공간에서 직접 협동한다는 것이다. 때문에 서비스 로봇은 인간과 상호작용이 쉬워야 하고, 무엇보다 안전해야 한다.

예를 들어 병원에서 환자를 로봇팔로 들어 올려 운반하는 간호사 로봇을 만든다고 생각해보자. 로봇팔에 힘이 너무



서비스 로봇은 인간과 같은 공간에서 직접 협동해야 하기에 **유연한 상호작용과 안전이 핵심 기술로** 꼽힌다. 사진은 요리로봇의 모습.

약하면 환자가 자칫 로봇에서 떨어져 낙상을 입을 가능성이 있다. 그렇다고 로봇팔에 힘이 너무 강하게 들어가면 환자에게 부상을 입힐 수도 있다. 장애물 감지를 포함한 센서 기능이 떨어지면 팔을 휘두르다가 본의 아니게 다치게 할 수도 있다. 게다가 인간은 기계가 아니어서 신체적·정신적 조건이 모두 다르다. 인간의 생활 및 근무 여건도 모두 다르다. 그러한 다양한 조건하에서 무리 없이 안전하게 제어되고 작동하고 협동할 수 있어야 한다. 여기에 기업이 아닌 개인 소비자에게 쉽게 노출되고 판매되는 상품으로서 필요한 미학적 조건과 경제성 등 기술 외적인 부분도 갖춰야 한다. 이처럼 훌륭한 서비스 로봇을 만들기 매우 어렵다는 것을 알 수 있다. 그러나 이미 서비스 로봇은 어느새 우리의 생활 속으로 들어오고 있다.

### 서비스 로봇의 탄생

사실 서비스 로봇이라는 개념이 애매하기 때문에 최초의 서비스 로봇이 무엇인지 명확하게 정의하기 쉽지 않다. 하지만 확실한 것은 이미 1950년대부터 원시적이거나 서비스 로봇이라고 할 수 있는 것들이 존재했다는 사실이다. 1954년 미국의 발명가 조지 데볼은 디지털 제어와 프로그래밍이 가능한 최초의 산업용 로봇 유니메이트를

만들었다. 이 로봇은 다이캐스팅<sup>die casting</sup> 기계에서 막 뺏혀 나온 뜨거운 금속 사출물을 운반하는 작업에 투입되어 성공적인 결과를 거두었다. 로봇이 산업 현장에서 인간 대신 힘든 일을 하기 시작한 신호탄이었다. 또한 1960년대 초 미국 캘리포니아주 다우니의 랜초 로스 아미고스 병원에도 장애인 환자를 돕는 로봇팔이 설치되었다. 하지만 이런 초창기 로봇은 현대적인 개념의 서비스 로봇으로 보기에는 다소 무리가 있다. 앞서 언급했듯이 인간과 같은 공간에서 운용된다는 점에 대해서는 크게 고려하지 않고 만들어졌기 때문이다.

현대적인 서비스 로봇의 시작으로는 1996년에 개발된 ‘코봇<sup>Cobot</sup>’을 꼽는 견해가 많다. 이름부터 협동로봇을 의미하는 코봇은 미국 노스웨스턴대학의 교수인 에드워드 콜게이트와 마이클 페슈킨이 만들었다. 코봇의 미국 특허 문서에 따르면, 이 로봇은 “인간과 컴퓨터 제어식 다용도 머니퐁레이터<sup>manipulator</sup> 간의 직접 물리적 상호작용을 위한 기구와 수단”으로 정의되어 있다. 코봇은 하늘에서 뚝 떨어진 것이 아니었다. 1994년 제네럴모터스사가 자동차 제조 시 로봇 또는 로봇과 유사한 장비가 인간과 안전하게 작업할 수 있는 방식을 연구하게 되고, 이듬해 이를 구현하기 위한 연구 보조금을 두 교수에게 지급하면서 만들어진 것이었다. 처음부터 서비스 로봇이라는 분명한 목적을 갖고 만들어졌기에 코봇을 서비스 로봇의



1999년 일본 소니의 애완 서비스 로봇 아이보 출시 이후 다양한 애완로봇이 등장해 인간 생활에 다양한 영향을 주었다. 사진은 보스턴 다이내믹스의 4족 보행 로봇 스팟.



시작으로 보는 시각이 종론이 된 것이다.

서비스 로봇의 덕목 중 하나는 함께 움직이는 인간에 대한 안전이다. 코봇을 포함한 초창기 서비스 로봇은 아예 동력을 인력으로 대체함으로써 이 문제를 해결했다. 로봇은 사람이 가하는 인력을 컴퓨터로 제어해 목적에 맞게 사용할 뿐이었다. 그러나 이후의 서비스 로봇에는 자체 동력이 들어가고 센서를 통해 사람을 인식해 위험한 동작을 막게 되었다. 콜게이트와 페슈킨 교수는 1997년 코보틱스라는 회사를 설립해, 자동차의 최종 조립에 사용되는 서비스 로봇을 생산하게 되었다.

### 애완로봇과 로봇청소기의 등장

1999년에는 또 다른 형태의 서비스 로봇, 즉 애완 서비스 로봇인 일본 소니의 ‘아이보’가 출시되어 큰 화제가 되었다. 아이보는 인공지능 로봇을 의미하는 ‘Artificial Intelligence roBot’의 약자이면서, 동시에 단짝 친구를 의미하는 일본어 단어인 ‘相棒’의 발음이기도 했다. 강아지 모양으로 생긴

① ‘다이 주조’라고도 하며, 필요한 주조 형상에 완전히 일치하도록 정확하게 기계가공된 금형에 용해된 금속을 주입해 금형과 똑같은 주물을 얻는 정밀주조법이다.

② 소재 또는 위험물 등을 접어서 이동시키거나 회전시키는 일을 멀리서 조작할 수 있는 집게 팔을 말한다.

아이보는 실제 강아지처럼 인간과 상호 교류가 가능한 로봇 애완동물이었다. 인기는 실로 폭발적이었다. 초판이 불과 20분 만에 매진되기도 했다. 2006년까지 총 15만 대가 생산되고 단종되었으며, 기술 지원도 2013년에 종료되었다. 그러나 기존에 아이보를 구입한 사람들 중 상당수가 마치 노견을 돌보듯 아이보의 수명을 조금이라도 더 연장시키려고 애쓰고 있다. 아이보가 ‘사망’하면, 즉 더 이상 고쳐서 작동시킬 수 없게 되면, 마치 사람이 죽었을 때처럼 그 ‘시체’를 신사에 모시고 제사를 지내는 사람도 있다. 후일 이라크와 아프가니스탄에서 전투용 로봇을 운용하던 미군도 비슷한 일을 했다는 기록을 보면, 아이보는 인간이 로봇에게 지극히 큰 의미를 부여하고 친밀한 관계를 쌓을 수 있음을 보여주는 사례라고 할 수 있다.

몇 년이 지난 2002년에는 오늘날까지도 로봇청소기의 대명사로 불리는 아이로봇의 ‘룸바<sup>Roomba</sup>’가 출시되었다. 당시 룸바는 탑재된 센서로 자신의 위치와 장애물(벽과 문턱 등), 청소할 오물 등을 모두 파악해 스스로 이동하며 청소하는 성능을 보여 사람들을 놀라게 했다. 지금이야 지극히 당연한 성능이 되었지만 말이다. 이것을 기술적으로 해석하면, 로봇이 인간의 집이라는 지극히 불규칙적이며 변화가 심한 공간에서도 적응하고 기동하는 것이 가능해졌다는 뜻이다.

## 인명구조와 비서 역할까지

2011년에 발생한 후쿠시마 원전 사고는 높은 방사능이 존재하는 사고 현장 등 인간이 활동할 수 없는 환경에서도 인명구조 등의 작업을 수행할 수 있는 서비스 로봇의 필요성을 부각시켰다. 미 국방부의 고등연구기획국<sup>DARPA</sup>은 2013년, 가장 뛰어난 인명구조로봇을 선발하는 대회인 DARPA 로봇틱스 챌린지<sup>DRC</sup>를 열었다. 이 대회에 참가한 로봇들은 차량 운전, 험난 구간 돌파, 사다리 타기, 장애물 제거 등 인간 구조대원이 재난 현장에서 하는 활동을 해내야 했다. 그리고 이 대회에서 1위를 한 것은 우리나라의 카이스트<sup>KAIST</sup>에서 출품한 ‘휴보’였다. 이 대회는 여러모로 시사하는 점이 많다. 우선 한국 로봇 기술의 저력을 세계에 과시했다는 측면도 있다. 그리고 미 국방부의 대회 내용을 보면, 가장 뛰어난 인명구조로봇은 동시에 가장 뛰어난 전투용(즉 살상과 파괴 용도) 로봇도 될 수 있겠다는 점을 상기시킨다. 기술은 양날의 검이라는 사실을 새삼 깨닫게 해주는 대회였다. 2017년에는 MIT의 신시아 브리질 교수가 최초의 실용 소셜 로봇 ‘지보’를 개발해 발표했다. 로봇이라고 하면 흔히 혼자서 척척 돌아다니는 기계라는 선입견이 있다. 그러나 지보는 로봇 주제에 단 1cm도 이동하지 못한다. 대신 지보는 그 이름에서도 알 수 있듯이 인간의 사회적<sup>social</sup> 소통 지원을 주기능으로 하는 서비스 로봇이다. 인간의 표정을 통해 감정을 읽고, 자연어로 대화할 수 있다. 의외로 다양한 목적으로 쓸 수 있다. 가장 두드러지는 용도는 스마트 주택의 집사 내지는

비서 역할이다. 사용자에게 다양한 스케줄 등 일상생활에 필요한 정보를 알려준다. 집을 비워야 할 때는 사물인터넷과 연동해 가정의 보안 상태를 점검 확인하고, 이를 사용자에게 전달하며, 문제 발생 시 사용자 및 관계 당국에 신고를 할 수도 있다. 또한 집 밖을 벗어날 수 없는 노약자나 애완동물을 돌보는 기능도 탑재할 수 있다. 사진 촬영, 음악 및 동영상 재생 등의 엔터테인먼트 기능, 각종 교육 기능도 탑재할 수 있다. 지보 자체는 너무 비싼 가격이 주원인이 되어 2019년 일찌감치 서비스를 종료했다. 그러나 장차 보급될 스마트 주택의 관리자라는 선구적인 역할을 사람들에게 보여준 공로도 있다.

## 기술 발전과 팬데믹으로 급성장한

### 서비스 로봇 시장

2020년대에 들어서면서 전 세계 서비스 로봇 시장 규모는 산업용 서비스 로봇만도 무려 50%가 증가했다. 바로 코로나19 때문이다. 엄청난 전염력을 지닌 전염병이 전 세계를 공포에 떨게 했고, 동시에 생산 및 생활 현장에서 비대면 작업의 수요를 증가시켰다. 전염병에 걸리지 않을 뿐만 아니라 호흡을 통해 주변 공기 속으로 바이러스를 전파하지 않는 새로운 노동력, 즉 서비스 로봇이 큰 각광을 받은 계기였다. 그뿐만 아니라 로봇은 고장이 나거나 에너지가 떨어지지 않는 한 언제라도 임무를 수행할 수 있다. 임금을 인상해 달라고

## 서비스 로봇의 역사

1954년



최초의 산업용 로봇  
유니메이트

1960년

장애인 환자를 돕는  
로봇팔 설치

1996년

서비스 로봇의 효시  
‘코봇’ 등장



1999년

일본 소니의 애완  
서비스 로봇  
‘아이보’ 출시



하거나 노동조합을 만들지도 않는다. 사용자 입장에서는 골치 아픈 구석이 적다. 때문에 2020년대가 되자 서비스 로봇은 보다시피 우리의 삶 속으로 더욱 깊숙이 파고들었다. 식당만 가봐도 키오스크로 음식을 주문하고, 로봇이 음식을 요리해준다. 박물관에도 큐레이터 로봇과 보안로봇이 있다. 제조 및 물류 현장에서는 자율이동로봇과 무인운반로봇 등이, 의료 현장에서는 방역 활동을 수행하는 소독로봇 등도 있다. 노인과 병자를 돌보는 돌봄로봇, 인간 대신 전투를 수행하는 국방로봇 등도 이제는 더 이상 낯설지 않게 되었다.

그동안 전 세계 로봇 시장을 주도한 것은 인간과 다른 공간에서 일하는 산업용 로봇이었다. 그러나 앞으로는 이들 서비스

로봇이 전체 로봇 시장을 주도할 것이란 전망까지 나오고 있다. 일례로 시장조사업체마켓앤마켓이 2021년 발표한 ‘서비스 로봇 시장 2026 글로벌 전망’ 보고서에 따르면 서비스 로봇 시장은 연평균 23.3% 성장하면서 지난 2021년 362억 달러에서 2026년 1033억 달러 규모로 확대될 전망이다.

서비스 로봇 시장의 활성화는 로봇 융합 기술의 발전과 서비스 이용 체계의 변화를 초래하고 있다. 특히 2022년 오픈시가 챗GPT를 공개하면서 서비스 로봇의 지능화가 빨라지고 있다. 인공지능로봇에 거대 언어 모델(Large Language Model, LLM)을 접목하려는 시도가 활발하게 이뤄지고 있는 것이다. 이로써 로봇과 인간 간 실시간 의사소통과 상호작용이 더욱 수월해질 것이다. 기존 로봇 보급에 장애물로 여겼던 높은 도입 비용도 구독 서비스 등을 통해 타개, 더 많은 사람들에게 로봇 서비스를 제공할 수 있을 것이다. 서비스 로봇의 보급 활성화로 로봇 통합 운영 플랫폼의 개발 및 보급도 활발해질 것이다. 다만 서비스 로봇이 내재하고 있는 사생활 및 개인정보 침해 위험성, 그리고 ‘일자리를 빼앗아간다’는 일반인의 부정적 인식은 극복해야 할 점으로 꼽힌다.



③ 데이터를 받아들여 그 안에서 문장 구조를 보고 문법 요소와 단어 등을 분석 및 파악하고 생성하는 기술이다.

**2002년**



로봇청소기 아이로봇의 ‘룸바’ 출시

**2013년**

인명구조로봇 대회에서 카이스트의 ‘휴보’ 1위



**2017년**



MIT 신시아 교수 실용 소셜 로봇 ‘지보’ 개발



배달 앱으로 유명한 우아한형제들은 배달로봇 '달리<sup>Delly</sup>'를 이용해 식음료 실내외 배달 서비스를 시작했다. 사진은 코엑스몰에서 배달하고 있는 배민 로봇의 모습.

인간·로봇 공존 시대의 막이 올랐다.  
그 주역은 우리 일상 속으로 성큼  
들어온 다양한 기능의 서비스 로봇이다.  
공상과학영화나 애니메이션에 등장하는  
만능 로봇은 아니지만, 우리는 일상에서  
이미 첨단 기능을 갖춘 서비스 로봇을  
경험하고 있다.

## 서비스 로봇 인간·로봇 공존 시대를 열다



SK텔레콤은 두산로보틱스와 함께 무인 커피로봇 서비스인 '시바리스타로봇'을 출시했다. 사진은 음료를 제조하는 '시바리스타로봇' 모습이다.

우리 일상 속 서비스 로봇은 이미 매우 다양하다. 배달 앱으로 유명한 우아한형제들은 지난 11월 삼성동 테헤란로에서 음식배달 로봇 ‘딜리<sup>Delly</sup>’를 이용해 식음료 실외 배달 서비스를 시작했다. 코엑스몰 인근 건물에 있는 고객이 배달 앱으로 음식을 주문하면, 배달로봇이 고객이 있는 곳까지 찾아가는다.

국립중앙박물관, 국립현대미술관, 국립극장 등에서 문화 해설 로봇 ‘큐아이’가 관광객에게 시설을 안내하고 작품을 설명해준다. 한국어, 영어, 일본어, 중국어 등 다국어서비스를 제공하기 때문에 한국을 방문한 외국인들이 우리 문화를 이해하는 데도 제격이다.

정부가 작년 자율주행로봇의 공원 내 출입을 허용하면서 순찰로봇도 도입기를 맞고 있다. 서울 어린이대공원, 성남 울동공원 등에서 순찰로봇을 운영하고 있다. 순찰로봇은 공원 곳곳을 돌아다니면서 범죄 발생 우려가 없는지, 산책 도중 쓰러진 사람은 없는지 살핀다. 순찰로봇은 산업 시설이나 사회 기반 인프라를 관리하는 데도 활용된다. LG전자는 지난 11월 포스코 광양제철소 자율로봇 실증 사업을 실시했다. 자율이동로봇이 축구장 2개 이상 크기의 전기실 내부를 순찰하면서 전력케이블, 변압기 등 설비의 이상 여부를 점검한다.

일상에서 쉽게 접할 수는 없지만 수술로봇이나 물류로봇 등도 인간·로봇 공존 시대의 당당한 주역으로 자리 잡았다. 세계적인 수술로봇 기업인 인튜이티브 서지컬(Intuitive Surgical)의 ‘다빈치’ 로봇은 수술 자국을 가급적 적게 남기는 ‘최소침습수술’에 적극 활용되고 있다. 아마존, 쿠팡 등 온라인 쇼핑업체들은 쇼핑 성수기를 맞아 폭발적인 온라인 주문 물량을 처리하기 위해 물류센터에 다양한 물류로봇을 가동하고 있다.

## 사람과 공간을 공유하는 서비스 로봇

다양한 서비스 로봇이 활약하고 있는데, 이들 서비스 로봇은 기존의 로봇과는 무엇이 다른 것일까.

로봇은 크게 제조 로봇(산업용 로봇)과 서비스 로봇으로 구분된다. 제조 로봇은 생산 공장에서 용접, 도색, 조립 공정 등에 활용되는 로봇이다. 고도의 정밀 작업을 아주 빠른 속도로, 반복적으로, 그리고 지치지 않고 수행한다. 자동차 같은 무거운 물건도 쉽게

들어 다른 곳으로 이동시킬 수 있다. 제조 로봇이 동작할 수 있는 범위는 프로그래밍에 의해 극도로 제한된다. 작업자가 로봇과 충돌하면 심각한 피해를 입을 수 있기 때문에 제조 로봇은 작업자로부터 공간적으로 철저히 분리된다. 로봇 주변에는 안전 펜스가 설치돼 작업자의 접근을 원천적으로 차단한다.

서비스 로봇은 제조 로봇과 달리 안전 펜스에 갖혀 있지 않고, 사람과 공간을 공유한다는 특징이 있다. 한마디로 생산 공장의 율타리를 벗어나 비교적 자유롭게 이동할 수 있는 로봇이 바로 서비스 로봇이다. 서비스 로봇은 소비자용 서비스 로봇과 전문 서비스 로봇으로 나뉜다. 소비자용 로봇에는 로봇청소기, 교육용 로봇, 반려로봇, 동반자 로봇 등이 포함된다. 전문 서비스 로봇은 훨씬 광범위하다. 서빙로봇, 상업용 청소로봇, 안내로봇, 간병로봇, 소방로봇, 물류로봇, 의료로봇, 순찰로봇, 국방로봇, 농업용 로봇, 건설로봇, 광산로봇, 수중로봇, 우주탐사로봇 등 일일이 헤아릴 수 없을 정도로 종류가 많다.



인공지능 ‘큐아이’는 음성인식과 자율주행 기능을 기반으로 전시된 작품에 대한 해설을 제공한다. 국립중앙박물관을 찾은 관람객들이 인공지능 전시 안내 로봇 큐아이에 대한 설명을 듣고 있다.

최근 ‘협동로봇’으로 불리는 새로운 종류의 제조 로봇이 주목받고 있다. 이 로봇은 1개 또는 2개의 로봇팔을 이용해 물건을 운반하거나 조작한다. 협동로봇도 서비스 로봇처럼 안전 펜스 없이 인간 작업자와 공간을 공유한다. 협동로봇이 로봇팔을 이용해 부품을 집어 작업자에게 전달하면 작업자는 부품을 조립해 완제품을 만든다. 협동로봇은 제조 로봇의 일종이지만 최근 서비스산업에도 활발하게 도입되고 있는 추세다. 카페에서 커피를 내려주는 바리스타로봇, 닭튀김을 조리해주는 치킨로봇, 물류창

고에서 선반이나 트럭에 실려 있는 상품 박스를 싣고 내리는 물류로봇 등에 협동로봇이 활용되고 있다. 그런 측면에서 협동로봇은 제조 로봇과 서비스 로봇의 경계에 위치해 있다.

## 인간과 로봇의 적절한 상호작용

모든 경우에 해당하지는 않지만 서비스 로봇의 중요한 특징 가운데 하나는 '이동성<sup>Mobility</sup>'이다. 로봇 엔지니어들은 서비스 로봇에 '자율성'을 부여하기 위해 심혈을 기울인다. 여기서 '자율성'이란 서비스 로봇이 자신의 현재 위치를 파악하고, 주변 장애물과 사람을 피해 최종 목적지까지 스스로 찾아가는 능력을 말한다. 사람이 시각, 청각, 촉각, 후각, 미각 등 오감을 통해 주위 환경이나 대상을 인식하는 것처럼 로봇도 카메라 센서, 적외선 센서, 오디오 장치, 위치 센서 등 다양한 센서를 통해 수집한 데이터를 바탕으로 주변 장애물과 사람을 인식한다. 그리고 센서를 통해 수집한 데이터를 활용해 주변 사물을 지속적으로 학습한다. 그래야만 충돌하지 않고 최종 목적지까지 무사히 갈 수 있다.

서비스 로봇이 부상하면서 '인간-로봇 상호작용 기술<sup>Human Robot Interaction Technology, HRI</sup>'이라는 개념이 중요해지고 있다. 예측할 수 없는 환경에서 로봇과 인간이 공존하기 위해선 사람과 안전하게 상호작용할 수 있는 로봇 기술을 구현해야 한다. 병원에서 일하는 로봇은 환자 또는 직원과 부딪히지 않아야 하며, 요양원에서 일하는 로봇은 노인들에게 친근감을 줘야 한다. 아이들과 함께 생활하는 로봇은 아이들과 함께 놀아주지만 아이들이 로봇에 지나치게 애착을 갖지 않도록 조심해야 한다. 이런 서비스 로봇을 구현하기 위해선 HRI 기술에 대한 연구가 절실하다.

## 폭발적으로 성장하는 서비스 로봇 시장

그렇다면 서비스 로봇 시장 규모는 얼마나 될까. 시장조사업체인 리서치앤마켓이 내놓은 보고서에 따르면 2023년부터 2030년까지 글로벌 서비스 로봇 시장은 연평균 36.15%의 성장률을 기록하면서 2022년 158억7000만 달러(약 20조8000억)에서 오는 2030년 1873억3000만 달러로 성장할 전망이다.

독일 프랑크푸르트에 본부가 있는 비영리조직인 국제로봇연맹

## 글로벌 서비스 로봇 시장 전망

자료: 리서치앤마켓



IFR은 매년 전 세계 서비스 로봇 시장 보고서를 발표한다. IFR이 올해 10월 발표한 전 세계 서비스 로봇 시장 보고서에 따르면 지난해 전 세계적으로 판매된 소비자용 서비스 로봇은 510만 대에 달한다. 이에 반해 전문 서비스 로봇은 15만8000대에 불과해 소비자용 서비스 로봇에 크게 미치지 못한다. 이는 소비자용 서비스 로봇 시장에서 로봇청소기가 차지하는 비중이 워낙 크기 때문이다.

여기서 눈여겨볼 부분은 전문 서비스 로봇 판매 대수가 전년 대비 48% 증가한 15만8000대를 기록했다는 점이다. 전문 서비스 로봇의 5대 응용 분야는 운송 및 물류(8만6000대),接客 및 안내(2만4500대), 의료 및 헬스케어(9300대), 농업용 로봇(8000대), 상업용 청소로봇(6900대) 순으로 나타났다.

전체 전문 서비스 로봇 가운데 운송 및 물류 로봇이 54%를 차지할 정도로 압도적이다. 물류로봇은 코로나19의 대유행 이후 온라인 쇼핑과 전자상거래 시장이 급팽창하면서 인력 부족에 시달리고 있는 유통 및 물류 업계에서 앞다퉈 도입했다. 물류로봇이 전체 전문 서비스 로봇 시장을 견인하고 있다고 해도 과언이 아니다. 여기에 음식점을 중심으로 서빙로봇이 대거 보급되면서 운송 및 물류 로봇의 성장을 가속화하고 있다.

接客 및 안내 서비스 로봇<sup>Hospitality Robots</sup>도 대중화의 물결에 휩쓸

올라왔다. IFR 보고서에 따르면接客 및 안내 서비스 로봇 판매는 전년 대비 125% 이상이 증가한 2만4500대를 기록, 전문 서비스 로봇 시장에서 가장 눈부신 성장세를 보이고 있다.

## 로봇의 빠른 진화와 인간과 공존 위한 과제

서비스 로봇 시장은 앞으로 지속적으로 확대될 수밖에 없다. 젊은 인력을 구하지 못해 애를 태우고 있는 제조업 현장은 물론이고 건설, 농업, 간병 등 사회 각 분야를 가리지 않고 인구절벽의 폐해가 심각해지고 있다. 인구 고령화 추세에 따라 의료로봇, 재활로봇, 간병로봇 등 수요는 늘어날 것이다. 돌봄 인력이 부족한 상황에서 간병로봇이 환자나 노인들의 건강을 수시로 체크하고, 굵은일을 대신해준다면 서비스 로봇의 효용성은 충분하다. 로봇이 기존 인력을 대체하면서 일자리를 빼앗아갈 것이란 우려가 있음에도 불구하고 인구 고령화와 인력 부족의 대안으로 서비스 로봇을 도입해야 한다는 의견이 설득력을 얻는 이유다.

최근 서비스 로봇 시장은 인공지능<sup>AI</sup> 기술의 눈부신 발전에 힘입어 대전환기를 맞고 있다. 작년 말 전 세계를 강타한 ‘챗GPT’ 열풍은 사람과 자연스럽게 대화를 나눌 수 있는 로봇 시대를 예고

하고 있다. 챗GPT 등 생성형 인공지능으로 학습한 똑똑한 로봇들이 사람들의 일상적인 언어를 이해하고, 지금보다 훨씬 자연스럽게 대화할 수 있는 날이 머지않아 펼쳐질 것이다. 여기에 로봇의 시각과 촉각, 얼굴 인식, 사물 인식 능력이 빠르게 개선되면서 일반 가정용 로봇뿐 아니라 안내로봇, 경비로봇, 바리스타로봇도 사람과 대화할 수 있는 능력을 갖추게 된다.

하지만 서비스 로봇 시장이 활짝 개화하고, 인간-로봇 공존 시대가 본격 도래하기 위해선 해결해야 할 과제도 있다. 지난 11월부터 관련 법률의 개정으로 실외 이동 로봇의 보도 통행이 허용됐다. 앞으로 실외 이동 로봇이 보도 통행 중 사고를 일으키면 사고 책임을 놓고 논란이 일 것으로 예상된다. 경우에 따라선 보행자 잘못인지, 로봇 잘못인지 규명하는 게 쉽지 않다.

집 안을 모니터링하는 로봇이 노인만 홀로 있는 공간에서 노인을 다치게 했을 경우 이를 어떻게 규명할지도 숙제다. 로봇에 블랙박스를 의무적으로 설치해야 한다는 목소리도 나오고 있다. 편향된 데이터를 활용해 학습받은 인공지능의 폐해도 해결해야 할 숙제다. 인간-로봇 공존 시대가 이제 막 개막했지만, 아직 우리는 서비스 로봇의 대중화가 초래할 수 있는 위험을 잘 알지 못한다. 그 혜택을 온전히 누리기 위한 지혜를 모아야 한다.



**장길수 <로봇신문> 기자** <전자신문>에서 오랫동안 IT, 방송산업 등을 취재해왔다. 현재 <로봇신문>에서 주로 글로벌 로봇 기술 동향과 서비스 현황에 대한 기사를 쓰고 있다. 융합기술이 로봇 기술과 어떻게 접목되고 있는지에 대해 관심을 갖고 있다.



# 인공지능로봇이

# 인간과 공존하기 위한 방법

최근 인공지능 관련 기술을 개발하는 연구자들이 기술의 잠재적 위험 가능성과 윤리적 규제의 필요성을 제기하고 있다.

최근 오픈AI가 개발한 대화 전문 인공지능 챗GPT에 사람들의 관심이 집중되고 구글의 바드<sup>Bard</sup>를 비롯해 마이크로소프트에서도 유사한 기술을 탑재한 빙<sup>Bing</sup>을 출시하면서 생성형 인공지능 간의 경쟁이 첨예해지고 있다. 이와 동시에 딥러닝의 아버지로 불리는 제프리 힌턴<sup>Geoffrey Hinton</sup>은 구글을 떠나면서 “AI챗봇의 위험이 매우 심각해질 것이며, 지금은 인공지능이 인간보다 지능적이지 못하지만, 조만간 인간을 초월할 수 있다”고 경고했다.

그런가 하면 챗GPT를 만들어낸 오픈AI의 CEO인 샘 알트만<sup>Sam Altman</sup>은 미 의회 청문회에서 새로운 AI 시스템을 규제해야 한다고 주장했다.

.....

## 디지털 휴머니티란 무엇인가?

전통적 휴머니즘의 의미에 포함되기 어려운 새로운 인간성 요소가 속속 등장하고 있다. 예를 들어 인간과 기계의 결합을 통해 인간 능력 향상<sup>human enhancement</sup>을 외치는 트랜스 휴먼 현상이 나타나는가 하면, 답페

이크나 음성 및 표정 관련 기술의 발달로 인해 디지털 휴먼이 등장하고, 인간과 인간처럼 이야기를 나눌 수 있고 더 나아가 감정적 소통까지 이뤄내는 챗봇이 우리의 휴대폰에 탑재되고 있다. 이에 따라 디지털 시대에 요청되는 새로운 휴머니티 혹은 디지털 휴머니티가 과연 무엇인지 생각해봐야 한다.

.....

### 로봇에게 새로운 윤리를 가르쳐야 할 때

생성형 인공지능은 인간과 유사하거나 인간을 뛰어넘는 지적 능력을 갖게 될 것이다. 그렇다면 인간은 왜 생성형 인공지능을 필요로 할까? 어쩌서 한쪽에서는 두려워하는 것을 다른 한쪽에서는 계속 업그레이드하는 것일까? 생성형 인공지능이 로봇에 탑재되어 우리 삶에 밀접하게 링크된다면 삶의 많은 부분은 지금과는 매우 다른 방식으로 나타날 것이다. 웨어러블로봇, 카봇, 티칭봇, 군사봇, 수술로봇, 돌봄로봇 등의 등장을 염두에 둔다면 앞으로 인간과 공존할 새로운 ‘인간 아닌 행위 주체(Non-person Agent)’와의 관계 설정에 대한 고려가 필요해진다. 인공지능과 로봇 기술이 발전하면서 인간과 유사하거나 인간의 지능을 뛰어넘을 만큼 자율성을 갖춘 인공지능로봇이 등장하고 있다. 이러한 인공지능로봇이 인간과 같은 자유의지를 지닌 자율적 존재로 자리매김하지는 않겠지만, 적어도 현상적 차원에서 자율적 주체처럼 행동할 수 있을 것이다. 이런 맥락에서 ‘위임된 자율성’ 혹은 ‘준자율성(Quasi-autonomy)’이라는 개념이 도출되기도 한다. 이러한 자율성은 인공지능로봇에게 윤리적 사고나 판단 시스템을 부여하려는 시도가 이뤄지면서 보다 강조되고 있다. 로봇이 윤리 추론 능력을 갖추면 로봇이 새로운

윤리를 학습하고 로봇의 도덕심을 개발하고, 심지어 자신만의 윤리 시스템을 진화시킬 수 있다고 생각할 수도 있다.

인공지능로봇이 인간과 공존하기 위해서 가장 중요한 것은 인공지능로봇의 윤리적 원칙을 설정하는 것이다. 그래서 인간의 존엄성과 인류의 공공선을 가장 중요한 핵심 가치로 제시하고, 이에 근거해 로봇의 행위 원칙과 그에 따르는 책임의 규정을 포괄하는 인공지능로봇의 윤리 4원칙을 제안하고자 한다.

.....

### 인간의 존엄성 존중과 공공선 실현

인간의 존엄성은 결코 상실될 수 없는 절대 가치이며, 인간과 인간이 아닌 존재를 구분하는 중요한 기준이다. 인공지능로봇이 지켜야 할 가장 최고의 원칙은 바로 인간의 존엄성을 존중하는 것이다. 이는 인공지능로봇이 인간의 존엄성을 해하거나 해할 가능성이 있다고 판단되는 명령은 거부할 수 있도록 설계되어야 함을 의미한다.

또한 로봇은 인간과의 관계에서 목적적인 지위보다 수단적 혹은 도구적 지위를 가진다는 것을 의미한다. 인공지능로봇에게 허용된 ‘준자율성’에 근거해 로봇에게

딥러닝의 아버지로 불리는 제프리 힌튼(Geoffrey Hinton)은 구글을 떠나면서 “AI챗봇의 위험이 매우 심각해질 것이며, 지금은 인공지능이 인간보다 지능적이지 못하지만, 조만간 인간을 초월할 수 있다”고 경고했다.





챗GPT를 만들어낸 오픈AI의 CEO인 샘 알트만<sup>Sam Altman</sup>은 미 의회 청문회에서 새로운 AI 시스템을 규제해야 한다고 주장했다.



## 인공지능로봇의 윤리 4원칙

**제1원칙** 인공지능로봇은 인간의 존엄성을 존중하고, 인류의 공공선을 실현하는 데 기여해야 한다.

**제2원칙** 인공지능로봇은 인간의 존엄성 존중과 인류의 공공선 실현의 범위 내에서 인간의 행복 실현에 기여해야 한다.

**제3원칙** 인공지능로봇은 위의 두 원칙을 위배하지 않는 범위 내에서 사용자의 명령을 수행해야 한다.

**제4원칙** 인공지능로봇은 설계 및 제작 목적에 부합하는 명령을 따라야 하며, 이 목적을 벗어나는 사용자의 명령을 거부할 수 있어야 한다.

목적적 지위를 부여해야 한다고 주장하면 인간의 존엄성과 상충되는 경우가 발생할 위험성이 있다. 인공지능로봇에 대한 수단적 대우와 목적적 대우의 문제는 군사용 로봇이나 수술용 로봇, 개인 서비스 로봇(소셜 로봇, 케어로봇, 반려로봇 등)이 도입되면서 AI 킬러로봇의 선제적 금지의 문제, 수술로봇의 의학적 대리인과 도덕적 대리인의 지위의 충돌 문제, 로봇과의 결혼 문제 등으로 실제로 나타나고 있는 실정이다. 또한 인공지능로봇은 인간을 목적적 존재로 대우해야 하며, 인간을 수단화하거나 도구화할 수 없다는 것을 의미한다.

인간의 존엄성 못지않게 중요한 가치는 바로 공공선이다. 인간의 존엄성을 위해 공공선을 해치는 경우가 발생한다면, 이는 차별적이고 폐쇄적인 존엄성이 될 것이다. 물론 역으로 공공선을 위해 인간의 존엄성이 침해되는 경우에는 집단주의 내지 전체주의적 공공선이 되어버리는 문제가 발생한다. 결국 인간의 존엄성을

존중하며 인류의 공공선을 침해하지 않는 범위에서 추구해야 하며, 물론 그 역도 마찬가지다. 즉, 인류의 공공선을 추구하되, 이것이 인간의 존엄성을 침해하지 않아야 한다. 공공선은 개인의 이익보다 국가와 사회 그리고 인류 전체를 위한 선의 개념인 것이다. 따라서 공공의 복지 혹은 공공의 이익을 뜻하며, 결과적으로 개인적인 선과 이익을 동시에 고려해 사회 전체의 공공복리와 복지를 실현하는 것이 공공선이다.

.....

## 인간의 행복 실현에 기여하는 로봇

제2원칙은 인공지능로봇이 인간의 행복 실현의 수단이라는 도구적 존재로서의 지위를 설명하고 있다. 인공지능로봇과 같은 비인간 행위자 Non-person Agent를 도구적 존재가 아닌 본래적 목적을 지닌 존재로 간주해서는 안 된다는 것이다. 인공지능로봇은 인간의 행복을 실현하기 위한 수단적 존재여야 하며, 이러한 의미를 넘어서서는 안 된다.

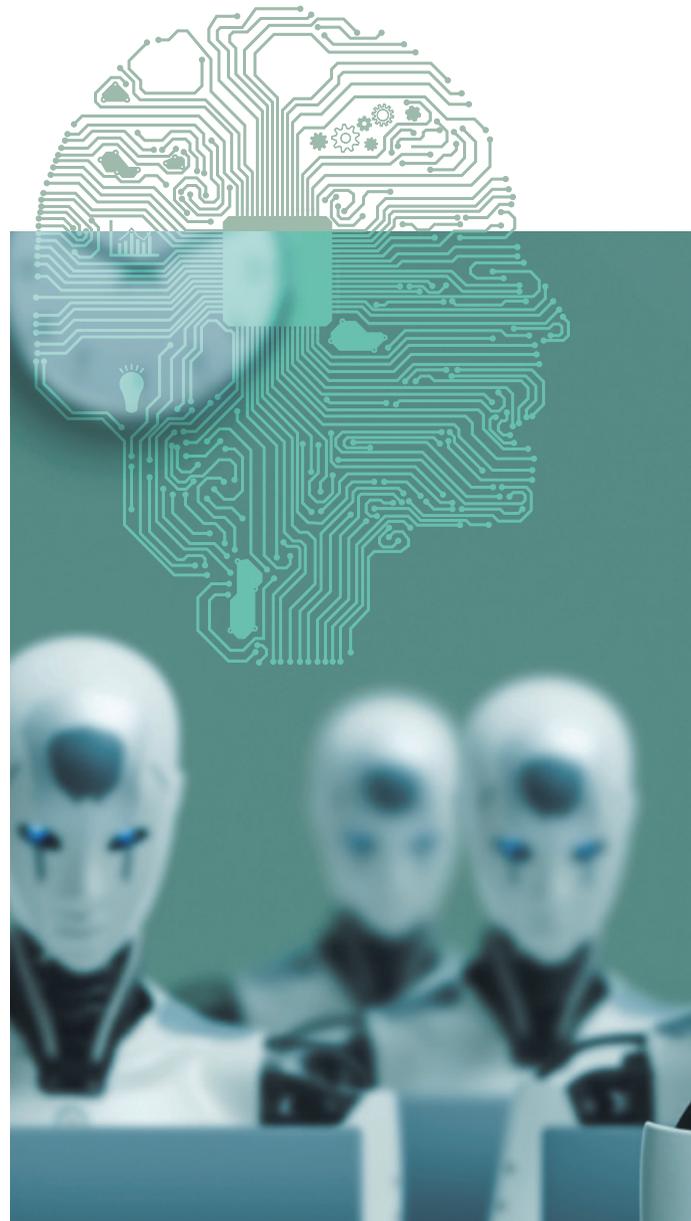
로봇이 사용자의 명령을 수행해야 한다는 제3원칙은 제1원칙과 제2원칙을 전제로 한다. 사용자의 명령이 사용자 자신이나 타인의 존엄성을 해치거나 공공선에 위배되는 명령일 경우 로봇은 이를 거부하거나 명령 수행을 중지해야 한다. 물론 여기서 존엄성과 공공선이라는 추상적인 개념은 구체화 작업을 필요로 한다. 예를 들어 킬러로봇과 케어 로봇의 경우 인간의 존엄성은 각각 다르게 조작적으로 정의되어야 한다. 전자의 경우 적군의 살상 정도와 민간인에 대한 조치라는 측면에서 구체적으로 명시되어야 한다면, 후자의 경우에는 개인의 프라이버시나 개인의 인권보호라는 측면에서 구체화될 수 있을 것이다.

.....

## 로봇 제작 목적에 맞게 사용해야 하는 책임

제4원칙은 로봇의 행위와 그에 대한 1차적인 책임을 규정하고, 로봇의 설계 및 제작자들이 져야 할 책임을 명시한다. 인간의 존엄성과 인류의 공공선을 해치지 않는 범위 내에서 인간의 명령을 수행하도록 로봇이 설계·제작되어야 한다. 현재의 기술적인 상황에서 보면 설계자와 제작자를 구분하지 않아도 되겠지만, 인공지능로봇의 활용이 일반화되면 설계자와 제작자를 구분해야 할 필요성이 제기되며, 이에 대해서는 보다 구체적인 윤리 원칙이 필요하다. 그리고 이 원칙에서는 로

봇 사용자의 책임을 두 가지로 구분하고 있는데, 로봇의 제작 목적에 부합해 사용해야 할 책임과 목적 외 사용에 대한 책임이다. 최근에 드러나는 드론이나 자율주행자동차의 부작용에 대한 문제(물카용 드론의 등장이나 자율주행차량의 폭탄테러 이용)를 고려해보면 사용자의 책임을 규정할 필요성이 정당화된다. 로봇이 인간 행위의 대리자로서의 성격을 갖는다 하더라도 책임 주체의 대리자가 될 수 없기에, 로봇의 설계 및 제작 그리고 사용과 관리에 대한 법적 책임을 명시해야 할 필요성이 있다.



.....

### 사람에게 미치는 영향이 큰 분야의 가이드라인 우선적 필요

인공지능로봇의 윤리 4원칙은 가장 기본적이며, 가장 상위에 있는 인공지능로봇의 윤리적 가이드라인으로 작용할 것이고, 이를 토대로 로봇의 분야별·기능별 하부 원칙이 체계화될 수 있을 것이다. 인공지능로봇의 윤리 원칙을 실제로 적용하려면 우선 윤리 원칙이 구체적인 개별 판단으로 이어질 수 있도록 이를 매개해 줄 수 있는 중간 수준의 원칙이 필요하다. 이를 위해서는 일반적인 원리와 규칙으로부터 행위의 옳은 과정을 연역해내거나 도출해내는 응용<sup>application</sup>, 특정 상황에서 우선성을 결정하기 위해 서로 상충하는 원칙 간의 조

정<sup>balancing</sup>, 그리고 상황적 맥락을 고려해 원칙의 의미, 영역 그리고 범위를 상세화<sup>specification</sup>하는 작업이 요청된다.

이러한 응용, 조정 그리고 상세화 작업을 위해서 우선적으로 인공지능로봇의 분야를 구분하고 분야별 특성에 적합한 가이드라인을 설정할 필요가 있다. 용도에 따라 산업용 로봇과 서비스 로봇(개인용 서비스와 전문 서비스 로봇)으로 구분될 수도 있겠지만, 자율주행자동차 분야나 의료·보건용 로봇 분야, 소셜로봇 분야 등과 같이 일반인에게 미치는 영향이 큰 분야별로 개발과 사용을 위한 가이드라인을 법적, 윤리적, 사회적 합의를 통해 마련하는 것이 시급하다.



변순용 서울교육대학교 윤리교육과 교수 현재 인공지능윤리 표준화 포럼 의장, AI 윤리 센터 센터장, 한국인공지능윤리학회 회장직을 맡고 있다. 주요 저서로는 <로봇윤리란 무엇인가>, <인공지능 윤리하다> 등이 있다.



한재권  
한양대 ERICA 로봇공학과 교수  
(주)에이로봇 최고기술책임자<sup>CTO</sup>



---

# 서비스 로봇 경쟁력 핵심은 콘텐츠

코로나19 이후 비대면·온라인 활동이 확대되면서 서비스용 로봇의 수요가 가파르게 증가하고 있다. 특히 인공지능<sup>A</sup>·빅데이터·클라우드 등 융합 기술이 접목되면서 로봇산업이 점차 고도화되고 있다. 서비스용 로봇 기술은 현재 어떤 수준이며, 성장 가능성은 어느 정도일까. 한재권 한양대 ERICA 로봇공학과 교수를 만나 이야기를 들어보았다.

word 김광균 photo 김기남

---

**Q** 교수님께서 국내 대표적인 로봇공학자로 알려져 있는데요. 현재 어떤 분야에 관심을 갖고 연구하고 있는지 간단히 소개 부탁드립니다.

저는 휴머노이드<sup>Humanoid</sup>(인간형 로봇) 관련 분야를 전공했습니다. 이족 보행 움직임도 연구하고 있지만 인간과 로봇의 상호작용에 대한 연구에 더 관심을 두고 있습니다. 인간형 로봇과 함께 살아갈 세상을 꿈꾸며 연구개발과 상업화에 힘쓰는 중입니다. 인간형 로봇에 관심을 갖는 이유는 인간형 로봇이 인간에게 편익을 가져다줄 수 있는 궁극의 솔루션이라고 보기 때문입니다. 과거에는 디지털카메라, MP3 플레이어, 전화기를 따로 썼지만 스마트폰으로 통합되면서 혁신을 가져왔듯이 휴머노이드가 제2의 스마트폰이 될 것이라고 생각합니다.

**Q** 로봇산업은 그동안 산업용 로봇을 중심으로 발전해왔다면 최근 서비스용 로봇으로 중심이 옮겨가고 있습니다. 이러한 현상과 흐름을 어떻게 생각하는지 궁금합니다.

과거에 제조용 로봇은 사람과 동떨어져 있을 수밖에 없었습니다. 안전상의 문제 때문입니다. 하지만 로봇이 인간에게 해를 가하지 않고 안전하다는 게 기술로 입증되면서

인증받은 로봇에 한해 인간과 함께 일할 수 있도록 법이 바뀌었습니다. 그렇게 되자 이제 서비스용 로봇이 쓰이기 시작했습니다. 기술의 발전과 제도의 변화가 맞물린 것이죠. 이제 우리가 지금까지 상상해왔던 것을 실현해내고 있는 중입니다. 로봇은 인간이 하기 싫고 귀찮아하는 일을 대신하기 위해 만들어진 존재인데 그게 어디 공장에서만 쓰이겠습니까. 일상생활에서도 역할이 많겠죠. 예전에는 상상만 했던 것들이 이제 기술과 제도가 뒷받침되면서 현실화되는 시대에 접어든 것입니다.

**Q** 서빙로봇이나 청소로봇 등의 등장으로 로봇이 점차 우리의 일상에 깊숙이 파고들었다는 느낌이 듭니다. 로봇의 역할과 종류도 갈수록 다양해지고 있는데 어느 정도 수준까지 로봇의 역할을 생각해볼 수 있을까요?

기술적으로는 뭐든 할 수 있습니다. 문제는 기술이 아니라 비용입니다. 현재로선 바퀴를 달아 움직이게 하는 정도면 상업적으로 수지 타산이 맞습니다. 특히 지난 11월 17일부터 ‘지능형 로봇법 개정안’이 시행되면서 로봇이 보행자 지위를 얻게 되어 인도로 다닐 수 있게 됐습니다. 배송이나 물류 등도 로봇을 통해 할 수 있는 시대가 열린 것이죠. 내년에는 로봇으로 물건을 주고

받는 것이 보다 자연스러워지는 해가 되리라고 예상합니다. 로봇에 대한 인식도 훨씬 긍정적으로 변화할 것이고요. 로봇과 함께 거리를 다니는 세상이 올 것이고 좀 더 다양한 상상이 가능해질 겁니다.

**Q** 로봇은 4차 산업혁명의 핵심 기술로 꼽히고 있고, 세계적으로도 로봇산업에 대한 투자와 기술력 축적 및 시장 선점을 둘러싼 경쟁이 치열해지고 있습니다. 이처럼 로봇 관련 기술개발에 전 세계가 주목하는 이유는 무엇인가요?

기업들은 계속 성장해야 합니다. 그러려면 성장 동력이 있어야 해요. 현재 많은 시도가 이뤄지는 것을 보면 기업들이 로봇을 차세대 동력으로 삼고 있다는 생각이 듭니다. 로봇 시대가 오고 있다고 판단하는 거죠. 실제로 인공지능<sup>A</sup>이나 로봇 부품·소재 기술이 크게 향상되기 시작했어요. 수익을 낼 수 있는 단계까지 왔고요. 새로운 성장 동력이 될 것이라는 전망 속에서 기업들이 블루오션을 차지하기 위해 투자에 나서고 있는 상황입니다. 자본주의 사회에서 자본이 움직이는 곳이 곧 미래라고 볼 수 있겠죠.

**Q** 서비스용 로봇의 경우 현재 시장 규모는 어느 정도인가요? 과연 어느 수준까지 성장할 수 있으리라 전망하시는지 궁금합니다.

서비스용 로봇 시장 규모는 통계에 따라 다르지만 이제 조 단위는 넘어갔습니다. 중요한 건 성장률입니다. 연간 성장률이 20%를 넘는 경우가 많습니다. 어떤 기술이 한 해 20%씩 꾸준히 성장할 수 있을까요? 이처럼 성장률이 높은 신기술이라면 주목할 만한 거죠. 2030년이 되면 100조 원이 넘는 시장으로 성장할 것으로 예측됩니다. 서비스용 로봇뿐 아니라 협동로봇, 제조용 로봇까지 더하면 시장 규모는 훨씬 큼니다. 서비스용 로봇과 제조용 로봇 등 전체 로봇 시장은 이차전지와 비슷한 규모로 성장하고 있다고 볼 수 있습니다.

\*한국로봇산업진흥원이 발표한 '2021년 로봇산업 실태조사'에 따르면 국내 로봇산업 매출 규모는 전년 대비 2.5% 증가한 5조6083억 원이었다. 이 가운데 산업용이 2조8740억 원으로 전체의 절반을 차지했으며, 서비스용 로봇은 9076억 원을 기록했다. 또한 한국산업기술진흥원에 따르면 전 세계 로봇 시장 규모는 2021년 332억 달러(약 44조1000억 원)로 추산된다.

**Q** 서비스용 로봇의 기술력은 현재 어느 수준까지 발전했으며, 국내 로봇산업의 기술 수준은 어느 정도라고 판단하시나요?

바퀴로 이동시킬 수 있는 로봇의 경우 상업화 단계까지 쉽게 실현할 수 있는 수준입니다. 그러나 기술이라는 것은 실현 가능 여부보다 얼마나 저렴하게 구현할 수 있느냐, 즉 비용 문제가 더 중요합니다. 로봇에 관철이 들어가는 순간 수지 타산이 맞지 않습니다. 그래서 저렴한 비용으로 관철 필수 부품을 구현할 수 있는 기술개발이 활발하게 이뤄지고 있습니다. 사실 로봇은 부품·소재 산업이 뒷받침돼야 하는데 우리나라는 부족한 상황입니다. 우리 산업은 다른 국가에서 부품을 구입해 완제품을 만드는



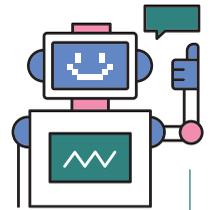
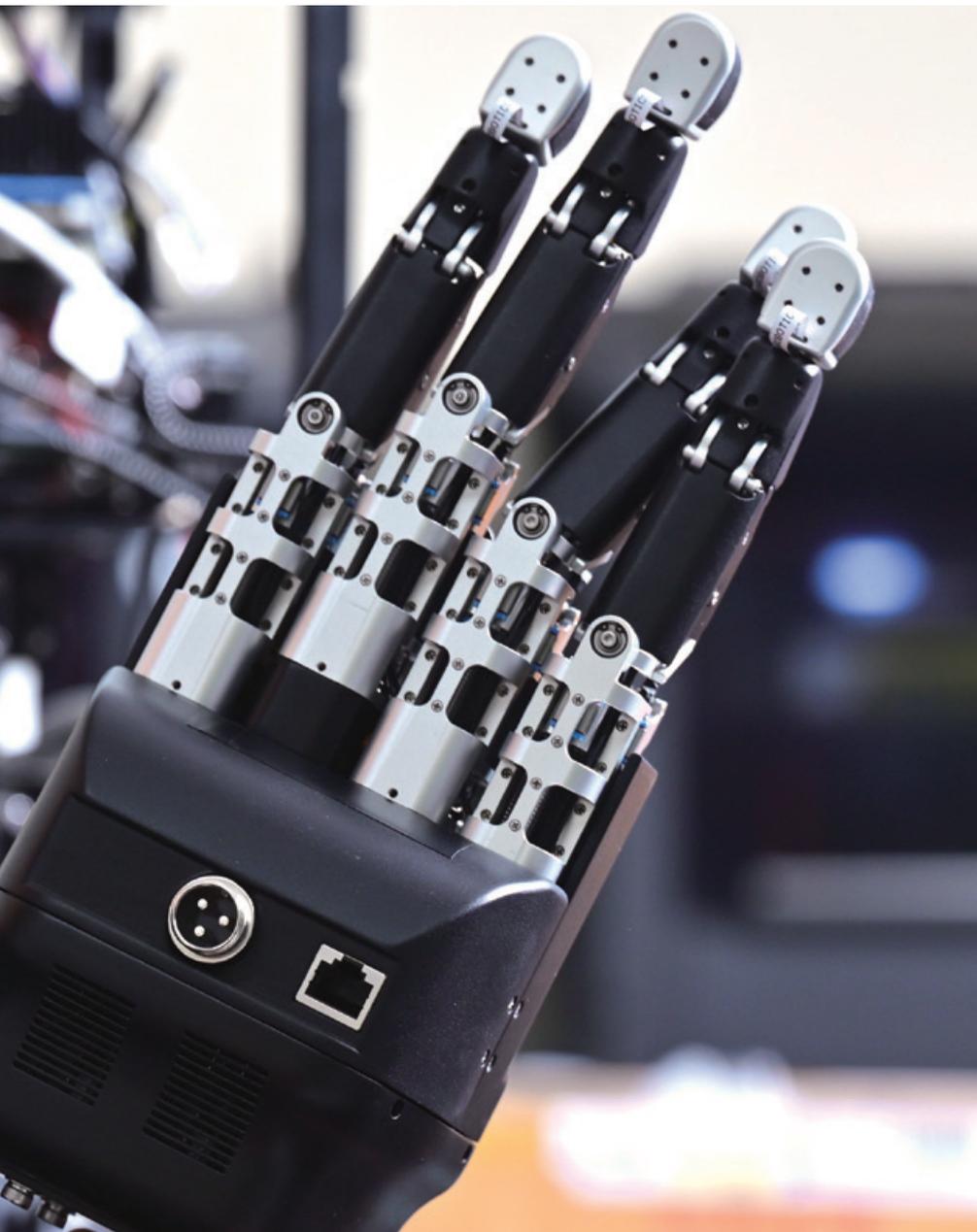
인공지능의 발달과 더불어 인간의 형상을 한 휴머노이드 로봇도 점차 현실화되고 있다.

형태입니다. 로봇산업도 그런 식으로 접근해왔는데 부품을 잘 만드는 나라에서 완제품까지 제대로 생산하면 경쟁력에서 뒤처지게 마련이죠. 일본, 독일, 스위스 등의 국가들이 원가경쟁력과 품질 우수성을 기반으로 시장을 넓혀가고 있습니다. 미국의 경우 AI를 중심으로 로봇산업을 활성화해 경쟁력을 갖게 됐습니다. 우리 정부도 부품·소재 기술개발에 많은 지원을 하고 있지만 좀 더 빠르게 따라잡을 필요가 있다고 봅니다.

Q 서비스 로봇산업이 한 단계 높은 수준으로 도약하거나 시장이 보다 활성화되려면 어떠한 요소가 전제되어야 할까요?

이른테면 기술개발, 비용 효율, 안전성 등의 측면에서 극복해야 할 점이 있을까요?

상업적으로는 비용이 먼저고, 그다음이 콘텐츠입니다. 같은 로봇이라도 콘텐츠가 우수한 로봇이 매력적이죠. 물론 디자인도 중요하고요. 기술력이 비등한 수준이라면 콘텐츠 경쟁력이 중요해질 것이고, 사람의 감수성을 자극할 수 있는 콘텐츠가 필요하다고 봅니다. 아직 먼 이야기일 수도 있지만 지금부터 대비해야 하지 않을까 싶습니다. 우리가 강점을 가질 수 있는 요소도 이 부분이라 생각해요. 우리는 늘 자본과 규모 면에서 열세를 보였지만 이를 콘텐츠로 극복해왔거든요. 이른테면 로봇이 움직인다



같은 로봇이라도 콘텐츠가 우수한 로봇이 매력적입니다. 물론 디자인도 중요하고요. 기술력이 비등한 수준이라면 콘텐츠 경쟁력이 중요해질 것이고 사람의 감수성을 자극할 수 있는 콘텐츠가 필요하다고 봅니다.



한재권 교수와 학생들이 제작 중인 로봇 팔 일부를 살펴보며 이야기를 나누고 있다.

는 것은 굉장히 매력적인데 어떻게 움직이느냐 하는 점이 중요합니다. 우리가 원하는 동작을 구현해낸다면 그것이 곧 경쟁력으로 이어집니다. 로봇이 사람을 대할 때 친근감을 자아내는 동작, 표정, 대화는 물론 로봇이 이동할 때 사람을 얼마나 배려하는지 등도 콘텐츠의 영역에 포함될 수 있습니다.

**Q** 로봇 기술과 산업의 성장은 우리의 삶과 산업에 어떤 변화를 가져오게 될까요? 어떤 미래를 예상할 수 있을까요?

고용시장에 큰 변화가 생길 것이고, 인간의 일이라 생각했던 영역이 점점 로봇의 일로 바뀌어 가겠죠. 이는 많은 사람들이 두려워하는 문제입니다. 논리적으로만 보면 로봇이 사람의 일을 하게 되니 일자리가 사라지고 실업자가 늘어난다고 볼 수 있지만 반드시 그런 것만은 아니라고 생각합니다. 현장에서 갈수록 일할 사람이 부족하고 일할 사람도 구하기 힘든 추세입니다. 저출생 문제가 심화되면서 생산 인구가 급격히 줄고 있어요. 오히려 서비스형 로봇이 인력난을 해결하는 데 도움이 될 수 있다고

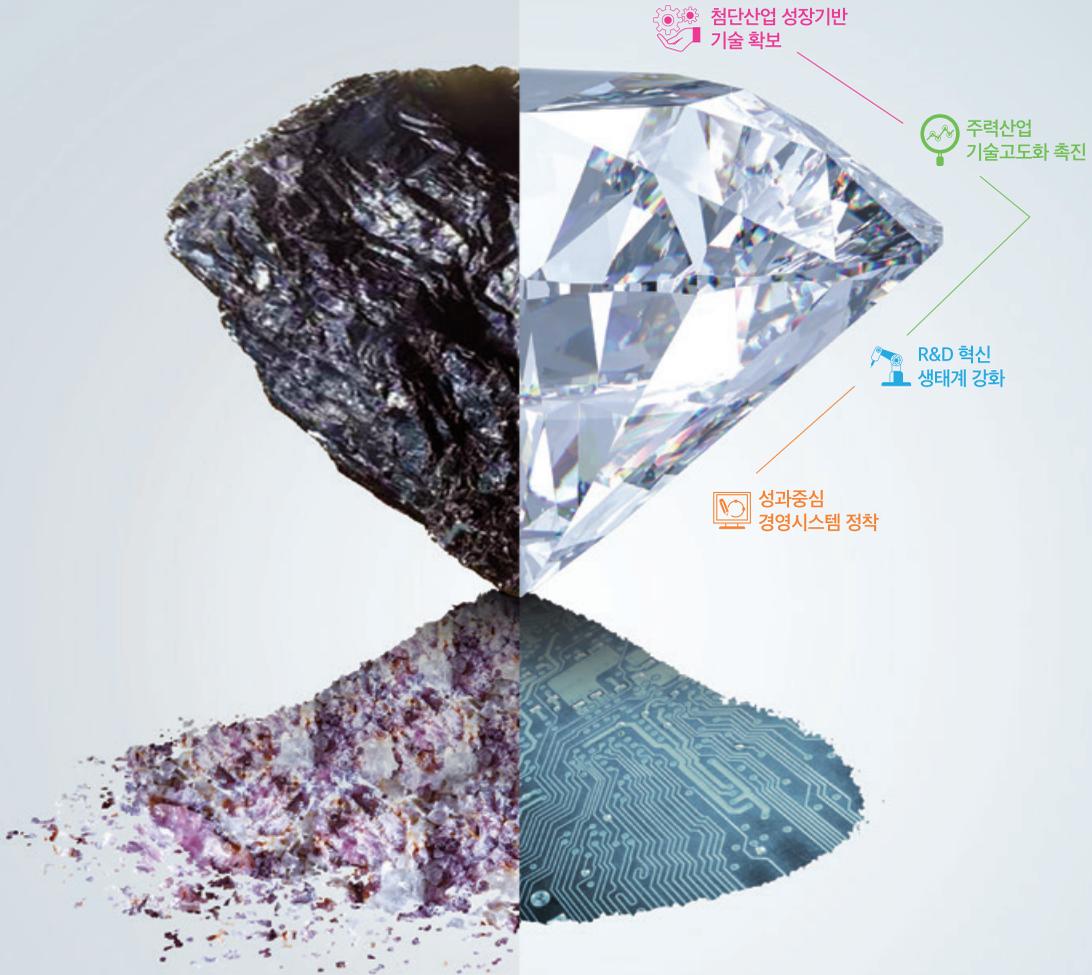
봅니다. 이와 더불어 로봇이 일상화될 때 로봇을 함부로 대하지 않는 태도도 필요하다고 봅니다. 로봇에 대한 부정적인 감정으로 인해 로봇을 적대시함으로써 안전사고나 재물손괴 등이 발생할 가능성이 있거든요. 로봇을 인간의 삶에 적극 받아들이고 평화롭게 공존할 수 있는 사회가 됐으면 합니다.

**Q** 향후 국내 로봇산업이 경쟁력을 확보하려면 정책 지원도 절실할 텐데요. 어떤 것들이 필요하다고 보시나요?

우선 사회적으로 로봇을 적극적으로 사용할 수 있도록 규제를 완화해야 합니다. 그다음으로 시범 서비스를 잘할 수 있도록 정부와 지자체가 제도적으로 뒷받침을 해야 한다고 봅니다. 로봇을 상용화하려면 일정 기간 테스트를 해보고 문제점을 개선하는 과정이 필요합니다. 실제로 제한된 공간에서 로봇을 사용해보고 문제점을 파악해 이를 개선하는 작업이 로봇 상업화의 마지막 단계거든요. 이 과정에서 정부와 지자체의 적극적인 지원이 필요합니다.

# NEWVOW

새로움에서 — 놀라움으로



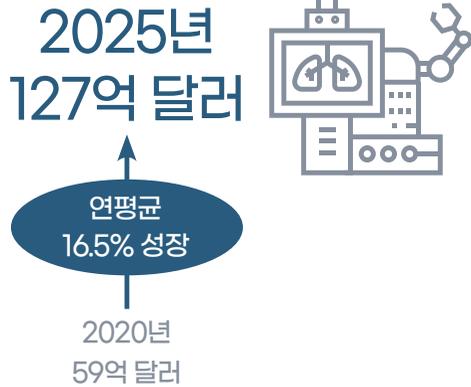
기술의 시작은 숨은 원석이지만  
KEIT의 과정을 거치면 가치있는 보석이 됩니다  
과제 수행부터 신기술 개발까지  
좋은 가능성을 찾아 성장시키는 일 -  
KEIT가 R&D의 가치를 빛나게 합니다



전 세계적으로 의료용 로봇에 대한 관심이 높아지면서 활용도 역시 중요한 문제로 부각되고 있다. 한국과학기술정보연구원 자료에 따르면 의료용 로봇의 세계 시장 규모는 2020년 59억 달러에서 향후 연평균 16.5%씩 성장해 2025년 127억 달러까지 확대될 것으로 전망된다. 글로벌 의료로봇 시장의 과거와 현재, 그리고 인튜이티브 서지컬<sup>Intuitive Surgical</sup> 등 혁신적인 성과를 내고 있는 글로벌 로봇 기술과 앞으로 만나게 될 의료 시장의 변화를 살펴본다.

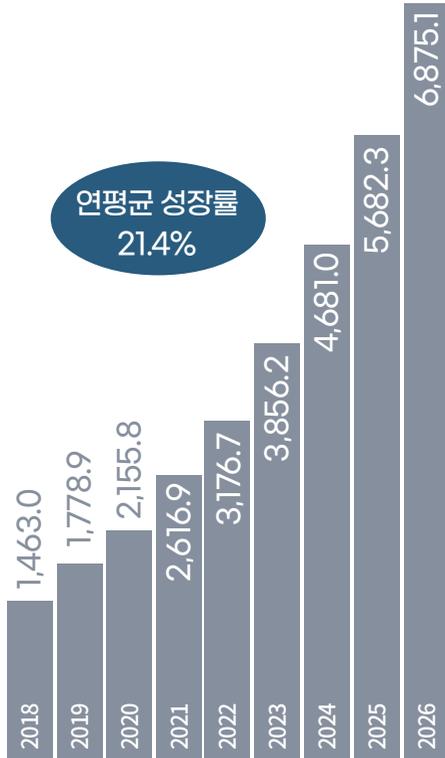
# 사람을 살리는 닥터로봇

## 의료로봇 시장 성장률



자료: 한국과학기술정보연구원

## 세계 수술로봇 시장 규모 및 전망



단위: 백만 달러

자료: 글로벌 인더스트리 애널리스트

## 일상에 스마트 로봇 기술

과거의 로봇 기술은 자동차를 생산하는 공장 등 산업용 로봇에서 주로 볼 수 있었다. 하지만 다양한 분야에서 로봇에 대한 수요가 증가하면서 로봇 기술은 일상생활에서 점점 중요한 역할을 하며 사람들에게 편의를 제공하고 있다. 가정에서는 로봇이 바닥을 청소하고, 농업 분야에서는 드론로봇이 농작물을 감시하고 비료를 주며, 커피를 제공하는 바리스타로봇이나 치킨을 튀겨주는 조리용 로봇, 자율주행 배송로봇, 사람과 상호작용하는 반려로봇 등 그 종류는 무궁무진하게 많다. 의료 분야에서도 닥터로봇이 진단과 치료에 참여하며 의료서비스에 혁신을 가져오고 있다.

## 닥터로봇이란 무엇인가

닥터로봇은 의료 분야에서 사용되는 로봇으로 수술로봇, 재활로봇, 그리고 다양한 의료서비스 로봇으로 구성된다. 환자의 고통과 회복 기간을 줄여주는 최소침습수술(전통적인 개복수술에 비해 훨씬 작은 구멍을 내고 내시경이나 수술도구를 삽입해 수술하는 방법)의 발전으로 의사들은 새로운 수술 기법을 개발했고, 새로운 수술도구를 필요로 하게 되었다. 이에 대응해 수술로봇이 등장했고, 중재시술로봇, 수술보조로봇 등 다양한 관련 로봇이 개발되고 있다. 재활로봇은 다양한 신체 부위의 기능을 개선하고 재활에 도움을 주기 위한 것으로, 보행 보조를 돕는 재활로봇, 근육 강화나 팔, 손 등의 재활을 돕는 로봇이 있다. 기타 의료서비스 로봇은 그 밖의 의료와 관련된 다양한 로봇이 포함된다. 환자를 들어올리거나 이송해주는 돌봄로봇, 환자의 일상 기능을 보조해주는 식사보조로봇, 배설로봇, 또 환자를 모니터링해주는 로봇, 원격진료나 상담을 위한 텔레프레즌스<sup>1</sup> Telepresence<sup>1</sup> 로봇, 의약품 제조와 분배 로봇, 병원 안내 로봇 등이다.

## 로봇은 왜 의료에 참여하기 시작했을까?

로봇은 정밀하고 정확한 치료를 가능케 한다. 최소침습수술에서는 사람 손으로 직접 도달할 수 없는 환부를 수술한다. 기존의 개복수술은 의사가 직접 환부를 보고 만지며 수술했지만, 최소침습수술에서는 의사의 '새로운 눈(내시경, MRI와 같은 영상장치)'과 '새로운 손(길고 가는 수술도구 일체)'이 필요하게 되었다. 의사들은 이에 적응하며 최소

<sup>1</sup> 참가자들이 실제로 같은 방에 있는 것처럼 느낄 수 있는 가상 화상회의 시스템. 실제로 상대방과 마주하고 있는 것 같은 착각을 일으키게 하는 가상현실(디지털 디스플레이) 기술과 인터넷 기술이 결합된 영상회의 시스템이다.

침습수술을 수행한다. 하지만 좀 더 정확하고 효율적인 방법을 고민해야 했다. 이때 등장한 게 수술로봇이다. 수술로봇을 이용하면 기존의 수술도구로 접근이 어려운 부분까지 닿을 수 있고, 보다 정밀하고 정확한 수술이 가능해진다. 의사가 조종장치를 조작하면 그에 따라 내시경과 수술도구가 움직이는 방식인데, 스케일 다운<sup>②</sup> 기능을 이용하면 의사가 10mm를 이동했을 때 수술도구는 1mm를 이동하게 되는 방식이다. 기존에 작업이 매우 어려웠던 미세 혈관의 봉합 등이 가능하게 된 것이다.

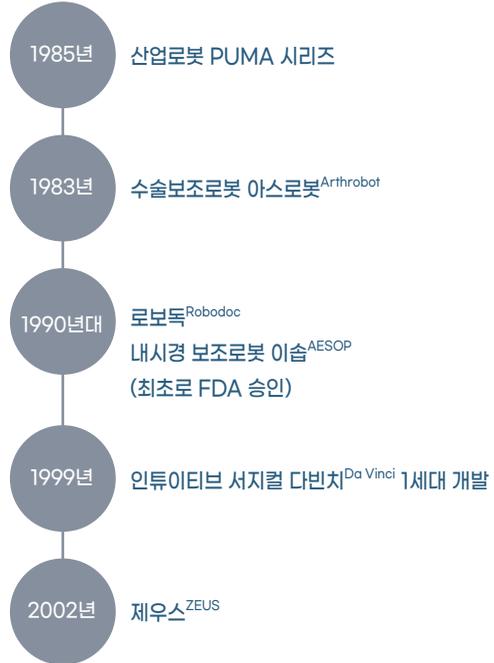
로봇은 성실하고 강건하다. 환자의 재활을 돕는 것은 많은 체력이 요구되는 일이다. 또한 고도한 작업이 요구되기도 하지만 단순 반복 작업이 필요한 환자 돌봄 분야도 있다. 로봇은 지루하거나 반복적인 업무도 효율적으로 수행할 수 있다. 재활로봇이나 돌봄로봇은 이를 도와 주며, 의료진은 보다 중요한 업무에 집중할 수 있다. 또한 항암제 조제나 방역 같은 사람에게 해로울 수 있는 작업을 안전하게 대신해줄 수 있는 게 로봇이다.

### 닥터로봇의 역사와 현재

닥터로봇은 언제 탄생했을까? 방대한 분야이기에 하나의 지점을 특정하기는 어렵지만, 1985년경 산업용 로봇인 PUMA가 뇌 조직검사에 사용된 예를 꼽을 수 있다. 또한 1980년대에는 수술보조로봇인 아스로봇이 개발되어 이미 목소리로 로봇을 조작할 수 있었고, 수술도구를 의사에게 제공하는 등의 수술 보조 역할을 했다. 이후 1990년대에는 현재 우리나라 회사가 소유하고 있는 정형외과 수술로봇 로보독<sup>Robodoc</sup>이 개발되었고, 최초로 FDA 승인을 받은 내시경 보조로봇인 이숍<sup>AESOP</sup>이 개발되기도 했다. 또 2002년에는 제우스<sup>ZEUS</sup> 수술로봇을 이용해 뉴욕의 의사가 프랑스 스트라스부르의 환자를 수술하는 원격 수술에 성공했다.

하지만 수술로봇이 실제 널리 사용된 것은 역시 인튜이티브 서지컬 Intuitive Surgical<sup>®</sup>의 다빈치 로봇이다. 1994년경 미국에서 개발되었고, 이숍<sup>AESOP</sup>, 제우스<sup>ZEUS</sup> 등을 개발한 회사를 합병하며 2000년대에는 전립선수술을 포함한 복강경수술에 활용되기 시작했다. 한국의 열리어닥터 의사들은 다빈치 수술로봇을 적극적으로 도입해 다양한 활용 가능

### 닥터로봇의 역사



다빈치<sup>Da Vinci</sup>



이숍<sup>AESOP</sup>

- ② 의사가 조작장치를 10mm조작했을때 수술도구는 1mm 이동하게 되어 보다 정교한 작업이 가능한 기능
- ③ 수술로봇을 개발하는 글로벌 기업으로 1990년대 다빈치 로봇을 개발했다. 2020년 기준 수술로봇 시장 점유율 70%, 복강경 수술로봇 분야 점유율은 99%에 가깝다.



1990년대 다빈치 로봇을 개발한 인튜이티브 서지컬은 현재 세계 수술로봇용 시장을 장악하고 있다.

성을 모색했고, 이후 20년 정도 세계시장을 주도했다. 하지만 2020년대에 들어 다빈치의 주요 특허가 만료되며 존슨앤존슨, 구글, 메드트로닉 등 세계적인 기업들이 수술로봇을 개발하기 시작했다. 또한 한국의 미래컴퍼니에서도 레보아이 수술로봇을 개발했고, 일본의 히노토리 수술로봇, 그 밖에도 신생 기업들이 대거 수술로봇을 개발했다. 현재 일부 로봇이 실제 사용되고 있긴 하지만, 아직은 다빈치 수술로봇이 독점적 위치를 차지하고 있고, 앞으로 더욱더 치열한 경쟁이 예상된다.

재활로봇이나 돌봄로봇 등 기타 의료로봇의 역사는 수술로봇에 비해 더 세분화되어 있다. 1980년대 이전에는 간단한 보행 보조나 팔의 움직임을 지원하는 수준이었지만, 이후 로봇이 환자의 움직임을 감지할 수 있는 센서와 제어시스템의 발전으로 보다 정교한 로봇이 개발되었다. 2000년대 이후에는 고령화 현상이 먼저 시작된 일본을 중심으로 다양한 돌봄로봇이 개발되기 시작했고, 한국에서도 관련 로봇 개발이 정부의 지원을 받아 활발히 이루어지고 있다.

### 닥터로봇, 앞으로 어떻게 진화할 것인가

최근 신기술의 가장 큰 화두는 단연코 인공지능<sup>A</sup>이다. 닥터로봇에도 인공지능이 더해지며 더욱 강력한 기능을 발휘할 것으로 전망된다. 수술로봇은 인공지능을

겸비해 의사에게 보다 증강된 눈, 손, 판단력을 제공할 것이다. 기존에 판독하기 어려웠던 환부를 미리 판독해 알려주고, 발전된 로봇 기술로 기존에 접근하기 어려웠던 깊숙한 환부에 접근해 유연하게 동작하는 수술도구로 수술을 할 수 있게 될 것이다. 더 나아가서는 로봇이 알아서 집도, 봉합을 해주고 의사는 관리감독만을 하는 날이 올지도 모른다. 재활로봇도 인공지능이 환자의 보행 상태를 판별해 환자 개개인에게 적합한 맞춤형 재활 프로그램을 생성할 것이다. 돌봄로봇 또한 사용자 개인의 취향을 기억하고 더욱 집중해야 하는 부분을 사용자에게 제공하는 등 의료 분야에서도 개인 맞춤형 비서가 등장할 날이 머지않았다.

닥터로봇은 전 세계적으로 주목받으며 그 활용이 점차 확대되는 추세다. 닥터로봇은 수술, 재활, 돌봄 등 다양한 분야에 적용되고 있으며, 향후 인공지능과의 접목, 로봇 기술의 발달로 더욱 뛰어난 성능과 맞춤형 서비스를 제공할 것으로 기대된다. 이는 의료 현장의 혁신과 환자 치료에 크게 기여할 것이다. 고령화사회가 가속화되며 사회적 문제로 대두되는 지금, 닥터로봇은 앞으로의 도전과 경쟁에도 불구하고 인간의 삶의 질을 향상시키는 중요한 역할을 수행할 것으로 예상된다.



김계리 한국과학기술연구원 AI로봇연구소 책임연구원 서울대학교 정밀기계설계공동연구소 연구원, 일본 내셔널 센터 포 헬스 앤 디벨롭먼트 연구원 등을 지냈으며, 현재 한국과학기술연구원 책임연구원과 UST 과학기술연합대학원대학교 부교수로 재직 중이다.



침울한 경제 전망과 더불어 4차 산업혁명의 기술 경쟁이 더욱 첨예해질  
2024년 모두의 관심이 집중될 7가지 산업 분야를 소개한다.



2024년  
산업 트렌드

**BIG 7**

그 어느 해보다 다사다난했던 계묘년<sup>癸卯年</sup>이 저물고 청룡의 해인 갑진년<sup>甲辰年</sup>이 열렸다. 엔데믹 시대의 실질적인 첫해를 맞아 세계적인 예측기관이 내놓은 세계 경제 전망을 보면 코로나19 사태 이전으로 돌아가기보다 또 다른 디스토피아 문제로 커다란 어려움이 닥칠 것으로 내다봤다.

산업적인 면에서는 코로나19 사태로 잠시 주춤했던 4차 산업혁명에 대한 논의가 다시 활발하게 전개될 것으로 예상된다. 세계 경제포럼<sup>WEF</sup>의 창시자인 클라우스 슈밥은 앞으로 화려하게 꽃피울 4차 산업혁명의 주도권 확보 여부에 따라 미국과 중국 간 경제 패권 다툼뿐만 아니라 각국의 운명이 좌우될 것으로 예측했다.

산업혁명	1차 	2차 	3차 	4차 
발생 시기	1784~	1870~	1969~	2015~?
혁신 분야 및 기술	증기의 동력화	분업, 전기 에너지를 활용한 대량 생산	전자기기 보편화	인공지능, 빅데이터 ICT와 제조업의 융합
생산방식	기계 생산	컨베이어벨트 도입, 대량 생산	공작기계 자동화	디지털 기기, 인간, 물리적 환경의 융합
커뮤니케이션	책, 신문, 전신	전화, 라디오, 텔레비전	인터넷, SNS	사물인터넷
교통	철도	자동차, 항공기	고속철도	무인자동차, 우주항공산업
주요 에너지	석탄, 철	석탄, 석유 등 화석연료	원자력에너지 재생 가능 에너지	환경친화적 에너지 관심 확산



### #1 인간 지능을 위협하는 인공지능

4차 산업혁명 시대를 맞아 미래 유망 기술로 가장 많이 거론되고 폭넓은 공감대가 형성되고 있는 분야는 인공지능<sup>Artificial Intelligence, AI</sup>이다. 챗GPT를 통해 이미 실감하고 있지만 인공지능이란 인간성, 지성, 학습 능력, 추론 능력 등 인간의 두뇌 작용을 컴퓨터 혹은 기계가 스스로 △추론 △학습 △판단하면서 행동하는 시스템을 말한다.

인공지능의 개념은 제2차 세계대전 전후로 경제, 공학, 수학, 물리학 등 다양한 학자들 사이에서 처음 논의되기 시작했다. 이 중에서도 1950년 영국의 수학자 앨런 튜링이 발표한 ‘계산기와 지

능’과 리처드의 ‘인간과 컴퓨터의 공생’ 논문은 현대 인공지능 연구의 시초가 된 것으로 알려져 있다.

인공지능 기술개발은 상상하지 못할 속도로 빨라질 것으로 예상되며 국민 생활에도 커다란 변화를 초래할 것으로 보인다. 수많은 임상 정보가 축적되는 의료서비스나 설 새 없는 거리가 이루어지는 금융 등 산업별로 적용 속도와 수준에는 차이가 있지만 궁극적으로는 인공지능이 인간의 역할을 대체해나갈 것이다.

### #2 기하급수적으로 성장할 휴머노이드 로봇 Humanoid Robot



로봇 기술은 산업 생산과 전문 서비스 분야에서 두루 활용되며 인류 사회와 경제 발전에 커다란 영향을 미치고 있다. 로봇의 실용화는 1962년 GM이 자동차 생산에 산업용 로봇을 투입했던 것을 시작으로 인간에게 어렵거나 위험한 일을 대신해왔다. 현대 제조업에서 산업용 로봇은 높은 작업 속도, 힘, 정밀도 등의 강점을 바탕으로 자동화 생산을 가능케 해 4차 산업혁명을 견인하는 등 생산과 경제 구조에 큰 변화를 이끌어왔다. 코로나19 사태 이후에는 시각 인식 기능, 다기능 센서 등의 기술이 접목돼 비정형적 업무와 다양한 산업에도 활용 가능성이 확대되는 추세다.

2020년대 로봇 시장의 성장 가능성은 무한한 것으로 평가된다. 세계로봇연맹<sup>IFR</sup>은 2020년부터 2030년까지 로봇 시장은 연평균 10% 이상 급성장할 것으로 전망했다. 이 중 산업용 로봇은 연평균 9%, 전문 서비스 로봇은 5%, 개인 서비스 로봇은 25% 증가할 것으로 내다보고 있다.



### #3 양자컴퓨터 Quantum Computer 어디까지 발전될까?

미국 항공우주국<sup>NASA</sup>과 구글이 공동으로 양자컴퓨터 ‘D-Wave 2X’의 실물과 연구 시설을 공개해 전 세계를 깜짝 놀라게 했던 적이 있다. ‘D-Wave 2X’는 머신러닝과 음성인식, 자연어처리를 위한 방대한 데이터를 분석할 수 있고, 싱글 코어 칩을 활용하는 일반 컴퓨터에 비해 최소한 1억 배 이상 빠른 속도로 처리가 가능하다.

양자컴퓨터는 ‘0’과 ‘1’ 두 상태 중 하나만을 선택해 만들어지는 숫자 조합인 이진법 비트<sup>Bit</sup> 단위로 정보를 처리하는 기존 컴퓨

터와 다르다. ‘0’과 ‘1’이 결합된 중첩 상태에서 형성되는 큐비트(Quantum Bit, Qubit) 단위를 기반으로 훨씬 방대한 양의 데이터를 빠른 속도로 처리할 수 있는 컴퓨터다.

2020년대 들어 양자컴퓨터가 상용화되면 기존의 일반 컴퓨터는 물론 슈퍼컴퓨터로도 처리할 수 없었던 △인공지능<sup>AI</sup> △재료 과학 △유전자 배열 △우주 시뮬레이션 등 다양한 분야에서 빅데이터 계산이 가능하게 됐다. 이에 따라 오랫동안 이어져온 인류와 과학의 수수께끼도 하나둘씩 풀리고 있다.

양자컴퓨터 기술이 상용화와 보급되기까지 상당한 시간이 걸릴 것이라는 예상을 깨고 빠르게 진전되는 추세다. △주변의 전기장, 자기장, 진동에서 철저히 격리시켜야 하는 과제와 △데이터 처리장치인 양자컴퓨터 칩이 15밀리켈빈(우주의 온도인 2.7켈빈(섭씨 -270.45도)보다 180배 차가운 온도)에서 작동하는 난제가 풀리고 있기 때문이다.

#### #4 기업이 주도하는 우주전쟁



코로나19 사태를 계기로 우주발사체(Space Launch Vehicle) 역시 빠르게 대중화되고 있다. 현대 우주산업 발전은 제2차 세계대전이 끝난 이후 미국의 자본주의 진영과 소련의 공산주의 진영 간 갈등이 심화됐던 냉전 당시 미국과 소련이 △군사적 우위 선점 △국력 과시 △정치적 목적으로 우주산업에서 경쟁을 펼쳐오던 것에서 시작됐다.

1990년 베를린장벽이 무너지고 소련이 붕괴되면서 냉전 시대가 끝나자 우주산업은 군사적 목적보다 경제적 부가가치를 창출하기 위해 산업화 투자가 지속적으로 확대돼왔다. 우주산업은 △항공산업 △방송·통신 산업 △자원 개발 산업과 긴밀한 연관성이 있어 경제적 파급효과가 크기 때문이다.

주목해야 할 것은 갈수록 우주산업은 구글, 스페이스X 등 민간 기업과 기업인이 주도하는 프로젝트로 확산되는 움직임이다. 가장 주목받고 있는 프로젝트는 우주탐사로봇을 달 표면에 착륙시켜 500m 이동시키고 동영상을 촬영해 지구로 전송하는 임무를 수행하는 것이다. 최근에는 화성에서도 이착륙이 가능한 단계까지 왔다.

페이팔, 테슬라로 인터넷과 전기차 사업에서 성공을 거둔 일론 머스크가 2002년 설립한 스페이스X는 대형 로켓을 대상으로 우주발사체 회수 실험을 진행해오다 마침내 기술을 개발했고 첫 우주여행에 성공했다. 2024년에는 세계에서 가장 싼값으로 우주에 물품을 수송할 수 있는 기업으로 거듭나게 될지 주목된다.

#### #5 진짜보다 현실 같은 가상현실

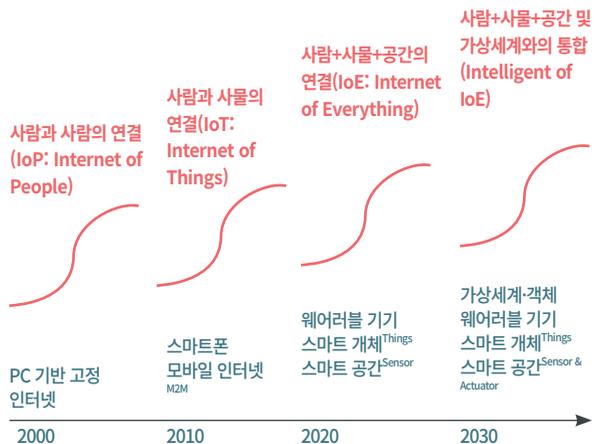


‘메타버스’로 상징되는 가상현실(Virtual Reality, VR)은 계속해서 유망 산업으로 떠오를 것으로 예상된다. 널리 알려진 대로 가상현실은 현실과 비슷한 상황이나 환경을 만들어서 사용자가 마치 실제 주변 환경과 상호작용을 하는 것처럼 만들어주는 인간과 컴퓨터 사이의 인터페이스를 뜻한다.

가상현실 기술은 원격제어와 과학적 목적으로 사용될 것으로 기대를 모았지만 △높은 가격과 기술 호환성 문제 등을 해결하지 못해 시장 확장에는 실패했다. 하지만 코로나19 사태를 계기로 영화, 게임 등 미디어 엔터테인먼트를 목적으로 일반인도 저렴한 가격에 구매할 수 있고 휴대할 수 있는 가상현실 기기 연구개발을 중심으로 활발하게 진행되고 있다.

현재까지 개발된 가상현실 기기는 크게 △스마트폰 연동 △게임 콘솔 연동 △독자 기기 형태 △메타버스 등으로 구분된다. 증강현실과 관련된 사업 분야는 하드웨어, 전자상거래, 데이터 비즈니스, 기업용 앱, 광고 등에 걸쳐 광범위하게 추진되고 있다. 기

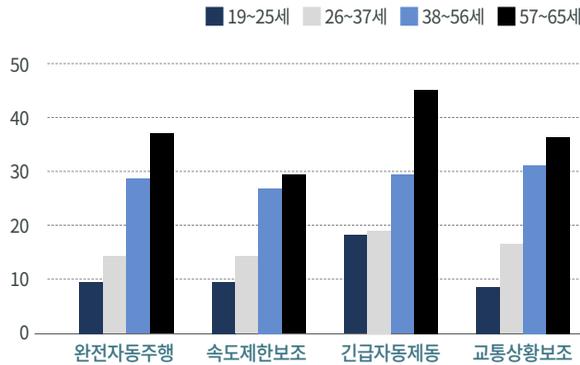
#### 네트워크와 디바이스의 진화 단계



자료: 정보통신산업진흥원

## 연령별 운전보조장치(ADAS) 요구율

자료: JD Power



업은 증강현실을 통한 텔레프레즌스<sup>①</sup> 원격현실회의 실현, 학교에서는 교육용 콘텐츠 개발에 활용하는 등 수많은 산업의 생태계와의 상호 연관성을 통해 큰 변화를 불러일으킬 가능성이 높다.

## #6 대중화 단계에 진입한

### 자율주행 전기차<sup>Self-Driving Electric Car</sup>



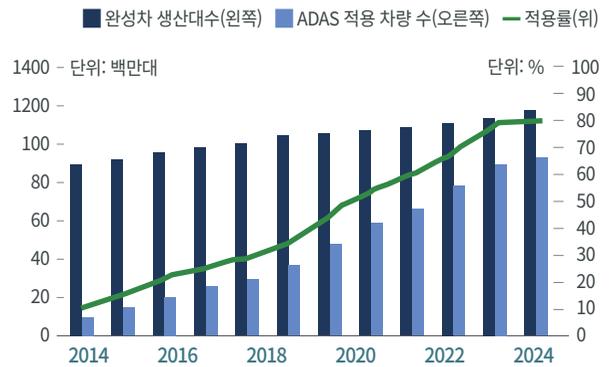
불과 몇 년 전까지만 하더라도 자동차업체는 고유가와 석유 고갈, 환경오염 등을 우려해 △엔진 다운사이징 △차체 무게 절감 △디젤 및 하이브리드 자동차 개발 착수 등 연비와 효율성을 끌어올리는 데 주력해왔다. ‘미래 에너지 자동차’라고 불렀던 전기자동차가 개발된 이후에는 △전방충돌 경고장치<sup>FCW</sup> △자동비상제동장치<sup>AEB</sup> △차선이탈 경고장치<sup>LDWS</sup>와 같은 운전보조장치(Advanced Driver Assistance Systems, ADAS) 기술을 융합해 어떤 환경에서도 자동차 스스로 주행이 가능한 완전자율주행자동차 양산에 대한 관심이 확대되고 있다.

자율주행자동차 시장 규모는 빠르게 확대될 것으로 예상된다. 미국의 자동차 시장조사업체<sup>JD Power</sup>에 따르면 완전자율주행자동차와 ADAS 기술은 고령 인구일수록 필요성을 더 느끼고 있는 것으로 나타났다. 세계적으로 진행되는 고령화와 ADAS 기술이 대중 브랜드의 양산 기술로 확산되는 점을 감안할 때 기술 수요는 증가할 것으로 예상되기 때문이다.

① 원거리를 뜻하는 ‘텔레<sup>tele</sup>’와 참석을 의미하는 ‘프레즌스<sup>presence</sup>’의 합성어로 참가자들이 실제 같은 방에 있는 것처럼 느낄 수 있는 가상회의 시스템이다.

## ADAS 적용 전망

자료: Strategy Analytics



## #7 핵융합과 친환경 대체에너지



갈수록 주요 에너지 자원인 화석연료의 고갈, 환경오염과 온난화가 세계적인 문제로 대두되면서 핵융합<sup>Nuclear Fusion</sup>과 같은 친환경 대체에너지 수요와 개발에 대한 관심은 더 커질 것으로 예상된다. 지금까지 에너지원이었던 석유는 정제와 사용 과정에서 이산화탄소, 아황산가스 등 환경과 대기를 오염시키는 물질과 지구온난화를 유발하는 주범이기 때문이다.

석탄은 매장량이 풍부하지만 수송이 어렵고 석유보다 더 큰 환경오염을 유발한다. 수력에너지는 개발 과정에서 주변 환경을 파괴하는 단점도 있다. 풍력, 태양광 등 자연에너지는 환경을 파괴하지 않는다는 장점이 있지만 에너지 밀도가 낮고 간헐적으로 이용될 수밖에 없어 대용량 에너지원으로 발전되기에는 어려움이 존재한다.

하지만 핵분열에 의해 생성되는 원자력에너지는 비교적 저렴한 비용에 막대한 에너지를 생산하고 이산화탄소와 같은 환경오염 물질을 배출하지 않는다는 장점이 많다. 이 때문에 선진국에서는 차세대 대체에너지로 핵융합에 대한 관심이 다시 높아지는 추세다. 주도국인 한국이 핵에너지 정책에 우선순위를 되찾을 것인지도 관심이 되고 있다.



**한상준** 환경미디어 국제금융 대기자 겸 한국경제신문사  
**논설위원** 한국은행, 대외경제정책연구원<sup>KIEP</sup> 선임연구원,  
 대우경제연구소<sup>DWERI</sup> 연구위원, 미국 와튼계량경제연구소<sup>WEFA</sup>  
 한국 측 자문위원, 중국 연변시 해외문제연구소 객원 연구원,  
 미국 실리콘밸리 K2G tech fund 어드바이저 등을 거친  
 국제금융 전문가이다. 저서로는 <UR과 한국경제>, <또 다른  
 10년이 온다>, <2만 번의 통찰> 등이 있다.



# 대형 선박의 친환경 전기추진 실현에 바짝 다가서다

## ICT융합 전기추진 스마트선박 건조 및 실증

올해의 산업혁신기술상 신기술 부문  
HD한국조선해양

최근 조선산업 분야의 환경 규제 강화로 배터리와 같은 친환경 전원의 효율적인 운용과 발전기 가변속 운전 기반 연료 절감이 가능한 직류전기추진시스템에 대한 수요가 증가하고 있다. 하지만 국내 기술로는 이러한 수요 대응에 한계가 있었다. 그럼에도 HD한국조선해양이 ‘직류시스템 고효율·고안정 발전시스템’과 ‘직류전기추진시스템 시스템 통합’ 기술개발 및 이를 선박에 실증하는 데 성공해 주목받고 있다.

word 조범진 photo 김기남

## HOW TO ▶

새로운 기술을 개발하고 실제 선박에 탑재한다는 것은 위험이 따르는 업무다. 특히 전기추진시스템에 있어서 선내 발전시스템은 선박이 운용되는 측면에서 필수적인 부분이다. HD한국조선해양은 본선에 적용되는 시스템에 대한 검증이 꼭 필요했고 세 차례에 걸친 검증을 실시했다.

### 친환경 전기추진 선박에 대한 관심 및

#### 조선 강국 위상 제고

현재 400톤급 이상 신규 건조 선박은 에너지효율설계지수<sup>EEDI</sup><sup>①</sup>에 기초한 이산화탄소 배출량을 2015년부터 5년마다 10%씩 감축해야 한다. 조선-해운업계는 강화된 환경 규제에 대응하기 위해 기존 디젤연료 대신 액화천연가스<sup>LNG</sup> 또는 액화석유가스<sup>LPG</sup> 등 친환경 연료를 사용하거나 배출가스 저감 설비 등을 추가하고 있지만 근본적인 해결책은 되지 않고 있다.

이에 따라 선박 전체 추진시스템의 효율을 개선해 연료 소모량을 절감하는 친환경 고효율 추진시스템의 필요성이 제기되었다. 특히 교류<sup>AC</sup>가 아닌 직류<sup>DC</sup> 기반으로 엔진 가변속을 통해 연료소비량을 크게 절감할 수 있는 직류전기추진시스템이 최근 각광받고 있다.

그러나 전 세계적으로 직류전기추진시스템 기술은 도입 단계다. 이러한 상황에서 글로벌기업인 스위스의 A사와 독일 S사만이 직류전기추진시스템 기술을 주도하고 있으며 선박에 적용되는 선급 룰을 정의하고 있는 형편이라 이에 대한 기술 확보가 불가능했다.

이런 어려운 조건 속에서도 HD한국조선해양이 자체 기술로 직류전기추진시스템과 제품군 및 이를 선박에 실증하는 데 성공해 도입 단계인 직류전기추진시스템 시장에서 조선 강국 대한민국의 위상을 다시금 끌어올릴 것으로 기대된다.

### 고신뢰성·고안정성 전기추진시스템 개발,

#### 조선산업 기술개발 기여

HD한국조선해양이 개발에 성공한 직류전기추진시스템은 크게 세 가지 특징이 있다.

## 1. 국내 최초 가변속 엔진 배터리 연계

### 친환경 직류전기추진시스템 개발

HD한국조선해양은 과제를 통해 직류전기추진시스템 패키지를 구성하기 위한 시스템 통합<sup>System Integration, SI</sup> 기술을 개발했다. 해당 기술을 토대로 국내 최초 배터리가 적용된 직류전기추진시스템 패키지 설계부터 시운전까지 성공적으로 완료함으로써 전기추진시스템 패키지 국산화 개발을 성공적으로 마쳤다.

박우재 책임연구원은 “직류전기추진시스템에서는 주파수 개념이 없기 때문에 부하<sup>②</sup>에 따라 발전 엔진의 80~100% 가변속 운전이 가능하며, 60헤르츠<sup>Hz</sup>로 전원공급이 필요한 부하의 경우, 정지형 주파수 변환장치<sup>Static Frequency Converter, SFC</sup>를 활용해 전원공급을 한다”고 설명했다. 이를 통해 연료 효율 측면에서 6% 정도 향상이 가능하며, 또한 친환경 에너지원인 배터리의 경우 직류전원이기 때문에 직류전기추진시스템 연계 시 기존 교류전기추진시스템 대비 최적 설계 및 운용이 가능해졌다.

## 2. 세계 최초 가변속 엔진-AFE 고효율·고안정성

### 발전시스템 개발

본 기술개발의 핵심은 직류전기추진시스템에서의 액티브 프론트 엔드<sup>Active Front End, AFE</sup> 정류기 기반 고효율·고안정 발전시스템이라 할 수 있다. 이를 통해 기존 글로벌 선진사인 A사와 S사 대비 약 100배 빠른 전압제어로 안정적인 엔진 가변속 운전을 가능하게 함과 동시에 추진부의 급격한 부하 변동에도 안정적인 직류전압을 형성함으로써 직류전기추진시스템의 성능 고도화에 성공했다.

## 3. 배터리 적용 및 직류전기추진시스템용 전력시스템

### 통합제어기<sup>PEMS</sup> 개발

배터리는 하이브리드 전기추진·순수 배터리 추진·블랙아웃 방지 용도로 사용한다. 동시에 직류 기반 전기추진시스템과 배터리를 제어하기 위해 기존 교류 기반 전기추진시스템 제어기와는 차별화된 기능을 포함한 에너지 운용 기술개발 및 통합 플랫폼<sup>Power</sup>

① 선박 건조 시 1톤의 화물을 1해리 운송하는 데 배출되는 이산화탄소의 양을 기관출력, 재화중량톤수 등 선박의 재원을 바탕으로 계산해 지수화한 값을 말한다.

② 회로에서 전력을 소비하는 부분을 말한다. 전기부하는 전원의 반대말로 쓰이는 용어로 전기회로에서 전기부하는 전기기기, 전동과 같은 기구들에 해당된다.

Energy Management System, PEMS)을 개발해 직류 기반 전기추진선에 요구되는 보호시스템 개발에 성공했다.

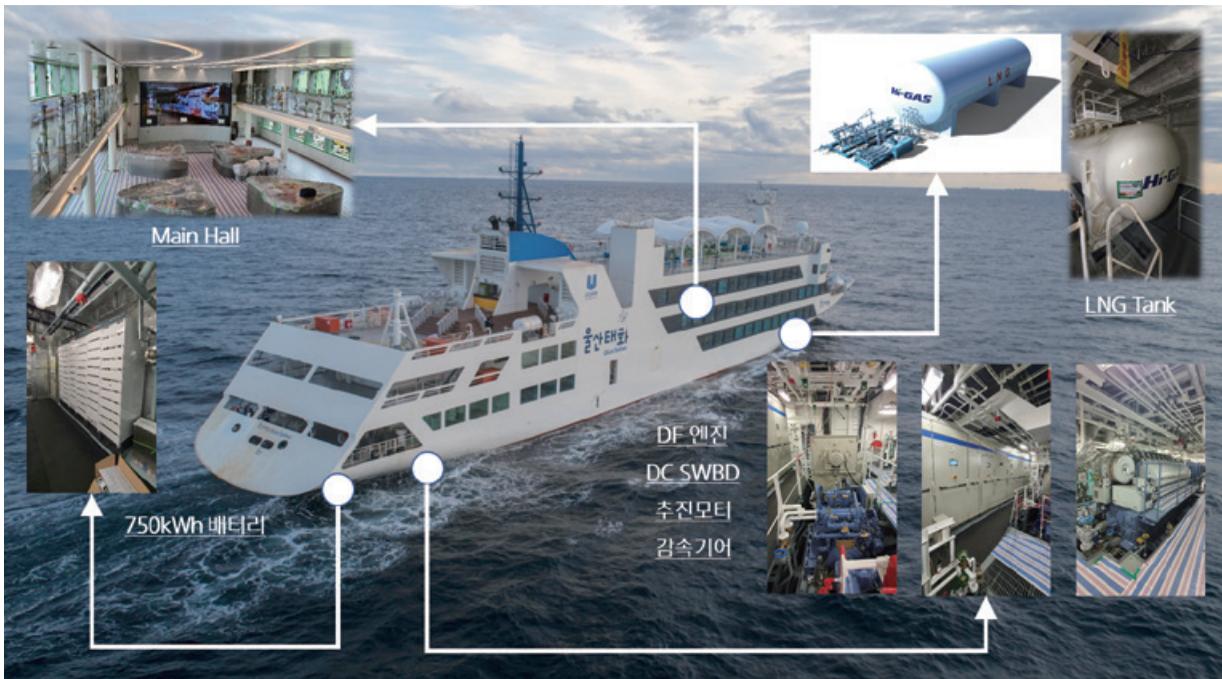
**전기추진시스템 패키지 국산화 통해  
신시장 진출 기회 제공**

지난 한 세기 동안 기계식 추진이 주류를 이루어온 선박 추진시스템은 나날이 강력해지는 환경 규제에 대응하기 위해 점차 전기추진 방식으로 변화하고 있다. 최근에는 교류 대비 추가적인 연료 절감과 계통 설비의 무게 및 부피를 감소시킬 수 있는 직류 기반 전기추진선의 필요성이 제기되며 시장 급성장이 예상된다.

박 연구원은 “기존 전기추진시스템을 전부 해외 선진사의 터키에 의한 패키지 공급에 의존하던 국내 조선산업 분야에서 전기추진시스템 패키지 국산화는 새로운 기회가 될 수 있다고 생각한다”고 말했다. 그는 이번 프로젝트를 통한 직류 기반 전기추진시스템 패키지 기술 자립화는 향후 도래할 친환경 전기추진선 시장에서 국내 조선사의 선박 경쟁력 강화에 반드시 필요한 사항이라고 강조했다. 이를 통해 국내 기자재 메이커가 기존 기자재 시장을 유지하면서 새로운 시장에 진입할 수 있는 기반이 마련될 것으로 예상된다.

사업명	ICT 전기추진 스마트선박 건조 및 실증사업
연구과제명	ICT융합 전기추진 스마트선박 건조 및 실증
개발 기간	2019. 9.~2022. 12.(40개월)
정부출연금	22.642백만 원
개발기관	HD한국조선해양
연구원	김상현, 박우재, 박상규, 김재우, 조영호, 설승기

환경 규제 강화로 용량이 6메가와트<sup>MW</sup> 이하 중·소형선의 경우 배터리 전기추진선, 엔진+에너지 저장장치<sup>ESS</sup> 조합의 복합동력원 연계 전기추진선 시장이 확대될 것으로 보인다. 용량이 10MW 이상인 대형 상선의 경우 엔진+ESS 조합의 하이브리드 발전시스템 시장이 우선 형성된 후 복합동력원 연계 전기추진시스템 시장이 형성될 것으로 보인다. 뿐만 아니라 차세대 친환경 에너지원인 연료전지는 출력의 변동성으로 인해 배터리와 함께 제어되어야 한다. 그 때문에 본 과제를 통해 개발에 성공한 직류전기추진시스템 및 전력시스템 통합제어기를 토대로 차세대 고효율 전기추진시스템의 수요가 급증할 것으로 전망된다.





### ICT융합 전기추진 스마트선박 건조 및 실증 프로젝트의 성과

- ① 미래 먹거리 사업인 친환경 전기추진선 및 전기추진 패키지 분야의 핵심 기술과 제품을 확보
- ② 가변속 이중연료<sup>DF</sup> 엔진과 배터리, 직류배전, 에너지관리시스템 등 최신 친환경 기술을 모두 실운항 선박에 구현함. 이로써 해운사, 특허청, 교육기관 등 유관 관계자에게 우수한 교육 환경 제공 및 향후 시민들이 직접 체험할 수 있는 선박으로 탈바꿈
- ③ 친환경 전기추진 선박에 대한 시민들의 관심도를 높일 수 있는 계기 마련

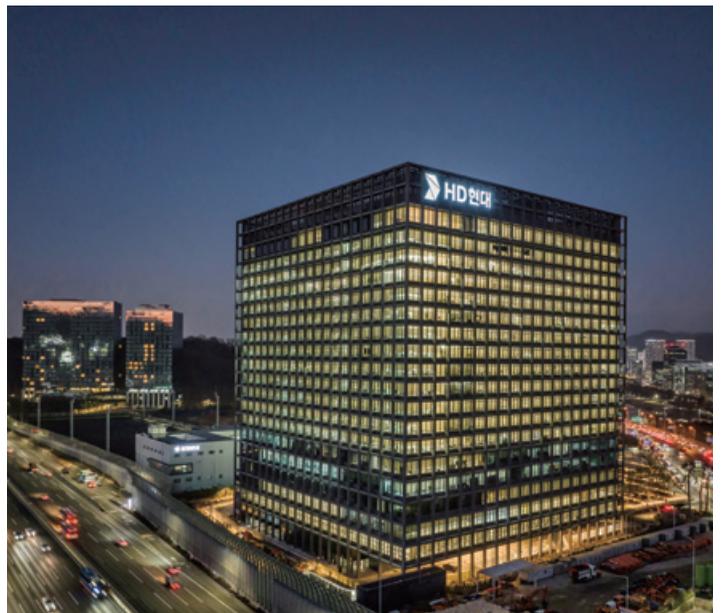
그동안 국내에서는 전기추진 패키지를 납품할 수 있는 업체가 없었다. 그러나 이번 울산시 ICT(정보통신) 스마트선박을 통해 국내 최초로 시스템 통합 기술 기반 설계-해석-제작-도면-납품-시운전까지의 업무를 성공적으로 수행함으로써 전기추진 패키지 국산화에 성공했다고 할 수 있다. HD한국조선해양에서는 해당 실적을 기반으로 전기추진시스템 패키지 사업을 추진하고 있다. 전기추진시스템 패키지를 구성하는 전장품 및 통합제어기

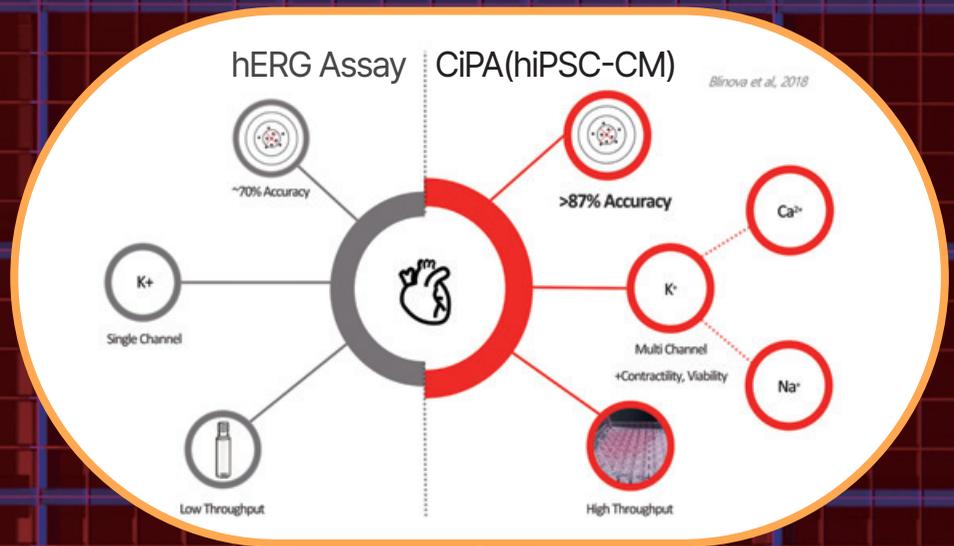
국산화 업무와 고객의 요구에 적합한 전기추진시스템을 개발하기 위한 연구를 지속적으로 수행하고 있다.

끝으로 박 연구원은 “대형 선박에도 적용할 수 있는 전기추진시스템 및 배터리 솔루션에 대한 기술개발을 수행하고 있으며, 친환경 에너지원으로 대두되고 있는 연료전지시스템 선박 적용에 대한 기술개발을 지속적으로 수행할 계획이다”라고 밝혔다.

### HD한국조선해양

HD한국조선해양은 HD현대중공업, 현대미포조선, 현대삼호중공업 등 HD현대의 조선 부문 중간 지주사로서 조선·해양 원천기술 확보에 더욱 박차를 가하고 있다. 또한 HD한국조선해양은 지난해 선박용 가스·친환경 시스템 사업을 담당하는 SD사업부를 신설하며 사업형 지주회사로 전환을 시도하고 있다. 한편, HD한국조선해양 내 미래기술연구원은 HD한국조선해양 사업 분야에서 핵심 요소 기술을 지원하고 새로운 사업군을 발굴하는 조직이다. 특히, 과제를 성공적으로 이끈 미래기술연구원 내 전동화센터는 사업 전반에 적용되는 전기 기술의 미래를 선도하기 위해 전기추진 선박에 적용되는 시스템과 제품군 개발에 집중하고 있다.





hERG Assay 및 hiPSC 유래 심근세포 활용 심장 안전성 평가의 비교

약물에 대한 심장 독성을 평가하는 국제 가이드라인이 2022년 변경되었다. 기존 독성 평가 방식에 사람의 줄기세포로 만든 심장세포(심근세포) 시험이 추가되었다. 넥셀은 국내 순수 기술로 심근세포 제품을 개발해 국제적으로 인정받았다.

순수 국내 기술로 포괄적인 약물  
심장 안정성 평가 표준을 선도하다

프로젝트명	인간유도만능줄기세포 유래 심근세포를 활용한 약물 심장 안전성 평가 기술
연구개발기관	(주)넥셀
참여 연구진	우동훈, 안지은, 최환, 김아미, 김수빈
연구 기간	2017~2020년

### 포괄적인 약물 심장 안전성 평가를 위한 재료를 확보하다

신약 개발 과정에서 ‘신약 후보 물질의 심장 안전성 예측’은 약물의 체내 안전성 평가 항목 중 가장 중요한 요소다. 심장 안전성을 위협하는 약물은 체내에 노출되어 심장에 도달하면 심장세포의 다양한 이온 채널<sup>ion channel</sup>에 영향을 준다. 이는 심장의 전기생리 특성을 변화시키고, 이로 인해 심장 부정맥(심장박동이 불규칙한 상태)을 유발해 생명을 위협하기 때문이다.

문제는 기존 신약 개발 과정의 전임상시험에서 이러한 심장 안전성 평가를 약물의 특정 이온 채널에 미치는 영향 평가와 동물실험을 통한 검증으로만 권고해왔던 것이다. 해당 시험법은 2005년에 개정되어 최근까지 시행되어왔는데 전임상시험 결과와 임상시험 결과가 불일치하는 경우가 20% 이상이었다. 기존 시험을 통해 심장 안전성에 영향이 없다고 판단된 신약 후보 물질이 실제 임상시험에서는 심장 안전성에 문제가 있다고 판단된 것이다.

이에 따라 보다 포괄적인 약물 심장 안전성 평가가 요구되었다. 지난 2013년부터 국제적으로 인간의 심장이 가지고 있는 다양한 이온 채널을 모두 보유하면서도 실제 심장처럼 박동할 수 있는 인간유도만능줄기세포<sup>human induced Pluripotent Stem Cells, hiPSC</sup>에서 만들어진 심근세포(hiPSC 유래 심근세포, hiPSC-CMs)를 활용한 새로운 심장 안전성 평가 시험법의 개발이 시작되었다.

하지만 새로운 심장 안전성 평가를 위한 재료인 hiPSC 유래 심근세포는 전량 수입되고 있는 실정이었다. 더구나 국내에는 새

① 세포 내부와 외부의 이온이 순환하기 위해 필요한 막 단백질이다. 세포 내부에 필요한 이온 농도를 유지시키며, 이온의 이동을 조절해 세포 크기를 유지한다.



로운 시험법에 대한 준비가 전혀 되어 있지 않았다. 따라서 넥셀은 hiPSC 유래 심근세포를 활용한 심장 안전성 평가의 국내 보급 확대를 위해 재료가 되는 hiPSC 유래 심근세포를 국산화하고, 국제적 기술 인증을 통해 이를 활용한 시험법의 국내 보급을 위해 본 프로젝트를 시작했다.

### hiPSC 유래 심근세포 활용 심장 안전성 평가란?

우리 몸을 구성하는 모든 세포로 만들어질 수 있는 hiPSC로부터 유래한 고순도의 심근세포를 활용한 약물 심장 안전성 평가 기술이다. 검증된 hiPSC 유래 심근세포를 다수의 전극이 깔려 있는 전용 세포 배양접시에 배양 후 MEA<sup>Multi-Electrode Array</sup>라는 분석 플랫폼에서 약물을 처리해 처리 전후의 전기생리학적 변화, 심근세포 박동수 변화, 수축력 변화 등을 기준으로 개발 중인 약물의 심장 안전성 위협 여부를 판단한다. 해당 시험법을 활용한 약물 심장 안전성 평가법은 2013년 미국 FDA를 중심으로 ICH라는 국제 의약품 평가 규제 기관의 주도로 이미 존재하던 hERG Assay 등의 시험법의 한계성을 보완하기 위해 개발되었다. 2018년 hiPSC 유래 심근세포를 활용한 평가법이 기존 시험법에 비해 우수하다는 것이 검증되었으며, 2022년 2월 해당 시험법이 포함된 약물 심장 안전성 평가에 관한 ICH 가이드라인이 개정되었다.

### 기존 시험법인 hERG Assay의 한계

약물의 심장 안전성 평가를 대표하는 전임상시험으로 hERG Assay가 있다. hERG Assay는 이온 채널 중 하나인 칼륨 채널을

과발현시킨 세포를 활용한 시험으로 약물에 의한 칼륨 채널 저해 효과를 평가하고, 패치 클램프라는 시험법을 통해 단일 세포 수준에서 칼륨 채널 영향에 의한 전기생리학적 변화를 시험한다. hERG Assay는 약물의 단일 이온 채널 영향만을 평가하기 때문에 심장 부정맥을 유발한다고 알려진 참조 약물들로 평가했을 때 정확도가 70% 미만이고, 단일 세포 수준에서 평가하기 때문에 시간이 오래 걸리고 많은 노동력을 필요로 <sup>low-throughput</sup> 하는 한계가 있다.

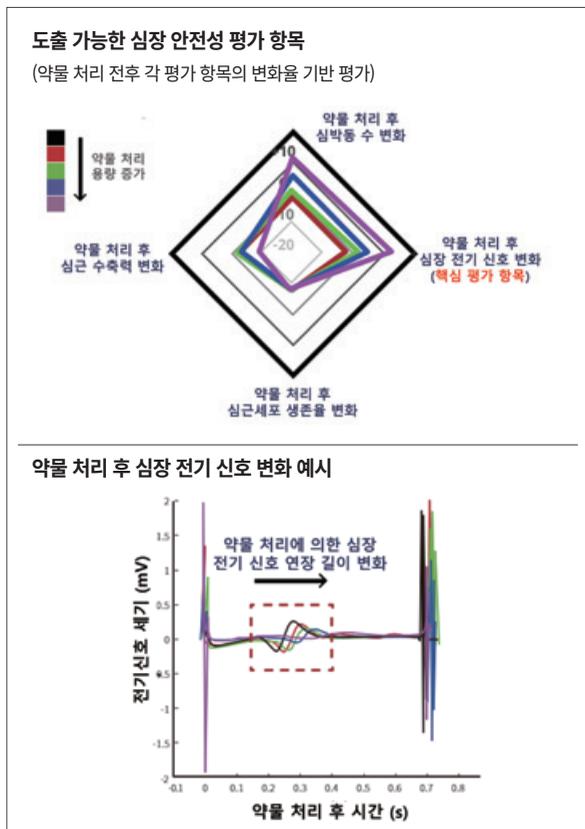
### 일본의 선점 기술을 제치고 세계적으로 인정받다

해당 기술은 최근 국제적인 약물 평가 가이드라인에 포함된 기술이다. 넥셀이 기술을 개발하던 때에는 이미 일본 회사에서 해당 기술에 사용되는 심근세포를 상업화해 전 세계 시장을 점유하고 표준으로 여겨지고 있었다. 기술의 개발 초기 한국이라는 작은 나라에서 개발한 세포를 활용해 국제적인 표준에 부합하는 세포 품질과 약물 심장 안전성 기술 등에서 인정받는 것은 결코

### hiPSC 유래 심근세포를 활용한 시험법의 특징



1. 인간 심장이 발현하는 칼륨 채널, 나트륨 채널 및 칼슘 채널을 모두 가지고 있어 약물이 심장의 다중 이온 채널에 미치는 영향을 평가할 수 있다.
2. 단일 세포 수준이 아닌 심근세포 간의 상호작용에 의한 심장 전기생리학적 변화로 보다 정확한 약물 평가를 도출할 수 있다.
3. 한 번에 많은 약물을 평가할 수 있는 고처리 평가 방법<sup>high-throughput</sup>으로 비용, 시간 및 노동력에 있어 보다 효율적이다.
4. 인간의 심장과 동일하게 실제 박동하고 있는 세포로 약물에 의한 전기생리학적 변화 뿐만 아니라 박동수 변화, 약물에 의한 심근세포 사멸 및 수축력 변화 등 보다 포괄적인 약물 심장 안전성 평가가 가능하다.



hiPSC 유래 심근세포를 활용한 심장 안전성 평가의 평가 항목들

쉽지 않았다. 하지만 끊임없는 기술개발, 적극적인 기술 홍보 및 검증 등을 통해 가능성을 인정받았다. 국제 심장 안전성 평가 전문가들로부터 ICH 가이드라인의 시험법을 개발하고 검증하는 기구인 HESI<sup>Health and Environmental Sciences Institute</sup>의 심장 안전성 평가 기술협의회의 위원으로 추천받아 국내에서는 유일하게 국제 가이드라인 개정에 참여하게 되었다. 그 후 넥셀의 심근세포 제품이 일본 회사 제품과 더불어 국제적인 참조 세포로 활용되면서 국내 기술이 국제적으로 인정받기 시작했다.

### 연구 성과

1. hiPSC 유래 심근세포의 제품화 및 수출  
Cardiosight®-S의 상표명으로 hiPSC 유래 심근세포를 상업화 국내에서 유통되고 있던 일본 제품을 당사 심근세포 제품으로 대체 미국, 일본, 유럽, 중국 등 활발한 해외 수출
2. 세계 최초 ISO 17025 인정 약물 심장 안전성 평가 기술  
hiPSC 유래 심근세포 제품인 Cardiosight®-S를 활용한 약물 심장 안전성 평가법의 세계 최초 ISO 17025 인정에 따라 관련 표준 선도
3. 2023년 바이오헬스 분야 R&D 우수 기업 KEIT 원장상 수상

전용 배양 배지와 함께 냉동 보존된 세포 제품

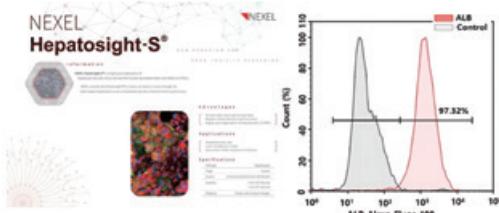


3 가지 hiPSC 유래 세포 제품

- Cardiosight®-S: hiPSC 유래 고순도 심근세포
- Hepatosight®-S: hiPSC-유래 고순도 간세포
- Neurosight®-S: hiPSC-유래 고순도 신경세포
- ISO 9001 인증된 공정에서 생산
- 글로벌 제약사 포함 미국, 유럽, 일본 및 중국 수출.

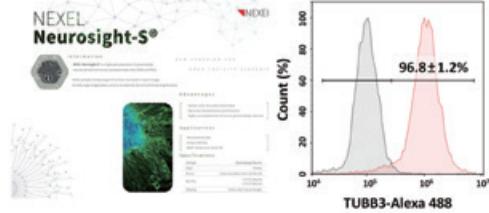


Hepatosight®-S



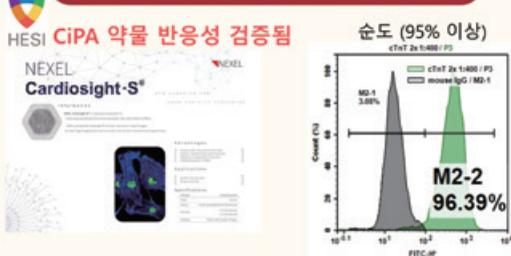
: 순도 (95% 이상), 인간 간세포와 동일한 약물 반응성.

Neurosight®-S



: 순도 (95% 이상), 신경 발작 유발 약물 검출 가능.

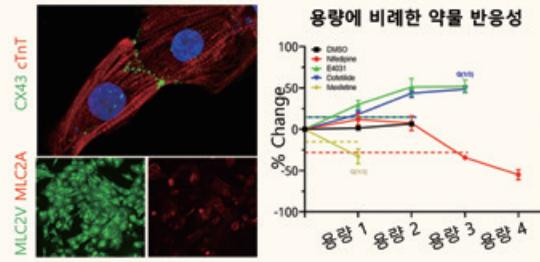
Cardiosight®-S



HESI CIPA 약물 반응성 검증됨

순도 (95% 이상)

심근세포 특이적 표지인자



용량에 비례한 약물 반응성

넥셀의 3가지 세포 제품들

(주)넥셀

넥셀은 2012년 설립된 국내 최초 hiPSC 기술 기반 전문 바이오 기업이다. 핵심 기술은 hiPSC로부터 각종 기능성 세포를 유도 분화하는 기술로 해당 기술을 활용해 2017년 hiPSC 유래 3종의 기능성 세포(심근세포, 간세포 및 신경세포)를 제품화했고, 이들 제품은 국내 판매뿐만 아니라 활발한 해외 수출이 이루어지고 있다. 또한, hiPSC 유래 심근세포를 활용한 심장 안전성 평가 사업을 포함한 다양한 hiPSC 유래 기능성 세포 및 hiPSC 유래 오가노이드 모델을 활용한 약물 평가 사업을 진행 중이다.



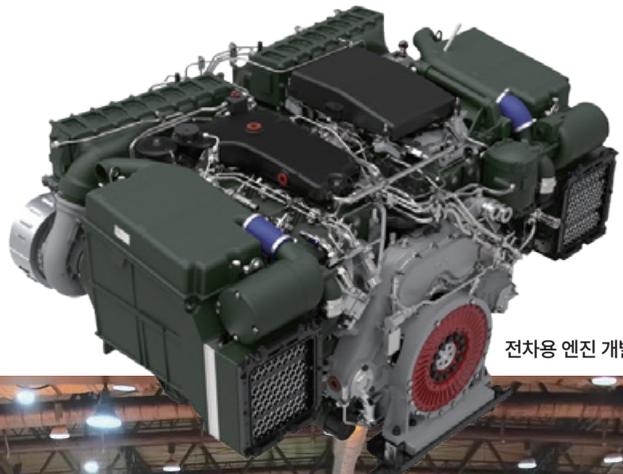
세계적 명품 무기로 손꼽히는 K9자주포는 방산 품목의 특성상 수출 시 해외 기술제휴사 정부의 수출 승인 문제 등으로 수출이 제한되어왔다. 이런 가운데 방위산업용 디젤엔진 국내 최대 공급 및 생산능력을 가진 STX엔진이 K9자주포용 엔진 부품 국산화 개발에 성공, K-방산 세계화에 새로운 발판을 마련했다는 찬사를 받고 있다.

word 조범진 photo STX엔진 제공

K9자주포용 1000마력급  
엔진 부품 국산화 개발

STX엔진(주)

## 수출 통제 족쇄 풀고 K-방산 세계화 새로운 발판 마련한다



전차용 엔진 개발.





K9자주포 탑재 모습.



## ✓ 1:1 호환 설계 기술로 장비 변화 없이 국산 엔진으로 교체 가능

K9자주포용 1000마력급 엔진 부품 국산화 개발사업은 2021년 6월 STX엔진이 최종사업자로 선정되면서 본격적인 기술개발이 진행되었다. 사업 종료 시점을 2년이나 앞당겨 개발에 성공함으로써 다시금 STX엔진의 우수한 기술력과 연구개발 능력을 입증하는 계기가 되었다.

이번에 개발된 K9자주포용 1000마력급 국산 엔진의 핵심 기술은 크게 두 가지다. 첫 번째, '1:1로 호환할 수 있는 설계 기술'이다. 이는 기존 MT-881 엔진과 체계장비 변화 없이 100% 호환이 가능하도록 설계되어 기존 K9자주포의 엔진을 국산 엔진으로 교체하는 데 아무런 문제가 없어 안정성을 동일하게 유지함과 동시에 수출경쟁력도 확보할 수 있을 것으로 예상된다. 두 번째, '부품의 국내 개발 통한 기술 독립'으로, 국내 협력사와 핵심 부품을 순수 국내 개발로 제조 생산할 수 있는 인프라를 구축했다는 점이다.

이와 관련해 STX엔진 관계자는 “개발 엔진에 탑재된 연료분사장치는 기계식이지만 연료분사 시기 조정이 가능한 전자 제어시스템과 통합된 기술이며, 또한 피스톤은 연소 해석을 통해 공기유동과 연료분사 특성을 최적화한 형상으로 기존 엔진 대비 연료소비율을 5% 이상 개선했다”고 말했다.

고성능 과급기 개발은 설계, 해석과 시험 검증의 신뢰성이 매우 중요하기 때문에 한국자동차연구원 및 국내 개발업체와 함께 긴밀히 협력해 장기간의 시험 검증을 통해 개발을 완료했다. STX엔진의 이번 개발의 목표는 기존 엔진 대비 동등 이상의 성능을 구현하는 것이었다. 이를 위해 고객의 요구사항을 반영해 시동기와 오일펌프의 용량을 증대시켜 기존 엔진 대비 저온 시동성과 윤활 성능을 향상시켰고 엔진출력을 높여 순간 가속력 및 최고속도를 향상시켰다.

## ✓ 개발 및 양산화 동시 진행 난관 극복, 개발 일정 2년 앞당겨

한편, 이번 K9자주포용 엔진 국산화 성공에서 가장 주목해야 할 것은 바로 개발 과정에서 보여준 STX엔진의 노력과 사명감이다. 이는 개발 과정 중 난관을 극복하는 데 큰 원동력이 되었다.

이상수 대표는 “수출 시장에서 요구되는 가혹한 운용 요구조건과 기술 사양을 충족시키는 것은 본 과제를 시작하며 가장 큰 리스크로 관리하던 사항이다. 이러한 과정에서 개발 엔진의 연소 성능 최적화와 내구시험 수행 과정이 힘들었다. 또한, 개발 엔진을 탑재할 K9자주포 이집트 수출 계약이 발효됨에 따라 엔진 개발과 양산을 동시에 진행해야 하는 상황에서 단축된 개발 일정을 맞추는 것이 쉽지 않았다”며, “이를 위해 시험설비를 보완 및 구축해야 했으며, 한여름 무더위가 찾아오면서 시험설비의 냉각 성능 저하로 시험 진행이 어려운 순간이 있었다”고 말했다.



한눈에 보는 STX엔진의 엔진 개발 과정.

그럼에도 국내 기관들의 도움이 난관 극복에 큰 도움이 되었다. 실제로 연소 성능 시험 동안에는 한국자동차연구원의 지원과 협조로 시험 일정을 준수할 수 있었고, 엔진 내구도 시험에서는 한국선급과 산업기술시험원의 지원과 협조로 모든 시험 일정을 무사히 마칠 수 있었다. 특히, 산업통상자원부 한국산업기술기획평가원의 지원으로 사업내용 및 사업비 변경 등 능동적인 행정업무가 가능해졌고, 이를 바탕으로 개발업무에 좀 더 전념할 수 있었다. 이러한 지원 덕분에 수많은 어려움을 극복하고 개발 일정을 2년이나 앞당겨 성공적으로 과제를 완료했다.

STX엔진은 현재 K9자주포 디젤엔진의 경우 1999년 국내 자주포 전력화 계획에 따라 2000여 대를 국산화해 생산·공급했고 튀르키예, 인도, 노르웨이, 폴란드 등 총 8개국에 700여 대 이상 수출하는 실적을 올렸다. 더욱이 그동안의 기술협력생산 엔진은 단독 수출이 제한되었지만, 개발 엔진을 바탕으로 독자적인 해외 수출이 가능해졌다. 이를 통해 이들은 해외의 신규 무기 체계와 성능 개량 사업에 적극적으로 대응하는 등 K-방산 세계화에 일조할 수 있는 새로운 발판이 마련될 것으로 내다보고 있다.



K9자주포가 탑재된 전차의 모습.



### 세계 최고의 경쟁력 갖춘 엔진 종합 전문기업

STX엔진은 1976년 기계산업의 꽃이라 불리는 디젤엔진 전문 생산업체로 출발했고, 축적된 기술과 경험을 바탕으로 세계 최고의 경쟁력을 갖춘 디젤엔진, 발전설비 및 전자통신 장비 전문회사로 자리매김했다. 특히, 방위산업 부문에서는 국내 완성장비 체계업체를 제외한 구성부품 방산업체 가운데 톱<sup>TOP</sup>3 위치를 지키고 있을 뿐만 아니라 방위산업용 디젤엔진 국내 최대 공급 실적 및 생산능력을 확보하고 있다.

**K-방산의 영향력이 날로 확장되고 있는 가운데 국내 방위산업의 현황과 관련 산업 발전을 위해 필요한 지원 및 전략과 대책 등이 있다면 무엇인가?**

국내 대형 양산사업이 종료되고, 최근 해외 수출 사업에 초점이 맞춰지고 있다. 신규 무기 체계 개발을 국책사업을 통해 수행함으로써 개발비에 대한 업체의 부담을 줄여주고 수출 시장에서 경쟁력을 갖출 수 있는 발판을 마련해주었다. K-방산의 경쟁력을 더욱 강화할 수 있게 국산화 및 신규 기술개발에 대한 지원을 확대하면 좋을 것 같다.

**STX엔진의 기술이 국가안보 및 경제적·사회적 가치 형성에 어떠한 기여를 하고 있다고 생각하는가?**

STX엔진은 45년 이상 축적된 방산 엔진 생산 경험과 기술력을 바탕으로 국가의 안보를 책임지는 육군의 전차 및 자주포, 해군의 전투함뿐만 아니라 해경의 경비함, 해병대의 장갑차에도 디젤엔진을 생산 및 공급하고 있다. 또한 기술협력생산의 골레에서 벗어나 국내 독자 엔진을 개발해 방산 수출 제약 해소와 미래 기동·화력 무기 체계 운용 변화에 대응이 가능해졌다. 나아가 K-방산의 세계화·물결화에 따라 국내뿐만 아니라 유럽, 아시아, 남미 등 국제 시장에 수출하며 세계적인 신뢰성을 확보하고 있다. 경제적으로 보면 1000마력급 엔진을 국산화해 중동 지역을 포함한 전 세계로 수출을 확대한다면 그 가치가 무척 클 것으로 판단되며, 향후 1000대 이상의 수출, 약 6조 원 이상의 가치가 있을 것으로 전망된다.

**STX엔진의 R&D 전략과 역량은 무엇인가?**

당사의 R&D 전략은 40년 이상의 디젤엔진 전문기술을 바탕으로 글로벌 시장에서 우위를 점할 독자 엔진을 개발하는 것이다. 이를 시작으로 엔진과 변속기 및 냉각장치, 통합되는 동력장치 체계 개발과 미래의 동력장치인 하이브리드 체계를 개발해 전 세계 동력장치 분야에서 No.1이 되는 것이다. 아울러, 당사의 R&D 역량은 전자용 엔진, K9자주포용 1000마력 엔진, 궤도차량용 범용 엔진, 천무 엔진 국산화 개발을 진행하며 현지 조립, 정비, 시험설비 및 기술지원까지 하는 수출용 패키지 개발을 동시에 하고 있다. 또한 30년 이상 방산 엔진 국산화 관리 경력을 가진 총괄책임자를 선임하고, 해석·설계·개발·시험 기술에 대한 경험과 기술력이 검증된 특·고급 기술자 500여 명을 투입해 유기적인 협력이 가능하도록 과제를 수행하고 있다.

**앞으로의 계획 및 목표는 무엇인가?**

현재 K9자주포 디젤엔진 개발 과정에서 축적된 핵심 기술을 활용해 궤도차량용 전자식 범용 디젤엔진을 개발 중이다. 2027년 이후부터 350마력부터 1360마력까지 방산용 디젤엔진 양산체제를 갖출 예정이다. 또한, 민간 부문에서는 디젤엔진의 환경문제 이슈로 인해 하이브리드 및 전기차량 등 친환경 차량이 많이 생산되고 있다. 이에 따라 당사에서는 디젤엔진과 모터를 결합한 하이브리드 시스템을 준비하고 있다. 이 과제를 통해 개발한 엔진을 조금 더 발전시켜 하이브리드 시스템을 제작하는 것이 미래의 목표다.

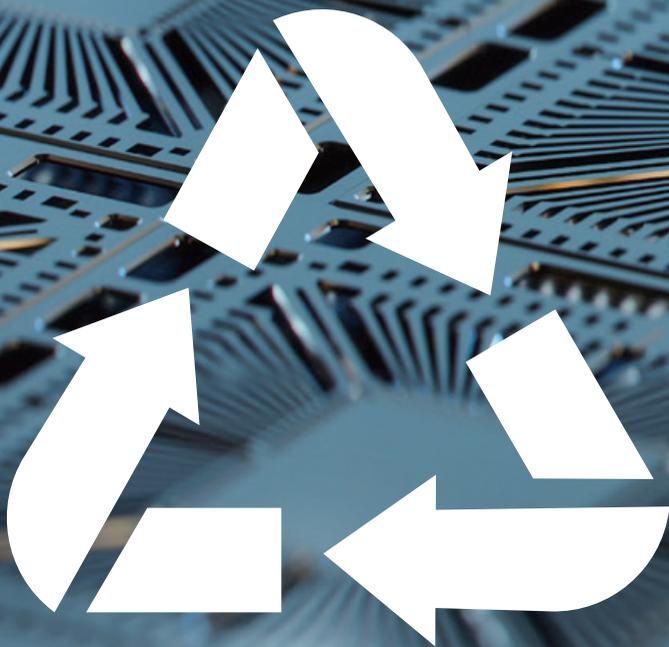


향후 1000대 이상 수출, 약 6조 원 이상 가치 창출 전망  
엔진 국산화 통해 기술 독립 이룬 수출 시장 확대 기대

전 세계 동력장치 분야 No.1을 향해 나아가다

반도체, 자석, 배터리 등에 쓰이는 희토류의 사용 범위가 확대되면서 사용량이 늘어나 이를 회수해 재활용하는 기술이 개발되고 있다. 희토류를 전량 수입하는 국내에서는 반드시 필요한 기술이다.

## 희토류 재활용이 필요한 때



희토류는 자원 무기화 정책을 얘기할 때 빠짐 없이 등장한다. 2010년 중·일 센카쿠열도 분쟁 때, 중국이 일본을 상대로 희토류를 수출하지 않겠다고 선언함으로써 승기를 잡았던 것을 기억하는 독자들이 있을 것이다. 전 세계 주요국들이 전략적 안보 물자를 선정하고 우방국 중심으로 공급망 재편 정책을 수립하면서 희토류의 중요성은 또다시 주목받고 있다. 미국의 '50개 핵심 광물', EU의 '30개 핵심 원자재', 우리나라의 '10대 전략 광물'은 모두 경제 안보에 필수적인 비연료 광물로 희토류를 포함하고 있다.

### 아무리 강조해도 지나치지 않을

#### 희토류의 중요성

그렇다면 희토류는 무엇이고 이렇게 중요하게 거론되는 것일까? 자연계에 드물게 존재하는 원소라는 의미의 희토류는 네오디뮴<sup>Nd</sup>, 이트륨<sup>Y</sup> 등 총 17종의 원소를 총칭한다(희토류의 정의 및 범위는 국가마다 조금씩 차이가 있다). 희토류는 소량의 첨가만으로도 물질의 화학적·전기적·자성적·발광적 특성을 강화하는 특징이 있어 고성능 발현을 요구하는 첨단산업에서 필수적으로 사용된다. 예를 들어 희토류계 영구자석인 네오디뮴<sup>Nd</sup> 자석은 다른 소재의 영구자석보다 월등히 높은 자력을 띠는데, 이를 전기차 모터에 사용하면 주행거리를 훨씬 늘릴 수 있다. 희토류를 채굴·생산하는 광업 자체가 경제 규모에서 차지하는 비중은 크지 않더라도, 후방산업 및 가치사슬의 최종 단계에서는 상당한 규모의 경제적 가치를 창출하기 때문에 그 중요성이 매우 큰 것이다.

또, 심각한 공급 불균형도 한몫한다. 중국은 풍부한 희토류 광물을 보유하고 있고 선진국 대비 환경규제가 강하지 않아 그간 전 세계 희토류 생산량의 70%를 차지하며 희토류 공급에 압도적인 영향력을 행사해왔다. 희토류 채굴

과정은 정제 단계에서 다량의 폐산을 배출하는데, 이를 방류기준에 맞추어 처리하는 데에는 막대한 비용이 들기 때문에 대부분 국가에서 직접 생산이 아닌 수입을 택했고 결과적으로 중국의 희토류 패권이 막강해진 결과를 낳은 것이다. 최근 희토류의 중국 의존도 감소를 위한 정책이 추진되고 있지만 중국이 차지하는 전략적 지위는 여전하다. 채광, 분리, 추출 및 고순도 완제품 제조 등 희토류 제조 공정 전 단계에 걸쳐 생산능력을 보유하고 17종의 희토류 원소를 모두 생산할 수 있는 나라는 중국이 유일하다. 결국 희토류가 가진 고유의 특성과 그 공급 불균형이 결합해 희토류의 전략적 중요성을 만들어냈다고 볼 수 있다.

#### 희토류 원소별 응용 분야

자석 - Nd, Dy, Sm (Tb, Pr)	모터, 제너레이터, HDD, 마이크, 스피커, MRI, 방위산업, 가전제품 등
합금 - La, Ce, Pr, Nd, Y	Ni-MH 배터리, 초합금, Al-Mg합금, 철강
형광체 - Eu, Y, Tb, Nd, Er, Gd	LED, 레이저, 디스플레이, X레이 이미지, 광학센서
촉매&화학 - La, Ce (Pr, Nd)	FCC 촉매, 자동차 촉매, 경유 첨가제
세라믹&유리 - Ce, La, Pr, Nd, Gd, Er	연마제, UV차단유리, 내열유리, 센서, 콘덴서 등
기타	비료, 의약품 물질, 착색제 등

출처: 김경훈 외, 우리나라와 주요국의 희토류 공급망 현황 및 시사점, 한국무역협회 TRADE FOCUS, 2021년 18호, 5쪽

#### 미국 희토류 이용에 따른 부가가치

산업 구분	사용처	부가가치	희토류 비용	주 원소
플라스틱 소재 및 수지	기타	30,379	1.4	La, Ce
철강 및 합금철	아연	29,077	9.5	La, Ce, Pr, Nd
반도체 및 관련 기기	세라믹, 연마	26,923	1.9	La, Ce, Pr, Nd
탐색, 탐지, 항법	자석 및 기타	32,066	24.8	La, Ce, Pr, Nd, Sm, Gd, Dy, Er, Yb, Y
<b>총계</b>		<b>496,782</b>	<b>613.4</b>	

주: 부가가치 및 희토류 비용은 모두 2016년 기준

출처: 한국무역협회 자료(2022) 재인용 (원본: White House(2021))

## 희토류 공급망 다변화의 한 축, '재활용'

희토류의 공급 안정성 확보를 위해 수입국 다변화를 통한 공급망 재편, 희토류 저감형 대체재 개발 등의 방법이 논의되고 있지만 또 하나의 강력한 대안은 희토류를 재활용하는 방안이다. 사용 후 버려진 폐제품에서 희토류를 회수하고 소재화해 다시 사용하는 것이다. 희토류 전량을 해외 수입에 의존하고 있는 우리나라의 경우, 희토류 재활용은 공급과 수요의 불균형 문제를 완화하고 공급망을 내재화할 수 있다는 점에서 매우 매력적인 대안이 될 수 있다. 전기차 1대당 사용되는 희토류가 약 0.3~0.8kg(Nd 0.25~0.5kg, 기타 희토류 0.06~0.35kg)인데, 사용 후 전기차에서 이를 회수해 재활용하는 기술을 보유한다면 공급 불안정성은 획기적으로 개선될 수 있을 것이다.

또한 희토류를 재활용하면 새로운 광산을 개발하는 것보다 오염물질 발생량을 줄이고 첨단 제품 가공 과정에서 발생하는 탄소 발생량을 감소시킬 수 있다. 유럽의 원자재동맹<sup>European Raw Materials Alliance, ERMA</sup> 보고서에 따르면, 다수의 환경전과정평가<sup>Life Cycle Assessment, LCA</sup> 연구 결과를 종합한 결과 Nd-Fe-B 영구자석 사용으로 인한 지구온난화 기어 정도<sup>kgCO<sub>2</sub>equ</sup>를 희토류 재활용을 통해 낮출 수 있는 것으로 나타났다. 즉, 희토류 재활용 기술을 장기적으로는 기후변화 위기 대응과 자원 순환형 생태계 구축 측면에서 필요한 기술로 바라볼 필요가 있다는 뜻이다.

## 희토류 재활용의 이해

희토류 재활용을 위해 개발해야 하는 핵심 기술은 무엇일까? 이 질문에 답하려면 우선 희토류 재활용 공정에 대한 이해가 필요할 것이다.

희토류 재활용 공정은 ①희토류가 함유된 폐제품 조각을 수집·선별하는 전처리 ②희토류 화합물을 얻는 추출 ③사용할 수 있는 형태로 희토류를 정제하는 원소 분리로 구성된다. 전처리는 개별 회수된 제품을 해체하고 희토류가 함유되지 않은 부분을 제거해 폐제품 조각의 희토류 농도를 높이는 단계를 의미한다. 추출은 화학적 처리를 통해 비희토류 물질을 제거하고 농축된 희토류 복합체를 얻는 단계다. 마지막으로 원소 분리는 희토류 복합체에서 희토류 산화물을 분리·생산하는 과정을 말한다.

이러한 재활용 공정의 큰 흐름은 광산에서 자원을 채굴하는 방

식과 크게 다르지 않다. 기존 방식과 재활용 공정의 가장 큰 차이는 폐제품의 불순물을 효과적으로 제거해 목표로 하는 원소만을 높은 효율로 추출하는 데에 있다. 이는 '어떤 폐제품'으로부터 '어떤 희토류'를 얻으려고 하는지에 따라 적용 기술이 달라져야 한다는 의미이기도 하다. 예를 들면 사용 후 모터의 해체를 통한 영구자석의 습득, 영구자석의 분해를 통한 합금분말 습득, 합금분말 내 불순물 제거 등이 재활용 공정에서는 중요한 요소기술이 된다.

가뜩이나 제품 내 희토류 함유량이 적어 회수가 쉽지 않은데, 제품별·목적별로 최적화된 접근이 필요하다는 점은 희토류 재활용을 어렵게 하는 현실적인 장벽으로 작용하기도 한다. 공정의 효율성 및 폐기물 처리비용 등을 산정하면 광산에서 채굴하는 방식보다 경제성이 훨씬 더 낮은 상황이 발생할 수도 있기 때문이다. 이를 종합해보면 희토류 재활용의 핵심 기술은 가장 활용 가치가 높은 폐자원이 무엇인지 식별하고 그에 맞는 맞춤형 공정을 설계·운영하는 것이라고 할 수 있겠다.

## 원하는 것만 더 효율적으로, 더 친환경적으로

미국, EU, 일본 등 주요국은 최근 안보 측면에서 희토류 재활용의 중요성을 재인식하며 공공 주도로 기술개발을 추진하고 있다. 특히, 중국에서도 제조 공정에서 발생하는 양질의 스크랩 및 폐영구자석의 재활용을 추진하고 있는 것으로 파악된다. 현장 적용 가능성과 경제성을 확보하기 위한 접근 방식은 다양하게 나타나지만 큰 틀에서는 전처리 공정의 간소화와 추출·분리 공정의 친환경성 확보가 주된 이슈로 보인다.

먼저 전처리 기술의 경우, 제품의 해체·선별 과정의 효율을 높이고 이를 자동화하는 방향으

로 기술개발이 추진되고 있다. 한 예로 영국 버밍엄대학교는 EU Horizon 2020의 지원을 받아 영구자석 스크랩의 화학적 수소 처리<sup>Hydrogen Processing of Magnetic Scrap, HPMS</sup> 기술을 개발했다. Nd-Fe-B 합금에서 직접 수소화 분말을 추출하는 HPMS 방식은 처리 경로를 단축함으로써 화학적 처리 또는 열 제련 방식보다 생산량이 25% 증가하는 효과를 볼 수 있다. 버밍엄대는 더 나아가 100kg/일 규모의 자석 분리가 가능한 자동화 공정을 시범 운영(2022)하고 있다. 미국 애플의 경우 혁신적인 방법으로 재활용 사업을 추진하고 있다. 자체 개발한 자석 선별 로봇 타즈<sup>Taz</sup>가 오디오 모듈에서 자석을 분리하고, 분해 및 해체 로봇 데이시<sup>Daisy</sup>는 연간 120만 개의 아이폰을 분해한다. 또한 유용 자원 회수 로봇인 데이브<sup>Dave</sup> 등을 통해 애플 제품에 사용되는 희토류의 45% 이상을 재활용 연료로 사용하고 있다(2022).

추출 및 원소 분리 기술의 경우, 환경오염의 주범인 강산의 사용을 줄이면서 높은 순도·회수율을 유지하는 것이 기술개발의 주된 방향이다. 박테리아나 균류를 이용해 금속을 추출하는 바이오리칭(생물 침출), 강산 대신 유기산·약산을 사용하는 습식 공정, 고효율 건식 공정 등에 관한 연구가 추진되고 있다. 한 예로 미국의 리버모어 연구소에서는 란도몰린 단백질



희토류 재활용을 통해 공급과 수요의 불균형을 완화할 수 있다. 2030년 이후 영구자석 재활용 시장의 활성화가 예상되는 만큼 희토류 재활용 기술 개발이 필요하다.

을 이용한 습식-바이오리칭 복합 Nd-Dy 분리기술을(2021), EU는 REEGain 프로젝트를 통해 박테리아, 단세포 녹조류 및 극한 미생물 내에 희토류를 축적해 회수하는 기술을 개발(2022)했다. 일본의 와세다대학교와 닛산은 폐영구자석 내 희토류를 슬래그로 농축시켜 산화물을 추출하는 건식제련법을 개발, 전기차 모터의 분해 없이 희토류 회수를 가능케 하는 신공정을 개발하기도 했다(2021).

### 아마도 곧 다가올 미래, 능동적으로 대응할 때

희토류 재활용 시장은 아직 초기 형성 단계지만 세계 각국에서 효용성이 높은 2차 자원 및 친환경·저비용·고효율 재활용 공정의 탐색이 활발히 추진되고 있다. 핵심 광물을 둘러싼 경쟁이 격화되고 있고 전기차·풍력발전기의 폐기가 시작되는 2030년 이후 영구자석 재활용 산업이 활성화될 것이라는 전망이 존재하는 만큼, 증가하는 기술 수요에 대응하기 위함일 것이다. 우리나라는 희토류를 필수적으로 사용하는 반도체·디스플레이, 이차전지, 자동차 등을 주력산업으로 하고 있으므로 희토류 재활용 기술 개발을 좀 더 적극적으로 그리고 체계적으로 접근할 필요가 있다. 일본의 경우, 2010년 중국의 수출 금지 조치 이후 희토류 공급 안정화 정책을 적극 추진했고 희토류 재활용 기술개발에 대한 정부 지원도 강화해왔다. 그 결과 현재 희토류 재활용 관련 최고 기술국이 되어 자동차, 형광체, 에어컨 컴프레서, HDD, 영구자석 등 다양한 분야의 기업들이 희토류 회수 및 재활용 사업을 추진하고 있다. 반면 우리나라는 경제성 부족, 초기 투자 비용 등의 문제로 그간 관련 투자가 충분치 않았고 현재 상용화된 공정을 운영 중인 희토류 재활용 기업은 부재한 실정이다. 최근 정부가 「핵심광물 확보전략(2023.2.)」을 통해 10대 전략 핵심 광물의 재자원화를 20%까지 확대할 계획을 발표했고, 「순환경제사회 전환 촉진법(2024.1.1. 시행 예정)」을 통해 순환 경제로 전환하기 위한 사회적 시스템을 구축하고 있는 만큼, 장기적인 시각에서 안정적인 투자로 희토류 재활용 산업을 지원할 필요가 있겠다.

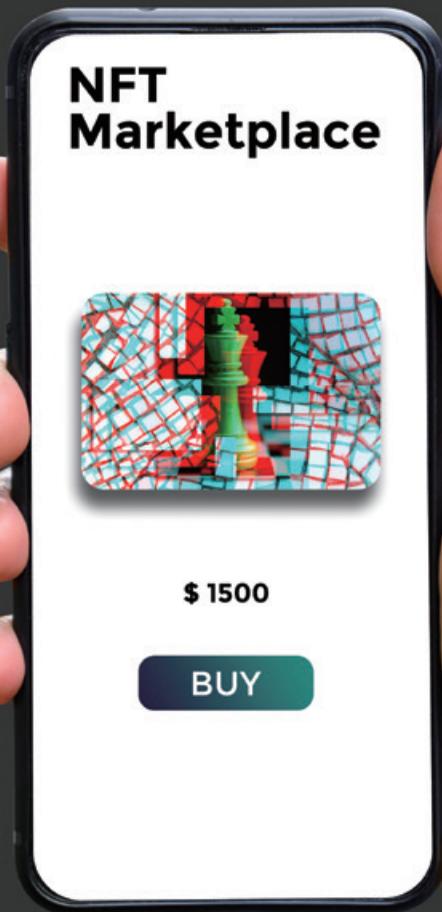


**이현경 한국과학기술기획평가원 사업조정본부**

투자기획조정센터 부연구위원 고려대학교에서 환경공학 박사학위를 취득했으며, 현재 한국과학기술기획평가원<sup>KISTEP</sup>에 재직 중이다. 국가연구개발 중장기 투자전략, 출연연 예산 배분·조정 전략 분야에서 연구를 수행하고 있다.

온라인 자산으로 각광받는 대체불가토큰<sup>NFT</sup>에 ESG 가치를 결합해 충성 고객을 확보하는 전략이 정보통신기술<sup>ICT</sup> 업계의 트렌드가 됐다. KT가 친환경 활동을 주제로 NFT를 발행한 데 이어 LG유플러스와 SK텔레콤도 ESG를 테마로 한 NFT 생태계를 구축하기로 했다. 가상자산 거래소와 금융권에서도 ESG 활동과 접목한 NFT 상품을 선보이고 있다.

word 이주현 <환경ESG> 기자



## NFT로 실현하는 ESG

대체불가토큰<sup>NFT</sup> 시장은 긴 침체의 터널을 벗어나 숨 고르기를 하는 단계다. NFT 시장 분석 서비스인 NFT고에 따르면 지난 11월 21일 기준 세계 NFT 시가총액은 66억5000만 달러(약 8조 6700억 원) 수준이다. 약 1년 전인 지난해 11월 23일 시가총액인 약 73억7000만 달러(약 9조6100억 원)와 비교하면 10% 줄었다. 다만 한 달 전인 10월 21일 시가총액 약 49억8000만 달러(약 6조5000억 원)와 비교하면 33% 늘었다. NFT 투자 거품이 꺼지면서 가라앉았던 시장 분위기가 11월을 기점으로 안정되는 분위기다.

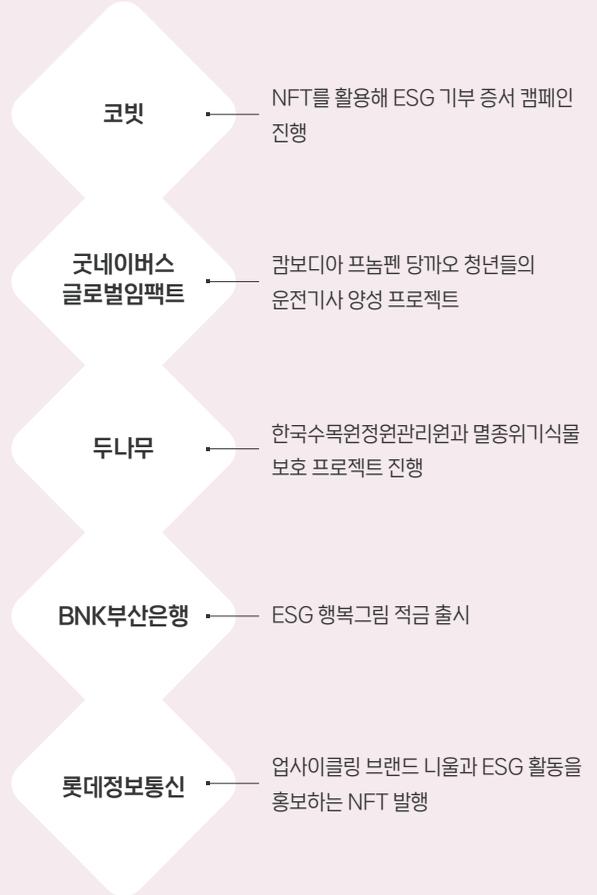
국내에서는 NFT와 다양한 기업활동을 결합하려는 시도가 이뤄지고 있다. NFT가 젊은 층에게 ESG(환경·사회·지배구조) 활동을 효과적으로 알릴 수 있는 창구로서 유효하다는 평가가 나오고 있어서다. NFT가 인기를 끌던 지난해와 달리 시장이 식으면서 NFT 흥행 성공의 가치는 상대적으로 더 빛나게 됐다. 기업뿐 아니라 지방자치단체도 친환경 활동과 NFT를 결합하면서 온라인 자산 시장에 꾸준히 관심을 두는 모양새다.

### 통신 3사, ESG 활동에 NFT 결합

업계에 따르면 KT는 ESG 콘셉트를 내세운 NFT ‘라운 NFT’를 3차 발행할 예정이다. KT는 친환경 고양이 캐릭터 ‘라운’을 소재로 지난해 12월 NFT를 처음 시장에 내놨다. ESG 활동을 추구하는 의식 있는 소비를 주제로 발행한 NFT는 당시 발행된 NFT 3000개 물량이 1분 만에 모두 판매됐다. 시장에서 호응을 얻자 KT는 지난 6월 NFT 3000개를 2차로 발행한 데 이어 추가 발행을 준비 중이다. NFT 판매 금액 일부는 이 프로젝트 이름으로 기부할 예정이다.

KT는 소비자의 NFT 구매가 ESG 지원 활동으로 이어질 수 있도록 설계했다. 구매자에게 사회적 공정 기업인 더페어스토리의 가방이나 독도를 홍보하는 화장품업체의 한정판 제품을 제공하는 식이다. 이 NFT의 캐릭터를 활용해 재활용 플라스틱으로 만든 우산이나 플라스틱 포장지를 일절 쓰지 않은 세제 상품을 내놓기도 했다. KT 관계자는 “ESG 관련성이 높은 기업과 협업해 NFT와 연계한 생활용품, 잡화 등을 계속 개발할 것”이라며 “자사 통신 매장 2000여 곳이 친환경 캐릭터 상품의 유통 창구 역할을 할 것이다”라고 설명했다.

### NFT와 ESG의 만남



다른 통신사도 블록체인 기술에 친환경 테마를 입히고 있다. SK텔레콤은 최근 탄소배출권 플랫폼업체인 원클과 ESG를 소재로 한 NFT 사업을 전개하기 위한 업무협약을 체결했다. SK텔레콤의 NFT 유통 플랫폼 ‘탑포트’에서 ESG 마케팅이 필요한 기업을 대상으로 NFT 발행을 지원하겠다는 것이 이 협약의 골자다. 양사는 NFT 발행과 탄소배출권 구매 서비스를 연계해 ESG 지표 관리가 필요한 기업을 고객사로 확보하겠다는 구상이다.

LG유플러스는 인천시가 지난 10월에 발행한 ‘인천 히어로즈 NFT’ 우선 획득권을 자사 NFT 구매자에게 제공했다. 인천 히어로즈 NFT는 인천시가 멸종위기종인 점박이물범을 소재로 만든 NFT다. 점박이물범이 시민과 함께 바다 환경을 지킨다는 이야기를 기획 의도로 담았다. NFT에 친숙한 MZ세대에게 친환경 활동을 유도하기 위해서다.

LG유플러스 관계자는 “NFT 생태계를 확장하기 위해 인천시, 롯데홈쇼핑 등과 ESG 연계 활동을 모색하고 있다”며 “지역 상생 차원에서 인천 주요 관광지나 명소의 무료입장권을 제공하는 인천 시티투어 패스 증정 이벤트도 NFT 발행과 연계했다”고 설명했다.

## NFT로 발달장애 예술가 후원



가상자산업계와 금융계도 ESG 활동에 NFT를 적극 활용하고 있다. 가상자산 거래소 운영사인 코빗은 12월 18일까지 신한카드, 재단법인 굿네이버스 글로벌임팩트 등과 NFT를 활용한 ESG 기부 증서 캠페인을 진행했다. 이 캠페인 참여자는 신한카드 포인트나 카드 결제를 통해 캄보디아 취약계층 청년의 일자리 창출이나 경제적 자립을 지원하고 NFT로 기부 증서를 받는다. 굿네이버스 글로벌임팩트는 2019년부터 캄보디아 프놈펜 당까오에 거주하는 청년들을 운전기사로 양성하는 프로젝트를 진행하고 있다. 이번 기부 증서 NFT 이미지도 이 운전기사들이 여행객을 태우고 캄보디아를 누비는 모습을 담았다.

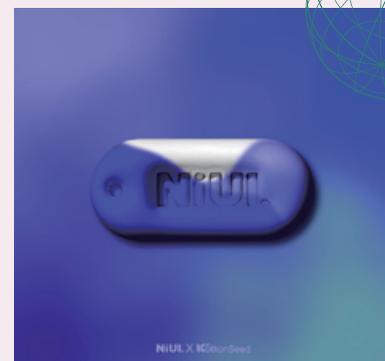
두나무는 ESG의 핵심 키워드로 ‘나무’를 선정하고 NFT와 식생 보호를 연계하고 있다. 업계에 따르면 두나무는 최근 한국수목원정원관리원과 함께 멸종 식물 보호 프로젝트를 진행하면서 멸종위기식물 10종을 NFT로 제작했다. 부산꼬리풀, 울릉산마늘, 둥근잎평의비름, 금강봄맞이, 꼬리말발도리 등 다양한 식물

을 디지털 이미지로 제작한 뒤 이를 NFT 거래소인 업비트NFT에서 유통하는 방식이다. 이 NFT의 판매 수수료는 전액을 멸종 위기식물 보호 기금으로 조성한다.

BNK부산은행은 지난 10월 발달장애 예술가들의 경제적 자립을 지원하기 위해 ‘ESG 행복그림 적금’을 출시했다. 이 적금 가입자는 모바일뱅킹 이벤트 페이지에서 발달장애 예술가 중 한 명을 선택하면 적금 만기 후 해당 작가의 작품으로 발행한 NFT를 받을 수 있다. 은행 고객의 적금 활동이 예술가 후원뿐 아니라 디지털 아트를 획득하는 형태로 확장된 것이다. BNK부산은행은 이 적금 판매 실적에 따라 발달장애 아동을 위한 후원금을 최대 1000만 원까지 초록우산어린이재단에 기부하기로 했다.

롯데정보통신은 11월 초 니올과 협업해 ESG 활동을 홍보하는 NFT를 발행했다. 니올은 플라스틱 뚜껑으로 열쇠고리용 펜던트 ‘니올링’을 만드는 업사이클링 브랜드다. 롯데정보통신과 니올은 이 NFT 구매 고객에게 멤버십 혜택뿐 아니라 니올링 제작에 참여할 수 있는 기회도 제공하고 있다.

가상자산업계 관계자는 “각자 고유한 디지털 자산을 소유할 수 있다는 특성 덕분에 NFT는 환경보호나 지역사회에 공헌한 소비자에게 또 다른 만족감을 제공할 수 있다”며 “ESG 활동을 NFT 자산으로 유형화하려는 시도가 ICT업계와 금융업계 전반에서 계속될 것”이라고 말했다.



두나무는 한국수목원정원관리원과 함께 멸종 식물 보호 프로젝트를 진행했다. 멸종위기식물 10종은 NFT로 제작했으며(왼쪽) 롯데정보통신은 업사이클링 브랜드 니올과 NFT를 발행했다.(오른쪽)

# 산업의 내일을 읽고 기업의 오늘을 이끽니다

KEIT는 알고 있습니다

하나의 기술을 완성하기까지

얼마나 많은 땀을 흘리고 있는 지를 -

KEIT도 뛰겠습니다

하나하나 최선을 다해 키워온 기술을

세상에 마음껏 펼쳐보일 수 있도록 -

모든 기업이 더 많은 기회를 얻고

R&D 영역을 넓힐 수 있도록

KEIT가 든든한 디딤돌이 되겠습니다



지난 2016년은 바둑 천재 이세돌 9단 vs. 알파고 대결에서 인공지능이 승리를 거두면서 인공지능의 무한한 가능성에 감탄한 해였습니다. 이후 대화하는 인공지능 챗GPT의 등장으로 산업계 전반에서 인공지능의 존재감이 커졌습니다. ‘알파고’, ‘챗GPT’는 딥러닝이 낳은 걸작품입니다. 과연 딥러닝은 무엇이고, 머신러닝과는 어떻게 다른지 그 개념을 알아볼까요?

### | 인공지능의 개념과 생성형 인공지능

인공지능<sup>AI</sup>의 출현이 우리의 사고를 뒤흔들고 있습니다. 인공지능이란 인간이 만들어낸, 인간처럼 생각하고 추론할 수 있는 지능을 말합니다. 1956년 다트머스 회의에서 컴퓨터 과학자 존 매카시가 인공지능이란 용어를 처음 사용했습니다. 다트머스 회의는 미국의 다트머스대학교에서 수학·심리학·컴퓨터과학 등 다양한 분야의 전문가 10명이 모여 한 회의입니다.

요즘 시 중에서 특히 챗GPT의 인기가 거셉니다. 2022년 11월 말

# 챗GPT 대화 실력의 비결, 딥러닝



세상에 등장한 챗GPT는 알파고의 등장에 버금가는 충격적인 사건이었습니다. 챗GPT는 구글의 알파고처럼 AI의 이름이자 종류입니다. 생성형 AI이죠.

생성형 AI는 예술, 음악, 소프트웨어 코드, 글쓰기 등 새롭고 독창적인 콘텐츠를 만들 수 있는 AI를 말합니다. 사용자가 궁금한 내용을 컴퓨터에 입력하면, AI가 학습한 내용을 기반으로 응답을 생성해 종종 독특하고 창의적인 결과물을 만들어냅니다. 사람이 경험하고 배운 것을 토대로 행동하는 것처럼 AI도 학습한 내용을



미국 스탠퍼드대학 교수이자 컴퓨터 과학자 존 매카시는 1956년 닥터머스 회의에서 인공지능이란 용어를 처음 사용했다.

(사진 자료: 스탠퍼드대학)

가지고 질문에 대한 답을 내놓습니다. 주문하는 대로 막힘없이 결과물을 만들어낸다고 해서 생성형 AI라고 부릅니다.

### | 딥러닝은 어떻게 호랑이를 구별해낼까

AI의 학습에는 머신러닝(machine learning)과 딥러닝(deep learning)이 있습니다. 딥러닝은 인간의 신경망을 본뜬 인공신경망을 통해 기계가 스스로 학습하도록 하는 기술입니다. 2006년 캐나다 토론토대학교의 제프리 힌턴 교수가 처음 만들었습니다. 챗GPT도 딥러닝 기술로 훈련을 받고 있습니다.

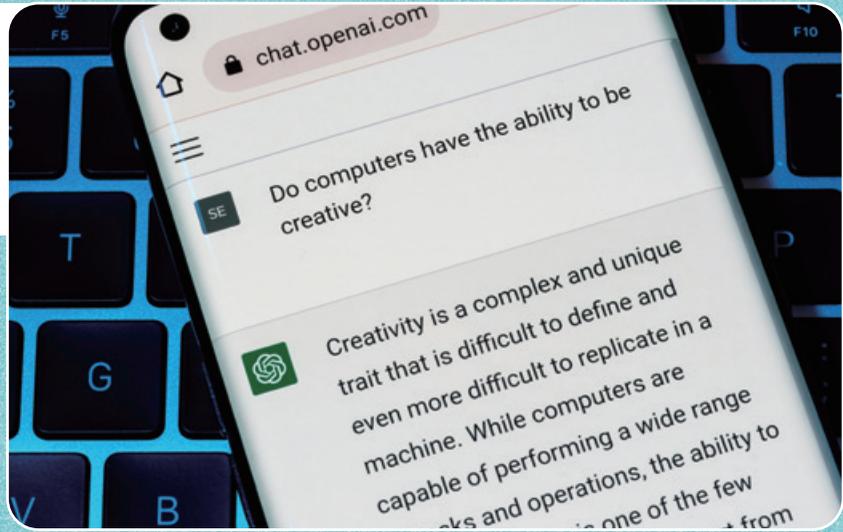
인간의 뇌에는 수천억 개의 뉴런(신경세포)이 서로 촘촘하게 연결돼 신호를 주고받으면서 작동합니다. 뉴런은 가지돌기에서 신호를 받아들이고, 이 신호가 일정치 이상의 크기를 가지면 축삭 돌기를 통해서 신호를 전달하는데, 딥러닝은 바로 이런 인간 뇌의 뉴런 구조를 본떠 만든 모델입니다. 그렇다면 딥러닝은 어떤 메커니즘으로 학습을 할까요.

딥러닝은 입력값과 출력값 사이에 인공신경망이 겹겹이 층(layer)으로 구성되어 있습니다. 이 여러 층에서 데이터를 걸러냅니다. 입력데이터와 출력데이터 사이의 관계를 자동으로 학습하고 최적의 가중치를 찾아내는 방식입니다. 쉽게 말해 수백만 개 층으로 구성된 인공신경망의 각 층이 간단한 연산을 통해 정보를 처리하고, 그 정보를 다음 층으로 넘기는 식으로 물체를 인식합니다. 이러한 방식을 ‘다층 퍼셉트론(perceptron)’이라고 합니다.

예를 들어 생김새가 서로 다른 사자와 호랑이 여러 마리가 뒤섞인 사진 수천만 장 중에서 호랑이만 인식하는 학습을 한다고 생각해봅시다. 수백만 개의 층 중 첫 번째 층에선 먼저 갈색 호랑이만 인식합니다. 두 번째 층에선 까만 줄무늬의 호랑이만 인식합니다. 세 번째 층에선 색깔과 관계없이 호랑이만 인식합니다. 계속 이어지는 다음다음 층에선 하품하는 모습, 꼬리 흔드는 모습, 점프력 등 다양한 호랑이의 공통된 패턴을 찾아내 학습합니다.

컴퓨터에 투입된 데이터를 바탕으로 일정한 패턴을 발견해 특징 지도를 형성해나가는 것입니다. 아주 작은 특징부터 큰 특징까지 추출합니다. 그리고 마지막 층에서 호랑이만 분류해냅니다. 이렇게 수없이 많은 단계를 거쳐 특징을 추출하는 딥러닝은 층

요즘 AI 중에서 가장 주목받는 건 단연 챗GPT다. 2022년 11월 말 세상에 등장한 챗GPT는 알파고의 등장에 버금가는 충격적인 사건이었다. 챗GPT는 구글의 알파고처럼 AI의 이름이자 종류로 생성형 AI다.



이 깊다고 해서 ‘심층 학습, 깊은 학습’으로도 불립니다. ‘심층 신경망’<sup>(deep neural network)</sup> 알고리즘을 통해 다단계로 깊은 수준까지 내려가 학습하기 때문에 딥러닝이라는 이름이 붙게 되었고, 상위 계층으로 올라갈수록 어려운 내용을 학습할 수 있습니다.

### | 데이터 분류를 통한 예측이 딥러닝의 핵심

이때 데이터가 많아질수록 학습할 수 있는 능력이 커집니다. 예를 들어 고양이를 정확하게 분류하는 딥러닝 모델을 만들려면 고품질의 고양이 이미지와 고양이를 분류하는 요인이 다양해야 합니다. 쉽게 말해 눈과 코의 모양만으로 분류하는 것보다 눈, 코, 입, 귀, 꼬리 등 많은 변수를 부여해야 가장 정확한 판단을 계산해낼 수 있습니다.

그렇다면 그 많은 데이터는 어디서 구할까요. 우리의 1분1초가 인터넷에 기록되고 있습니다. 전 세계 사람들이 매일 찍어서 올리는 동물과 식물, 새로 산 옷, 가방 등의 사진, 음식을 맛있게 만드는 조리법, 세계 여행 이야기 등 디지털 환경에서 끊임없이 만들어지고 있는 모든 문자나 영상, 이미지가 딥러닝의 데이터가 됩니다. 이렇게 방대한 데이터를 ‘빅데이터’<sup>(big data)</sup>라고 합니다.

딥러닝의 핵심은 분류를 통한 예측입니다. 수많은 데이터 속에서 공통점을 스스로 찾아 인간이 사물을 구분하듯 컴퓨터가 데이터를 분류합니다. 데이터를 분류해내는 일은 생각보다 어렵습

니다. 예를 들어 강아지의 종류는 무수히 많습니다. 옹크린 모양, 조명, 상황 등에 따라 그 값은 얼마든지 달라질 수 있습니다. 이 때문에 컴퓨터가 강아지를 인지하도록 하는 것은 사실상 불가능했습니다. 하지만 딥러닝은 이런 문제를 해결할 수 있습니다.

우리가 똑같은 물건을 자주 보면, 볼 때마다 눈에서 뇌로 전달된 정보는 신경세포들 사이에서 똑같은 신호 패턴을 반복적으로 일으킵니다. 그 때문에 뇌가 반복학습을 하게 되고 기억하게 됩니다. 딥러닝도 마찬가지입니다. 이미지, 음성인식, 자연어처리 등 다양한 분야를 활용한 반복학습을 통해 공통된 패턴을 인식합니다. 공통된 패턴을 학습하는 과정에서 입력데이터와 출력데이터 사이의 오차를 최소화하는 방향으로 가중치를 조정하게 되고, 최종적으로 학습된 딥러닝 모델은 새로운 입력데이터에 대한 출력력을 예측할 수 있게 됩니다.

### | 딥러닝과 머신러닝의 차이는 사람의 개입 여부

딥러닝은 인공지능망을 이용하는 머신러닝(기계학습)의 일종입니다. 딥러닝과 머신러닝은 데이터를 이용해 모델을 학습한다는 공통점이 있습니다. 하지만 데이터를 학습하는 과정에서 큰 차이가 있습니다. 바로 사람의 개입 여부입니다.

머신러닝은 사람이 주어진 데이터를 먼저 처리합니다. 컴퓨터에 강아지, 고양이의 특정 패턴을 추출하는 방법을 사람이 처음부

터 끝까지 세세하게 알고리즘을 한 줄 한 줄 코딩해서 입력합니다. 그 이후 이렇게 정의된 알고리즘에 따라 컴퓨터가 스스로 데이터의 개, 고양이 특징을 분석하고 축적합니다. 이렇게 축적된 데이터를 바탕으로 문제를 해결합니다.

문제는 학습된 상황과 조금만 달라도 알고리즘이 제대로 작동하지 않는다는 것입니다. 예를 들어 사람이 먼저 강아지의 사진을 보고 추출한 특정 패턴과 약간 동작이 바뀐 다른 강아지 사진을 보여주면 고양이라는 엉뚱한 답을 내놓습니다. 머신러닝에서는 왜 이런 문제가 생길까요. 바로 단층 퍼셉트론을 적용했기 때문입니다. 하나의 층에서만 학습을 하니 다양한 정보를 처리하기가 어렵습니다. 반면 다층 퍼셉트론 방식을 따르는 딥러닝은 어려운 내용의 학습이 가능하며 새로운 입력데이터에 대한 출력을 예측할 수 있는 거지요.

### | 딥러닝에 자연어처리 접목해 사람에 맞는 결과를 생성

딥러닝은 컴퓨터 프로그래밍 언어(코딩)가 아닌 자연어를 인식합니다. AI에서 가장 중요한 요소 중 하나는 ‘자연어처리’입니다. 자연어처리는 사람이 평소 쓰는 말과 글을 그대로 인식할 수 있는 기술을 말합니다. 즉 사람의 언어인 자연어를 그대로 제공하면 기계(컴퓨터)가 사람의 언어를 처리하여 사람에게 맞게 결과물을 만들어냅니다.

오랜 시간 인간의 전유물로 여겼던 언어를 컴퓨터에게 가르치고, 나아가 컴퓨터가 스스로 언어를 자유자재로 사용할 수 있도록 하는 방법입니다. 단순히 단어나 문장의 형태만 기계가 인식하도록 하는 것이 아니라 ‘의미를 인식하도록 하는 것’을 뜻합니다.

예를 들어 ‘빨강’, ‘분홍’, ‘파랑’이라는 3개의 단어를 컴퓨터에 입력했다고 가정해봅시다. 일반적인 컴퓨터의 경우 자연어처리 과정에서 빨강과 분홍, 파랑이 각각 동일하게 다른 의미를 지닌 정보로 취급됩니다. 하지만 사람인 우리는 빨강과 분홍이 어떤 포함관계에 속하는 유사성을 지닌 단어임을 직관적으로 이해합니다. 이런 단어의 의미를 올바르게 인식하도록 만드는 것이 자연

어처리 기술입니다.

딥러닝을 기반으로 하는 자연어처리에서도 사람이 단어를 이해하는 것처럼 빨강과 분홍을 파랑과 비교해 더 가깝고 유사한 관계에 있는 정보라고 처리합니다. 다시 말해 언어에서 연속적인 가치를 발견하고 언어를 처리할 수 있습니다. 문장에서 다음에 나올 단어의 확률을 구해 단어, 문장, 문단에 적용한 패턴을 인식하는 것입니다. 그래서 컴퓨터 프로그래밍을 말하는 코딩과 자연어처리는 동일한 개념이 아닙니다. 앞으로 자연어처리의 비약적인 발전에 딥러닝이 핵심 역할을 하게 될 것입니다.

미국의 물리학자 레이 커즈와일<sup>Ray Kurzweil</sup>은 2029년쯤이면 인간의 뇌와 다름없는 기계지능이 나타나고, 2045년에는 ‘시가 인간을 앞지르는 특정 시점(특이점)’인 **싱귤러리티**<sup>Singularity</sup>가 온다고 예언했습니다. 심층 학습으로 여러 단계를 쌓아 올라가다 보면 사람만큼 영리한 지능에 도달할 수 있다는 것입니다. 물론 아직은 스스로 학습하는 기계에 사람의 손길이 더욱 필요하지만 말입니다. 인간을 뛰어넘은 시가 어떤 모습일지 궁금합니다.

딥러닝은 컴퓨터 프로그래밍 언어(코딩)가 아닌 자연어를 인식한다. AI에서 가장 중요한 요소 중 하나는 ‘자연어처리’로 자연어처리는 사람이 평소 쓰는 말과 글을 그대로 인식할 수 있는 기술을 말한다.



**김형자 과학 칼럼니스트** 청소년 과학 잡지 <Newton> 편집장을 지냈으며, 현재 과학 칼럼니스트와 저술가로 활동 중이다. 문화체육관광부 <K-공감>, <조선일보>, <주간조선>, <시사저널> 등의 매체에 과학 칼럼을 연재하고 있다. 저서로는 <구멍에서 발견한 과학>, <먹는 과학책>, <지구의 마지막 1분> 등이 있다.

로보틱스  
전문가

# 첨단 로봇 기술 연구로 환자의 삶의 질 높인다

한경원 서울대 기계공학부 교수

로봇의 시대를 맞아 의료 분야에서도 각종 질병의 진단부터 치료, 수술, 재활에 이르기까지 영역을 빠르게 넓혀가고 있다. 이러한 혁신의 한 축을 담당하며 의료로봇과 관련 기기의 연구개발에 전념하는 진도유망한 로봇공학자를 만났다.

word 김광균 photo 이승재

## 한경원 교수는 누구 ?

서울대 기계공학과 교수로 의료로봇에 적용 가능한 액추에이터와 센서 관련 연구를 한다. 미국 조지아공대 기계공학과를 졸업한 뒤 스탠퍼드대학에서 석사와 박사 학위를 취득했으며, 동 대학에서 연구원으로 재직했다. 연구원 생활 동안 심장 보조 기기를 연구해왔다. 현재 운영 중인 헬스케어 로보틱스 연구실에서는 로봇 수술 관련 기술을 연구하고 있다.

**서울대 기계공학과 교수로서 로보틱스, 특히 의료로봇 관련 연구를 하고 있는 것으로 알고 있는데요. 주로 어떤 연구를 하는지 소개 부탁드립니다.**

의료로봇에 적용 가능한 액추에이터와 센서 관련 연구를 주로 하고 있고, 소프트 로보틱스 기술에 초점을 맞추고 있습니다. 이러한 연구를 하는 이유는 로봇 기술을 의료 분야에 적용하려면 보다 안전하게 사람과 상호작용할 수 있어야 하는데 이를 위해 부드러운 재료로 만든 제품을 사용해야 하기 때문입니다. 예를 들면 수술도구라든지 심장의 이완이나 수축을 돕는 보조 기기 같은 것들은 신체와 접촉하게 되므로 안전을 최우선으로 하는 기술의 연구개발이 중요하다고 볼 수 있습니다.

**미국 조지아공대 기계공학과를 졸업한 뒤 스탠퍼드대학에서 석사와 박사 학위를 취득했습니다. 유학을 결정한 계기나 이유가 있을까요?**

2000년대 후반 대학 진학을 고민하던 시절, 공학을 전공하기에 미국의 교육 여건이 잘돼 있다는 이야기를 들었어요. 이왕

공학을 전공하려면 좋은 환경에서 공부하면 좋겠다고 생각해 유학을 결정했습니다. 초등학교 때 미국에서 잠시 지낸 적이 있어서 유학에 대한 거부감도 없었고요.

**기계공학을 전공해야겠다고 생각한 동기가 있었나요?**

어릴 때부터 뭐든 고치고 만드는 걸 좋아했어요. 초등학교 때 친구들이 고장 난 샤프를 버리려고 하면 고쳐준다든지 샤프 심 케이스를 개조해 샤프로 쓴다든지 그런 거 있잖아요. 작동 원리를 파악하고 직접 만들어보는 데 흥미를 느꼈고요. 교과목 중에서도 물리와 수학을 좋아하고 잘하니까 자연스럽게 공대를 가야겠다고 생각했어요. 부모님도 기계공학 쪽이 제 적성에 맞다고 생각하셔서 적극 지원해주셨습니다.

**기계공학에도 여러 분야가 있을 텐데요. 그중에서도 로봇 연구, 특히 의료로봇에 관심과 흥미를 갖게 된 이유가 궁금합니다.**

앞서 어려서부터 만드는 걸 좋아해서 기계공학에 흥미를 갖게 됐다고 말씀드렸는데요. 의료로봇 연구에 관심을 갖게 된 것은 제가 만드는 것들이 사람에게 직접적으로 도움이 될 수 있는 분야라고 생각했기 때문이에요. 연구 주제를 선택할 때 이것이 어떤 의미가 있느냐, 어떤 면에서 중요한가 하는 점을 고려해야 하는데 의료로봇은 사람의 질병을 치료할 수 있고 생명을 구할 수 있다는 점에서 의미가 크다고 생각했어요. 특히 제가 주력하는 심장 이식 기기 연구는 포스트닥터(박사 후 연구원) 시절 교수님과 심장 연구에 관한 이야기를 나누면서 앞으로 연구할 주제가 많겠다는 생각이 들어 연구를 시작하게 됐습니다.

**스탠퍼드대에서 박사학위 취득 후 연구원으로 재직했습니다. 연구원에서 주로 어떤 연구를 했으며, 연구원 생활은 어땠는지 말씀해주세요.**

심장 보조 기기를 주로 연구했습니다. 심실 내 압력을 조절해주는 액추에이터를 심장 주변에 달아 심장의 압력을 높이기

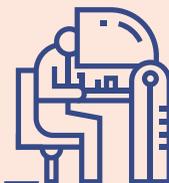
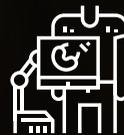
나 낮출 수 있는 기술을 다뤘고요. 심장의 부피가 얼마나 변하는지 감지하는 센서를 만들기도 했어요. 그중에서도 심장이 작게 태어난 아기들을 위한 심장 성장 유도 기기 개발이 주된 연구 주제였습니다. 심장에 기계적 자극을 주어 정상 크기로 성장하도록 유도하는 기기인데 현재 검증 단계에 있고요. 상당히 혁신적이고 도전적인 주제로 지금도 스탠퍼드대와 미팅을 지속하며 함께 연구를 진행하고 있습니다. 스탠퍼드대에서 1년 반 동안 연구원 생활을 했는데 박사 과정 학생들에게 멘토로서 저의 연구 경험을 공유하며 도움을 주었죠. 또한 당시 서울대 조교수에 지원해 합격한 상태라 마음 편히 하고 싶은 연구에 임할 수 있었기 때문에 저로서 가장 행복한 시기가 아니었나 싶어요.

**현재 의료로봇, 소프트 액추에이터, 센서, 메커니즘 개발 등이 주요 관심 분야인 것으로 알고 있습니다. 해당 분야의 최신 동향이나 이슈, 당면 과제는 무엇인가요?**

소프트 로보틱스 분야가 사회적으로 관심을 받은 지 10년이 넘은 거 같은데요. 관련 기술이 점진적으로 발전해왔지만 재료상의 문제로 여러 한계를 지닌 것도 사실입니다. 일반적으로 실리콘이나 고무 같은 부드러운 재료를 사용하는데 그러다 보니 반복성, 내구성이 떨어질 뿐 아니라 제작 기술의 한계로 같은 제품을 여러 개 제작하는 데 어려움이 많습니다. 이런 문제를 개선하기 위한 기술개발이 필요한 상황입니다.



한경원 교수가 연구개발 중인 소프트 액추에이터는 심장이 약한 환자의 심장박동을 돕는 기능을 한다.



## 서울대 기계공학부에서 운영 중인 ‘헬스케어 로보틱스 연구실’에서는 어떤 연구를 수행하고 있나요?

우선 로봇 수술과 관련한 기술을 연구하고 있습니다. 원격으로 로봇 수술을 진행할 때 의사가 촉감을 느낄 수 있도록 전달하는 햅틱 기기를 제작하고 있고요. 로봇 수술 시 안전하게 적당한 힘으로 조직을 잡고 다룰 수 있는 그리핑<sup>gripping</sup> 관련 센서를 개발하기도 합니다. 또한 몸 안의 장기, 특히 심장에 문제가 있는 환자분들을 위해 이식 가능한 기기를 개발하고 있어요. 장기가 제대로 기능할 수 있게 보조하는 역할을 하거나 센싱을 통해 상태를 확인할 수 있는 기기를 만드는 데 목표를 두고 있죠. 의료 분야에서 보다 발전된 기술을 만들어내기 위해 노력하고 있습니다.

## 로봇 연구를 하면서 어려운 점과 보람을 느끼는 부분은 무엇인가요?

우리 삶에 직접적으로 도움을 줄 수 있는 분야를 연구하고 있다는 점에서 보람을 느끼죠. 실제 환자를 만났을 때 저희가 하는 연구에 대해 긍정적으로 평가해주시고 고마움을 표현해주는 모습을 보면서 ‘내 연구가 누군가에게는 생명을 살릴 수 있는 소중한 기술일 수 있겠구나’ 하는 생각이 들었어요. 반면 연구 대상이 사람이다 보니 안전성을 확실하게 검증해야 한다는 점이 가장 어려운 것 같습니다. 수술기구라면 괜찮지만 장기간 몸 안에 이식해야 하는 기기, 예를 들면 심장의 수축이완을 도와주는 기기 같은 것은 오랜 시간 테스트와 검증 기간을 거쳐 실제 사람에게 적용할 수 있는지 판단해야 하거든요. 그 과정이 쉽진 않지만 새로운 기술의 가능성을 검증하는 단계가 가장 흥미로운 지점이기도 합니다.

## 로봇공학자가 되려면 어떤 소양을 갖춰야 할까요? 로봇공학자를 꿈꾸는 학생과 후배들에게 한 말씀 부탁드립니다.

로봇공학에도 많은 하위 분야가 있습니다. 저처럼 하드웨어 쪽을 다루는 분야가 있고, 인공지능이나 컨트롤처럼 소프트웨어 연구를 하는 분야도 있습니다. 각 분야마다 실질적으로



필요한 소양과 역량이 다를 텐데요. 제 분야와 관련해 말씀드리면, 물리학적 직관<sup>physical intuition</sup>이 있으면 도움이 되지 않을까 싶습니다. 이런 감각을 어떻게 기르느냐 하는 건 또 다른 문제이긴 합니다만 어떤 기술적인 현상을 보면서 원리를 파악하는 데 흥미를 느낀다면 로봇공학과 잘 맞을 것이라고 생각합니다. 어떤 현상의 문제점을 파악하거나 기술의 작동 원리를 파악하는 데 흥미를 갖는 것이 단순히 지식을 습득하는 것보다 더 중요하다고 봅니다.

## 로봇공학자로서 앞으로 이루고자 하는 목표가 있다면 말씀해주세요.

기술적으로는 좀 더 부드럽고 작고 가벼우면서도 큰 힘과 변형을 줄 수 있는 구동기를 개발하는 것이 목표입니다. 그렇게 되면 예를 들어 의료용 카테터(가느다란 관)를 사용해 시술을 하는 경우 몸 안에서 원하는 방향으로 가게 하거나 필요할 때 충분한 힘을 줄 수 있겠죠. 로봇 수술 시 촉감을 느끼게 해주는 햅틱 기기나 심장 혹은 장기를 보조해주는 기기에도 적용할 수 있겠고요. 궁극적으로 제가 연구하고 개발한 기술이 의료 현장에서 실질적인 도움이 됐으면 하는 바람입니다.

## <테크 포커스>의 든든한 서포터



### ‘똑’똑하게 ‘소’통하고 ‘리’뷰하는 <테크 포커스> 독자 ‘단’

2023년 매거진의 기획부터 리뷰까지 적극적으로 참여한 똑소리단 1기가

2023년 활동했던 소감과 함께 2024년 <테크 포커스>에서 들려줬으면 하는 테마를 제안합니다.

<p><b>똑소리단 1기가</b> <b>2024년</b> <b>&lt;테크 포커스&gt; 테마를</b> <b>제안합니다</b></p>	<p>선보영 활동가   일상생활에서 쉽게 와닿는 소소한 기술</p>	<p>김동찬 활동가   바이오 환경 관련 기술</p>	<p>황일식 활동가   합성 생물학</p>
<p>이유정 활동가   아이들에게 교육하면 좋을 유익한 기술 모음</p>	<p>전준규 활동가   오감인공지능기술, 유전자 가위, 뇌과학 등 최신 바이오-생체 기술</p>	<p>김경은 활동가   지구 환경 개선 기술, 바이러스 대응에 관련한 기술</p>	<p>류승연 활동가   &lt;오픈하이머&gt;에 등장했던 ‘핵 융합, 핵분열’ 분야 기술, 실제 로봇기술의 현재 수준과 앞으로의 실제 기술 발전 가능성, 학생들을 위한 2023년 수능에 등장한 과학기술 지문 관련 내용</p>
<p>서정수 활동가   기후위기 대응을 위한 에너지 관련 기술, 특히 전력 계통이나 VPP 관련 주제</p>	<p>김형우 활동가   사이버 보안 관련 기술</p>	<p>박복남 활동가   생성형 인공지능의 산업별 및 중소기업 활용 방안</p>	<p>조재현 활동가   뿌리산업과 관련하여 공정 자동화 우수 사례, 외국 기업 성공 케이스</p>
<p>김정은 활동가   2024년 예상되는 생성형 AI 발전 방향</p>	<p>전유정 활동가   디지털 기술이 미디어나 문화예술에 적용되는 사례</p>	<p>최군환 활동가   신재생에너지 관련 기술의 연구개발 성과 및 패러다임</p>	<p>박병철 활동가   산업 현장에서의 로봇 기술</p>

## 톡소리단 1기 최우수 활동가 소감

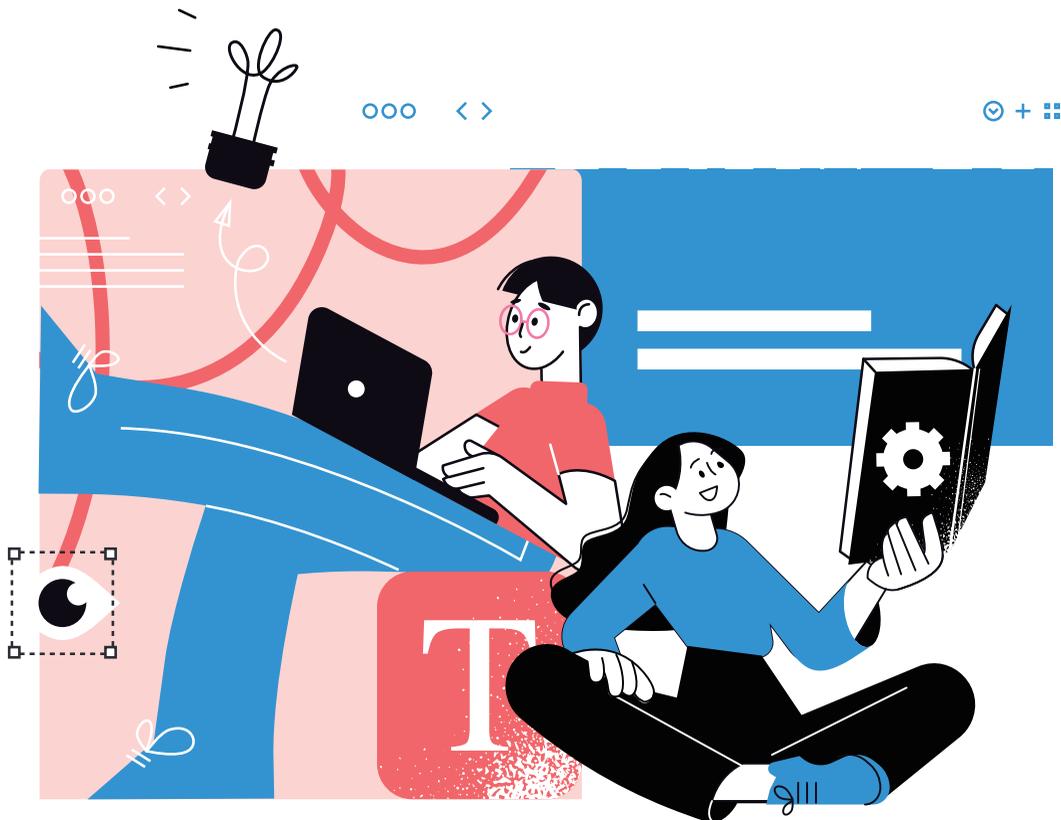


### 김정현 활동가

톡소리단 활동을 통해 새로운 지식을 접하는 것뿐만 아니라 더해서 힐링을 할 수 있는 시간이었습니다. 친구들과 곧 졸업을 하겠지만 아직 우리는 '말하는 감자' 같다는 농담을 주고받은 적이 있습니다. 학업, 취업 등 여러 경쟁으로 인해서 스스로가 쌓아온 것이 없고 여러 질문을 받으면서 아는 것도 없는, 정말 말하는 감자 같은 느낌이 들었을 때, 저는 리뷰단 활동에서 많은 위로를 받았습니다. 다양한 분야에서 최선을 다하며 새로운 성과를 내신 분들에 대한 이야기, 사회의 급격한 변화가 부담이 아닌 새로운 연구의 실마리를 준다는 점, 여러 전문가들의 리뷰를 보며 다양한 관점을 배울 수 있었던 아주 값진 경험이었습니다. <테크 포커스>에 실린 유익한 글을 작성하신 분들과 다양한 연구를 진행해주신 모든 분들이 있었기에 더 열심히 재밌게 활동할 수 있었습니다. 감사합니다.

### 선보영 활동가

톡소리단 1기 활동가 여러분, 그리고 <테크 포커스>를 만들어 나가시는 분들에게 감사했습니다. 톡소리단 활동은 저에게 넓은 시야를 제공하고, 각 산업 분야에 몸담고 계시는 분들의 다양한 의견을 접하며 새로운 아이디어를 내는 기회를 주었습니다. 국내 최신 산업기술 R&D 및 정책을 파악하며, 이를 바탕으로 잡지 제작, 웹페이지 구축 과정에 있어 적극적으로 의견을 내며, 이것이 일반 독자들에게 국내 산업기술을 쉽게 이해하는 데에 도움이 되었다는 것이 큰 보람이었습니다. <이달의 신기술>이 <테크 포커스>로 변화하면서 저 역시 함께 성장했습니다. 톡소리단과 함께한 시간이 매우 유익했다는 말을 전합니다.



## 2023년도 소재·부품·장비 으뜸기업 4기 선정계획 공고

소재·부품·장비 핵심전략기술 분야의 공급망 안정 및 글로벌화를 위해 산업통상자원부에서 추진하고 있는 ‘2023년도 소재·부품·장비 으뜸기업(특화선도기업) 4기 선정계획’을 아래와 같이 공고하오니, 참여를 희망하는 기업은 관련 절차에 따라 신청해주시기 바랍니다.

### 추진 목적

소부장 핵심전략기술 분야에 국내 최고 역량과 미래 성장 가능성을 보유한 기업을 발굴하여 글로벌 경쟁력을 갖춘 소부장 대표 기업으로 육성

선정 규모: 20개社 내외

### 신청 기간

① 핵심전략기술 확인: 2023.12.15.(금)~2024.1.03.(수) 18:00까지

② 으뜸기업 신청: 2023.12.18(월)~2024.1.29(월) 18:00까지

\* 으뜸기업 신청 시 발급받은 핵심전략기술 확인서를 반드시 제출

\* 핵심전략기술 세부 내용 및 확인 절차는 산업통상자원부 고시 제2022-173호

“핵심전략기술 및 핵심전략기술과 관련된 품목, 핵심전략기술 선정·재검토 세부 절차 등에 관한 고시”를 통해 확인 가능

### 신청 대상

소부장 핵심전략기술 관련 역량과 잠재력 보유 기업

### 접수 방법

① 핵심전략기술 확인

신청 기간: 2023.12.15(금)~2024.1.03.(수) 18:00까지, 19일간

신청 양식: 소부장넷 홈페이지에서 상시 양식 다운로드 가능

다운로드 경로: 소부장넷([www.sobujang.net](http://www.sobujang.net)) → 소부장 기업·기술 → 핵심전략기술 확인 → 핵심전략기술 확인 신청

\* 핵심전략기술의 원활한 확인 업무를 위하여 신청양식 및 보유 기술 증빙자료(매출증빙, 공인시험성적서, 특허 등) 제출 요망

\* 1월 3일(수)까지 제출한 핵심전략기술 신청서에 대해서는 심의를 거쳐 1월 19일(금)까지 확인·통보 예정(통보 일정은 변경될 수 있음)

### ② 으뜸기업 신청

신청 기간: 2023.12.18(월)~2024.1.29.(월) 18:00까지, 42일간

\* 핵심전략기술 확인서를 미제출하거나 보유하지 않은 기업은 사전 제외 가능

신청 양식: 소부장넷 홈페이지에서 상시 양식 다운로드 가능

다운로드 경로: 소부장넷([www.sobujang.net](http://www.sobujang.net)) → 소부장 기업·기술 → 으뜸기업 → 으뜸기업 신청

### ③ 핵심전략기술 확인 및 으뜸기업 신청 공통 요령

전산등록: 소부장넷([www.sobujang.net](http://www.sobujang.net))에서 관련 자료 업로드  
모든 신청서류는 신청기관 직인 또는 서명을 날인하여 스캔본 업로드 원칙

\* 접수 마감일에는 접속 과부하로 인해 접수가 지연되거나 장애가 발생할 수 있으므로 사전 접수를 권장하며 접수 마감일 18시 이후에는 접수 불가

\* 접수 시, 신청기관의 책임자가 로그인해 입력·제출함을 원칙으로

하고 원활한 등록을 위해 신청기관 및 신청기관 책임자는

산업기술R&D정보포털([itech.keit.re.kr](http://itech.keit.re.kr)) 또는 소부장넷([www.sobujang.net](http://www.sobujang.net))에 사전 회원등록 요망

\* 제출된 계획서 및 서류, 전산에 등록된 내용 등이 허위, 위변조, 그 밖의 방법으로 부정하게 작성된 경우 선정 취소 등 불이익 조치 예정

\* 제출된 서류는 일체 반환하지 않음

### 문의처

구분	담당부서	연락처
으뜸기업 선정 관련 신청서 작성 및 전산접수 관련 문의	한국산업기술기획평가원 산업공급망팀	053-718-8474
핵심전략기술 확인 관련 문의	한국산업기술기획평가원 산업공급망팀	053-718-**** (8429, 8455, 8358, 8474)
공고 및 접수 관련 일반사항	한국산업기술기획평가원 R&D 콜센터	1544-6633



독자 퀴즈

○○○ ○○에 대한 엄밀한 기술적 정의는 아직 없다. 그러나 국제표준화기구에 따르면 “산업 자동화를 제외한 다른 용도에서 인간 또는 장비에 유용한 임무를 실행하는 로봇”이다.

다음 ○○○○에 들어갈 단어를 적어주세요!

퀴즈에 참여해주신 정답자 중 추첨을 통해 소정의 상품을 보내드립니다.  
퀴즈 답변과 휴대폰 번호를 [grintjssu@hankyung.com](mailto:grintjssu@hankyung.com)으로 보내주세요. 독자 선물은 교환, 환불이 불가합니다. 전화번호 누락, 오류 등으로 인한 반송 시 재발송하지 않습니다.

퀴즈 정답자  
모바일 커피 교환권  
100명 증정

<이달의 신기술>의 새로운 시작

# TECH FOCUS

이달의 신기술이 한층 업그레이드된  
<테크 포커스>라는 이름으로  
독자 여러분을 찾아갑니다!

<테크 포커스> 웹진 보기  
매월 10일 오픈



<테크 포커스>의 감상 포인트

4 가지!

유료 구매는 그만,  
언제 어디서든  
무료로 볼 수 있는  
웹진으로~

독자와 함께  
파헤쳐 보는  
직업 탐구 인터뷰  
'잡 인사이드'

산업기술의 역사부터  
쓸모있는 잡다한  
지식까지 쉽고  
재미있게~

나도 산업기술  
전문가! 국내외  
최신 산업기술  
동향 정보까지!

산업기술이 궁금한  
고등학생

산업기술 진로가 궁금한  
학부모&교사

전공과 관련한 산업기술 정보가  
필요한 대학생

산업기술에 흥미를 가진  
누구나!



**연구개발에서 사업화까지  
한국산업기술기획평가원이  
기업의 성장 속도에  
힘이 되겠습니다**

때로는 과감하게,  
때로는 신중하게,  
기업들이 안전하게 성공하도록  
기술 개발에 모든 과정마다  
든든한 조력자가 되어드립니다  
KEIT와 함께  
기업의 성장과 국민의 행복에  
끝까지 완주하세요

R & D

D



**기술주도 혁신성장,  
기술기반 산업강국을  
향해 나아갑니다**

첨단산업 성장기반  
기술확보

- 미래전략산업 초격차 기술 확보
- 4차 산업혁명 선도기술 기반 강화
- 생명·안전·재난 대응 유망기술 확보



주력산업의  
기술고도화 촉진

- 제조업 고부가가치화 촉진
- 차세대 모빌리티 혁명 기술 리더
- 공급망 선도기술 확보



R&D 혁신 생태계  
강화

- 도전적·혁신적 R&D 강화
- 혁신기업의 성장잠재력 확충
- 성과중심 R&D 시스템 강화



성과중심 경영시스템  
정착

- 기관운영의 효율성 제고
- 경영혁신 기반 강화
- ESG 경영체제 확립