

OCTOBER 2023

10

Vol. 121



NEW TECHNOLOGY

이달의 신기술

OF THE MONTH

ESG TECH TREND — 탄소중립을 위한 최선의 대안, CCUS

SPECIAL REPORT — 상온·상압 초전도체, 정밀 세상을 바꿀까?

ISSUE — 인터스터리 5.0 시대를 위한 스마트 제조



OCTOBER
2023

SPECIAL THEME

02

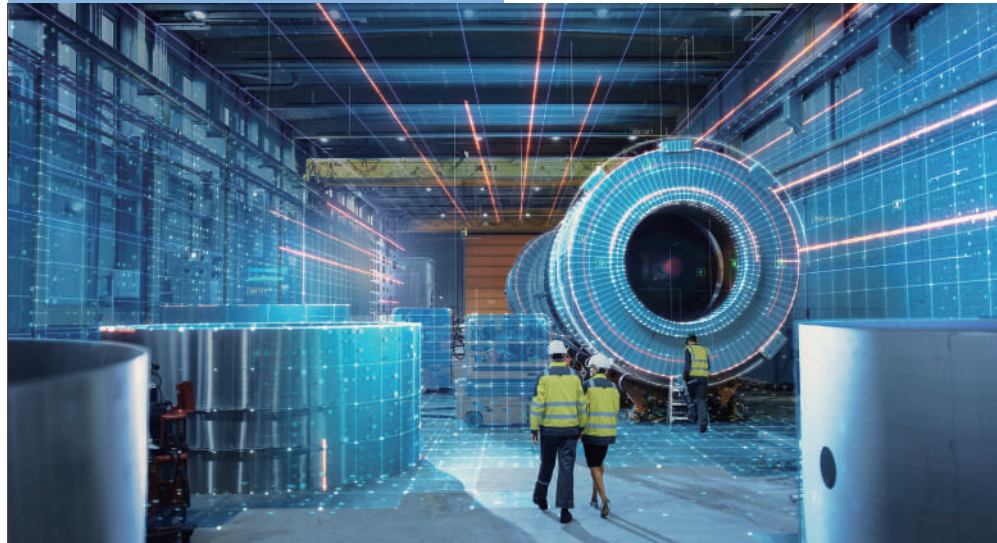
INTRO
All About

스마트
팩토리

NEW TECH

26

올해의 산업혁신기술상
(주)삼우티씨씨 이순걸 대표이사
유기성폐기물 처리로 '환경과
경제성' 두 마리 토끼 잡다



등록일자

2013년 8월 24일

발행일

2023년 9월 30일

발행인

한국산업기술기획평가원 원장 전윤종

발행처

한국산업기술기획평가원,

한국산업기술진흥원,

한국에너지기술평가원, 한국공학한림원

주소

대구광역시 동구 첨단로8길 32(신서동)

한국산업기술기획평가원

후원

산업통상자원부

편집 및 제작

한국경제매거진(주)(02-360-4816)

인쇄

동진문화사(02-2269-4783)

구매 문의

02-360-4859 / chojh@hankyung.com

문의

한국산업기술기획평가원

(053-718-8567)

잡지등록

대구동, 라00026

※

본지에 게재된 모든 기사의 판권은

한국산업기술기획평가원이 보유하며,

발행인의 사전 허가 없이는 기사와 사진의

무단 전재, 복사를 금합니다.

04

TECH

2023 제조업 DX 트렌드를 읽다

10

GLOBAL ISSUE

제조업 혁신을 향한 강대국의 전략

16

INTERVIEW

장영재 KAIST 산업 및

시스템 공학과 교수

스마트팩토리,

도입을 넘어 고도화로

20

ISSUE

인더스트리 5.0 시대를 위한

스마트 제조

30

R&D 프로젝트

붕괴 사고 시 안전한 탐지 위한

뱀형 로봇 기술개발

34

R&D 기업

(주)트위니

자율주행 물류 이송로봇 시장에

트윈 돌풍이 몰아친다



38

이달의 기술
다중면역 진단 기술을 바탕으로 한
체외 질병 진단 시스템 개발

40

스페셜 리포트
상온·상압 초전도체,
정말 세상을 바꿀까?

GLOBAL TECH ISSUE

44

INFO
한눈에 보는 식량·에너지 안보

46

기술 현주소
애플리케이션 시대의 식량 위기



50

산업 이슈
에너지 안보, 우리의 인식과
종합적인 안목이 중요한 때

ESG TECH TREND

54

ESG 기술
탄소중립을 위한 최선의 대안,
CCUS



58

ISSUE BRIEFING
지금은 블루 카본이 필요한 때

62

ESG 국내외 동향
폐차 가죽 시트가
지구를 돕는 방식

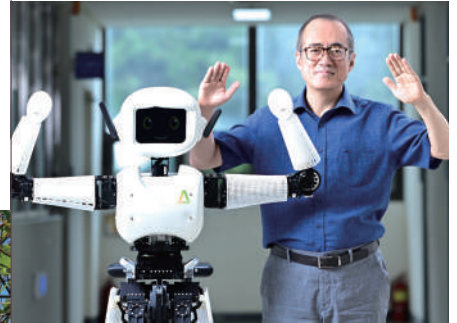
TECH STORY

66

싱크탱크
이광진 고려대학교
기초과학연구원^{IBS} 분자분광학 및
동력학 연구단 연구교수
분광학 분야에서 가장 앞선 성취를
이루고 싶다

69

잡 인사이드
AI 로봇윤리학자,
김중욱 동아대학교 교수
첨단기술에도 도덕이 필요하다!



74

프런티어
장준혁 한양대학교
융합전자공학부 교수
인간과 기계 간 소통을 더욱 편리하게!

76

예술로 본 기술
어쩌다 도시를 구한 촌 동네 로봇
영화 <로봇>



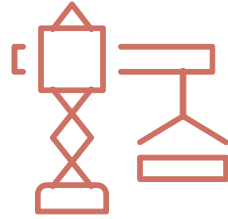
80

산업 뉴스
2023년도 수소터빈 시험연구센터
구축사업 보조사업자 모집 공고

ALL ABOUT 스마트팩토리

스마트팩토리란?

제품 기획부터 판매까지 모든 생산과정을
정보통신기술^{ICT}로 통합해 최소 비용과 시간으로
고객 맞춤형 제품을 생산하는 사람 중심의 첨단
지능형 공장



스마트팩토리 생태계 구성 요소

	정의	활용
애플리케이션	· MES, ERP, SCM 등 플랫폼상에서 각종 제조 활동 수행 · 공정 정보 전달, 플랫폼 분석 결과를 가시화	공정 설계, 제조 실행, 품질 분석, 설비 보전, 안전 확보, 유통·조달, 고객 대응
플랫폼	· 디바이스-애플리케이션의 미들웨어 역할 수행 · 수집 데이터 분석, 모델링 및 시뮬레이션, 생산 프로세스 제어	빅데이터 분석, 사이버물리 기술, 클라우드, 자원관리
디바이스	· 스마트팩토리 생태계의 최전선 하드웨어 시스템 · 센서를 통해 위치, 환경 등을 인식·감지, 플랫폼으로 전송	컨트롤러, 로봇, 센서 등 물리적 컴포넌트
네트워크 보안	· 온-오프라인을 통한 외부 공격 및 해킹 방지 · 디바이스-플랫폼-애플리케이션의 단계별 방어 전략 필요	소프트웨어 보안, 시스템 보안, 산업 기밀 및 데이터 보호 기술

스마트팩토리를
구축하는 조건

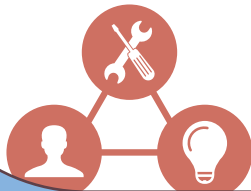
5

1

4M+1E의 디지털화

4M+1E의 각 요소^{Man,}
Machinery, Material, Method,

Environment에 대해 실시간으로
디지털값을 인지하고, 측정
가능한 정보를 제공해야
하며, 통신을 통해 대화가
가능해야 함.



2

통합

사회망과 가치사슬을 통해 단대단^{end-}
to-end 정보 교류가 이루어지도록
하는 수평적 통합과 최하위 수준인
기계장치부터 기업 비즈니스
수준까지 수직적 통합을 지향함.



스마트팩토리 개념도

일반 공장



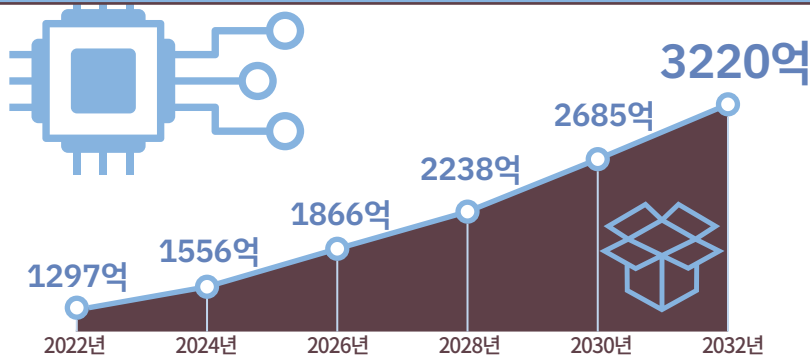
제어시스템

공장관리



시장규모 전망

스마트팩토리

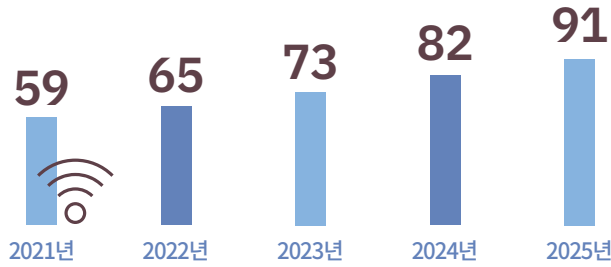


9.52%
연평균 성장률

단위: 달러 자료: 프레시던스 리서치

한국 스마트팩토리 전망

단위: 억 원
자료:마켓앤마켓



3

지능화

알고리즘이나 인공지능^{AI} 등 솔루션을 활용해 최적화 또는 예측 가능한 데이터를 제공해야 함.



4

엔지니어링 지식의 창출

지속적으로 정보를 확보하고 저장한 후 이를 바탕으로 자동화를 위한 제조 지식을 점진적으로 창출할 수 있어야 함.



5

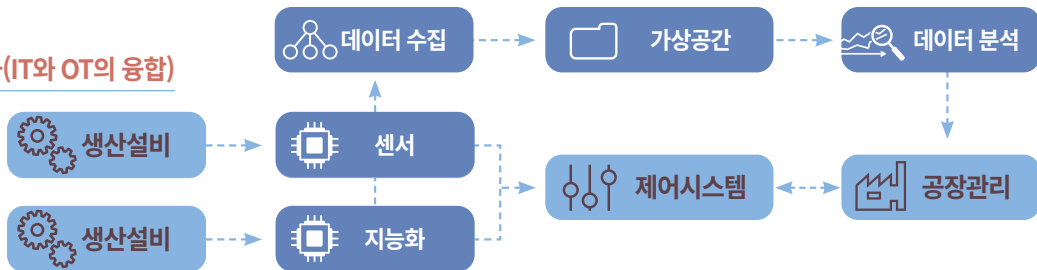
스마트 시스템과 연결

향후 발전할 스마트 제품과 통신 표준에 의거해 연결이 가능해야 함.

자료: 스마트제조혁신추진단 홈페이지

스마트팩토리

자동화 → 지능화(IT와 OT의 융합)



스마트팩토리 도입은 한국 경제의 허리 역할을 하는 제조업 강화와 직결된다. 2023년 스마트팩토리 규모는 2000억 달러를 넘어설 것으로 추정되며, 주요국 역시 제조업 혁신을 위한 청사진을 마련하고 있다. 본격적인 디지털전환 시대, 2023년 제조업의 DX 트렌드를 살펴본다.

2023 제조업 DX 트렌드를 읽다



세계는 이제 디지털화^{digitalization}를 넘어 디지털 기술 융합의 디지털전환^{DX} 시대가 되었다. 인공지능^{AI}, 빅데이터, 클라우드 컴퓨팅 등 이른바 4차 산업혁명 기술이 사회와 산업 전반에서 폭넓게 활용되고 있다. 디지털전환은 글로벌 기술 패권 경쟁 시대를 맞아 기업과 산업 측면에서 모두 필수 요소로 자리 잡으며 전략적 대응이 요구되고 있다.

제조업과 디지털의 만남

산업 디지털전환은 디지털 기술을 활용한 산업 방식에서의 새로운 혁신이다. 일하는 방식과 고객 서비스가 획기적으로 변화하고 제품·서비스와 생산방식을 혁신하며, 제조 연관 서비스와의 연계, 온·오프라인의 비즈니스 생태계 확장을 실현한다는 점에서 귀추가 주목된다. 특히 제조업에서는 스마트 제조와 스마트팩토리로 집약되며, 가치사슬 전반을 혁신적으로 재편한다. 이를 통해 기업은 지능형 생산방식을 도입하고 에너지와 비용, 시간을 절감해 생산성과 효율성을 극대화한 최고 성과로 대응한다.

산업에서는 산업용 IoT^{IIoT}, AI, 5G 통신, 디지털트윈^{digital twin} 등을 제조업에 적용한 스마트 제조를 통해 세계화의 진전에 따른 수요의 다양화에 생산의 유연성으로 대응할 수 있게 되었다. 이는 기존 제조업의 모든 프로세스(기획, 설계, 생산, 유통·판매)가 상호 연결되며 지능화한 셈인데,



자동화·정보화와의 구별되는 새로운 제조업의 출현이라는 점에서 산업혁신이다. 이 같은 관점에서 스마트 제조의 핵심은 결국 스마트 생산 체계를 반영하고 실현하는 스마트팩토리이며, 스마트팩토리는 이제 보급·확산 목표를 넘어 디지털 클러스터, 탄소중립형 스마트팩토리 등 고도화 모델의 출현과 함께 스마트 제조 표준화 등 제조 혁신 생태계 전반의 질적 고도화로 나아가고 있다.

비대면·원격 시대

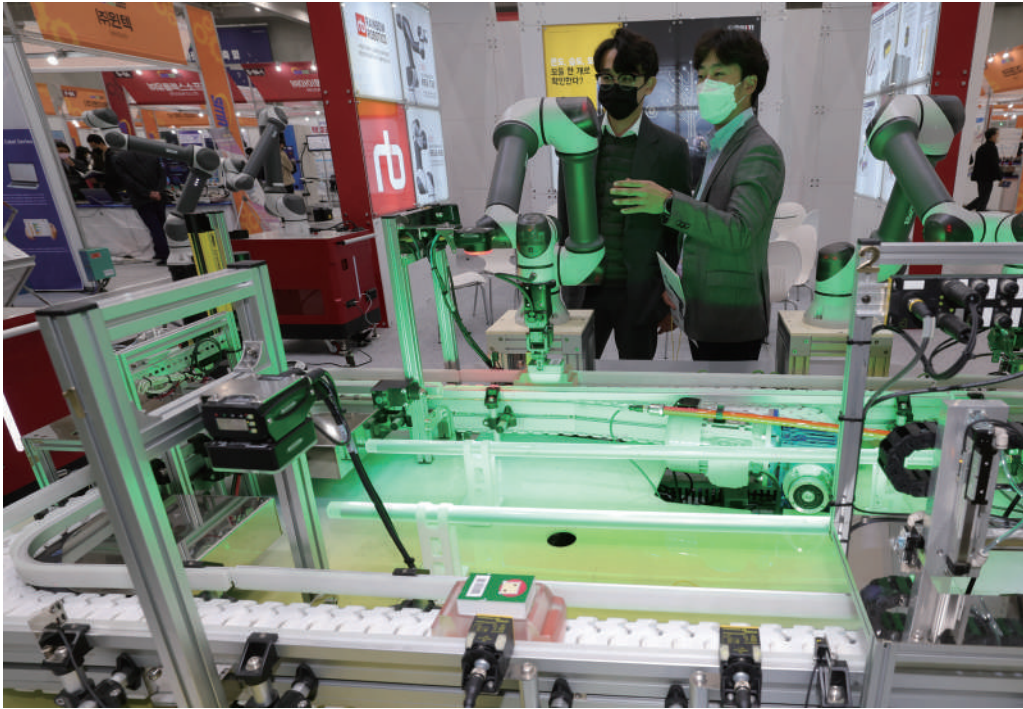
스마트 제조의 강화는 저출산, 고령화, 인구 감소 등 사회환경 변화에 코로나19를 거치면서 비대면, 원격이 더욱 중요시된 데 기인한다. 제조업의 극심한 인력난은 이제 시간문제로 다가왔다. 에너지 비용도 증가하고 있다. 글로벌시장의 디지털화까지 더해지면서 스마트 제조는 더 이상 선택이 아닌 필수, 생존을 위한 경쟁이 되고 있다. 세계 기술 선진국도 제조공정에서의 자동화, 산업 자동화 지원

주요국 스마트 제조 주요 현황

독일	· (스마트팩토리 플랫폼 구축을 통한 민·관·학 협력 모델) ① 학계 지식이 산업계에서 활용되도록 촉진, ② 기업의 자율적 혁신을 추구하도록 기본 인프라의 스마트화에 중점. · (코로나19 이후 제조업) ① 중소기업 디지털화, ② 사회적가치에 초점(인더스트리 5.0).
미국	· (대기업 중심의 개방형 스마트화) 글로벌 IT 기업 등 민간기업이 주도·도입하고, 이들이 시장 중심의 표준화 주도, 생산량 최적화 및 기술혁신, 신규 BM 개발에 초점.
일본	· (첨단기술을 활용한 사회 시스템 변화 추구) ① 저출산·고령화에 따른 노동인구 감소 문제해결, ② 노동생산성 제고를 위해 스마트팩토리 적극 도입. · 로봇 등 첨단기술을 활용한 제조업 고도화 → 커넥티드 인더스트리, AI 활용 중요성 강조 → 코로나19 이후 첨단기술을 활용한 사회 시스템 개혁으로 범위 확장.
중국	· (장기 전략에 기반한 제조업 경쟁력 강화) ‘중국 제조 2025’로 세계 최고 수준의 제조업 강국으로 도약 후, 최근에는 “스마트 제조 발전 ‘14차 5개년’ 계획”에서 일정 규모 이상 기업을 대상으로 디지털트윈, 디지털전환을 통한 스마트 제조 고도화 추진.

자료: 1) e-경제 정보 리뷰, KDI, 2) 중소기업 전략기술 로드맵 2023~2025, 중소벤처기업부·중소기업기술정보진흥원





글로벌 기술 패권 경쟁 시대를 맞아 DX는 기업과 산업 측면에서 모두 필수 요소로 자리 잡으며 전략적 대응이 요구되고 있다. 사진은 지난 2022년 수원에서 열린 제4회 스마트팩토리 구축 및 생산 자동화전 모습이다.

에 대한 정부 참여 확대 등 저마다 스마트 제조에 대한 대응을 다양화하고 고도화하면서 규모 또한 확대되는 추세다.

2021년 약 824억 달러였던 세계 스마트 제조 시장규모는 2026년 약 1925억 달러로 연평균 18.5%의 성장이 예상된다. 대륙별로는 아시아태평양 지역의 시장규모가 가장 크고 연평균 증가율도 전 세계 증가율을 상회할 것으로 보인다. 우리나라는 2021년 14조2740억 원에서 2026년 24조6511억 원으로, 연평균 11.4% 성장할 것으로 내다봤다.

국가 주도로 제조업 청사진 마련하는 주요국

독일, 미국, 일본, 중국 등 제조기술 강국의 스마트 제조 시장규모가 여타 국가들을 앞서고 있고, 이 추세도 당분간 유지될 것으로 전망되는 것은 이들 국가의 스마트 제조 정책이 상당히 활발하다는 것을 시사한다. 그렇다면 이들의 정책은 어디에 중점을 두고 어떻게 전개되고 있을까. 독일은 국가 주도로 제조업 청사진을 마련하고, 기업이 자율적 혁신을 추구하도록 기본 인프라의 스마트화에 중점을 두고 있다. 미국은 글로벌 제조·IT 기업이 기술 확산과 표준 제정 등을 주도하는 등 대기업 중심으로 개방적 스마트화를 추구한다. 일본은 개별 기업 수준의 제조업 스마트화로 제조업 고도화를 추구하며, 스마트팩토리 전환 자체보다 생산성·차별성 등을 중시하고 사회 시스템 변화까지 꾀하고 있다. 중국은 ‘중국 제조 2025’를 통해 스마트

제조를 본격 수립한 후 강력한 정부 지원을 받는 민간기업이 거대 내수시장을 발판 삼아 스마트화를 고도화하고 있다. 반면 우리나라의 스마트 제조는 개별 기업 수준의 디지털 공정 통합에 그쳐 주요국과 비교할 때 대응 역량이 부족한 실정이다.

가상화로 발전하는 스마트팩토리

스마트팩토리는 말 그대로 지능형 공장으로, 기존의 단순한 공장자동화와 다르다. 스마트 제조의 핵심인 스마트팩토리를 조금 더 들여다보자. 스마트팩토리의 가장 큰 특징은 표준화된 데이터 분석 강화다. 자동화 생산설비, 센서, 제어시스템, 스마트 디바이스 등이 표준화된 데이터 모델에 기반해 실시간으로 공유·제어되는 환경을 갖추며, 데이터의 수집 및 공유 시스템을 통해 시장의 수요 예측부터 고객의 주문, 제품 기획·설계, 조달, 생산, 검사, 유통·판매, 재고 관리 등 제조 프로세스 전반에 걸친 최적화·자동화가 이루어진다.

기술적으로는 IIoT, 빅데이터, AI, 디지털트윈, 클라우드, 로봇, 3D 프린팅, 5G 통신, 에지 컴퓨팅 등 제반 시스템을 갖춰야 한다. 운영의 중요한 기본 요소는 IIoT로, 작업자를 포함한 공장 내 각종 설비와 기기, 자재 등을 연결하며 생성된 데이터를 실시간으로 송수신하고 제어해 최적화된 여건을 조성한다. 실시간 연결도 스마트팩토리를 구현하는 데 중요한 요소다. 스마트팩토리에서 데이터 처리가 지연될 경우 심각한 결과를 초래할 수 있기 때문이다. 5G 통신과 에지

컴퓨팅 환경이 주목받는 이유다. 제조 공장 내에서 발생하는 방대한 데이터를 중앙 서버로 업로드해 분석하는 것과 달리 에지 컴퓨팅 기술을 통해 데이터가 발생한 위치의 가까운 곳에서 분석해 지연시간을 줄이고 실시간으로 데이터를 처리할 수 있다.

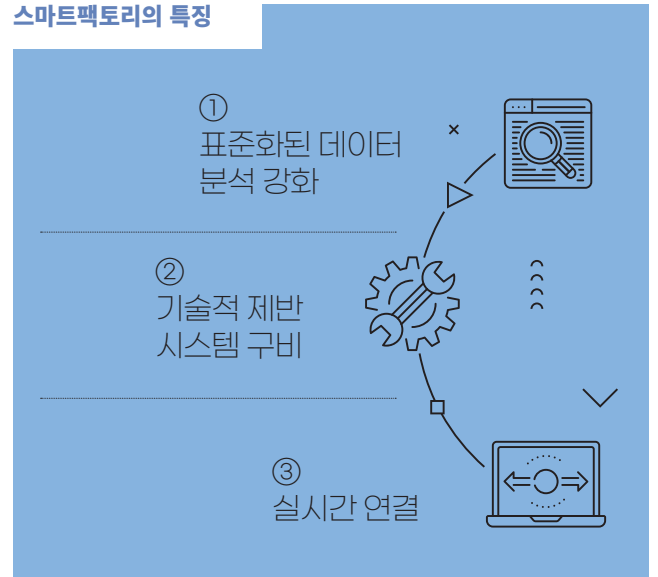
스마트팩토리는 이제 가상화로 발전하고 있다. 특히 디지털트윈 기술을 통해 실제 공장에서 발생하는 데이터를 가상공간에 똑같이 재현해 변화된 미래 공장의 모습을 그려가고 있다. 가상 공장의 장점은 제품 기획 및 제조의 시뮬레이션에 있다. 시뮬레이션을 통해 오류와 시행착오를 줄이고 연구개발^{R&D}, 제조 등 제조 가치사슬 전반에 걸쳐 소요되는 시간과 비용을 획기적으로 줄일 수 있다. AI를 활용한 데이터 분석으로 설비 고장과 위험을 예측해 예방과 유지보수도 가능하다.

협동로봇^{co-robot}은 작업자와 같은 공간에서 상호작용하며 조립, 가공, 머신텐딩, 용접, 마감 등 작업 성능을 개선하고 생산성을 높이며 안전사고를 줄인다. 사진은 윤석열 대통령이 지난 8월 26일 대구 달서구 아진엑스텍에서 열린 제1차 규제혁신전략회의에 참석하기 전 이동식 협동로봇 시연을 관람하는 모습이다.

스마트팩토리의 일등 사원, 산업용 로봇

산업용 로봇도 스마트팩토리에서 빼놓을 수 없다. 산업용 로봇은 독립된 공간에서의 제조로봇, 사람과 로봇이 협업하는 협동로봇, 창고·물류센터에서 일하는 자율주행 운반로봇 등이 있다. 최근에는 클

스마트팩토리의 특징



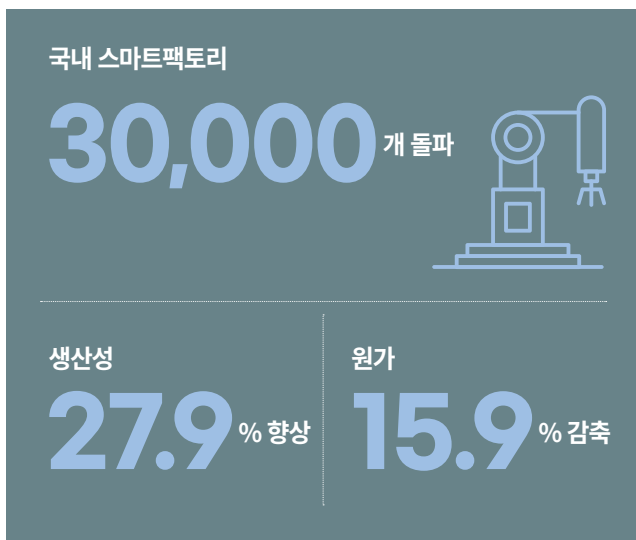


스마트팩토리는 디지털트윈 기술을 통해 실제 공장에서 발생하는 데이터를 가상공간에 똑같이 재현해 변화된 미래 공장의 모습을 그려가고 있다.

라우드 등을 활용한 구독형 협동로봇 서비스^{RaaS}도 확산되고 있다. 협동로봇^{co-robot}은 작업자와 같은 공간에서 상호작용하며 조립, 가공, 머신텐딩^{machine tending}, 용접, 마감 등 작업 성능을 개선하고 생산성을 높이며 안전사고를 줄인다. 자율·유연 생산 환경 구축을 위해 인공지능 기술 접목과 함께 로봇 활용의 중요성이 커지고 있다. 세계 협동로봇 시장은 덴마크의 유니버설로봇, 일본 파나^{FANUC}, 대만 테크맨^{Techman}, 스위스 아우보^{AUBO} 등이 경쟁을 벌이고 있는데, 아쉽게도 우리나라 기업은 아직 순위에 오르지 못하고 있다. 로봇 전문 기업 외 기계·자동차·조선·반도체 등 제조 분야 기업과 빅테크 기업들이 지능형 로봇 분야에 뛰어들고 있으며, 2022년 말 미국 오픈AI의 챗GPT로 확산되는 생성형 AI가 등장하면서 산업용 로봇은 더욱 진화될 것으로 전망된다.

스마트제조혁신추진단에 따르면 국내 스마트팩토리는 2022년 12월 말 기준 3만 개를 돌파했다. 2014년부터 스마트팩토리 보급 사업 추진을 통해 생산성 27.9% 향상, 원가 15.9% 감축을 달성한 것으로 평가받고 있다. 그러나 우리나라의 대표 스마트 제조 혁신 정책인 스마트팩토리 보급 확산 사업은 헤닝 카게르만^{Henning Kagermann} (2017)이 제시한 스마트 제조 전환 4단계 중 2단계 수준에 머무르고 있다. 이는 양적 보급 확대보다는 실질적 스마트 제조 역량과 기반 강화가 시급하다는 것을 의미한다.

정부는 지난 1월 산업 AI 내재화 전략, 7월에는 중소기업 육성 종합 계획(2023~2025)을 발표했다. 또 최근 기업 역량을 고려하지 않은 정부 주도의 스마트팩토리 지원사업의 한계점을 극복하기 위해 ‘신



(2022년 12월 말 기준) 자료: 스마트제조혁신추진단

전통 제조업의 스마트 제조 전환 단계

스마트 제조 전환 단계	내용
1단계	수직적 통합 · 기업 내 모든 생산설비와 시스템 연결 · 전사적 자원관리 및 생산 활동의 최적화
2단계	수평적 통합 · 제품 수명 전 주기 및 공급사슬 통합 · 부품 조달 정보 실시간 공유로 유연한 자체 흐름 실현
3단계	IT 플랫폼 구축 · 제조 데이터의 실시간 해석 및 최적화 · 스마트 서비스 실현
4단계	플랫폼 기반 제조 생태계 · 디지털 기반 비즈니스 보편화 · 산업 간 경계 없는 협업 및 생태계 기반 혁신

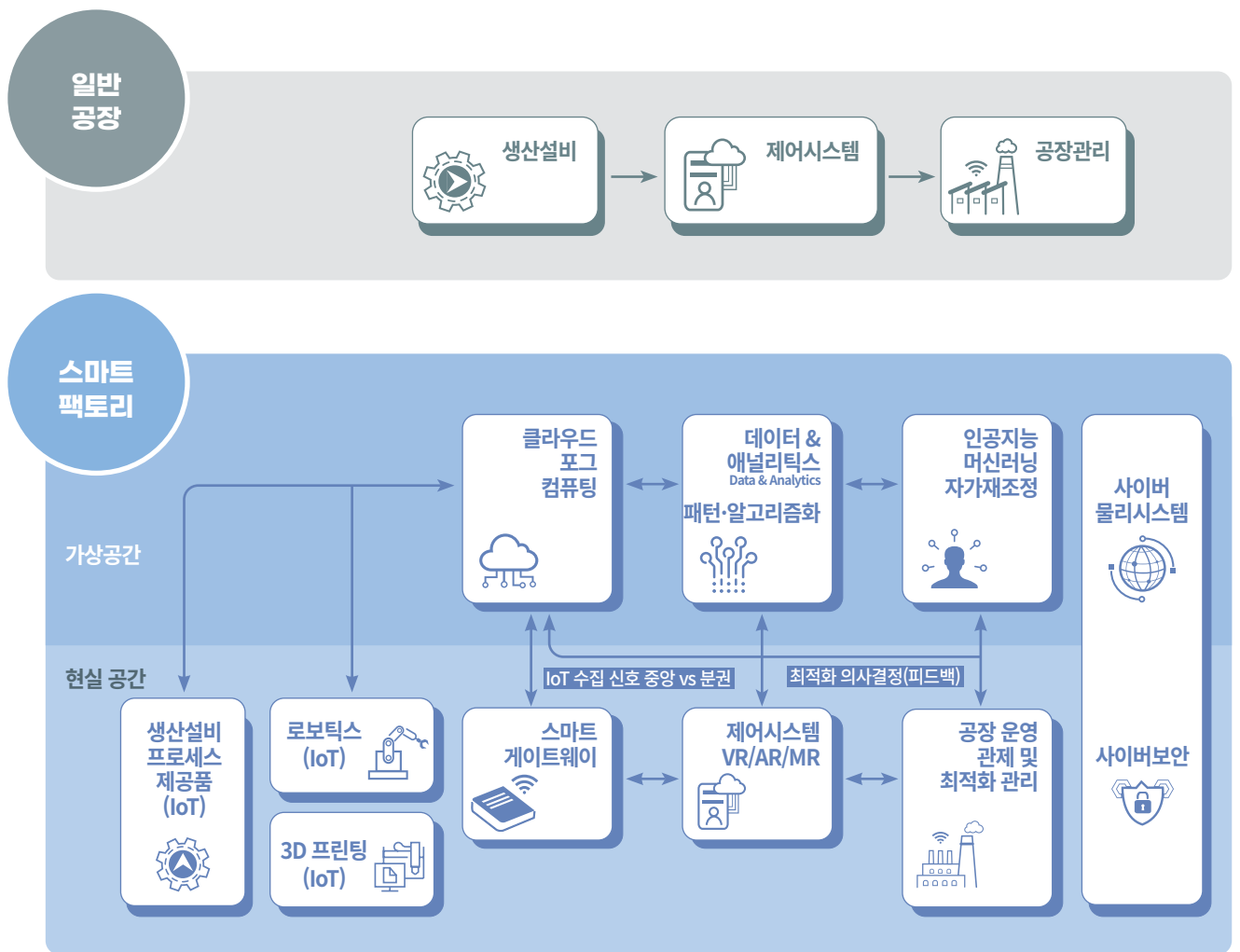
디지털 제조 혁신 추진전략'을 마련하고자 한다. 이를 통해 디지털 전환 역량이 우수한 기업은 고도화를 집중 지원하고, 역량이 다소 부족한 기업은 기초 단계 지능형 공장, 로봇 및 자동화 설비 등을 기업 상황에 맞게 지원하는 것이 핵심이다. 세계 로봇 시장에서 한국의 점유율은 4% 정도로 낮지만, 최근 우리나라 대기업과 스타트업이 협동로봇, 보행로봇, 서비스로봇을 미래 유망 성장동력으로 인식하고 로봇 분야에 투자를 집중하고 있다. 산업대 전환 시기에 앞으로

우리나라 스마트 제조 혁신의 질적 고도화가 기대되는 이유다.

불빛이 없는 공장! 사람이 없는 무인 제조는 스마트팩토리의 가장 고도화된 단계라고 할 수 있다. 유럽에서는 인더스트리 4.0을 넘어 유연한 생산, 인간 중심 협업·자율 제조의 인더스트리 5.0 개념이 논의되고 있다. 미래 시장에서 스마트 제조 혁신, 인간 중심의 미래 제조업을 우리나라가 주도해나가길 기대해본다.

스마트팩토리 주요 기술별 기능 프로세스

자료: 삼성KPMG 경제연구원(2018), 4차 산업혁명과 제조 혁신: 스마트팩토리 도입과 제조업 패러다임 변화; KISTEP(2020) 제조용 IoT



김종기 산업연구원 성장동력산업연구본부 신산업실장·선임연구위원

정책기획위원회 국가미래비전 2045 기획위원을 역임했으며, 현재 산업연구원 성장동력산업연구본부 선임연구위원으로 다양한 연구를 하고 있다. 주요 연구로는 <디지털전환 가속화에 따른 ICT산업의 신성장 전략>(공저, 2021), <KIET 연구보고서>(2021), <산업 디지털전환 핵심융합산업 시장규모 및 전망치 분석, 한국생산기술연구원>(2021) 등이 있다.



독일의 스마트팩토리는 제조가 이루어지는 공장 자체에서 출발하며, 제품 생산에 필요한 설계·제조·유지보수·운송 과정을 디지털화해 가상공간의 시뮬레이션으로 구현하고 있다. 사진은 독일 바이에른주 암베르크에 조성된 1만㎡ 규모의 지멘스 스마트팩토리.

제조업 혁신을 향한 강대국의 전략

4차 산업혁명 시대를 맞아 스마트팩토리가 세계적으로 주목받으며, 관련 시장 역시 빠르게 성장 중이다. 글로벌 스마트팩토리 시장의 전체 규모는 2022년 기준 약 862억 달러로, 이후 연평균 10.3%씩 증가하며 2027년에는 1409억 달러에 도달할 것으로 기대된다. 하지만 아직까지 이렇다 할 스마트팩토리 리드형 국가가 없는 가운데, 가장 앞선다고 할 수 있는 독일·미국·일본의 전략을 통해 우리는 어떤 방향으로 나아가야 할지 짚어보고자 한다.

최근 제조업의 위기에 대응하기 위한 방안으로 스마트팩토리가 대두되면서 이에 대한 많은 정책과 연구개발^{R&D} 프로그램이 추진되고 있다. 주요 제조 강국인 독일·미국·일본은 각각 정교한 스마트화, 개방형 스마트화, 적용 가능성을 높은 스마트화라는 비전 아래 제조업 스마트화를 위해 힘쓰고 있다. 특히 독일과 일본은 스마트팩토리 강국으로 선도적 위치를 차지하고 있다.

제조 공장에 중점을 둔 독일

독일의 스마트팩토리는 제조가 이루어지는 공장 자체에서 출발하며, 제품 생산에 필요한 설계·제조·유지보수·운송 과정을 디지털화해 가상공간의 시뮬레이션으로 구현하고 있다. 이는 예측 기반의 활동을 가능하게 하며, 불필요한 요소를 제거하고, 투입되는 에너지를 최소화해 더욱 저렴하게 제품을 생산할 수 있다. 대표적인 것이 인더스트리 4.0^{Industry 4.0, 가상물리 시스템}으로, 이는 제조업 분야를 전면 디지털화하는 것을 의미한다. 단순히 디지털화하는 데 그치지 않고 기계, 제품, 사람 그리고 시스템을 연결해 효율성을 높이는 ‘스마트 커넥티드’를 지향하는 것이 특징이다. 인공지능^{AI}, 빅데이터, 사물인터넷^{IoT} 등 4차 산업혁명을 이끄는 핵심 기술을 적용해 완전한 자동생산 체계를 구축하고, 생산과정을 최적화하는 ‘지능형 공장^{smart factory}’을 만드는 것이 주목적이다. 독일 정부는 인더스트리 4.0 관련 핵심 원천기술 개발, 도입 확산을 위한 제도적 인프라 구축, 산학연 연계 형태의 기술 네트워크 구축 등을 통해 개별 중소기업 차원의 도입 결정을 독려하고 여건을 조성하는 데 주력하고 있다.

사례

①

독일 다름슈타트 공과대학교 러닝 팩토리 TU Darmstadt Learning Factory

스마트팩토리 관련 대학생 인력 교육을 목표로 운영 중인 플랫폼. 린 생산^{Lean Manufacturing}, 품질관리, 통계적 공정관리^{Statistical Process Control, SPC}, 측정 시스템 관리 기술 등 교육 커리큘럼으로 구성되어 있다. 교육뿐 아니라 설비 재구성 등을 통한 공급 기술 검증 역할도 수행하고 있다. 전체 공정은 가공과 조립으로 구성해 최종 제품으로 모터를 생산하며, 해당 프로세스는 가공, 자동·수동 조립, 생산 물류센터를 운영하고 있다. 특히 인더스트리 4.0 환경에서의 산업 정보화와 디지털화에 따른 품질관리, 판매, 구매, 계획, 제어 등 기능을 포함한다.

②

프라운호퍼 모에즈 Fraunhofer MOEZ

중소·중견 제조기업 기술의 글로벌시장 진출, 기술이전, 상용화를 지원한다. 프로세스와 비즈니스모델 평가, 시뮬레이션, 실시간 예측 및 가시화를 수행하는 빅데이터 제품과 서비스 사용자 맞춤^{customization}을 지원하는 ‘디지털 비즈니스모델’을 연구하고 있으며, 공급 기술의 사업화 모델을 구축하고자 한다.

고객에게 초점 맞춘 미국

독일의 스마트팩토리가 제조 공장에 중점을 둔다면, 미국은 고객에게 초점이 맞춰져 있다. 미국의 스마트팩토리 시장은 아직 성장 초기 단계다. 미국에서는 제조업을 포함한 전체 산업 시설의 5~10%만 디지털전환이 이뤄졌다는 것이 업계 추산이다. 기존 제조업 공장과 비교해보면 스마트팩토리는 지역 기반, 소규모 공장이라는 점이 눈에 띈다. 최근에는 코로나19 사태 이후 불거진 공급망 문제를 해소하기 위해 소재나 부품 생산을 특정 국가가 아닌 지역 기반으로 돌리고, 제품을 대량생산하기보다는 특정 주문에 따라 맞춤형으로 제작해 공장을 유연하게 운영하고 있다.

미국의 로크웰 오토메이션은 산업자동화시스템을 갖추고 최근 전기차와 배터리 생산 솔루션에 집중하고 있다.



①
제너럴일렉트릭
General
Electric
Company

GE는 산업인터넷 컨소시엄^{Industrial Internet Consortium, IIC}을 설립한 초기 멤버로 상호 운용 가능한 산업사물인터넷^{Industrial IoT, IIoT} 시스템 구축을 주도한다. GE는 인도 서부 푸네에 2억 달러 이상 투자한 새로운 개념의 유연한 멀티모달 공장^{Multi-Modal Factory}을 구축해 제트엔진에서 기관차 부품까지 다양한 제품(항공, 전력, 가스, 운송 비즈니스 제품)의 생산 및 가공을 지원하며, ‘생각하는 공장^{Brilliant Factory}’을 처음 적용했다. 공장 시설 간 실시간 정보를 공유하고, 공급망·서비스망·유통망 등을 연결하는 산업용 IoT^{Industrial IoT, IIoT} 및 빅데이터 기술을 통해 돌발적 가동 중지를 예방하며, 품질 유지 및 최적화된 생산을 추구한다.

②
록웰 오토메이션
Rockwell
Automation

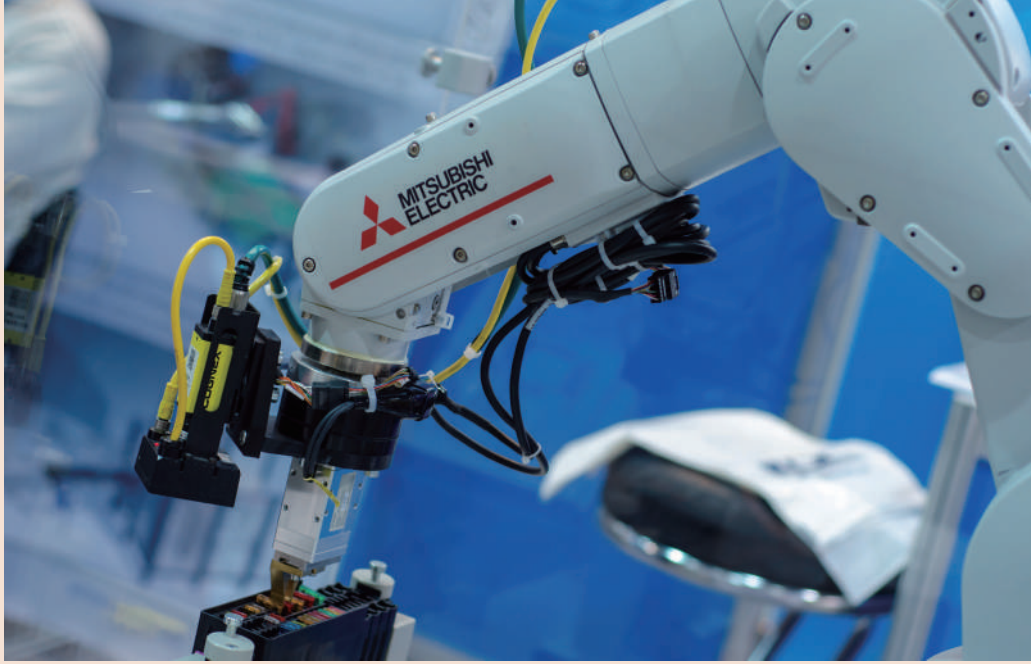
1903년 창립했으며, 위스콘신주 밀워키에 본사가 있다. 우리나라를 포함한 전 세계 100여 개국에 지부를 두고 있다. 산업자동화시스템을 갖추고 스마트 생산, 디지털전환 기술 솔루션 서비스를 하는 업체로, 최근에는 전기차와 배터리 생산 솔루션에 집중하고 있다.

③
프로토크랩스
Proto Labs

프로토타이핑을 비롯해 단기·소량 생산을 위한 3D 프린팅, 판금, 맞춤형 부품 등을 빠르게 만들어 납품하는 역할을 한다. 또 의류기구나 가전제품, 자동차를 비롯해 소비자 맞춤형 상품 제작에 필요한 서비스를 한다. 프로토크랩스는 CNC^{Computerized Numerical Control} 가공으로도 알려져 있는데, CNC 가공은 미리 프로그래밍된 컴퓨터 소프트웨어로 공장 기계 움직임을 지시하는 자동화시스템을 말한다.



CNC 가공으로 잘 알려진 프로토크랩스는 미리 프로그래밍된 컴퓨터 소프트웨어로 공장 기계 움직임을 지시하는 자동화시스템을 갖추고 있다.



일본의 대표적 공급 기업인 미쓰비시는 자사 스마트팩토리 공급 기술인 설비·로봇·제어·센서·비전·MES 등을 통합해 기술 검증, 상용화, 패키징을 목표로 플랫폼을 구축했다.

노동력 부족 해결을 위해 노력하는 일본

일본에서도 스마트팩토리 산업은 매우 중요한 주제이며, 이미 많은 업계의 생산 라인에서 IoT, 클라우드, AI 등을 활용한 차세대 유지관리 및 가시화 시스템 구축이 추진되고 있다. 특히 공장·생산 라인을 신설하는 기업이나 인력·비용 절감을 하고자 하는 기업, 일손 부족이 심각한 기업에서는 IoT 활용이 크게 주목받고 있다. 이와 함께 IT 기술의 발전과 각종 하드웨어 및 서비스 비용 감소는 해당 현상의 또 다른 요인으로 작용한다. 야노경제연구소가 조사한 바에 따르면 코로나19의 영향으로 2020년에 정지된 프로젝트가 재개되며 2021년 일본 국내 공장의 디지털 트랜스포메이션 시장규모는 발주 금액 기준 1조6760억 엔으로 전년 대비 6.3% 증가했다. 2025년에는 일부 업종에서 설비투자 감소로 정체가 예상되지만, 수송용 기계 제조업이나 전자부품·디바이스·전자회로 제조업, 생산용 기계 제조업 등에서 활발한 공장용 시스템 투자 의욕을 바탕으로 견조하게 증가할 전망이다. 기타 업종의 공장에서도 노후화된 생산설비 및 기기의 갱신 수요, 인력 리소스 절감 및 자동화 대응에 대한 수요가 있어 공장 디지털 트랜스포메이션 시장은 더욱 확대될 것으로 예측된다. 한편, 제조 현장 데이터를 수집, 분석, 활용하는 과정에서 아직 과제가 남아 있다. AI, IoT 시스템 도입과 더불어 어떤 데이터를 수집해 어떻게 활용할지 전략적으로 설계할 수 있는 디지털 인재가 필요한 것. 하지만 이러한 첨단 IT 인력이 부족한 상황인 만큼 단순한 시스템 도입만이 아닌, 그것을 능숙하게 활용할 수 있는 인재를 육성하는 것이 향후 중요한 과제 중 하나다.

사례

① 미쓰비시 MITSUBISHI CORPORATION

일본의 대표적 공급 기업인 미쓰비시에는 자사 스마트팩토리 공급 기술인 설비·로봇·제어·센서·비전·MES 등을 통합해 기술 검증, 상용화, 패키징을 목표로 플랫폼을 구축했다. 독일의 DFKI가 구축한 스마트팩토리 플랫폼과 미쓰비시 플랫폼의 목표는 스마트팩토리 공급 기술의 검증으로 비슷하다고 판단되는데, 독일은 다양한 기업의 기술을 통합한 반면 일본의 경우 미쓰비시가 보유한 기술 중심 통합이 이루어졌다는 데 차이점이 있다. 특히 미쓰비시의 경우 ‘센서·제어·로봇·MES’의 수직적 기술을 통합 및 패키징해 산업별로 비즈니스를 수행하고 있다.

②

텔-엠아이씨 Tel-mic Co., Ltd.

무인운송차량^{Automated Guided Vehicle, AGV} 자동 반송 시스템, 오토 스토어 관리시스템(주행 로봇), 입출고 관리시스템 등을 도입해 인력 리소스 절감에 성공했다. 에너지 매니지먼트 솔루션 전력 감시 시스템 도입, 현장 작업 지원용 단말기 도입을 통해 작업 지시나 원격지원으로 작업당 필요한 인력도 절감했다. 자동 창고와 무인 반송 로봇을 도입해 스마트 공장화를 실현했으며, 고속 입출 창고를 도입해 공장 입고 능력이 두 배로 늘어나는 등 효율성이 향상되었다. 그린 예산을 마련해 환경 보전 활동에 투자, 태양광을 도입해 2022년 재생에너지 비율 40%, 재활용률 80%가 되었다. 2030년까지 지속가능개발 목표^{SDGs}를 적극 추진해 외부환경에 긍정적 영향을 미치는 기업으로 성장하는 것을 목표로 하고 있다.

③

티에이치케이 THK

제조업계를 대상으로 IoT 서비스를 제공하며, 반도체 제조 장치나 산업용 로봇을 운반하는 장치 및 기계 부품을 개발·생산해 전 세계에 공급하고 있다.

거시적 로드맵 필요

최근 2~3년 동안 국내에서는 정부와 민간에서 스마트팩토리와 관련한 다양한 정책을 수립하고 있지만, 제조 혁신을 위한 국가 전략 및 실행 방안 마련 측면에서 보다 구체적이고 거시적인 로드맵 수립이 요구된다. 우선, 국내 스마트팩토리 사업의 경우 주로 OEM 기업의 생산성 향상을 목적으로 진행되고 있지만, 장기적으로는 OEM 생산 방식을 넘어 스마트팩토리 기업으로서 특화 및 브랜드화가 요구된다. 나아가 국내 중소·중견 제조 기업이 기존 공정의 스마트팩토리화를 추진하기 위해서는 제한된 기업 예산과 인력이 투입되어야 하므로 스마트화를 추진할 경우 대기업 대비 저가 및 고품질 솔루션을 도입하는 경우가 많으나 장기적으로는 자사 프로세스에 적합하지 않을 위험이 높아 신중하게 판단해야 한다. 그뿐 아니라 한국 정부는 중소중견기업의 스마트팩토리 도입 숫자에 매몰되지 않고, 독일처럼 중소기업이 가장 적합한 스마트팩토리 등 생산 혁신 기술, 시스템을 자기 주도적으로 추진하도록 여건을 조성하는 노력을 전개할 필요가 있다. 마지막으로 한국 중소기업도 스마트팩토리 추진과 관련해 정부나 대기업에 의존하기보다는 주도적으로 해당 분야 스마트팩토리 관련 기술 및 시스템 개발에 나서야 한다. 종업원의 절대적 지지와 새로운 비즈니스, 가치 창출과 연계하는 노력이 필요하다.



강내영 한국무역협회 동향분석실 수석연구원

2014년부터 현재까지 한국무역협회 국제무역통상연구원 동향분석실 수석연구원으로 다양한 연구를 하고 있다. 주요 연구로는 제조업의 미래 II, 제조업의 서비스화 사례와 우리 기업의 혁신 전략, 글로벌 공급망의 뉴노멀과 우리의 대응, 5대 신성장 산업의 수출경쟁력 및 경제 기여 진단 등이 있다.

스마트팩토리, 도입을 넘어 고도화로

기업의 제조 생산성 향상 노력과 정부의 보급 정책 덕분에 스마트팩토리는 우리나라 제조업에 상당 부분 안착했다. 이제는 스마트팩토리 고도화에도 관심을 기울여야 할 시점. 과연 어떻게 해야 스마트팩토리를 성공적으로 업그레이드할 수 있을까. 스마트팩토리과 지능형 물류 및 공급사슬망 시스템을 연구·지도하는 동시에 인공지능^{AI} 기반 제조 소프트웨어 기업 '다임리서치'를 이끌며 스마트팩토리 고도화에 힘을 보태고 있는 장영재 KAIST 산업 및 시스템 공학과 교수와 함께 그 해법을 모색했다.

word 강진우 photo 김기남

장영재 KAIST 산업 및 시스템 공학과 교수



Q.

먼저 스마트팩토리와 더불어 최근 화두가 되고 있는 제조업 디지털전환^{DX}의 개념에 대해 설명 부탁드립니다.

사실 스마트팩토리는 학문적으로 먼저 정립된 뒤 실전에 적용된 개념이 아닙니다. 에디슨이 발전·송전·배전 시스템을 완성해 ‘전기 혁명’을 이끈 뒤 전기·전자공학과가 태어났듯, 스마트팩토리도 기업이 제조 생산성 향상을 위해 정보통신기술^{ICT}, 로봇 등 기술을 공장에 도입함에 따라 생긴 용어입니다. 나아가 기술발전 및 도입 형태에 따라 다양한 모습으로 변화할 수 있죠. 따라서 국어사전처럼 스마트팩토리를 영원히 한 문장으로 정의한다는 것은 큰 의미 없지만, 현재까지 스마트팩토리는 ICT 첨단기술을 제조 운영에 적용한다는 뜻으로 쓰고 있습니다. 제조업 DX도 개념이 완전히 확립되지 않았지만, 지금은 생산과 더불어 제조 설계, 유통, 서비스 등을 첨단 디지털 기술로 통합한다는 의미로 통용되고 있습니다.

Q.

스마트팩토리와 제조업 DX는 세계적 화두로 자리 잡았는데요. 해외 선진국은 실제로 이를 어떻게 도입·적용하고 있나요?

이 분야에서만큼은 우리나라가 세계를 리드하고 있다고 봅니다. 실제로 우리나라는 반도체, 자동차, 조선 등 각 부문 제조에서 두각을 드러내고 있죠. 해외로 눈을 돌리면 흔히 독일, 일본, 미국을 제조 강국이라고 하지만, 자세히 보면 각국의 제조업 정책과 방향성이 서로 다릅니다. 먼저 미국은 지난 20년 동안 제조 운영과 공정에 대한 자국 내 투자를 다소 등한시하며 해외 제조에 의존했습니다. 하지만 최근 미중 대립으로 다시 제조업 육성에 나서고 있으며, 투자 및 지원 규모가 어마어마한 만큼 첨단 인프라를 빠르게 구축할 것으로 보입니다. 한

편 일본은 1990년대 이후 소재 제조로 방향을 튼 데다 최신 ICT 기술을 도입하는 데 다소 느린 경향이 있지만, 중소기업 경쟁력이 세계 최고 수준입니다. 또 대기업·중소기업 간 협력 문화가 잘 정착돼 있다는 장점이 있습니다.

마지막으로 독일도 일본과 마찬가지로 ICT 기술 도입과 적용이 상당히 느린 편이지만, ICT 인프라 구축 사업을 꾸준히 벌이고 있습니다. 다시 말해 스마트팩토리를 효율적으로 구축할 수 있는 스마트팩토리 표준 프로토콜을 만들고 있는 것입니다. 우리나라는 표준화된 스마트팩토리 프로토콜 없이 각 공장별로 별도 체계를 구축해야 하지만, ICT 인프라 구축 사업이 완료되면 독일은 엄청난 속도로 스마트팩토리 및 제조업 DX 고도화를 실현할 수 있습니다. 그러나 진행 속도가 느린 것이 문제인 만큼 독일도 빠르고 정확하게 일을 처리하는 한국과 협력하기를 원하고 있습니다. 독일이 인프라를 구축하고, 한국은 인프라를 활용한 실증 사업을 주도하는 방식으로 구축 중인 ICT 인프라를 국제표준으로 자리 잡게 하려는 거죠. 우리나라는 이러한 제안을 적극 검토하고 활용할 필요가 있다고 봅니다. 서로 부족한 점을 빠르게 개선·보완할 수 있을 테니까요.

Q.

정부가 상당 기간 스마트팩토리 보급을 위해 노력해 왔는데, 이에 대해 어떻게 보시나요?

얼마 전까지만 해도 스마트팩토리라는 용어 자체를 생소하게 여기는 기업이 많았는데, 이제는 모두가 스마트팩토리의 필요성을 인정하며 적극 도입하고 있습니다. 정부의 스마트팩토리 보급 정책이 거둔 소중한 성과인데요. 다만 앞으로는 스마트팩토리 보급을 넘어 착실하게 고도화를 추진하고 지원하는 노력이 필요합니다. 아울러 독일과 함께 스마트팩토리 표준 인프라를 구축해 도입 및 고도화의 효율성을 끌어올리기 위해 노력해야 할 것입니다.

Q.

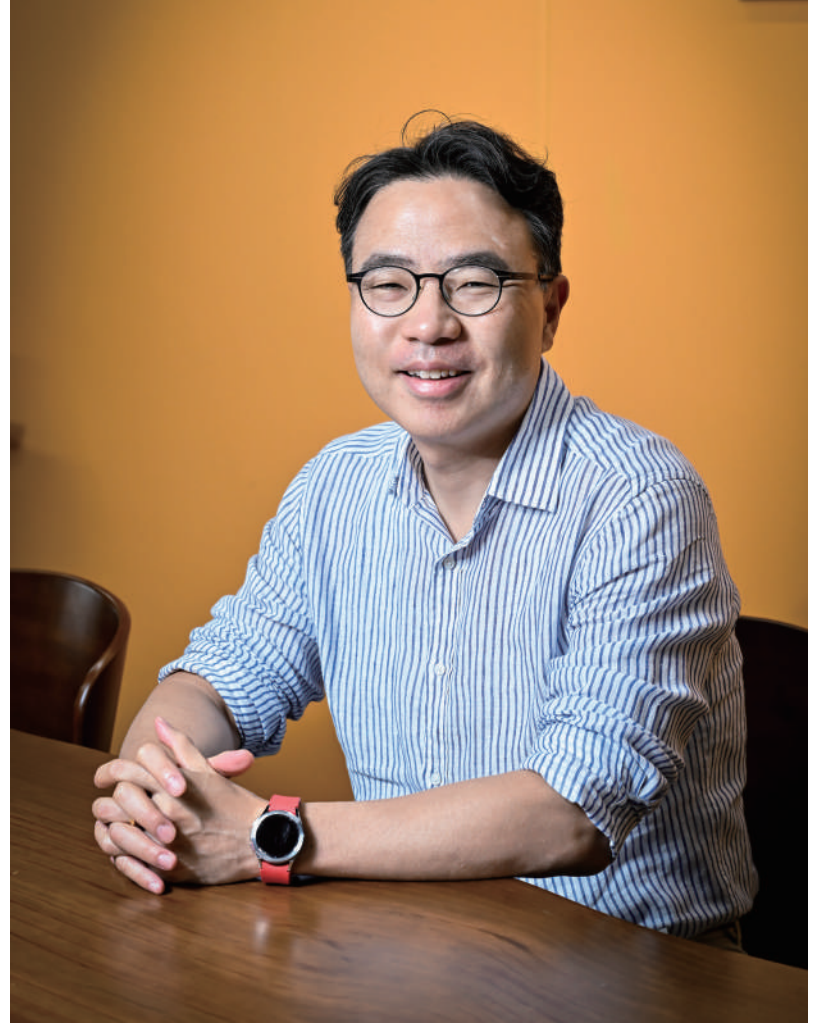
스마트팩토리의 고도화를 위해 기업과 정부에서는 어떤 노력을 해야 한다고 생각하는지요?

실력을 갖춘 소프트웨어 공급사를 적극 육성해야 스마트팩토리 고도화가 가속화될 수 있다고 봅니다. 기존처럼 스마트팩토리 솔루션 공급사와 수요 기업을 한데 묶어 지원해주는 매칭 사업은 오히려 우수한 업체를 사장시키는 전략이 될 수 있습니다. 스마트팩토리 솔루션 공급사에서 많은 돈을 투자해 경쟁력 있는 소프트웨어를 개발하고, 여기에 경쟁력 있는 가격을 책정해도 그 가격을 제대로 받지 못하는 불상사가 생길 수 있기 때문인데요. 이런 일이 반복되다 보면 스마트팩토리 솔루션업체의 연구개발 역량과 경쟁력은 전반적으로 낮아질 수 있습니다. 이제 스마트팩토리가 어느 정도 도입된 만큼 앞으로는 우수한 스마트팩토리 솔루션 기업이 성장할 수 있도록 적극적으로 지원하는 것이 중요합니다. 그래야 전반적 스마트팩토리 솔루션 기술 수준이 높아질 것이고, 그만큼 스마트팩토리 고도화에도 속도가 붙을 것입니다.

Q.

교수님과 다임리서치는 앞으로 스마트팩토리 및 제조업 DX의 고도화를 위해 어떤 노력을 할 계획인가요?

현재 세계 최고 제조 소프트웨어 기업은 독일의 지멘스입니다. 반면 우리나라는 내세울 만한 제조 소프트웨어 기업이 없는 것이 현실입니다. 제조 강국이라는 명성을 유지하고 그 경쟁력을 지속적으로 높여나 가려면 지멘스 같은 기업이 적어도 서너 개는 있어야 한다고 생각합니다. 저와 다임리서치는 이 목표를



향해 꾸준히 나아가고자 합니다. 지멘스 같은 글로벌 제조 소프트웨어 기업으로 성장하겠다는 것입니다. 최근 들어 많은 로봇이 제조 현장에 투입되어 생산성을 높이고 있지만, 대다수 로봇은 다른 로봇과 협업하지 못합니다. 협업을 지원할 수 있는 AI 솔루션이 탑재돼 있지 않기 때문이죠. 지난 30년의 기술 패러다임이 ‘사람과 사람의 연결’이었다면, 앞으로 30년은 ‘로봇과 로봇의 연결’입니다. 우리는 공장 내 모든 로봇을 연결해 서로 협업할 수 있도록 하는 ‘로봇 오케스트레이션^{Robot Orchestration} 솔루션’을 개발·제공합니다. 한국과학기술원^{KAIST}에서 개발한 AI 기술을 통해 로봇이 서로 협업하며 함께 일하고, 이를 통해 생산성을 극대화할 수 있는 솔루션을 꾸준히 선보여 최고 제조 소프트웨어 기업으로 성장해나가겠습니다.

Q.

스마트팩토리와 제조업 DX의 도입과 고도화가 필요하다고 생각하지만, 여러 이유로 망설이는 분들에게 한 말씀 부탁드립니다.

스마트팩토리와 제조업 DX는 단순히 장비에 센서를 달고 제조 실행 시스템^{MES}을 설치하는 것이 아닙니다. 우리 기업에 필요한 솔루션을 도입하고, 이를 토대로 제조 생산성을 제고해나가며, 그 운영을 적절히 뒷받

침할 수 있도록 조직을 변화시켜야 합니다. 도입하는 기술은 같을 수 있지만, 그 기술이 빛어내는 제조 혁신은 각 기업의 상황에 따라 다를 수밖에 없습니다. 따라서 각 기업은 스마트팩토리를 도입·고도화하는 명확한 목적을 세우고 이에 따라 최선의 방법을 설계하고 과감하게 실행해야 합니다. 이 과정을 너무 어렵게 생각하지 마세요. 목적이 분명하면 실현할 수 있는 방법이 뒤따르는 법이니까요.

지난 30년의 기술 패러다임이 ‘사람과 사람의 연결’이었다면, 앞으로 30년은 ‘로봇과 로봇의 연결’입니다. 다임러서치는 공장 내 모든 로봇을 연결해서 서로 협업할 수 있도록 하는 ‘로봇 오케스트레이션 솔루션’을 개발합니다.



인더스트리 5.0 시대를 위한 스마트 제조

인더스트리 5.0 시대, 제조업은 지속 가능한 환경을 유지하면서 인간 삶을 풍요롭게 하는 사람 중심의 스마트 제조로 진화해야 한다. 이를 위해 사람 중심의 디지털 기술 융합, 제조 근로자의 역량 강화를 위한 재교육과 새로운 역량 교육, 탄력적이고 지속 가능한 스마트 제조 혁신이 필요하다.

제조 로봇 밀도 1위 대한민국

2022년 10월 국제로봇협회 자료에 따르면, 우리나라는 제조 근로자 1만 명당 766대의 로봇을 운영하고 있다. 즉 13명의 근로자당 한 대의 로봇이 활동 중이다. 이는 세계 평균 71명 근로자당 한 대의 로봇이 운영되는 수준의 5.43배에 해당하는 높은 수치다. 이처럼 우리나라 제조업은 자동화와 로봇 등 기술을 활용해 급속한 발전을 이루었다. 최근에는 기존 중후장대한 산업용 로봇 사이에 사람과 협업하는 자그마한 코봇(Collaborative Robot, Cobot)(협업 로봇 또는 협동로봇)이 급속히 늘고 있다. 협업 로봇 대수는 아직 적은 숫자지만, 전 세계적으로 2020년 2만6000대에서 2021년 3만9000대로 50% 증가했다.

인더스트리 4.0: 제조에 디지털 기술을 입히다

제조업은 인간 삶을 풍요롭게 하고 경제성장을 이끌어난 산업의 핵심이다. 특히 1960대 경제개발5개년계획을 시작으로 지난 60여 년간 우리나라 경제성장을 견인한 효자 산업이다. 모든 산업이 그렇듯이 제조업 또한 시대 변화에 따라 지속적으로 진화해왔다. 독일에서 2011년에 시작된 인더스트리 4.0은 사물인터넷^{IoT}, 로봇, 빅데이터, 인공지능^{AI} 등 디지털 기술을 융합해 제조공정의 데이터화·연결화·스마트화를 실현하는 제조업 혁신이다. 간단히 말하면, 인더스트리 4.0 = 제조 + IT^{Information Technology} + OT^{Operational Technology}.

인더스트리 4.0의 현실

세계경제포럼^{WEF}은 4차 산업혁명 시대를 주창하며, 글로벌 제조업의 미래를 선도할 디지털 혁신 모델 공장인 등대공장 132개를 선정해 제조업 혁신을 독려하고 있다. 포스코, LS일렉트릭과 LG 창원공장이 등대공장에 선정되어 우리나라 제조업의 미래를 선도하고 있다.

우리나라는 인더스트리 4.0에 기반한 제조업 혁신을 통해 효율성과 생산성을 높이고, 맞춤형 제품을 생산하는 스마트팩토리를 2014년부터 구축해왔다. 2022년 말 기준 국내 스마트팩토리는 3만 개에 이른다. 하지만 이는 전체 제조업 사업체 수의 1%, 제조업 중소기업 사업체 수의 9.8%에 불과하다. 그나마 90%가 공정 개선이나 제조 혁신보다는 MES, ERP 등 시스템 도입에 치우쳐 있다는 지적이 나온다.



협업 로봇 생산 증가율

2만6천대
(2020년)

50% 증가

3만9천대
(2021년)



“로봇 시스템이 걸핏하면 말썽을 일으켜 생산에 막대한 차질을 빚었다. 테슬라의 과도한 자동화는 실수였다. 정확히 말하면, 나의 실수다. 인간을 과소평가했다.”

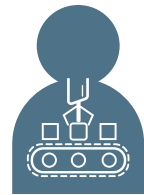
_일론 머스크 테슬라 CEO

문제에 봉착한 선진 제조 국가

독일도 인더스트리 4.0을 처음 주창한 나라답게 열심히 스마트팩토리를 추진했다. 하지만 2021년 독일 정보통신산업협회^{BITKOM} 설문조사에 따르면, 전체 독일 기업의 66%가 인더스트리 4.0으로 전환하는 데 뒤처지거나 이미 뒤처졌다고 생각하는 것으로 나타났다.

테슬라는 2016년 미국 공장 자체를 ‘기계를 만드는 기계’로 명명하며 자동 생산 라인을 위해 1000대 이상 로봇을 비치한 스마트팩토리를 구축했다. 로봇과 디지털 시스템이 한데 어우러진 스마트팩토리를 보유한 테슬라는 양산에 자신감을 갖고 출발했지만, 심각한 문제에 봉착했다. 2018년 평균 주당 자동차 5000대 생산 목표를 세웠으나, 겨우 2000대 생산에 그치며 웃음거리가 된 것. 결국 일론 머스크는 미국 CBS 뉴스와의 인터뷰에서 “로봇 시스템이 걸핏하면 말썽을 일으켜 생산에 막대한 차질을 빚었다. 테슬라의 과도한 자동화는 실수였다. 정확히 말하면, 나의 실수다. 인간을 과소평가했다”고 고백했다.

최근 들어 인더스트리 4.0이 제조업의 디지털 기술 융합만으로는 충분하지 않다는 인식이 점차 확산되고 있다. 2021년 4월 매킨지 보고서는 전문가의 설문조사를 통해 61%의 인더스트리 4.0 프로젝트가 실패하는 이유로 기술 중심이라 공정 개선 결여, 현장 직원의 불충분한 참여, 지속적 개선 부재를 지적했다. 디지털 기술을 활용해 생산성과 효율성 향상에 집중하다 보니 기계로 사람을 대체하거나 사람의 창의성과 감성이 소외되는 문제가 발생하고 있다는 인식이다.



우리나라 제조 근로자
1만 명당
로봇 운영 수 (2022년 기준)

766대

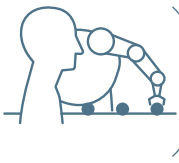
세계 평균

5.43배

자료: 국제로봇협회

인더스트리 5.0: 사람 중심의 제조업 혁신

인더스트리 5.0은 2021년 1월 유럽연합^{EU} 산업 전문가 그룹이 인더스트리 4.0은 본질적으로 기술 중심적이고 성장 지향적 산업 혁신이며 경제활동 환경, 사회 및 지속 가능한 개발 차원에 대한 적절한 고려가 부족하다고 주장하며 시작되었다. 인더스트리 4.0을 보완해 사람 중심적이고, 회복탄력적이며, 지속 가능한 산업으로 전환하기 위한 혁신이 인더스트리 5.0이다. 아직도 많은 전문가가 인더스트리 5.0이라는 새로운 명칭에 동의하는 것은 아니지만, 코로나19 사태 등 최근 지구 곳곳에서 일어나는 환경과 기후변화를 겪으며 인더스트리 4.0이 기술 중심에서 사람 중심으로, 성장 중심에서 지속 가능한 환경과 사회 지향으로 방향 전환이 필요하다는 데 공감하고 있다. 인더스트리 5.0의 핵심은 다음과 같다.



사람 중심 사람을 중심으로 제조 환경을 조성한다. 사람과 기계가 공존^{symbiosis}하는 시대, 사람이 일을 더 잘하기 위해 기계를 활용한다. 또 사람의 건강, 안전과 웰빙, 재교육과 역량 향상 교육, 다양성과 권한 이양 등을 촉진한다.



회복탄력성 전체 가치망이 충분히 탄력적인 전략적 가치망, 적응 가능한 제조 역량, 유연한 비즈니스 공정을 개발해 더 높은 수준의 제조 역량을 견지한다. 동시에 예기치 못한 위기 상황에서도 주요 인프라를 탄력적으로 운영·지원한다.



지속가능성 에너지 소비와 온실가스배출을 줄이고, 천연자원의 고갈과 황폐화를 방지하며, 미래세대의 요구를 위태롭게 하지 않으면서 현재 세대의 필요를 보장한다. 자원을 재사용·재활용하고, 폐기물과 환경영향을 줄이는 순환 생태계를 개발한다.

인더스트리 5.0 시대의 스마트 제조 전략

인더스트리 5.0은 제조업의 새로운 패러다임이다. 인더스트리 5.0 시대의 스마트 제조는 디지털 기술 융합을 넘어 사람 중심으로 운영되는 제조 현장, 지속 가능하고 예기치 못한 위기에 탄력적으로 대응하는 제조 환경을 조성해 사람의 가치와 삶의 질을 높일 수 있다. 이미 사람과 협업하는 협업 로봇, 제조 현장 경험과 요구사항을 융합하는 인공지능 등 디지털 기술도 사람 중심으로 발전하고 있다. 인더스트리 4.0에서 사람 중심으로 수행하는 스마트 제조를 위한 추진 전략은 다음과 같은 관점을 포함한다.

사람과 기계의 맞춤형 소통

디지털 기술로 무엇을 할 수 있는지 묻는 것이 아니라, 기술이 우리를 위해 무엇을 할 수 있는지 묻는다. 사람과 기계가 공존하는 환경에서 협업 로봇처럼 사람이 기계와 소통하는 방식을 개인 맞춤형으로 제공한다. 특히 AI를 장착한 기계를 활용할 때 근로자의 경험을 적극적으로 수용한다. 스마트 제조를 수행하기 위한 협력 방식, 역할 분담, 윤리 등에 대한 논의와 적용이 필요하다. 근로자의 안전과 건강, 사람을 중심으로 운영되는 제조 환경을 조성할 때 주변의 위험 요소를 조기에 발견해 제거하거나 공정 개선과 제조 혁신을 통해 더 높은 생산성과 효율성을 달성할 수 있다. 기계에 의한 자동화가 가속화되면서 스마트 제조에는 사람의 창조성과 유연성이 더욱 요구된다.

인력 교육

현재는 물론 미래에도 사람이 가장 중요하다. 세계경제포럼^{WEF}이 발표한 ‘미래 일자리 보고서 2023’에 따르면, 기계가 자동으로 수행하는 작업이 2023년에는 전체 작업의 34%를 차지하지만 2027년에는 42%로 늘어날 전망이다. 향후 5년간 8300만 개의 일자리가 사라지고, 6900만 개 일자리가 새로 생겨나며, 근로자의 역량 중 40%가 붕괴될 것으로 예상된다. 이에 2027년까지 60% 이상 인력이 재교육을 받아야 하지만, 그중 50%만 교육 기회가 있다고 언급했다. 첨단산업 경쟁력 확보뿐 아니라 제조 현장 변화에 적응하기 위해 사람의 재교육^{reskilling}, 새로운 역량^{upskilling} 교육 시스템과 투자를 강화해야 한다. 경험자의 현장 경험을 디지털 기술로 자산화하고 후배들의 현장 교육에 활용한다. 기업의 다양한 역할에 지각변동이 일어나고 있기에, 기업은 인력이 대응할 수 있도록 머리를 맞대고 노력해야 한다.

지속 가능한 제조 환경 구축

올여름엔 지구촌 곳곳이 폭염, 폭우 등 기상이변으로 몸살을 앓았다. 서울대학교 지구환경과학부 남성현 교수는 “기후변화 문제는 사람들이 생각하는 것보다 훨씬 더 심각하다. 이전처럼 계속 미룰 문제가 아니라 기후 비상인 상황이다”라고 말한다. 그러면서 앞으로 10년이 중요하다고 강조한다. 제조업은 전체 가치망에서 넷제로^{Net-zero} 즉 원자재부터 제품 생산, 사용, 폐기 등 제품 수명 주기 전반에 걸쳐 온실가스배출량을 0에 가깝게 줄여나가야 한다. 사람의 창의적 행동으로 다양한 기술을 활용해 지속 가능한 순환 생태계 제조 환경을 구축해야 지구환경이 개선되고, 우리 삶이 풍요로워지며, 안전한 미래가 보장되기 때문이다.



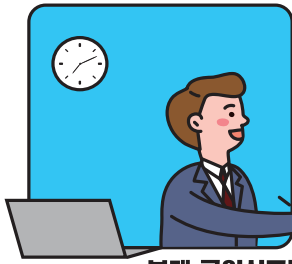
자료: '인더스트리 5.0', 유럽연합 연구 및 혁신 정책 보고서, 2021년 1월



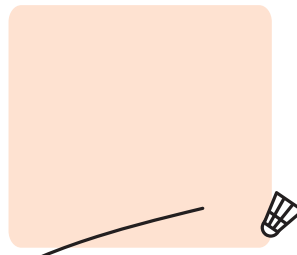
송형권 건국대학교 경영전문대학원 교수

4차 산업혁명과 디지털 트랜스포메이션^{Digital Transformation} 전문가이며, 글로벌 사업 전략 및 정보통신 융합기술 전문가다. 한국인더스트리 4.0 협회 공동 창립자이며, 현재 건국대학교 경영전문대학교 교수로 재직 중이다. 저서로는 <호모 커넥서스>, <4차 산업혁명, 새로운 제조업의 시대> 등이 있다.

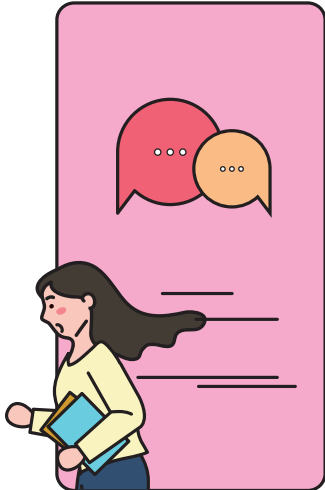
부패·공익신고자 보호제도



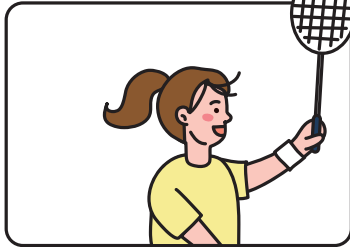
부패·공익신고!



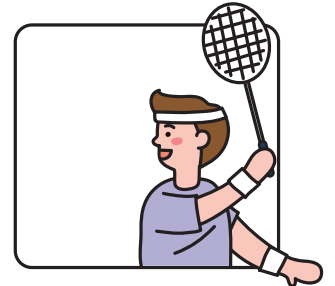
부패·공익신고자 보호제도
더 알아보기



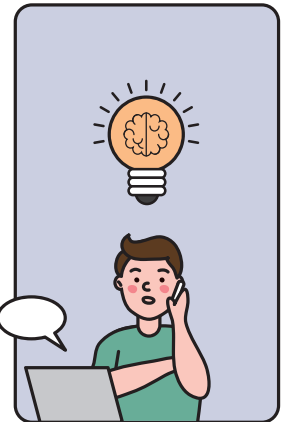
보호받고!



걱정말고!



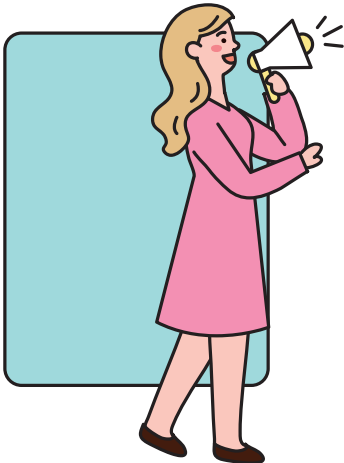
**당신이 사회를
지킬 때,
법은 당신을
지킵니다.**



신고하고!



비밀은 보장 신변은 보호 용기는 보상



인터넷 신고

청렴포털_부패공익신고
(www.clean.go.kr)

방문·우편 신고

국민권익위원회 종합민원상담센터
(세종), 정부합동민원센터(서울)

상담

'청렴포털_부패공익신고'
또는 ☎ 1398

- 신고자의 인적사항 등을 공개하면 처벌대상이 됩니다.
- 신고자에게 신고를 이유로 징계·해고 등 불이익조치를 하는 것이 금지됩니다.
- 신고를 이유로 신변의 위험이 있는 경우 신변보호조치를 받을 수 있습니다.
- 신고와 관련하여 신고자의 위법행위가 발견된 경우 형사처벌·징계 등을 감면받을 수 있습니다.

유기성폐기물 처리로 ‘환경과 경제성’ 두 마리 토끼 잡다

캐나다 버섯 배지 부산물 연료화를 위한
오염원 무배출 20T/Day급 건조 시스템 개발 및 실증

올해는 기후변화에 따른 이상기후가 잦아지면서 기후 위기에 대처해야 한다는 목소리가 커지고 있다. 이에 따라 온실가스 감축을 위한 인류의 노력이 절실한 가운데 폐기물 처리와 자원화에 대한 사람들의 관심도 높아졌다. 유기성폐기물 건조 자원화 시스템 제조 전문 기업 (주)삼우티씨씨는 유기성폐기물의 효과적 처리 및 재활용 기술에 방점을 찍는 기술개발 및 상용화에 성공해 세간의 관심을 끌고 있다.

word 조범진 photo 김기남

유기성폐기물 처리에서 자원화로 여건 변화 탄력 대응

유기성폐기물은 생물에서 유래한 썩기 쉬운 유기물질로 이뤄진 폐기물이다. 대표적으로 음식물 쓰레기와 가축분뇨, 동·식물성 잔재물 등이 있으며, 과거에는 불에 태우거나 땅에 매립 또는 해양에 투기하는 방법으로 폐기물을 처리했다.

그러나 1992년 우리나라가 유기성폐기물의 해양 투기를 금지하는 런던협약에 가입해 2009년 런던 의정서를 승인함에 따라 유기성 오폐수를 비롯한 폐기물의 해양 배출을 점차 금지해왔다. 2016년부터는 해양 투기가 전면 금지되면서 내륙에서 발생한 유기성폐기물 처리가 가장 중요한 환경 정책으로 부상했다.

사업명	에너지국제공동연구과제
연구과제명	캐나다 버섯 배지 부산물 연료화를 위한 오염원 무배출 20T/Day급 건조 시스템 개발 및 실증
제품명	유기성폐기물 건조 자원화 시스템
개발 기간	2016년 6월~2021년 2월(57개월)
정부출연금	12억3000만 원
개발기관	(주)삼우티씨/경기도 시흥시 공단1대로 260번안길 20 ☎031-434-8388, www.samwootcc.com
참여 연구진	이순걸, 김현우 외





HOW-TO 과제 수행 중 코로나19

사태로 개발이 완료된 연구 장비의 해외 현지 실증 운전 시험 가동이 불가능해졌고, 해외 업무마저 마비되는 위기에 직면했다. 또 위기 타개 방안으로 국내에 실증 현장을 구축하려 했지만, 유기성폐기물을 대상으로 하기에 국내 폐기물관리법 및 환경규제로 인해 어려웠다. 그러나 과제 수행 기간 연장 등을 통해 국내에 실증 현장을 구축해 개발이 완료된 연구 장비의 실증 검증을 완료할 수 있었다.

산업혁신기술상
사업화기술 부문

(주)삼우티씨씨
이순걸 대표이사



이순걸 대표는 “유기성폐기물의 대표 격인 음식물 쓰레기는 현재 재활용 비율이 90%를 웃돈다. 배출원에 의한 발생량과 성상, 이물질 혼입 여부, 부패 정도 등이 음식물 쓰레기 배출 장소에 따라 다른데, 이에 대한 적절한 조치가 이뤄지지 않고 처리·재활용되어 토양·수질 오염은 물론 폐기물을 건조할 때 발생하는 화석연료 사용 증가 및 대기오염 등 문제가 여전히 해결 과제가 되고 있다”며, “이런 가운데 당사가 개발 및 상용화에 성공한 유기성폐기물 건조 자원화 시스템은 유기성폐기물 처리 대상에서 자원으로 순환해야 하는 물질로 사람들의 인식을 바꾸고, 여건 변화에 탄력적으로 대응하는 게임체인저 기술이라고 생각한다”고 말했다.



삼우티씨씨의 디스크 건조 시스템은 전열면적을 넓게 확보할 수 있어 유기성폐기물의 효율적 건조가 가능하다.

환경친화적이면서 경제성이 높은 폐기물 처리 기술개발

삼우티씨씨가 기술개발 및 상용화에 성공한 연구과제는 캐나다의 미활용 유기성폐기물인 버섯 배지 부산물의 연료화를 위한 오염원 무배출 유기성폐기물 건조 시스템 및 약취 탈취 연소 기술이다.

핵심 기술은 크게 두 가지로, 하나는 발전된 유기성폐기물 건조 기술인 ‘오염원 무배출 건조 연료화 시스템’이며, 다른 하나는 ‘공기 단열형 고온 연소 기술 적용 약취 제거용 탈취 보일러 개발’이다. 이 두 가지 기술은 응축 가스 정제 필터를 통해 정제된 물을 재순환해 냉각탑에서 재사용함으로써 폐수 발생이 없는 데다 공기 단열형 고온 탈취 보일러에 의해 완벽한 탈취 기능을 갖춰 친환경적이다. 연료화한 유기성폐기물을 자체 열원으로 사용해 완벽한 무^{CO2}오염원 및 뛰어난 경제성을 갖췄다는 평가를 받았다.



실제로, 삼우티씨씨의 디스크 건조 시스템은 전열면적을 넓게 확보할 수 있어 유기성폐기물의 효율적 건조가 가능하다. 또 건조용 공기가 적게 유입되어 오염원의 대기배출량이 적고, 간단한 구조로 설계해 유지보수에 유리하다. 약 120°C 저온으로 건조할 수 있어 연료화-자원화에 적합할 뿐 아니라 10% 이하의 함수율로 건조가 가능해 기존 슬러지 건조 설비 대비 글루존^{glue zone} 형성 구간을 단축했다.

또 개발에 성공한 공기 단열형 고온 연소 기술을 적용한 약취 제거용 탈취 보일러는 기존 산업용 보일러 대비 에너지 효율 5% 이상 향상 및 완전연소에 가까운 연소로 일산화탄소 등 배출 물질의 30% 이상 감축이 가능하다. 연료의 종류에 따라 연소 온도 1000°C 이상까지 응용 가능해 효과적인 약취 제거는 물론, 구조가 간단해 유지보수 비용을 50% 이상 절감할 수 있다.

이와 관련해 이 대표는 “이번 과제를 통해 당사가 개발에 성공한 디스크 건조 시스템과 탈취 보일러 기

수차례의 유기성폐기물 건조 자원화 설비 구축을 통한 삼우티씨씨의 제작 기술을 기반으로 대형 건조 자원화 장치 제작이 가능하다.

글루존^{glue zone}

일반적으로 점성이 커져 덩어리 현상을 갖추는 수분 함수율 40~60%의 최대 점성 구간을 말한다.



이순걸 대표는 삼우티씨씨가 개발한 유기성폐기물 건조 자원화 시스템이 사람들의 인식을 바꾸고, 여건 변화에 탄력적으로 대응하는 게임체인저 기술이라고 말했다.

술은 음식물 쓰레기를 비롯해 하수 슬러지 등 대표적 유기성폐기물 처리에 경제적인 방법과 친환경적 방안 마련이라는 두 마리 토끼를 잡았다는 점에서 2027년까지 정부가 수립하는 자원순환 기본계획과 정책에 도움이 되었으면 한다”고 밝혔다.

미국 등 해외시장 및 폐기물 처리시설 운영업 진출 계획

한편, 사업화 현황 및 전망과 관련해 이순걸 대표는 “먼저, 본 과제를 통해 소규모 연소로가 부족한 캐나다의 대단위 버섯 농가에 전략적으로 진출해 버섯 배지 폐기물을 연료화하고 환경 개선에 이바지함으로써 향후 캐나다를 비롯해 미국 등지의 대규모 가축 목장 등에 당사 기술 및 플랜트 수출 가능성이 높아 해외시장 진출에 대한 기대감이 크다”고 전했다.

더불어 그는 “국내의 경우 당사 기술 및 플랜트가 동종업계 대비 동일 규격 설비 기준으로 유기성폐기물의 건조 자원화 처리량과 자원화 전환율 및 시설 운영 효율과 운영 경제성 등에서 최대 결과를 구현하고 있다”며 “실제 경기도 소재 음식물류 폐기물 사업장 두 곳과 부산 소재 폐수처리 사업장에서 안정적 상용 운전과 경제성 향상이 확인되어 매출 증대에 크게 기여하고 있다”고 덧붙였다.

이와 함께 앞으로 계획 및 목표에 대해서는 “국내에서 사용되는 폐수 건조기는 대부분 일본에서 제작하는 시설로, 구축 비용이 10억 원이 넘는다. 당사는 폐수 건조 시스템을 국산화해 수입 대체 효과 및 경제성 확보를 위한 디스크 건조 시스템 기술개발과 함께 건조 효율을 증대하는 건조 자원화 설비 및 기술도 개발 중이다”라고 말하며 “이를 통해 폐기물 처리시설을 수주받아 제작·납품하는 사업 분야를 넘어 폐기물 처리시설 운영업 시장에 진출할 계획이다”라고 밝혔다.

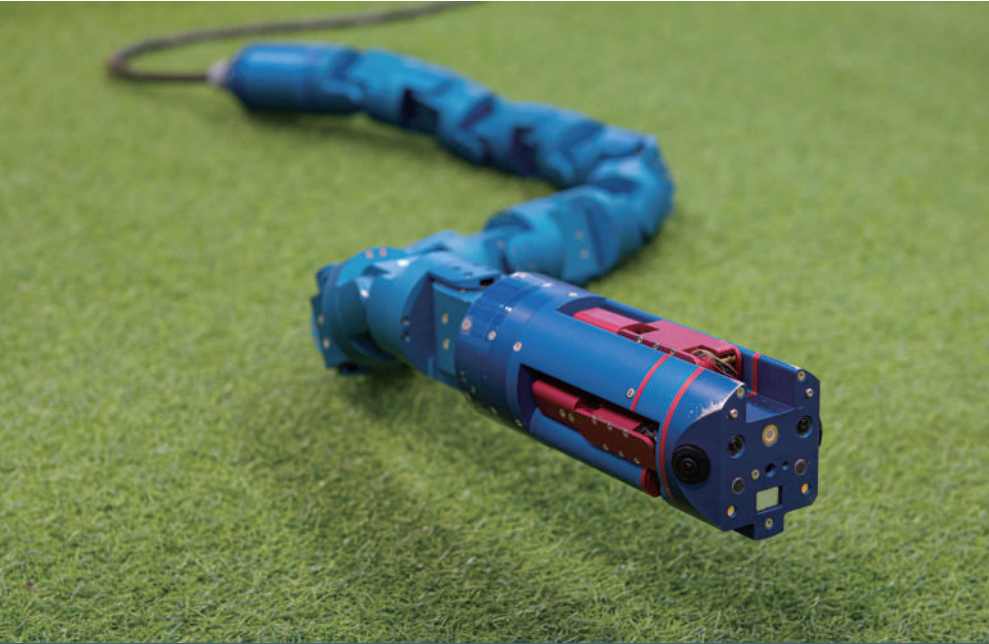
(주)삼우티씨

2005년에 창업한 삼우티씨는 창업 초기부터 산업용 압력 용기 및 유기합성 시스템, 생분해성 고분자 소재 합성, 에너지 플랜트·친환경 유기합성 소재 중심의 기술개발을 통해 산업적 엔지니어링 기반 기술을 축적·보유해왔다. 보유 기반 기술을 통해 2020년에는 내륙에서 발생한 미활용 유기성폐기물 건조를 통해 자원순환 처리 가능한 유기성폐기물 건조 자원화 시스템 기술을 개발하는데 성공했다.



한국로봇융합연구원은 그동안 붕괴 사고 시 사용되던 구조견과 서치텡을 대신하고 구조 능력을 향상시킬 수 있는 뱀형 로봇 기술을 개발하는 데 성공했다. 이들이 개발한 협소 공간 탐색 로봇 기술은 재난은 물론 치안, 경호, 국방, 산업안전 분야에서 다양하게 활용 가능하다.

붕괴 사고 시 안전한 탐지 위한 뱀형 로봇 기술개발



붕괴 사고가 발생하면 생존자를 구조하기 위해 구조견과 서치텡을 이용한다. 하지만 붕괴 현장에 뽕족한 잔해가 많아 구조견이 발을 다치기 쉽고, 한번 다친 구조견은 소극적으로 변해 인명 탐색이 어려워진다. 또 서치텡은 최대 펼쳤을 때 길이가 1.5m 정도로 협소한 공간 너머에 있는 생존자를 탐색하기에 범위가 제한적이다. 이에 재난(지진, 폭설, 화재, 폭우, 산사태 등)으로 건물이 붕괴되었을 때 협소한 공간에 진입해 생존자를 찾고, 구조 가능 시간(골든타임 72시간)을 연장하는 로봇을 개발했다.

프로젝트명

붕괴 지역 매몰자 탐지·구조를 위한 협소 공간 탐색 로봇 기술개발

연구개발 기관

한국로봇융합연구원(주관), 한국생산기술연구원(참여), 대구경북과학기술원(참여), 부경대학교(참여), 경북대학교(참여), 고려대학교(참여)

참여 연구진

김무림, 신동관, 표주현, 이명석, 조정산, 윤동원, 서진호, 박순용, 홍대희

연구 기간

2019년 4월 1일~2021년 12월 31일

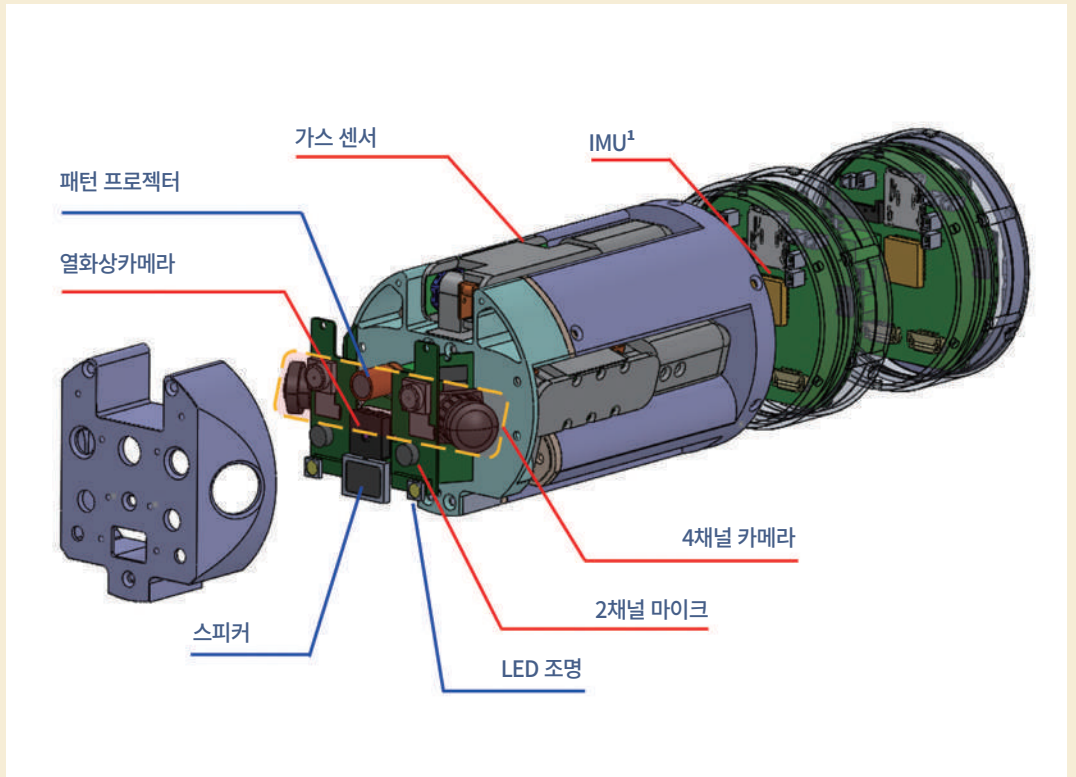
통합 모듈과 그리퍼가 융합된 신개념 기술

본 과제로 개발한 뱀형 로봇은 머리에 다중센서 통합 모듈과 그리퍼가 융합된 신개념 기술을 적용했다. 그리퍼는 잔해에 깔려 움직일 수 없는 요구조자의 얼굴 주변을 정리하고, 야구공 크기 정도의 소형 장애물을 제거하는 역할을 수행한다. 이와 함께 요구조자의 생존 골든타임 연장을 위한 액체 전달 메커니즘도 세계 최초로 개발했다. 뱀형 로봇 외피에 포함된 공급관을 통해 뱀 머리에 자리한 분사 노즐로 요구조자에게 약물, 주스를 공급할 수 있다.

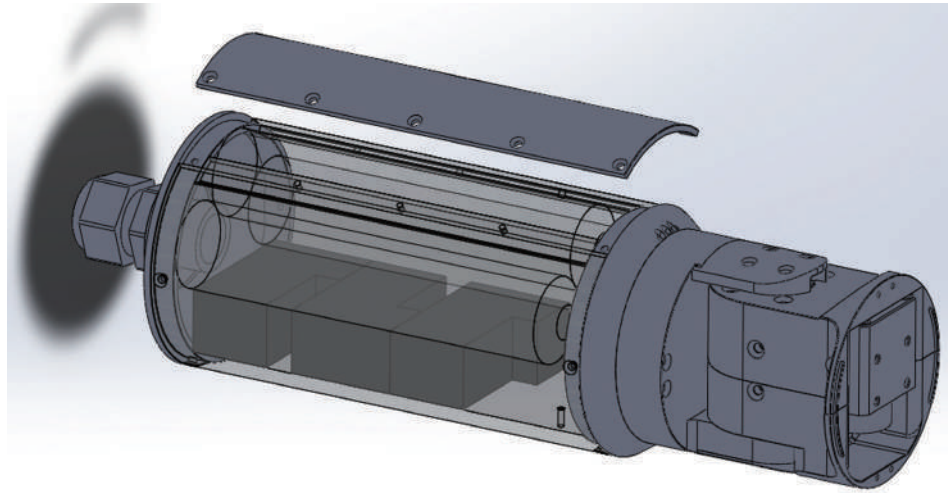
서치탑	뱀형 로봇(CMU)	뱀형 로봇(KIRO)
		
<ul style="list-style-type: none"> • 탐색 범위 제한적. • 생존자 탐지 수단은 카메라뿐임. • 응급조치 수단 없음. 	<ul style="list-style-type: none"> • 탐색 범위 넓음. • 생존자 탐지 수단은 카메라만 있고, 조종이 어려움. • 주행 환경이 바뀔 때 Gait 패턴 및 관련 파라미터를 튜닝해야 함. • 생존자 구호 기능 미흡. 	<ul style="list-style-type: none"> • 탐색 범위가 넓음. • 소리, 열영상, 가스 등 다양한 탐지 솔루션 탑재. • 다채널 카메라 제공으로 탐색 및 조종 편의성 제공. • 그리퍼를 활용한 현장 구조 대응 가능. • 주행 보조 기능, 비전문가가 조종 가능. • 골든타임 연장 조치 가능.

기존 연구(미국, 카네기멜론대학교)의 경우 카메라 한 대만 탑재되어 있어 생존자를 탐색하기 어려웠다. 기존 연구와 달리 생존자 탐색 효율 증대를 위해 다중센서(열화상, 카메라, 마이크, 가스 등)를 융합 및 모듈화해 뱀형 로봇 머리부에 통합했으며, 그리퍼를 장착해 탐색 작업뿐 아니라 가벼운 물체의 조작 작업을 수행해 구조 지원을 할 수 있다. 개발한 약물, 주스 공급 장치는 생존자 구조 골든타임을 연장 가능해 요구조자의 생존율을 높여 구조대의 재난 대응 능력을 향상시킨다.

생존자 탐지를 위한 다중 센서 통합 솔루션 개발



— 1
관성 측정장치¹(Inertial Measurement Unit): IMU는 이동물체의 속도와 방향, 중력, 가속도를 측정하는 장치를 뜻하며, 센서기반 방식이다.



- 요구조자의 생존 골든타임(72시간) 연장을 위한 약물, 주스 전달 매커니즘 개발
- 꼬리 모듈에 50ml 용량의 공급기 3세트 내장
- 외피에 포함된 공급관을 통해 뱀 머리의 분사 노즐로 요구조자에게 공급

이동속도 개선 위한 롤링 모션 구현

협소 공간을 이동하기 위해 사용하는 자벌레 모션의 경우 로봇의 수직 방향 관절 일부가 지면·벽면에 마찰을 발생시켜 이동하는 방식이다. 본 연구에서는 지면·벽면에 대한 마찰을 극대화할 수 있는 형태로 추가로 나선형 롤링 모션을 구현해 파이프 내부에서 로봇의 이동속도를 향상시킬 수 있었다. 또 몸체를 회전하며 이동하는 모션의 특성으로 방향에 대한 지시가 어려운 문제가 발생했고, 이를 해결하기 위해 파이프 굴곡 지점 형태에 적응해



사이드와인딩



롤링



파이프 오르기

자벌레 모션



인치웸



전진

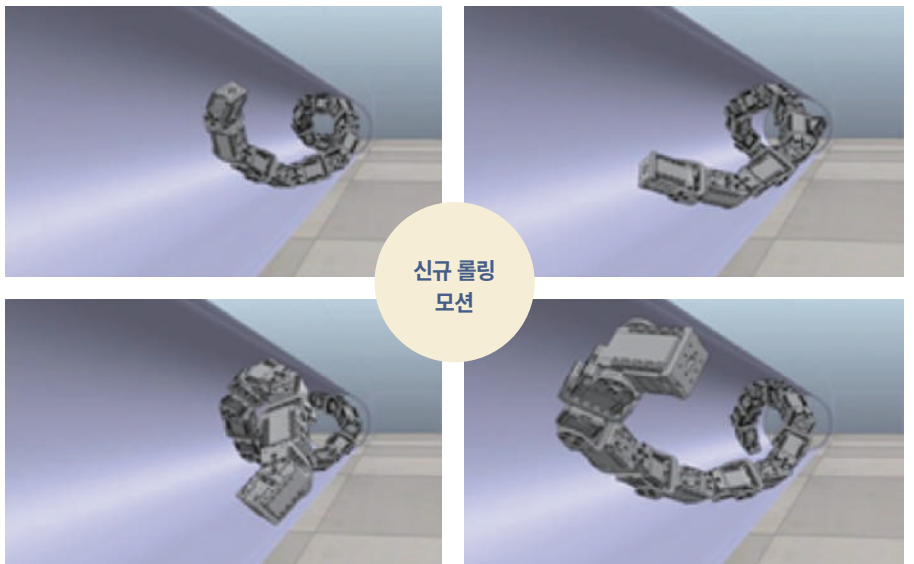


굴곡 파이프 이동

로봇이 변형될 수 있도록 포지션^{position}과 커런트^{current}를 동시에 제어하도록 구현했다.

**군용, 원전 사고, 의료 등에서
사용 가능한 뱀형 로봇 시스템**

본 프로젝트는 학술지 게재 논문 10편, 학술 대회 발표 37건 등 과학적 성과와 더불어 17개의 특허출원과 소프트웨어 저작권 한 권은 물론 구조대 입회 아래 붕괴 지역 탐지 구조 실증 등 다양한 과학적·기술적 성과를 거두었다. 해당 로봇 원천기술은 재난 대응, 치안, 경호, 국방, 산업안전 분야에서 다양하게 활용 가능할 것으로 보인다.



신규 롤링
모션

한국로봇융합연구원

한국로봇융합연구원은 로봇 융합기술의 사업 연계형 연구개발^{R&D}을 선도하는 글로벌 전문 연구 기관이다. 국내 유일의 로봇 분야 전문 생산기술 연구원으로, 정부 산하 단일 연구 기관으로는 로봇 분야 연구 인력을 가장 많이 보유하고 있다. 2022년 창립 10주년을 맞았으며, 지난 10여 년간 40여 종의 로봇 제품 상용화 기술을 개발하는 쾌거를 이루었다. 최근에는 4차 산업혁명 시대를 대비하기 위한 스마트팩토리 기술, 협동로봇 기술, 로봇과 인공지능을 융합하는 기술 등 다양한 연구를 진행하고 있다.



자율주행 물류 이송로봇 시장에 트윈 돌풍이 몰아친다

산업현장이나 일상에서
사용자를 추종하며 다양한
물품을 운반할 수 있는 사람
추종형 이송로봇 개발,
(주)트위니

TWINNY



사물인터넷^{IoT}을 통해 생산기기와 생산품 간 상호 소통 체계를 구축하고 전체 생산과정을 최적화하는 ‘인더스트리 4.0’ 시대가 되면서 모든 산업 분야에서 자동화가 이뤄지고 있다. 물류산업 역시 예외는 아니며, 물류로봇의 활용이 대표적이다. 이런 가운데 자율주행 로봇 개발 전문 기업 (주)트위니가 남다른 연구개발^{R&D} 능력을 바탕으로 사람을 추종하고 자율주행이 가능한 이송로봇 개발에 성공, 국내 물류산업 현장에 국내 물류산업 현장에 인더스트리 4.0 시대의 본격 개막을 알렸다.

word 조범진 photo 김기남

물류산업 현장의 인력난 등 현안 해소할 수 있는 단비 기대

물류산업 시장에 물류로봇 시장이 급격히 커지고 있다. 일례로 세계 최대 인터넷 쇼핑몰인 아마존은 2012년 1조 원이 넘는 금액에 키바시스템즈^{Kiva Systems}를 인수했고, ‘아마존 로보틱스’로 사명을 바꾼 후 곧바로 물류센터에 자율주행 물류로봇 ‘키바’를 70여만 대 투입해 현재 운용 중이다. 앞으로 물류산업 시장의 경쟁력은 로봇 사용 여부와 해당 로봇의 성능의 차이에 따라 크게 나뉠 것으로 예상된다.

사실 로봇의 사용은 인건비 상승 부담과 인력난에 기인한 것이다. 물류현장은 대표적인 3D업종이며, 물류센터는 지가 상승 등으로 점차 교외에 자리잡는 추세인 탓에 인력 채용에 늘 어려움을 겪고 있다. 이에 현장 근로자 상당수는 고령이거나 계약직인 경우가 드물지 않다. 이와 함께 코로나 시대 비대면 확산에 따라 이커머스 시장이 확대되고 급격히 늘어난 물동량에 대한 대처가 요구됐다. 각 현장은 이를 해소하기 위해 로봇을 대안으로 투입하기도 하지만 인프라 구축 등 초기에 부담해야 하는 비용이 결코 적지 않다. 아마존 키바와 같은 AGV^{Automatic Guided Vehicle}는 위치를 알려주는 표시 등의 인프라 구축을 위해 새로운 물류센터가 아니면 적용하기 어렵기 때문이다.

트위니가 사람추종형 이송로봇 중 하나인 ‘잘따르고’를 개발하게 된 배경도 여기에 있다. 별도의 인프라 비용이 들지 않아 곧바로 물류 현장에 투입할 수 있기 때문이다. 더불어 대열주행이 가능하기에 한 번에 많은 물량을 싣고 이동할 수 있게 설계되었다면 오더피킹 업무의 비효율성 등 물류센터 업무 효율화를 꾀할 수 있는 수단이 되지 않을까? 앞으로 트위니가 개발에 성공한 잘따르고가 국내외 물류산업 현장의 어려움을 해소하는 단비가 될 것으로 예상된다.

자체 기술로 대상 추종 로봇 개발, 물류로봇 기술 확산 도모

트위니가 ‘산업현장이나 일상에서 사용자를 추종하며 다양한 물품을 운반할 수 있는 사람 추종형 이송로봇 개발’ 과제를 통해 개발하는 데 성공한 잘따르고는 레일이 없는 다양한 실내의 환경에서 추가 장치 없이 사용자를 안정적으로 추종한다. 다양한 물품을 적재한 채 혼잡한 환경이나 좁은 통로에서도 다수의 로봇이 대열 주행할 수 있는 사용자 추종 이송로봇이다.

이와 관련해 천홍석 대표는 “트위니가 기존에 연구개발한 사용자 추종 기술과 차량 경로 추종 기술 결합 및 고도화를 통해 기존 제품의 한계를 극복하기 위한 취지로 추진하게 되었다”고 전했다.

또 천 대표는 “사실 당사가 개발한 대상 추종 로봇 따르고를 제외하면 국내에서 대상 추종 물류로봇은 기술개발 및 시험 단계로 상용화 수준의 기술 보유 기업이 없는 데다 해외 역시 별도의 장비 요구 등 기술력과 가격 문제로 추종 기술의 확산이 빠르게 이뤄지지 않는 실정이다. 더구나 추종 로봇을 포함한 국내 물류로봇은 외국에서 개발한 기술을 단순 수입에 활용하는 경우가 적지 않다”며 “이에 잘따르고 개발을 통해 외산 기술에 의존하던 국내 물류로봇 산업의 문제점을 해결하고, 별도의 장비 구축 없이 엮가 센서를 통해 물류로봇에 추종 기능을 구현해 우수한 가격 경쟁력을 기반으로 물류로봇 기술의 확산을 도모하고자 했다”고 밝혔다. 그리고 “이러한 기술은 물류센터의 업무 부담을 낮추고, 여성이나 은퇴한 고령자의 근로 가능 여건을 제공할 수 있는 데다 물류센터 내 지게차의 활동 영역을 제한해 사고 감소에 기여할 수 있다”고 덧붙였다.

오더피킹 기술 탁월, LLM 연동 자율주행 로봇 개발 눈길

한편 트위니는 대상 추종 로봇과 함께 자율주행 로봇 제품군을 보유하고 있으며, 나르고 시리즈는 공장과 물류센터 등에서 다양하게 사용되고 있다. 최근에는 고객의 사용성에 부합할 수 있는 제품을 개발 중이다.



(왼쪽)트위니가 개발한 나르고 오더피킹이 경기도 양주에 위치한 물류대행사에 투입, 운영되고 있다.



(아래)트위니가 개발한 나르고 오더피킹이 인천 소재 물류대행사에 공급, 생활용품 이송에 쓰이고 있다.

천 대표는 “대표적인 것이 나르고 오더피킹^{Order Picking}과 나르고 팩토리다”라며 “나르고 오더피킹은 피킹 작업자의 단순 이동 업무를 대신해 신체 부하를 낮춰주는 자율주행 로봇으로, 창고 구조 변경이나 추가 인프라 없이 활용할 수 있다. 또 운반 업무 자동화, 오더피킹을 감소, 직원 교육비 절감 등으로 물류센터의 생산성을 높일 수 있는 강점을 지녔다”고 설명했다. 이에 따라 트위니의 나르고 시리즈는 수도권에 소재한 물류센터 네 곳에 공급되어 운용 중이며, 물류센터 한 곳은 발주량을 늘릴 계획이다. 또 이들 센터의 효과를 눈여겨본 다른 물류센터의 문의가 끊이지 않아 올해 공급처가 크게 늘어날 것으로 전망한다. 아울러, 나르고 팩토리 역시 트위니만의 자율주행기술 강점을 살리되 고객사의 어떤 현장에서도 사용 가능하도록 커스터마이징할 수 있는 유연성을 보유한 제품을 개발 중이다. 리프트, 컨베이어, 로봇팔 같은 액세서리와 연동할 수 있어 공장을 운영하는 고객들에게 ‘유연한 커스터마이징을 갖췄다’는 좋은 반응을 얻을 것으로 보인다.

특히 최근 트위니는 거대 언어 모델^{Large Language Model, LLM}과 연동한 자율주행 로봇 서비스를 개발하고 있어 화제를 불러 모았다. 천 대표는 “사람이 자연어로 명령을 내리면 로봇이 그 명령을 수행하도록 거대 언어 모델이 자동 번역하는 식이다. 이를 통해 물품 이송을 위한 주행 같은 기본 업무뿐 아니라 시설 위치 정보 및 안내 등 사용자가 원하는 정보에 대한 고차원적 추론 능력이 필요한 임무를 수행함으로써 자율주행 로봇의 효용성을 높일 것으로 기대한다”며 “당사가 최근 엔씨소프트와 업무협약을 체결해 협업 비즈니스모델을 발굴하기로 한 것도 이러한 맥락에서다”라고 전했다.

쌍둥이 형제가 창업, 자율주행 로봇 개발 전문 기업

2015년에 설립한 트위니는 공장자동화, 물류센터 오더피킹 등을 위해 실내외 공간 어디에서나 자율주행이 가능한 물류 이송로봇을 개발·공급하는 회사다. 시장규모와 기술경쟁력을 갖출 수 있다고 판단해 물류 이송에 초점을 두고 자율주행 로봇을 개발·공급하고 있으며, 이는 회사의 자율주행 기술을 통해 넓고 복잡한 환경에서도 인프라 없이 로봇이 목적지를 원활하게 찾아가는 데 따른 것이다. 쌍둥이 형제인 천홍석·천영석 공동대표가 창업한 트위니는 현재 약 159명의 근로자가 일하고 있다. 약 108명의 인원이 개발 인력으로, 남다른 R&D 능력을 갖춘 기업으로 평평이 나 있다. 회사 이름인 트위니^{TWINNY}는 쌍둥이라는 뜻의 영어 트윈^{twin}에서 따온 것이다.

MINI INTERVIEW

자율주행 물류 이송로봇 분야 세계 1위가 목표

Q. 창업 동기가 좀 남다르다.

A. 저와 동생인 천영석 공동대표가 각각 기술개발과 경영 전반을 나눠 맡고 있다. 나는 카이스트에서 석사·박사과정을 거치며 자율주행 로봇을 연구했고, 천영석 대표는 경영학을 전공해 대학 졸업 후 처음엔 중소기업진흥공단에서 일했다. 그러다 내가 ‘창업할까 고민 중’이라는 내용의 문자메시지를 보냈고, 천영석 대표가 ‘그래? 같이 하자’며 직장에 사표를 던진 뒤 합류해 함께 회사를 설립했다. 물론 우리 두 사람은 어린 시절부터 문과와 이과로 나뉘었지만, 함께 회사를 이끌어가고 싶은 바람이 있었다. 서로가 ‘세상에서 가장 신뢰할 수 있는 사람’이라는 믿음을 바탕으로 지금껏 회사를 함께 이끌고 있다.

Q. 회사 전체 인원의 약 3분의 2 정도가 개발 인력이다. 트위니의 R&D 전략과 역량은 무엇인가?

A. 트위니는 자체 기술로 제품을 개발하는 것이 강점이다. 특히 시장의 니즈에 부합하고, 실제로 사용할 수 있는 제품을 만드는 데 매진하고 있다. 이를 위해서는 우수한 인재가 바탕이 되어야 한다. 현재 총직원 중 70% 이상이 R&D 인력으로 구성돼 있다. 이 중 카이스트 석사·박사 출신 30여 명이 포함돼 있다. 국내외 우수 기업에서 경험을 쌓은 직원도 상당수다. 뛰어난 자율주행기술과 우수한 인재 덕분에 2021년 중소기업부로부터 예비 유니콘 기업으로 선정되었고, 한국평가데이터에서 진행한 투자용 기술신용평가^{TCB}에서 최상위 등급인 ‘매우 우수(TI-2)’를 획득했다. 앞으로도 우수한 인재를 유치해 기술경쟁력을 높이는 데 힘쓰는 한편, 우수 인재들이 회사에 안착하고 유지될 수 있도록 조직문화와 사내 복지 등에도 신경 쓸 계획이다.

천홍석 (주)트위니 공동대표



Q. 자율주행 로봇 활용을 중심으로 국내 물류산업의 발전을 위한 전략과 대책이 있다면 무엇이며, 트위니의 기술이 경제적·사회적가치 형성에 어떻게 기여하고 있다고 생각하는가?

A. 트위니는 ‘자율주행기술로 수고를 덜고 여유를 더한다’는 미션을 가지고 있다. 우리 회사가 개발한 로봇을 통해 단순 반복 이동 업무를 로봇이 대신 함으로써 사람에게 보다 고부가가치적인 일을 할 수 있도록 돕는다는 취지다. 이를 위해 넓고 복잡한 환경에서도 로봇이 목적지를 원활하게 찾아갈 수 있는 자율주행기술을 개발해왔으며, 공장과 물류센터 등을 중심으로 공급하고 있다. 이와 함께 규제 자유 특구 실증사업, 우정사업본부 과제 등을 통해 실외 배달로봇, 택배로봇 등에 대한 경험을 쌓았다. 이러한 기술은 앞으로 생활 물류와 택배 시장에서도 배달 수수료 부담을 낮추거나 택배 차량의 아파트 지상 출입을 둘러싼 갈등 및 택배 기사 노동 강도를 낮추는 데 기여할 것으로 본다.

다중면역 진단 기술을 바탕으로 한 체외 질병 진단 시스템 개발

국내 기후의 지속적 상승과 외국 교류 증가, 외국인 국내 체류 증가 등은 새로운 감염증 검사의 필요성을 높일 것으로 예상되며, 이에 진단 항목의 증가 및 진단 시간을 줄이기 위한 기술적 개선이 요구된다. 피씨엘(주)은 본 과제를 통해 세계 최초로 다중면역 진단 의료기기 인허가를 받았으며, 국내 최초로 초고속 대형 자동화 장비를 개발했다.



고려대학교 융합연구원 김소연 교수가 대표를 맡고 있는 피씨엘은 한 번에 64개까지 바이러스를 검사하는 기술을 바탕으로 에이즈, B형간염, C형간염 등을 혈액원에서 검사하는 키트를 세계 최초로 개발해 상업화하고 있다.

혈액원의 수혈 전 검사는 검사한 혈액을 다른 사람에게 주사하는 것이 특징이며, 다른 진단검사에 비해 위험도가 매우 높다. 특히 혈액형검사^{blood typing & blood grouping}와 고위험도 바이러스성 질환에 대한 검사는 4등급으로 높은 성능 및 관리 기준이 요구된다. 이에 따라 다른 체외 진단 분야에 비해 허가승인이 까다롭고, 허가승인된 제품이 상대적으로 적어 기술적 장벽이 높다. 그러나 자동화시스템의 필요성이 커진 데다 검사 비용에 민감한 것이 현실이다. 특히 혈액제제 가격의 동결 및 분자진단 같은 고가 검사의 추가는 검사 비용에 대한 이슈를 더욱 크게 만들고 있어 현재는 검사 비용을 절감하기 어려운 상황이다. 이에 피씨엘은 보유한 글로벌 IP를 통해 블록버스터 제품 사업화를 목표로 기술개발을 시작했다.

혈액검사 시장의 신시장 창출

본 과제를 통해 개발한 블록버스터 제품을 사업화해 신개념 수혈 전 검사 스크리닝 통합 시스템을 제공함으로써 혈액검사 시장의 신시장 창출이 가능할 것이다. 이를 통해 혈액원과 혈액이 부족한 응급 현장에서 원활한 혈액을 공급할 수 있고, 검사 소요 시간 단축 및 비용 절감으로 대형 병원뿐 아니라 중소형 병원까지 원활하고 안정적인 혈액 공급 효과가 기대된다. 또 긴급 혈액의 검사 및 공급뿐 아니라 에너지절감, 환경개선 효과도 기대할 수 있다. 이러한 국내 기술이 글로벌 플랫폼 혁신 기술이 되어 국산 의료기기의 이미지 제고와 글로벌 시장 경험을 활용해 응용 검사 분야 등 시장으로 확대 가능할 것으로 보인다.

<p>프로젝트명</p> <p>혁신 글로벌 IP 에버그린 전략을 통한 차세대 융합 수혈 혈액 안전성 검사 시스템 블록버스터 제품 사업화</p>	<p>연구 기간</p> <p>2018년 4월 11일~2022년 12월 31일</p>
<p>연구개발 기관</p> <p>피씨엘(주), 가톨릭대학교, 동국대학교</p>	<p>참여 연구진</p> <p>김소연, 오은지, 채석래</p>

— 1
임상현장즉시검사(point of care testing)
 의료기관 등에서 실시하는 외부의 검사센터가 아닌
 진료·간호 등 의료현장 스텝이 환자 곁에서 신속하게
 실시하는 검사이다.



피씨엘 프로젝트 특징 3가지

- 1 고민감도 다중진단이 가능한 3차원 SGcap™ 고정화 기술을 통해 별도의 화학적·물질적 결합 없이 단백질을 고밀도로 고정 가능하며, 이를 통해 고민감도 제품을 실현할 수 있다.
- 2 SGcap™ 스폿 단위 고정으로 최대 64종의 마커를 96웰 플레이트의 단일 웰에 고정 가능하며, 다중진단을 실현할 수 있다.
- 3 고위험 감염성 질환에 대한 선별검사 시스템 구현이 가능하다.



PCLOCK II

PCLOCK 시스템은 피씨엘의 다중진단 원천기술을 현장 신속 검사에 적합하도록 적용한 POCT¹ 플랫폼이다. 현장에서 검체 6개를 30분에서 1시간 이내에 동시에 다중진단할 수 있으며, 에이즈·간염·매독 같은 혈액 감염 검사나 독감·코로나19 같은 호흡기 감염 검사, 혈액 종양표지자 검사 등에 적용 가능해 보건소나 중소형 병원에서 사용하기 적합하다.



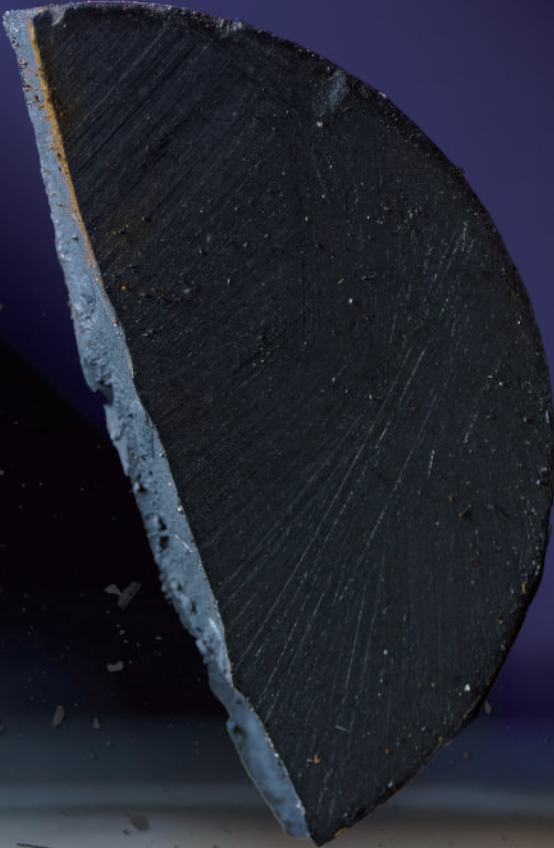
HiSU

HiSU 솔루션은 병원용 대형 스크리닝 플랫폼으로, 세계 최고 수준의 최고속 자동화 다중면역 진단 시스템이다. 세계 최초 다중면역 고위험군 바이러스(HIV, HCV, HBV, HTLV)를 수혈 전 선별검사를 진단하는 시스템으로 최대 540명의 혈액 검체를 4시간 이내에 4종의 검사가 가능하다.



코로나19 토털 솔루션

코로나19 감염을 쉽고 빠르게 진단하기 위한 제품을 보유하고 있으며, 특히 침으로 10분 만에 검사 가능한 항원 자가검사 키트의 허가를 획득했다.



상온·상압 초전도체, 정말 세상을 바꿀까?

지난 7월 22일, 민간 연구 회사 퀀텀에너지연구소가 논문 공개 사이트 '아카이브'에 상온·상압 초전도체 'LK-99'를 만들었다는 논문을 발표해 세간의 이목을 끌었다.

상온·상압 초전도체는 어떤 물질이며, 정말 세상을 바꿀 수 있을까?

한동안 세상을 떠들썩하게 한 상온·상압 초전도체 이슈는 지난 8월 16일 국제학술지 ‘네이처’가 각국의 검증 실험 결과를 종합해 ‘LK-99가 초전도체와 유사한 특성을 보인 것은 재료의 불순물인 황화구리 때문이다’라고 결론을 내리면서 논란이 일 단락됐다. 과학은 이렇듯 성공과 실패 과정을 거치며 한 걸음씩 전진한다. LK-99는 비록 실패로 끝났지만, 이를 통해 과학자들에게 ‘생각지 못한 방향에서 상온·상압 초전도체를 발견할 수도 있겠다’는 영감을 주었다면 그만큼 가치는 값질 것이다.

극저온에서 나타나는 초전도 현상

우리가 일상생활에서 온도를 나타낼 때는 도(°C)를 단위로 하는 섭씨온도를 사용한다. 반면 과학이나 공학에서는 켈빈(K)을 단위로 한다. 0(제로)K는 ‘절대영도’라고 하고, 섭씨로는 영하 273.15°C에 해당한다. 0K는 분자나 이보다 작은 단위인 원자(물질을 구성하는 최소 단위)의 에너지가 최소가 되는 온도다. 물질은 보통 기체, 액체, 고체 중 하나의 상태로 존재한다. 물질 온도가 낮아질수록 기체에서 액체, 고체로 점차 상태가 바뀌는데, 이 과정에서 물질 내 원자의 움직임은 점점 약해진다. 그런데 절대영도에 가까운 극저온으로 떨어지면 원자들은 새로운 움직임을 보인다. 수천, 수만 개 원자가 마치 제식훈련하는 군인처럼 하나의 거대한 원자인 듯 움직인다. 이를 ‘보스-아인슈타인 응축^{BEC}’ 현상이라고 한다.

극저온 세계에서는 여러 가지 기묘한 일이 일어난다. 전류를 일단 흘리면 영구히 계속 흐르는 ‘초전도’가 대표적이다. 초전도란 어떤 특정 온도 이하에서 물질의 전기저항이 0이 되는 현상을 말하고, 이런 현상을 나타내는 물질이 초전도체다. 모든 금속은 전기저항을 갖지만, 초전도체는 특정 온도 이하에서 전기저항이 완전히 사라진다. 초전도 현상은 1911년 네덜란드 물리학자 카메를링 오너스(1913년 노벨 물리학상 수상)에 의해 처음 알려졌다. 그는 차가운 액체 헬륨에 담긴 수은의

전기저항이 4.2K(-268.95°C)에서 측정할 수 없을 만큼 작아지는 것을 발견했다. 액체 헬륨이 공기로 바뀌면서 주위 온도를 빼앗아가기 때문이다. 이처럼 전기저항이 없어지는 온도를 ‘임계온도’라고 한다.

전기 손실 없는 에너지혁명 기대

초전도체의 특성은 전기저항이 0이라는 것이 핵심이다. 전기저항이 0이라는 것은 전류가 아무런 저항 없이 흐르는 것이고, 송전 중 전력 손실이 없다는 뜻이다. 또 저항으로 인한 열도 발생하지 않는다. 따라서 초전도성을 갖는 물질인 초전도체로 전선을 만들면 전기 낭비 없이 에너지를 고스란히 전해줄 수 있다. 지금은 송전선으로 전력이 이동할 때 저항에 따라 전력 손실이 발생한다. 미국은 송전 과정에서 발생하는 전력 손실이 한 해 22조 원에 달한다. 우리도 매년 1조5000억 원의 손실이 발생하는데, 초전도체를 발명하면 손실은 0이 된다. 초전도체가 ‘꿈의 물질’로 불리는 이유다.

하지만 현재 주변에서 초전도체를 쉽게 볼 수 없다. 임계온도가 너무 낮으면 초전도체를 실용화하기는 매우 어렵다. 대체로 물질 온도가 영하 240°C 이하로 매우 낮아야 초전도 현상이 발생해 경제성 확보가 상당히 어렵기 때문이다.

오너스가 수은에서 초전도성을 발견했을 때처럼 극저온을 유지하려면 값비싼 액체 헬륨이나 액체질소로 물질을 냉각해야 한다. 액체질소를 이용하면 -196°C까지 온도를 낮출 수 있다. 액체 헬륨을 이용하면 -269°C까지 더 낮은 온도를 만들 수 있

지만, 가격이 질소보다 30배나 비싸다. 임계온도가 낮을수록 냉각 비용이 많이 든다. 이런 이유로 오너스가 초전도 현상을 발견한 이후 연구는 100년이 넘도록 임계온도를 높이는 방향으로 진행됐다. 특히 상온·상압에서 초전도 현상이 일어나는 물질을 찾으려고 노력했다. 초전도가 나타나는 온



빠르고 경제적인 자기부상 열차는 초전도체 활용의 대표적 예다. 열차 바닥에 자석을 설치하고 선로에 초전도체를 설치하면 열차가 자석 위에 동등 떠오르는 등 신기한 현상이 나타난다.

History >

1986^년



스위스 IBM연구소의 베드노르츠와 뮐러가 절대영도보다 30°C 높은 30K(약 영하 243.15°C) 온도에서 초전도 현상을 보이는 물질 발견.

1987^년

미국 앨라배마대학교 교수팀이 액체질소 온도보다 높은 92K의 임계온도를 가진 'Y₁Ba₂Cu₃O₇' 초전도체 합성물 발표.

1988^년

마에다에 의해 발견된 비스무트^{Bi} 화합물이 110K, 쉥과 허만에 의해 합성된 탈륨^{Tl} 화합물이 125K의 임계온도를 나타냄.

도는 물질마다 제각각 다르다. 만약 상온·상압에서 초전도체를 구현할 수 있다면 인위적인 냉각 과정은 필요 없게 된다.

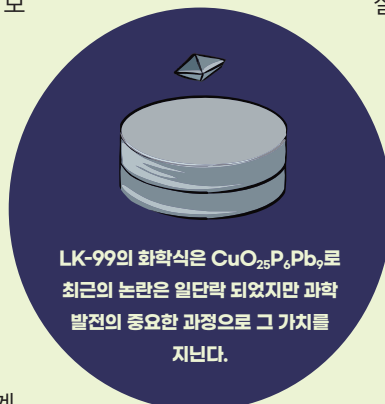
상온 초전도체 도전 역사

초전도 현상의 발견은 1980년대 들어 조금씩 빛을 발하기 시작했다. 1986년 스위스 IBM연구소의 베드노르츠와 뮐러가 절대영도보다 30°C 높은 30K(약 영하 243.15°C) 온도에서 초전도 현상을 보이는 물질을 발견했다. 란타넘-바륨-구리-산소^{La-Ba-Cu-O} 화합물이 그것이다. 이 새로운 초전도 물질군은 '구리산화물 초전도체'로 불렸고, 이 발견으로 베드노르츠와 뮐러는 1987년 노벨 물리학상을 수상했다. 이때 임계온도가 30K 이상인 물질은 이보다 극저온에서 초전도 현상을 보이는 초전도체와 구분하기 위해 '고온 초전도체'라는 이름을 붙였다. 한편 임계온도 30K 이하인 물질은 저온 초전도체, 섭씨 15~25°C인 물질은 상온 초전도체로 부른다.

고온 초전도 시대의 서막이 열리자 보다 높은 온도에서 작동하는 초전도체를 개발하려는 붐이 일어났다. 먼저 1987년 1월 미국 앨라배마대학교 연구진이 액체질소 온도보다 높은 92K의 임계 온도를 가진 'Y₁Ba₂Cu₃O₇' 초전도체 합성물을 발표했다. 1988년에는 마에다에 의해 발견된 비스무트^{Bi} 화합물이 110K, 쉥과 허만에 의해 합성된 탈륨^{Tl} 화합물이 125K의 임계온도를

나타냈다. 1993년에는 스위스의 실링이 임계온도 133K인 수산화합물을 합성하는 데 성공했다. 불과 몇 년 만에 엄청난 발견이 쏟아져 나왔다. 2000년대 들어서도 초전도체를 향한 인류의 노력은 끊이지 않았다. 2015년 12월 독일 막스플랑크 화학연구소 물리학자 미카일 에레메츠 연구팀이 황화수소^{H₂S}에 강한 압력을 가해 203K에서 초전도 현상을 유발하는 초전도체를 만들어냈다. 또 이 연구팀은 4년이 지난 2019년 5월 수소화란타넘^{LaH₁₀}에 강한 압력을 가해 250K에서 초전도 현상을 유발하는 데 성공했다. 이 발견은 상온 초전도에 근접한 획기적인 연구 결과였다. 이후 곧 인간이 살아가는 기온인 이 상온에서 작동하는 초전도체가 나올 수 있다는 기대가 높아졌다.

가장 최근인 2020년에도 상온 초전도체임을 주장하는 물질이 나왔다. 미국 로체스터대학교 랭거 디아스 교수팀이 수소와 탄소, 황을 이용한 물질이 영상 14.5°C, 대기압의 267만 배에 이르는 고압 환경에서 초전도 현상을 보였다고 발표했다. 그러나 이 초전도 현상은 재현이 불가능했고, 데이터 조작이 드러나 논문이 철회됐다. 현재까지 금속원소, 합금, 금속화합물, 유기물, 산화물 등 1000종 이상 물질에서 초전도가 확인됐다. 하지만 지금까지 발견된 초전도 물질은 초저온이나 고저온 혹은 초고압 환경에서만 초전도 현상을 나타내 상용화 가능성이 크게 떨어졌다. 이 때문에 상온초전도체의 구현이 불가능하다고 생각하는 학자들도 있었다.



1993^년

스위스의 실링이 임계온도
133K인 수은화합물을
합성하는 데 성공.

2015^년

독일 막스플랑크 화학연구소
물리학자 미카일 에레메츠
연구팀이 황화수소 H_2S 에 강한
압력을 가해 203K에서 초전도
현상을 유발하는 초전도체 개발.

2020^년

미국 로체스터대학교 랭거
디아스 교수팀이 수소와 탄소,
황을 이용한 물질이 영상
14.5°C, 대기압의 267만
배에 이르는 고압 환경에서
초전도 현상을 보였다고 발표.

대표적 활용은 자기부상열차

물리학계의 최대 난제 중 하나인 상온·상압 초전도체 문제는 여전히 전 세계 많은 물리학자를 사로잡고 있다. 만약 냉각 과정이 필요 없이 일상의 환경에서 초전도 현상이 실현된다면 에너지혁명 등 과학기술 발전을 일거에 앞당기는 역사적인 전기가 마련될 것이다. 과연 초전도체 시대가 오면 세상은 어떻게 바뀔까?

초전도체의 활용은 무궁무진하다. 빠르고 경제적인 자기부상 열차의 활용이 대표적이다. 열차 바닥에 자석을 설치하고 선로에 초전도체를 설치하면 열차가 자석 위에 둥둥 떠오르는 등 신기한 현상이 나타난다. 초전도체가 반자성^{反磁性}을 띠기 때문이다. 반자성이란 자기장을 밀어내는 힘으로, 자석의 N극과 N극 또는 S극과 S극의 원리를 생각하면 된다. 내부에는 자기장이 들어갈 수 없고, 내부에 있던 자기장도 밖으로 밀어내는 성질(마이스너 효과)이 있어 자석 위에 떠오르는 자기부상 현상을 나타낸다. 구리를 그냥 감아서 만든 현재의 자기부상열차는 에너지의 대부분을 열차를 부양시키는 데 쓰고 있어 비효율적이다. 상온·상압에서 초전도체를 이용해 레일을 만들면 마찰과 소음이 거의 없는, 연료 효율이 높은 자기부상열차가 가능하다.

핵융합 발전, 양자컴퓨터 등 실현 열쇠로 주목

디지털 전자기기의 효율성도 획기적으로 향상시킨다. 초전도체를 이용해 전자회로를 만들면 전기저항으로 생기는 발열이 사라져 컴퓨터 중앙처리장치^{CPU}, 그래픽처리장치^{GPU} 등 반도체 성능을 대폭 높일 수 있다. 오래 사용하다 보면 열이 나는 휴대폰, TV, 비디오 등도 초전도체로 대체하면 문제가 말끔히 해결된다. 우리 일상의 가전제품도 소형화, 초경량화로 만들 수 있어 가히 혁명적인 일이 발생한다. 또 초고속 컴퓨터인 양자컴퓨터의 상용화는 물론 자기장을 이용해 플라스마를 가둬 핵융합을 달성하는 ‘토카막^{tokamak}’ 기계 개발도 가능하다. 핵융합은 미래에너지로 지목되는 중요한 기술이다. 의료 영상인 자기공명영상^{MRI} 비용도 저렴해지고, 대륙간탄도미사일을 비롯해 로켓, 배터리가 필요 없는 초전도 사회도 만들 수 있을 것이다.

상온·상압 초전도체 발견의 길은 멀고 험난하다. 발견에서 상용화까지 해결할 문제가 산재해 있다. 하지만 초전도체를 향한 인간의 꿈은 계속되어야 한다. 한국에서 쏘아 올린 LK-99를 계기로 전 세계 과학자들이 초전도 연구에 더욱 공들여 반드시 인류의 오랜 꿈인 상온·상압 초전도체가 탄생하길 희망한다.



김형자 과학 칼럼니스트

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

코로나19에서 시작되어 러시아-우크라이나 전쟁으로 이어진 일련의 상황과 그에 따른 주요국의 자국중심주의 정책 등은 공급망 재편이라는 결과를 낳았다. 이에 식량-에너지 안보에 대한 인식과 대비는 국가 산업 안보에 가장 중요한 핵심이 되었다.



한눈에 보는 식량·에너지 안보

식량 안보

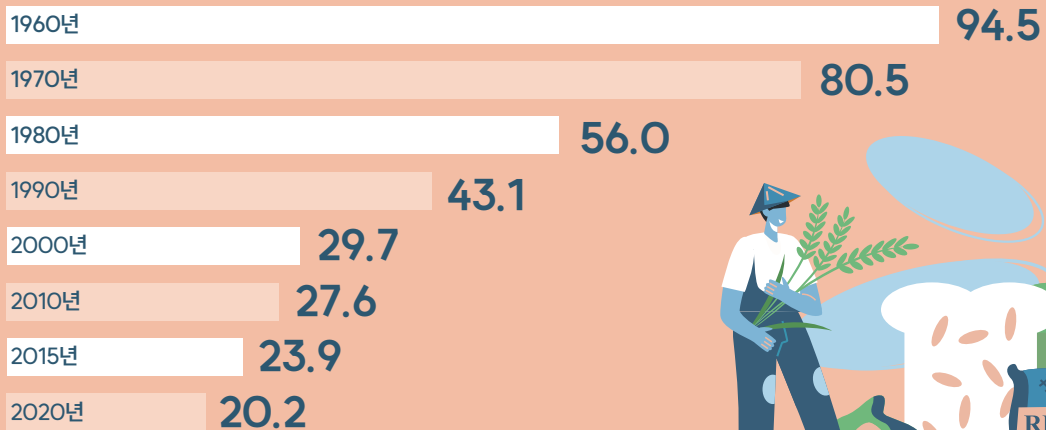
전 세계 밀·옥수수 수출량 비중(2019~2021년 평균)



자료: 유로모니터

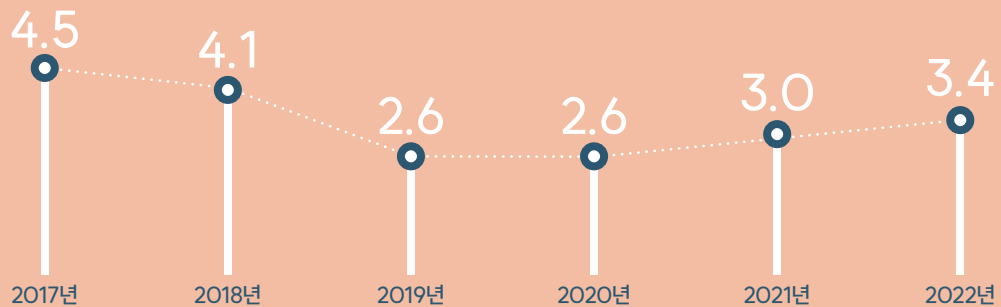
우리나라 곡물자급률 추이

단위: %, 자료: 농림축산식품부



우리나라 곡물 재고 동향

단위: 100만 톤, 자료: FAQ. Crop Prospects and Food Situation(2022)



에너지 안보

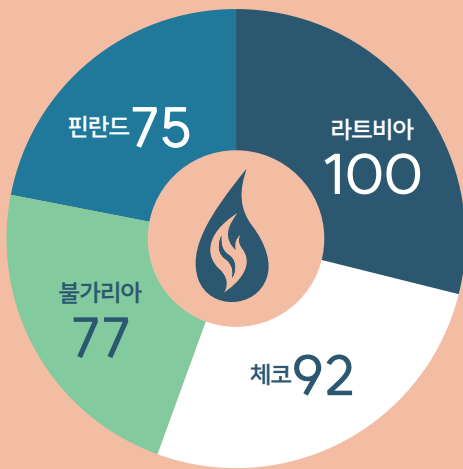
6대 전략 광종¹ 자주 개발률

자료: 한국산업연합포럼 2022년

구분	유연탄	우라늄	철	동	아연	니켈	6대 전략 광종
중국	93	70	24	24	67	49	65
일본	70	58	101	131	65	27	76
한국	34	1	34	12	22	47	28

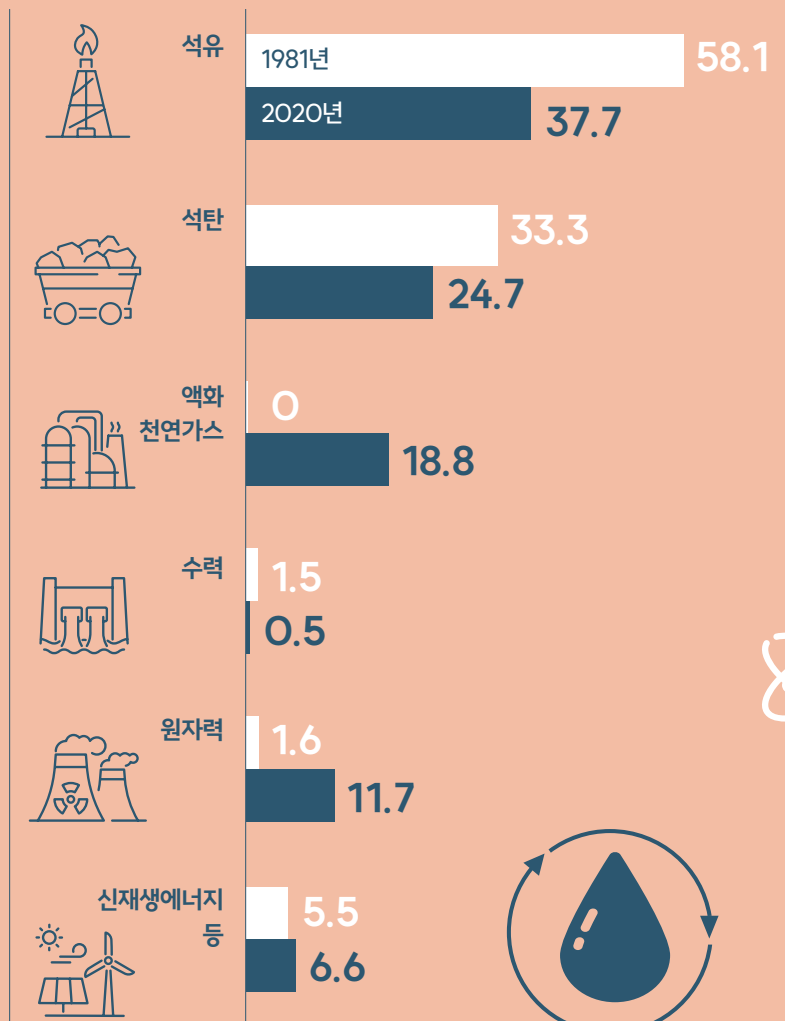
유럽연합^{EU} 국가 러시아산 천연가스 의존도

자료: IEA(2022년)



국내 에너지원별 공급 비중

단위: %, 1차 에너지 전체 공급량 대비
자료: 에너지경제연구원 에너지통계연보



— 1
우리 경제에 전략적으로 필요한 광종을 선정해 해외자원개발 기본계획을 추진하는데 이를 6대 전략 광종이라고 부르며, 유연탄, 니켈, 철, 동, 아연, 우라늄 등이 여기에 해당한다.



애그플레이션 시대의 식량 위기

세계 식량 가격 상승과 공급 불안 현상이 심상치 않다. 경제이론상 국제무역은 자유로운 시장을 통해 수요에 부합하는 상품과 원자재 공급이 원활하게 이뤄질 것이라는 기대를 전제로 한다. 하지만 최근 세계적 기상이변과 함께 발생한 팬데믹 사태, 러시아-우크라이나 전쟁 그리고 식량자원 보호주의 현상은 이 기대를 무너뜨리고 국제 식량 시장과 공급망을 크게 교란하고 있다.

유엔 식량농업기구^{FAO}가 발표한 식량가격지수에 따르면, 2023년 7월 세계식량가격지수는 전월(122.4포인트) 대비 1.3% 상승한 123.9포인트를 기록했다. 곡물, 육류, 유제품, 설탕 가격은 하락했지만 유지류 가격이 크게 상승한 것이 원인이다. 이렇게 세계 식량 가격이 크게 오른 주원인은 세계적 기후변화로 인한 공급 부족 때문이다. 세계 식량의 주요 생산국인 미국·유럽·호주·아르헨티나·중국 등 세계 전역에서 대규모 산불과 폭염, 홍수 등 극심한 자연재해로 식량 생산이 크게 줄어든 것이다. 반면, 세계 인구 증가와 중국·인도 등 신흥경제국의 경제발전 및 소득 증대에 따라 식량 수요와 축산물 생산을 위한 사료용 곡물 수요는 큰 폭으로 증가했다. 또 팬

러우 전쟁 중 우크라이나 키이우와 키예프에서 밀을 수확하고 있다.

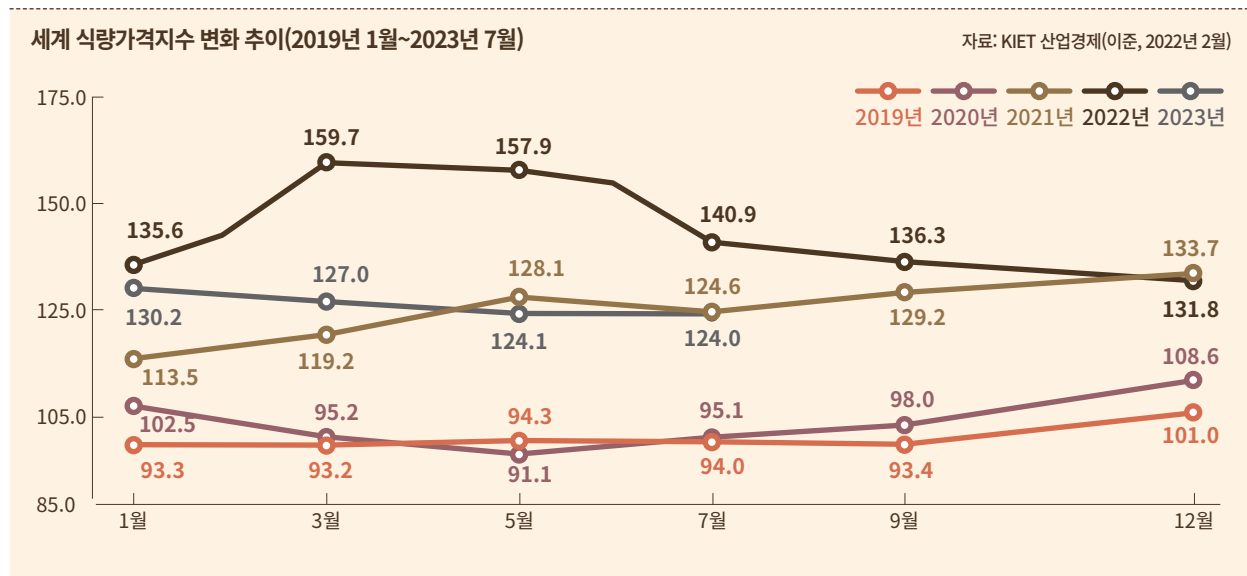


데믹 사태로 많은 노동력이 필요한 식량 수확에 어려움을 겪고 있으며, 원활한 운송과 물류 유통에도 차질이 생겼다. 게다가 밀, 옥수수 등 주요 곡물 수출국인 러시아·우크라이나 두 나라의 전쟁 여파도 식량 가격 상승을 부채질했다.

애그플레이션¹, 정말 올까?

러우 전쟁 장기화, 이상기후 등으로 식량 가격이 급등하면서 식량자원 보호주

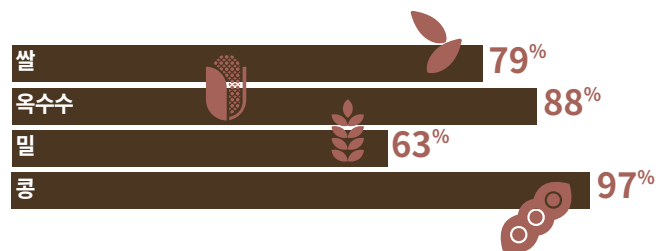
도네시아는 팜유 수출을 금지한 바 있다. 최근에는 에너지와 농자재 가격이 상승하는 등 식량 생산을 위한 환경이 점점 악화일로로 기울어 국제 식량 가격은 당분간 고공행진을 이어갈 것으로 보인다. 이렇듯 여러 요인에 의해 글로벌 식량 부족 가능성이 높아지면서 식량 가격 상승이 전반적 물가상승을 견인하는 애그플레이션¹ 현상에 대한 우려도 현실화되고 있다. 유로모니터 추정치에 따르면 2022년 세계 평균 물가상승률은 7.9%로, 1996년 이후 가장 높은 수치로 예측됐다. 또 국제적으로 식량(특히 곡물) 교역의 큰 특징 중 하나는 수출이 일부 국가에 집중되는 반면, 수입은 많은 국가로 분산되는 공급 과점적 시장이라는 점이다. 국제적으로 농산물 무역이 자유화되면서 식량 생산에 비교우위를 지닌 국가로 생산이 집중되고 있기 때문이다. 식량 작물별로 조금씩 차이는 있으나 상위 5개 수출국의 수출 점유 비중이 2021년 기준 쌀 79%, 밀 63%, 옥수수 88%, 콩은 97%에 달한다. 이처럼 세계 곡물 공급



의가 인도, 필리핀, 이집트, 헝가리, 카자흐스탄, 알제리 등 신흥국과 개도국을 중심으로 확산되고 있다. 2022년 7월 말 기준 32개국에서 자국민을 위한 식량 확보와 물가안정을 명분으로 내세우며 53개 식량 관련 품목에 대해 수출 금지, 수출제한, 수출세 부과 등 조치를 취했다. 식량 작물뿐 아니라 러시아·우크라이나·중국·베트남 등은 비료 수출도 금지했고, 세계 최대 팜유 생산국인 인

곡물 수출 상위 5개국 점유율(2021년 기준)

자료: 유로모니터



이 소수 수출국에 집중돼 있어 일부 수출국의 공급 불안정이 바로 국제시장의 불안정으로 직결되는 문제점이 있다.

식량안보가 국제 문제로 부상

세계적 기후변화, 농경지 감소 및 물 부족 등 여건은 식량 생산을 획기적으로 늘리는 것을 어렵게 하고 있다. 특히 최근 미국, 캐나다, 호주, 브라질, 아르헨티나 등 주요 식

— 1

농업을 뜻하는 영어 ‘애그리컬처(agriculture)’와 ‘인플레이션(inflation)’을 합성한 신조어. 곡물가격이 상승하는 영향으로 일반 물가가 상승하는 현상을 가리킨다.

량 수출국의 기상이변으로 전 세계 식량 위기감이 그 어느 때보다 고조되고 있다. 글로벌 식량 위기가 세계적 화두가 되면서 식량안보 확보가 각국의 관심사로 떠올랐으며, 국제사회의 공동 대응 노력도 이어지고 있다. 지난 2022년 6월 스위스 제네바에서 개최한 제12차 세계무역기구(WTO) 각료회의에서도 세계가 직면한 식량 위기 이슈가 주요 의제로 부상했고, 이에 대한 WTO 차원의 대응 노력에서 식량안보와 유엔세계식량계획(WFP)에 대한 각료선언문을 채택한 바 있다. 이에 따르면, 농산물 교역 원활화와 글로벌 농식품 시스템 회복력을 위한 불필요한 수출제한 조치를 자제하고, 식량안보를 위해 각국이 긴급조치를 취할 경우 무역을 왜곡하지 않는 방식으로 투명하게 시행하기로 약속했다. 또 WFP가 인도적 원조를 위해 구매하는 식량에 대해서는 수출제한 조치를 적용하지 않기로 했다. 이번 식량안보 관련 WTO 각료 선언은 기후변화와 코로나19, 러우전쟁으로 촉발된 식량 부족과 가격 폭등 현상이 글로벌 경제위기와 인류의 생존까지 위협할 수 있다는 공통된 인식에 따른 것이다. 다행히 최근 세계 식량 가격이 우크라이나 수출 재개와 주요 생산국 수확 개시, 전 세계적 수입 수요 둔화 등에 따라 간신히 안정을 되찾아가는 듯 보인다. 하지만 아직도 주요 곡물 생산국이자 소비국인 독일, 프랑스, 이탈리아 등 유럽 지역 국가의 극심한 가뭄 등 이상기후로 식량 공급 부족과 가격 상승이 재현될 것이라는 우려의 목소리도 크다.

식량자급률 낮은 우리나라

그런데 글로벌 식량 위기가 발생할 경우 우리나라는 구조적으로 매우 취약한 상황이다. 우선 우리나라의 식량자급률



우크라이나 곡물 수출과 식량안보 정상회의를 하는 잉그리다 시모니테 리투아니아 총리, 알렉산더 더 크루 벨기에 총리, 볼로디미르 젤렌스키 대통령, 노바크 커틸린 헝가리 대통령, 마테우슈 모라비에츠키 폴란드 총리.



(사료용 포함)은 2020년 기준 20.2%로, 미국(120.1%)은 물론 일본(27.3%)에도 크게 못 미쳐 경제협력개발기구(OECD) 38개 회원국 중 가장 낮은 수준이다. 최근 5년 동안 쌀 자급률은 92~105%대의 높은 수준을 유지하고 있지만, 밀·콩·옥수수 등 다른 식량 작물의 자급률은 0.5~9.4%로 매우 낮은 수준이다. 특히 우리나라의 식량자급률은 밀·옥수수 등 사료곡물 수요가 계속 증가하면서 매년 하락하는 추세다. 사료곡물을 포함한 우리나라 식량자급률은 1970년 80.5% 수준에서 2020년 20.2%로 지난 50년간 60%p나 하락했다. 우리나라 식량자급률(특히 곡물자급률)이 크게 감소한

대한민국 식량자급률

2021년

44.4%



자료: 농림축산식품부

주원인은 농경지 감소, 쌀 외 다른 곡물의 생산 정체, 축산업 성장에 따른 외국산 사료곡물의 수입 증가 때문이다. 이처럼 식량자급률이 매우 낮은 상황에서 세계적 식량 가격 급등이나 식량 공급이 부족한 비상사태에 효과적으로 대응하기 위해서는 일정 물량을 비축해 부족량을 보충하는 것이 중요하다.

하지만 현재 우리나라 주요 곡물 재고율은 글로벌 식량 위기에 매우 취약한 수준이다. 예를 들어 2020년 기준 주요 4대 곡물 재고율은 쌀 23.7%, 밀 16.0%, 콩 8.2%, 옥수수 6.7% 수준으로 쌀을 제외하고는 FAO 권장 재고율인 17~18%를 크게 밑돈다. 세계 7위권의 대규모 식량 수입국이자 식량자급률이 OECD 국가 중 최하위 수준인 우리나라 현실에서 식량안보 확보는 매우 중요한

국책과제다. 국민이 필요한 식량을 충분히 안정적으로 공급하기 위해서는 무엇보다 국내 식량자급 능력 제고 노력과 함께 해외 조달 능력 향상이 동시에 추진되어야 한다. 국내 생산 여건상 필요로 하는 모든 식량을 완전 자급하기는 어려운 상황임을 감안할 때 우리나라 식량안보 강화 전략은 크게 '식량자급 능력 제고를 위한 국내 생산 및 소비 기반 확충', '수입선 다변화 및 해외 농업개발 활성화 등 안정적 해외 조달 시스템 구축', 그리고 '비상사태에 대비한 효과적 식량 재고 비축 제도 운영' 등으로 구분해 체계적 대책 수립이 요청된다.

식량안보 강화를 위한 전략

우리나라 식량안보 강화를 위한 전략을 좀 더 구체적으로 제시하면 다음과 같다.

| 첫째, 국내 생산 기반 강화를 통한 식량 자급 능력 제고다. 식량 위기에 효과적으로 대응하고 식량안보를 달성하기 위해 우선적으로 해야 할 일은 기후변화 등에 대응하는 국내 식량의 생산 기반 정비를 통해 안정적 생산과 적절한 수준의 국내 자급 기반을 유지하고, 꾸준히 식량자급 능력을 제고하는 것이다. 국내에서 식량자급 능력이 높을수록 국제 식량 위기나 곡물 가격 폭등 같은 비상사태에 대처할 수 있는 능력이 커지기 때문이다.

| 둘째, 효율적 해외 조달 시스템 구축이다. 경지 면적이 적은 국내 농업 여건상 우리가 필요로 하는 식량을 전량 국내에서 충당하는 것은 불가능하다. 따라서 수입이 불가피한 곡물을 해외에서 안정적·효율적으로 조달하고 공급하기 위한 전략과 방안 마련이 필요하다.

| 셋째, 비상 대비 효과적 식량 재고 비축 제도 운영이다. 국내 흉작 혹은 해외 조달이 원활하지 못해 공급이 일시적으로 부족한 비상사태에 대비하기 위해 주요 곡물별로 국내에 일정 물량을 비축해 부족량을 보충하는 것이 중요하다.

결론적으로 기후변화로 인한 세계 식량 공급의 불확실성 증대와 불균형한 국제 식량 수급 구조로 인한 식량 부족 및 식량 가격 급등 가능성은 우리나라 같은 대규모 식량 수입국에 매우 심각한 문제다. 식량에 대한 해외 의존도가 높은 우리나라 입장에서 보다 강화된 식량안보 체계 구축은 가장 중요한 국가적 정책 목표이자 해결 과제다. 국민에게 식량을 안정적으로 공급하지 못하거나 식량을 전적으로 외부에 의존하는 것은 국가 생존 및 안보 차원에서 매우 위험한 결과를 초래할 가능성이 높기 때문이다. 국가의 식량안보 수준을 높일 수 있는 효과적 전략과 방안을 마련하고, 이를 꾸준히 실행해나가야 한다. 앞으로 지속적인 식량자급 능력 향상과 함께 효율적이고 안정적인 해외 조달 능력 제고, 그리고 유사시 효과적 식량 비축 제도 마련을 통해 국가 식량안보 체계를 강화해야 한다.



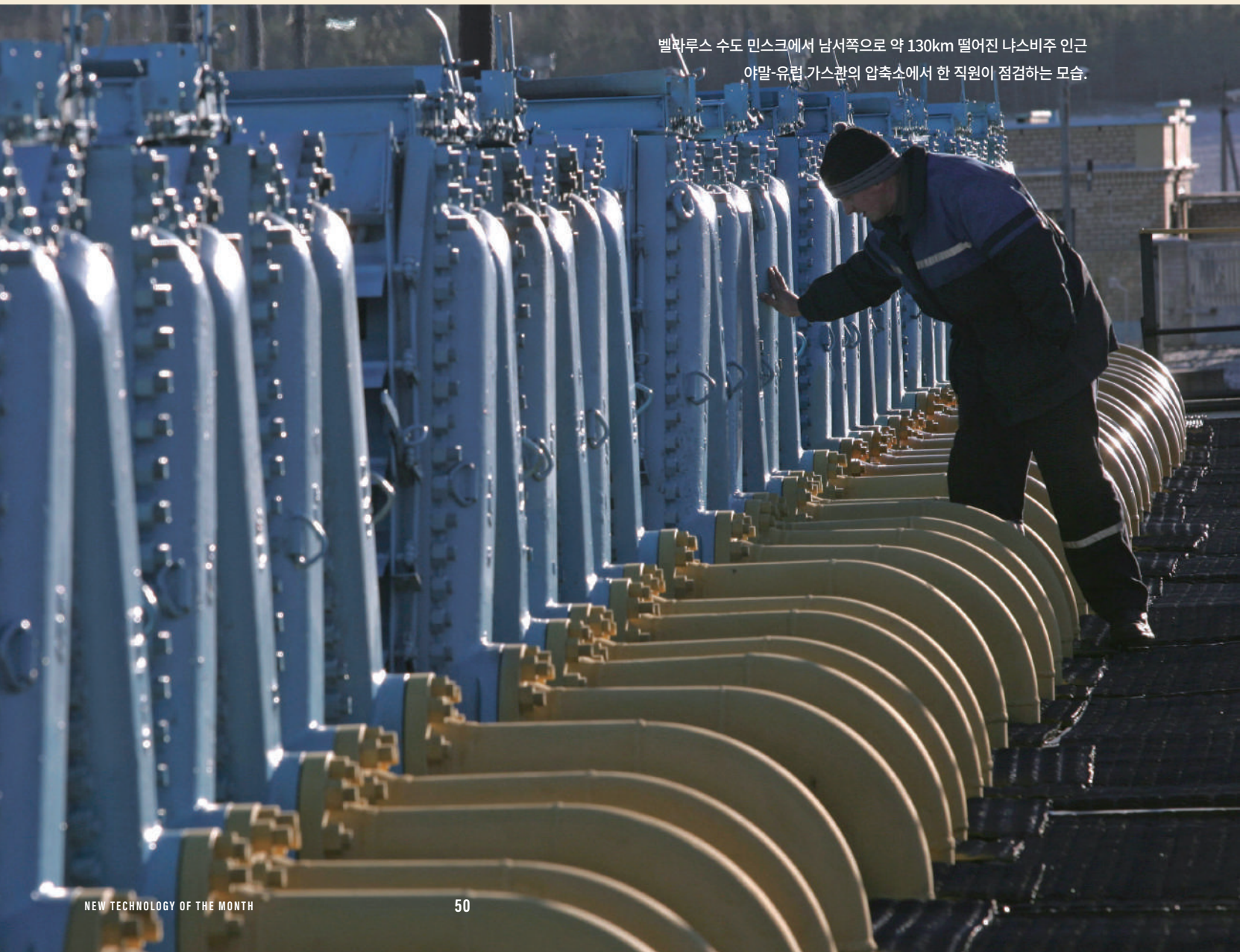
임정빈 서울대학교 농경제사회학부 교수

서울대 농경제학과를 졸업한 뒤 동 대학원에서 석사 학위를 받았으며, 미국 메릴랜드주립대 농업·자원경제학과에서 박사학위를 받았다. 2006년 서울대에 임용된 이후 한국식생활교육학회 회장, 한국농업경제학회 편집위원장과 수석부회장 등을 역임했다.

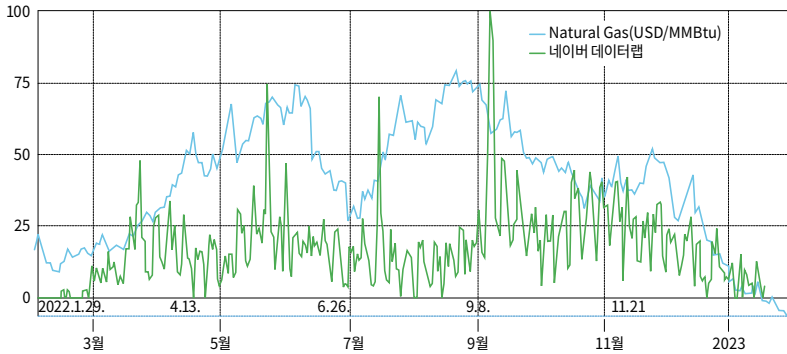
에너지 안보, 우리의 인식과 종합적인 안목이 중요한 때

그 어느 때보다 글로벌 공급망에서의 위기관리 능력이 요구되는 시기다. 에너지 안보가 국가안보와도 직결되기 때문이다. 천연가스 가격은 러우 사태 직전 수준으로 돌아갔지만, 종합적이고 장기적인 안목으로 자원을 개발하고 정책을 추진하는 자세가 필요하다.

벨라루스 수도 민스크에서 남서쪽으로 약 130km 떨어진 나스비주 인근
야말-유럽 가스관의 압축소에서 한 직원이 점검하는 모습.



천연가스 가격과 에너지 안보 검색 빈도



자료: 네이버 데이터랩, tradingeconomics.com에서 저자 재정리

국제시장에서 폭등하던 천연가스 가격이 러·우 전쟁 직전 수준으로 돌아가자 에너지 안보 이슈에 국내 관심도 식어가는 듯하다. 네이버 데이터랩에서 ‘에너지 안보’를 키워드로 지난 1년간 검색 데이터를 조회해보면 에너지 가격 움직임과 거의 유사하다는 것을 알 수 있다. 네이버 검색 빈도가 정확하게 우리의 에너지 안보 관련 인식을 반영한다고 할 수는 없지만, 에너지 안보 역량을 강건하게 확보하기 위해서는 우리의 인식부터 바뀌어야 한다는 메시지 정도는 전달하는 것 같다.

나비효과로 연결되는 글로벌 시장

츄츄히 얽힌 복잡다기한 글로벌 공급망 환경이 구축되면서 하나의 이벤트가 큰 영향으로 확산되는, 이른바 나비효과^{butterfly effect}나 채찍 효과^{bullwhip effect}를 경험하고 있다. 독일 라인강 지류의 가뭄이 액화천연가스 LNG 시장의 가격 급상승을 초래하고, 이는 한전의 재무 위기를 더욱 악화시키는 나비효과로 연결될 수 있다. 시장에서 아직 실험적인 ESG(환경·사회·지배구조) 요구는 화석연료 상류 부문 개발 투자 위축이라는 글로벌 채찍효과를 초래하기도 한다. 사실 국제시장에서 유가와 천연가스 가격 상승은 러·우 전쟁 이전에 이미 주요국의 탄소중립과 에너지전환으로 시작됐

다고 봐야 한다. 주요 화석연료의 상류 부문 투자가 2010년대 중반부터 급격히 위축됐기 때문이다. 이는 러·우 전쟁이 끝난다 해도 이른바 녹색 채찍효과^{green bullwhip effect}로 인해 재래식 화석연료 가격은 꾸준히 상승할 수 있음을 시사한다. 작년 하반기부터 조금씩 하락한 국제유가는 다시 100달러를 돌파할 기세로 상승하고 있다. 그동안의 하락은 코로나19, 특히 중국의 봉쇄 조치 영향에 기인하는 바가 큰데, 10억 이상 인구의 감염 경험 및 항체 형성으로 중국의 봉쇄 조치가 완화될 경우 국제유가는 러시아산 석유 공급 감소 영향이 추가된 가운데 상승 랠리로 이어지고 있는 것이다.

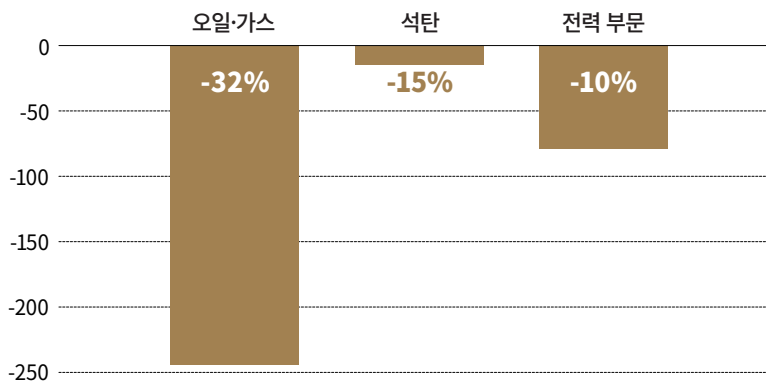
저탄소 비교우위에 입각한 탄소 무역 라운드 의 가속

미국의 인플레이션 감축법^{IRA}과 유럽연합 EU의 탄소국경조정제도^{Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM}는 대표적 탄소 무역 라운드의 정책 도구다. IRA에서는 북아메리카에서 조립한 전기차를 대상으로 소비세액 공제 혜택이 제공되며, 배터리 광물과 부품에 적용된다. 미국 또는 미국과 자유무역협정^{FTA}을 체결한 국가에서 채굴이나 가공 공정을 거친 배터리 광물에 대한 세액공제가 단계적으로 확대되면서 새로운 통상전쟁으로 확대되고 있다. 북미 생산 배터리 부품의 세액공제 역시 단계적으로 확대되기 때문에, 이러한 기준을 충족하지 못하는 국가의 제조사는 저탄소 비교우위 무역 라운드에서 경쟁력 훼손이 우려된다. 미국이 추진하는 인도태평양 경제프레임워크^{IPEF}는 탄소 무역 라운드를 국제 협상 차원으로 끌어올린 것으로 ① 공정하면서 탄력적인 무역 ② 안정적 공급망 재편 ③ 탈탄소 및 인프라 구축 ④ 조세 협력 및 반부패 등 네 가지 축^{pillar}을 보면 향후 탄소 무역 라운드의 방향을 가늠할 수 있다. 아울러 미국은 자국산 철강과 알루미늄 산업을 보호하는 노선을 유지하고 있다. 미국 무역 대표부^{USTR}는 트

— 1
공급망에서 최종 소비자의 작은 수요 변동이 각각의 공급자(유통업체, 제조업체, 원재료 공급업체)에게 전달될 때마다 미래 수요에 대해 서로 다른 예측을 하면서 발생하는 수요 정보의 왜곡 현상.

— 2
인플레이션 감축법^{IRA(Inflation Reduction Act)}: 2022년 8월 16일에 발효된 IRA는 친환경에너지, 헬스케어 등 분야에 4370억 달러 규모의 재정을 투입해 미국 내 인플레이션 억제와 기후변화 대응을 목적으로 하는 법이다.

2020년 전통 에너지 부문 투자 변화(2019년 대비)



단위: 10억 달러
 자료: IEA(2020), World Energy Investment

러프 전 행정부의 25% 철강 관세, 10%의 알루미늄 관세가 통상 규정을 따르지 않는다는 세계무역기구(WTO)의 결정을 거부한 바 있다. 철강과 알루미늄은 EU의 탄소국경조정제도 Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM 대상 품목이기도 하기에 자국 산업을 보호하고 에너지 수급 안정성을 확보하고자 하는 미국과 EU 간 경쟁이 글로벌 무역 시장에 어떤 영향을 미칠지 예의 주시해야 하는 상황이다.

자원개발 및 공급망 확보를 위한 글로벌 협력 강화

주요 에너지 및 광물자원을 전적으로 수입에 의존하는 우리나라로서는 국제 협력 전략은 기본 근간이라고 할 수 있다. 유엔탄, 우라늄, 철, 동, 아연, 니켈의 6대 전략 광종 자주개발률은 한국 28%, 중국 65%, 일본 76%로 우리나라의 해외 자원개발률을 높이기 위한 해외투자가 절실하다.

또 탄소중립에 필수인 대부분의 에너지전환 전략 광종은 생산 국가의 편재성이 심한데, 전기차 핵심 광물인 리튬의 경우 아르헨티나가 50%를, 칠레와 호주가 41%를 생산하고 있다. 이들 국가와의 협력 역시 강화해야 할 것이다. 핵심 광물 공급망과 단계별 핵심기술 개발을 위해서는 프렌드쇼어링³ 아래 국가 간 협력과 공급망을 강화하는 노력이 배가되어야 한다. 우리나라와 호주 등 11개국이 참여하는 미국 주도의 핵심 광물 안보 파트너십 MSP⁴을 활용해 핵심 광물 공급망 확보를 위한 정보 공유, 민간사업 지원 및 광물 재활용 기술에 대한 개발 투자 기회로 삼을 수도 있다.

윤석열 대통령이 인도네시아 발리 캄핀스키 호텔에서 열린 주요 20개국 G20 정상회의 첫 번째 세션(식량·에너지·안보)에 참석하고 있다.



— 3

프렌드쇼어링^{friend-shoring}: 미국을 중심으로 동맹국끼리 핵심 기술 공유 및 공급망을 구축하려는 움직임을 말한다. 팬데믹과 중국의 도시 봉쇄, 러·우 전쟁 등으로 글로벌 공급망이 위기를 겪으면서 등장한 개념이다.

— 4

핵심 광물 안보 파트너십^{Minerals Security Partnership, MSP}: 2022년 6월 15일에 출범했다. 핵심 광물 공급망의 안정과 다변화를 위한 국제 협력 파트너십으로, 미국·한국·캐나다·일본·독일·영국, EU 집행위원회·핀란드·호주 등이 참여한다.

— 5

행동주의 펀드: 주식시장에서 ‘행동주의^{activism}’는 주주들이 기업의 의사결정에 적극적으로 개입해 이익을 추구하는 행위다. 행동주의 펀드는 행동주의 전략을 통해 투자기업의 주가를 끌어올린다.

최적의 에너지·발전원 믹스가 필요한 때

에너지와 발전원 믹스를 최적화하는 것은 에너지 안보의 제1원칙이며, 특정 에너지원에 과도하게 쏠리지 않도록 설계해야 한다. 탈석탄이나 탈원전을 주장할 때 스웨덴이나 독일을 언급하는 것은 큰 의미가 없다. 전력계통상 이들은 부족한 전기는 권역 내 다른 국가에서 수입하면 그만이기 때문이다. 탈원전을 추진한 스웨덴과 독일은 폴란드의 석탄화력 발전과 프랑스의 원자력에서 전기를 끌어다 쓰는 식이다. 기후변화 정책 모범 지역인 EU에서도 개별 국가가 아닌 전체 계통으로 보면 다양한 에너지원 믹스를 갖추고 있다. 전력계통상 고립된 우리나라로서는 최적의 에너지 및 발전원 믹스가 더욱더 중요함을 알 수 있다. 일각에서는 러·우 전쟁을 계기로 에너지 안보 역량을 강화하기 위해 태양광과 풍력 비중을 대폭 높여야 한다고 주장한다. 하지만 결국 간헐성 대비를 위한 예비력 발전이 필요하며, 이는 화석연료 발전이 담당하게 된다. 정작 국내에서 에너지 믹스를 허술하게 구성한 뒤 에너지 안보를 논하는 것은 리스크 관리를 남의 손에 의지하는 행동과 유사하다.

독일이 러시아의 천연가스에 의지하며 탈석탄과 탈원전 추진, 재생에너지 확대에 치중했다가 최근 에너지 안보 위기에 처해 기존 정책을 반복한 사례도 반면교사 삼아야 할 것이다. 전력계통 고립인 우리나라에서 탄소중립 시나리오상 발전원 믹스 설계는 EU 국가보다 훨씬 더

과학적으로 접근해야 한다.

기술개발과 제도적 지원의 병행

폐자원 에너지화와 리튬 배터리 재활용 등 기술개발과 제도적 지원은 병행할 필요가 있다. 매립 중심 정책에서 폐기물 재활용과 에너지 회수 중심으로 자원순환 정책이 강화되어야 하며, 이를 통해 해외 에너지 수입 의존도를 일부 낮출 수 있다. 2020년 기준 EU의 폐자원 에너지 회수 비율은 98%이며, 이들 국가는 매립이 거의 이루어지지 않는 반면, 우리나라는 매립이 약 14%에 달한다. 그동안 글로벌 시장에서도 미미했던 리튬 재활용은 최근 급등한 국제시장 가격이 계기가 돼 기술개발 시도가 이루어지고 있는바, 전량 수입에 의존하는 국내에서도 관련 기술개발에 적극적으로 나설 필요가 있다.

세계경제가 재편되고 있다. 여기에는 탄소중립 내지 에너지전환, 보호무역주의, 저탄소 중심의 탄소 무역 라운드, ESG와 행동주의 펀드⁵, 재생 에너지와 기존 재래식 에너지의 동시적 확대, 미중 갈등, 미국과 EU 간 녹색보호조금 논쟁 등 여러 어젠다가 동시다발적으로 제기되고 있다. 기존 글로벌 분업 체제 아래 블록 간 패권 경쟁이 가속화될 것이며, 이 외에도 주요 선진국에서는 인구 감소로 인한 연금과 재정 절벽 이슈 등도 얽히면서 자국 이기주의로 전개될 가능성도 크다. 그 어느 때보다 글로벌 공급망에서의 위기관리 능력이 요구되는 시기이며, 에너지 안보는 국가 안보와도 직결되는 시기임을 알 수 있다. 에너지 안보나 해외 자원 개발의 단편적 정책이 아닌 국가적으로 종합적 안목을 갖추고 세밀하게 추진하는 정책을 마련해야 할 것이다.



독일은 러시아의 천연가스에 의지했다가 최근 에너지 안보 위기에 처해 기존 정책을 반복해야 했다. 사진은 올라프 숄츠 독일 총리.



박호정 고려대학교 식품자원경제학과 교수, 전 한국자원경제학회 회장

기후변화 및 에너지, 전력, 자원경제학 분야를 주로 연구하고 있으며, 파생상품 및 실물옵션 분야를 다루고 있다. 주요 저서로는 <탄소전쟁>, <실물옵션과 투자분석>이 있으며, KDI와 KEII 정부출연연구원과 전남대학교 경제학부를 거쳐 2007년부터 고려대학교 교수로 재직 중이다.

탄소중립을 위한 최선의 대안,

CCUS

2050년 탄소중립을 위해서는 재생에너지, 신에너지, CCUS 기술의 상용화가 필수적이다. 대외적으로는 2026년부터 탄소국경세가 도입될 예정이고, RE100에 가입한 기업은 무탄소 에너지 확보가 절대적인 상황이다. 탄소중립의 핵심기술인 CCUS에 대해 알아보자.

최근 기상이변 현상이 빈번하다. 2023년 5월 초부터 캐나다 서부 브리티시컬럼비아주, 앨버타주, 서스캐처원주 지역에 가뭄으로 인해 산불이 발생하더니 6월에는 전 지역으로 번져나가 대한민국 면적의 3분의 1인 3만8000km²가 잿더미로 변했다. 9월에는 리비아 동부 데르나에 대홍수가 일어나 현재까지 약 1만1300명이 사망하는 대참사가 일어났다. 이처럼 빈번한 자연재해는 지구 대기 성분 중 온실가스 농도가 높아져 지구 평균기온을 상승시켜도 무역풍과 해류에 의해 기온이 분산 되지 않아 한 곳에서 홍수가 일어나면 다른 곳에서는 가뭄이 일어나는 엘니뇨 현상이 심해졌기 때문이다.

탄소중립을 위한 몇 가지 방법

온실가스배출량을 줄이기 위해 파리기후변화협약(2015년) 이후 2018년 IPCC¹ 특별총회에서 지구 온도 상승 한계선을 1.5도로 제시한 바 있다. 이 목표를 달성하기 위해 많은 국가가 2050년까지 자발적으로 탄소중립 달성을 천명했다. 탄소중립은 강제성이 없는 선언이었기에 경제와 연결된 방안으로 유럽과 미국에서는 탄소국경세 도입을 선언했고, 민간 기업은 친환경 이미지 강화를 위해 RE100^{Regeneration Energy 100}, ESG^{Environment, Social, Governance} 경영 강화를 선언했다.

CCUS 기술의 탄소중립 예상 기여도

미국 9% (2032년 기준)	중국 8.8% (2060년)
영국 9% (2032년 기준)	한국 8~12.3% (2050년 기준)
프랑스 2.5% (2050년 기준)	

* 2030년, 2050년은 예상치
자료: 해양수산부

— 1
IPCC^{Intergovernmental Panel on Climate Change}: 기후 변화와 관련된 전 지구적 위험을 평가하고 국제적 대책을 마련하기 위해 세계기상기구^{WMO}와 유엔환경계획^{UNEP}이 공동으로 설립한 유엔 산하 국제 협의체이다.

탄소중립을 달성하기 위해서는 재생에너지, 신에너지, 탄소포집 기술을 적절히 활용해야 한다. 첫째 에너지 생산 시 대부분을 태양·풍력·지열·파력 등 자연에서 얻는 무탄소 재생에너지를 이용하고, 둘째 재생에너지 생산량이 적어지거나 운송을 위해 수소·원자력·연료전지 같은 신에너지 수단으로 보조하며, 마지막으로 시멘트·플라스틱처럼 편리한 인간 생활을 위해 대체하기 어려운 소재를 만드는 과정에서 배출한 이산화탄소에 대해 CCUS^{Carbon Capture Utilization and Storage}, DAC^{Direct Air Capture}, 자연 탄소흡수원인 식물 식재량 확대를 활용해 대기상으로 배출하는 총 온실가스량을 제로(0)로 하는 방안이다.

이산화탄소 포집하는 CCUS 기술이란?

탄소중립 달성 방안 중 CCUS 기술은 대표적 온실가스인 CO₂를 대량으로 감축하는 기술이다. 화석에너지를 대량으로 사용하는 공장의 굴뚝에서 대기로 CO₂가 배출되기 전 CO₂만 선택적으로 포집해 액화한 후 저장지까지 수송, 안정적인 곳에 저장하는 기술을 의미한다. 이 중 일부 고순도 CO₂는 용접·스마트팜·탄산음료 제조 등 산업에 직접 사용하거나, 메탄올·요소·개미산·합성가스 같은 유용한 물질로 전환해 사용함으로써 공기 중에 직접 배출하는 시간을 최대한 지연한다. 또 해당 물질을 만들기 위해 별도로 화석에너지를 활용하는 양을 억제하는 방법도 있다.

정부가 탄소중립 목표 달성을 위해 탄소 포집 및 활용·저장^{CCUS} 사업을 확대하기로 함에 따라 울산시가 추진하는 동해가스전 CCUS 실증 사업도 덩달아 판이 커지게 됐다.

CCUS의 탄소중립 기여도

CO₂는 화석에너지가 연소되어 최종 발생하는 물질로, 에너지 준위가 매우 낮아 인류가 대량으로 필요로 하는 메탄올·개미산·요소·합성가스 등을 만들기 위해서는 외부에서 별도의 전기 및 열에너지와 메탄·수소 같은 물질이 추가로 필요하다. 현재 일상에서 필요한 에너지 중 신재생 에너지만으로 100% 공급이 불가능한 상황이기에 CO₂ 전환 기술은 향후 신재생에너지가 100% 이상 공급되는 세상이 왔을 경우 잉여 신재생에너지의 ESS^{Energy Storage System}(에너지저장장치) 기술 중 하나로 활용될 것으로 예측된다.

이러한 CCUS 기술이 탄소중립에 기여하는 정도를 미국에서는 2032년 기준 9%, 영국은 2032년 기준 9%, 프랑스는 2050년 기준 2.5%, 중국은 2060년 기준 8.8%, 한국은 2050년 기준 8~12.3%로 예측한 바 있다. 현재 전환 기술을 제외한 상용화가 가능한 CCS 기술의 경제성만 보면 포집 대상 중 CO₂ 포함 농도, 이용하는 포집 기술, 저장소까지 거리를 감안할 때 전체 포집 비용은 톤 CO₂당 100~150달러로 예상된다.

CCS 기술의 상용화 과정

CCS 기술을 완벽하게 상용화하기 위해서는 포집, 액화, 수송, 저장, 누수 모니터링 기술이 완벽하게 구성되어 유기적으로 움직일 수 있어야 한다. 지구온난화 이슈 전인 1970년대부터 CO₂ 포집 기술은 천연가스 채굴 과정에 메탄과 섞여 있는 주요 불순물인 CO₂를 고압 조건에서 제거하기 위해 상용화한 기술이다. 이 과정에서 포집된 CO₂는 대염수, 폐원유층, 원유증산^{EO}에 사용했다. 지구온난화 이슈 이후엔 발전소나 블루 수소 생산 시설에서 상압의 CO₂를 대량으로 포집하고 있다. 현재 전 세계적으로 30개의 CCS 설비가 운전 중이고, 연간 4250만 톤의 CO₂를 포집해 저장하고 있다. 특히 미국 텍사스주와 노르웨이가 CCS 비즈니스를 이끌고 있다.

CCS 와 CCUS의 차이

CCS^{Carbon Capture and Storage}는 산업 및 에너지 사용을 통해 배출되는 이산화탄소를 포집하고, 저장 장소로 운반하는 방법을 의미하며, CCUS^{Carbon Capture Utilization and Storage}란 이렇게 포획된 이산화탄소를 저장하거나 활용하는 것까지 포함한 개념이다.

한국의 CCS 기술 현황

한국의 경우 CCS 기술을 구성하는 요소 중 포집·액화·수송 기술은 모두 국산화가 완료된 수준이며, 포집한 CO₂를 저장하기 위한 저장처를 확보하기 위해 노력하고 있다. 여러 포집 기술 중 대용량 포집이 가능한

CCUS 기술의 구성 및 소요 비용

CO₂ 발생(농도) · 발전(6~15%) · 시멘트(20~25%) · 제철(20~25%) · 석유화학(3~50%)	비용 (\$100~150/tCO ₂)
↓	
포집(액화)(TRL9) · 액상 흡수(대용량) · 막 분리(소용량) · PSA(소용량) · 불순물 정제	75%
↓	
수송(TRL9) · 선박 · 파이프(80기압) · 탱크로리 차	10%
↓	
저장(TRL9) · 지하 1km 대염수 · 빈유전층 · EOR(원유 증산) · 누수 관찰	15%

자료: '청정수소 세미나', 윤여일, 2023, www.ieagreen.org.uk

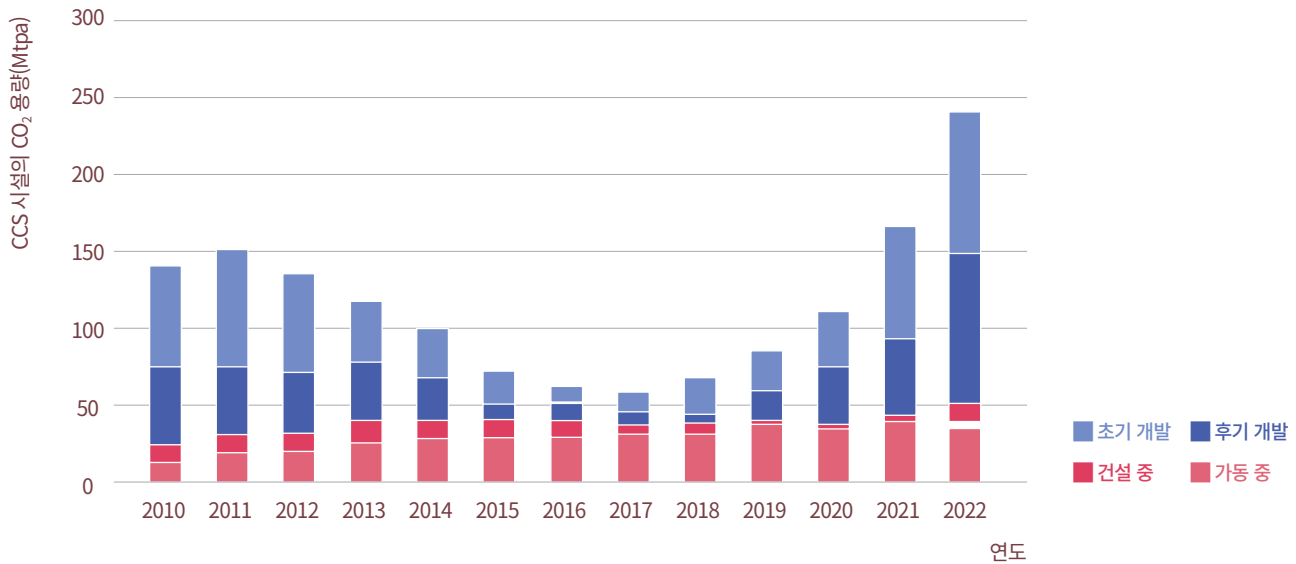
기술은 습식 기술이다. 현재 한국에너지기술연구원에서 개발한 키어솔^{KIERSOL}은 현대건설, SK머티리얼즈, SCT엔지니어링에 기술이전이 되었고, 한국전력연구원이 개발한 코솔^{KOSOL}은 DL E&C, 현대중공업, 이테크건설, 하이테크 엔지니어링에 기술이전되어 각각 EPC^{Engineering, Procurement, Construction} 방식으로 포집할 업체에 견적을 제시해 상용화를 추진하고 있다. 아직 CO₂ 저장 공간이 없는 상황이므로 대부분의 포집공정 설치 업체는 포집한 CO₂를 액화탄산 형태로 판매 중이다.

한국의 CO₂ 저장 잠재량은 약 7억3000톤이며, 동해가스전을 CO₂ 저장소로 활용하기 위한 예비 타당성을 분석 중이다. 그 외 해외 CO₂ 저장소를 활용하기 위해 민간기업도 다양한 프로젝트를 통해 진행하고 있다.

민간기업의 CCS 프로젝트

① 한호 수소 프로젝트(SK E&S, GS 칼텍스 등): 한국에서 CO₂를 포집한 후 서호주 고갈 가스전에 저장

연도별 CCS 시설의 CO₂ 용량



CCS 기술 상용화(Global Status of CCS Report, GCI, 2022)

	가동 중	건설 중	후기 개발	초기 개발	운영 중단	총계
시설 수	30	11	78	75	2	196
포집 용량	42.5	9.6	97.6	91.8	2.3	243.8

② 한미 CO₂ 프로젝트(포스코인터내셔널, 렉솔, 카본버트 등):

미국 텍사스주 쿠퍼스 지층에 6억 톤 저장 우선 협상

③ 한말 셰퍼드 프로젝트(SK에너지, SK어스온, 삼성중공업,

석유공사, 페트로나스 등): 한국 석유화학단지에서 포집한 CO₂를 말레이시아 지층에 저장

CCUS 기술이 가져올 미래상

2050년 탄소중립을 위해서는 재생에너지, 신에너지, CCUS 기술 상용화가 필수적이다. 대외적으로는 2026년부터 탄소국경세가 도입될 예정이고, RE100에 가입한 기업은 무탄소 에너지 확보가 절대적인 상황이다. 2023년 3월에 기업 재생에너지 이니셔티브가 발간한 ‘2030년 기업 재생에너지 수요 예측 보고서’에 따르면 2030년 국내 기업 236곳의 신재생에너지 수요량은 최대 172.3TWh지만, 10차 전력수급기본계획이 정한 2030년 한국 신재생에너지 발전목표량은 134.1TWh로 기업 수요량의 77.8%에 불과하다.

결론적으로, 한국의 에너지 상황으로는 RE100 달성이 불가능하다. 따라서 한국은 블루·그린 수소, CCUS 연계 에너지가 추

가로 포함된 CF100^{Carbon Free Energy 100}으로 확대해 탄소감축을 해야 하는 상황이며, 탄소국경세가 도입되는 2026년까지 CCS 연계 LNG 연소 활용, CCS 연계 블루 수소 상용화가 절실하다.

한국은 공업단지의 지리적 위치상 서산·여수·여천·울산 같은 해안가에 인접한 석유화학단지, 포항·광양·당진 같은 해안가 제철 단지, 단양·제천 등 내륙의 시멘트 단지를 중심으로 대규모 CO₂ 발생 시설이 있다. 이 시설에 대규모 블루 수소 공급, 시멘트·NCC 후단 CO₂ 포집이 1차적으로 필요하며, 포집된 CO₂는 해안가의 임시 액화탄산 저장 포트에 보관 후 해저 지층이나 해외 저장소를 활용해 저장해야 한다. 이러한 산업은 2025년부터 활성화될 것으로 예상하며, 향후 신재생에너지 보급 로드맵에 맞춰 병행한다면 2050년 탄소중립 목표는 충분히 달성할 수 있을 것으로 예측된다.



윤여일 한국에너지기술연구원 CCS 연구단 책임연구원

국무조정실 각 부처 온실가스 감축 실적 평가위원, 충북 그린뉴딜사업 기획위원, 정부 대형 온실가스 감축 과제(1000억 원 이상) 기획위원 등을 역임했다. 현재 녹색기술인증 심사위원, 한국에너지기술연구원 CCS 연구단 책임연구원으로 활동 중이다.

블루 카본이 기후 위기를 완화하는 데 중요한 역할을 하고 있다. 맹그로브, 해초, 염습지 같은 해안 생태계는 막대한 양의 이산화탄소를 격리·저장하는 역할을 한다. 이러한 서식지를 보존하고 복원하면 지구온난화를 방지하고 생물다양성과 생태계를 보호하는 데 도움이 될 수 있다.

word 김진원 <한경ESG> 기자



인도네시아 누사 렘봉안섬의 맹그로브숲.

지금은 블루 카본이 필요한 때

블루 카본이란?

염생식물, 잘피 등 연안에 서식하는 식물과 갯벌 등 퇴적물을 포함한 해양생태계가 흡수하는 탄소를 말한다. 자연에 존재하는 탄소는 기능과 위치에 따라 다양하게 불린다. 흔히 기후변화에 영향을 미치는 화석연료를 말하는 '블랙 카본', 육상 산림이 흡수하는 탄소를 '그린 카본'이라고 한다.

맹그로브 mangrove란?

꽃이 피는 육상식물로, 연안의 염분이 있는 곳 또는 기수에서 자라는 작은 나무나 관목을 말한다. 이런 종으로 구성된 열대 해안의 식물 군락을 일컬을 때에도 사용한다. 맹그로브는 전 세계 열대-아열대 지역에서 잘 자라며, 주로 북위 25도에서 남위 25도 사이에 분포한다. 2000년에 전 세계 맹그로브숲은 118개국에서 나타났고, 그 면적은 13만7800km²에 이르렀다.

맹그로브 군락지 1ha의 탄소흡수량



동남아시아 해안가에서 볼 수 있는 맹그로브가 조만간 한반도에 상륙할 전망이다. 뛰어난 탄소흡수원인 맹그로브가 한국에 뿌리내리면 정부의 온실가스 감축목표^{NDC}를 달성하는 데 큰 도움이 될 것이다. 국내의 기업도 ESG 경영의 일환으로 맹그로브숲 조성에 나서고 있다. 정부와 학계에서는 한국의 풍부한 갯벌이 국제적 탄소흡수원으로 인정받도록 노력하고 있다. 해양수산부는 최근 '블루 카본 실증연구센터'를 마련하고 해양생물자원관 등과 협력 네트워크를 구축했다. 세계 최대 맹그로브 군락지인 인도네시아 정부와 협력해 맹그로브 서식 동향을 관찰 중이다. 블루 카본은 해양생태계에 조성된 탄소흡수원을 말한다. 맹그로브 외 갈대 같은 염생식물과 잘피 등 해초류가 블루 카본으로 분류된다. 숲과 열대우림 등 산림생태계 탄소흡수원인 '그린 카본'에 대응하는 개념이다. 블루 카본은 그린 카본보다 탄소흡수 및 저장 효율이 높다. 해양생태계가 바닷물에 잠겨 있기 때문이다. 대기 중에서 흡수된 탄소가 해수면 아래로 내려가 저장되면 다시 방출되는 일이 드물다. 멕시코의 한 맹그로브 군락지에서 토양 표본을 채취한 결과 5000년 전 흡수한 탄소까지 저장된 것으로 확인됐다. 블루 카본 중에서도 맹그로브의 탄소흡수량은 압도적이다. 갈대, 잘피 등에 비해 뿌리가 깊은 데다 울창한 숲을 이루기 때문이다. 맹그로브 군락지 1ha의 탄소흡수량은 연간 1.62톤에 달한다. 갈대(0.91톤), 잘피(0.43톤) 등을 크게 앞선다. 한국 자생종인 소나무의 3배 이상이라는 연구 결과도 있다.

2030년 106만 톤 탄소흡수

정부가 최근 탄소흡수원으로 맹그로브에 주목하는 이유는 기후변화와 관련이 있다. 현재 속도로 수온과 기온이 계속 오르면 아열대-열대 수종인 맹그로브가 국내에 들어올 가능성이 크다. 김종성 서울대학교 지구환경과학부 교수의 연구 결과에 따르면, 맹그로브의 북방한계선은 북위 33도 38분까지 올라왔다. 일본 규슈섬 남부 지역이다. 제주도 남해안 일대와 위도가 겹친다. 김 교수는 "조만간 맹그로브가 제주도를 넘어 한반도 남해안에 상륙할 것으로 예측된다"고 말했다. 이에 정부는 맹그로브 등을 포함한 바다숲을 적극 조성할 계획이다. 해양생태계에 의한 탄소흡수량을 전년 대비 100배 이상 많은 106만 톤(2030년)으로 늘리는 것이 목표다. 해외에서도 맹그로브를 활용한 탄소포집 캠페인이 진행되고 있다. 미국 애플은 최근 콜롬비아 카리브해 연안에 맹그로브 군락지 조성 사업을 벌여 1만1000ha 숲을 복원하고 있다. 1만7000톤의 탄소를 흡수해 탄소중립 목표를 달성한다는 계획이다. 케냐 해양수산연구소는 맹그로브숲 100ha 이상을 조성하고 탄소배출권을 판매해 연간 1만5000달러 이상 수익을 올리고 있다. 한국 기업도 ESG 경영의 일환으로 맹그로브 군락지를 전 세계에 조성하고 있다. SK이노베이션과 SK어스온은 2018년부터 작년 까지 베트남 미안마 해변 136ha에 53만 그루의 맹그로브 묘목을 심었다. 포스코인터내셔널, KB국민카드 등도 최근 인도네시아 해안가에 많은 맹그로브 묘목을 식재했다.

급증하는 해양생태계 탄소흡수량



*2030년, 2050년은 예상치
자료 해양수산부

조 바이든 미국 대통령(왼쪽에서 두 번째)과 나렌드라 모디 인도 총리(맨 왼쪽) 등
주요국 정상이 인도네시아 발리의 누사두아에서 열린 G20 정상회의 직후
맹그로브숲을 함께 걷고 있다.





갯벌도 블루 카본 국제 인정 추진

한국의 갯벌도 새로운 탄소흡수원으로 주목받고 있다. 정부는 한국의 풍부한 갯벌이 국제적 블루 카본으로 인정받을 수 있도록 연구를 추진 중이다. 과학계에 따르면, 너비 2500km²에 달하는 한국의 갯벌은 약 1300만 톤의 탄소를 저장 가능하다. 매년 자동차 11만 대가 배출하는 26만 톤의 이산화탄소를 흡수한다. 한국의 갯벌은 식물이 살지 않는 갯벌(비식생 갯벌)과 갈대 등 염생식물이 사는 갯벌(염습지)로 구분된다. 탄소를 흡수하는 것은 갯벌 표면에 사는 저서 미세조류다. 단세포생물인 저서 미세조류가 광합성을 통해 이산화탄소를 흡수하고, 죽은 뒤엔 퇴적돼 탄소가 장기간 격리되는 효과가 있다. 흡수와 퇴적 두 가지를 합했을 때 탄소 총저장량이 계산된다. 저서 미세조류는 광합성 흡수량은 적지만, 침적량이 많아 탄소 저장량이 풍부하다. 실제 갯벌 퇴적물을 보면 갈색이나 녹색을 띠는데, 그것이 바로 미세조류다. 대륙붕 사이 퇴적물도 관심을 받는 탄소흡수원이다. 최근 영국 연구진은 자국 연근해 대륙붕 내 연간 약 10만 톤의 탄소가 저장된다고 보고했다. 또 새롭게 조명되는 것은 조개 등 패류다. 바닷물에 녹아든 이산화탄소를 석회 패각을 만드는 데 사용하면서 탄소가 격리된다는 설명이다. 네덜란드 해양연구소는 패류에 의한 탄소 저장량을 계산해 블루 카본으로 인정 가능성을 입증하기도 했다. 정부는 대륙붕의 하조대 저서 퇴적물의 탄소 저장량과 침적률을 고려한 흡수계수, 패류의 패각을 만드는 과정과 식물 플랑크톤 및 산호의 생물량과 흡수량을 통한 흡수계수를 산정하고 탄소격리 효과에 대해서도 연구할 계획이다. 온실가스 제거 및 탄소 격리 기능을 인정받은 잘피나 해조류 등은 국내의 자료를 취합해 블루 카본 인정 가능성을 뒷받침할 예정이다.

블루 카본 확대 국제 협력 강화

국제적으로 블루 카본은 여섯 가지 조건을 충족해야 한다. 각각 온실가스 제거 효과, 탄소 장기 격리 여부, 인위적 영향, 관리 실용성, 기후변화에 관한 정부 간 협의체^{IPCC} 인정 여부, 타 정책 연계 가능성 등이다. 갯벌은 지금까지는 온실가스 제거 효과와 탄소 장기 격리 여부에 대한 연구가 부족했다. 정부는 이를 해결하기 위해 집중해왔다. 앞으로는 갯벌의 온실가스 감축 기능을 국가 온실가스 통계 인벤토리의 온실가스 감축량으로 포함할 수 있도록 국가 전체 식생의 분포와 종류에 대해 파악할 예정이다. 정부는 2030년까지 해양보호구역을 20% 확대할 예정이다. 콘크리트로 덮인 정돈된 해안선을 자연 해안선으로 복원하는 것도 추진 중이다. 갯벌이 있는 다른 나라와도 협력해나갈 예정이다. 각국의 연구 결과를 토대로 IPCC나 유엔기후변화협약^{UNFCCC} 당사국총회 산하 과학기술부속기구^{SBSTA}에서 갯벌 등을 블루 카본으로 인정받고 국가 온실가스 감축목표에 반영하는 것을 최종 목표로 하고 있다.

폐차 가죽 시트가 지구를 돕는 방식

버려진 폐차 가죽 시트가 미래 친환경차 소재로 재탄생할 전망이다. 친환경 시트 기술로 ESG(환경·사회·지배구조) 경영을 실천하는 현대트랜시스가 가죽 시트를 미래 차 소재로 재활용하기 위한 국책과제 수행에 나서면서다.

word 배성수 <환경ESG> 기자

현대트랜시스는 올 하반기부터 ‘미래차용 친환경 소재·응용 제품 및 폐가죽 리사이클 기술’을 개발하는 국책과제를 수행한다. 한국신발피혁연구원과 한국섬유소재연구원, 충남대학교 등 시트 분야 학계와 연구원 등도 함께 참여한다. 이들은 천연가죽 폐기물을 재활용할 수 있는 신기술을 개발할 예정이다. 현대트랜시스는 이를 기반으로 폐차 가죽 시트를 미래 자동차 시트로 재활용하는 방안을 추진한다. 폐차 의무 재활용 규제의 법제화 추진 등 환경을 위한 관심이 높아졌지만, 그간 폐차 시트는 별도 리사이클링 기술이 없어 대부분 폐기됐다. 업계 관계자는 “소요 기간 42개월, 정부 지원금 91억 원에 달하는 대규모 미래형 국책과제”라고 설명했다.

현대트랜시스의 에코 시트 로드맵

이번 과제는 현대트랜시스가 기존 시트 관련 기술력을 활용해 탄소배출 저감에 기여하는 사례가 될 전망이다. 이 회사는 2019년 통합 출범 이후 탄소중립 시대를 선제적으로 대비하기 위해 친환경 시트를 앞세운 ‘에코 시트’ 로드맵을 수립, 실천하고 있다. 이를 통해 ‘인간 친화’, ‘자연 친화’에 방점을 둔 친환경 시트를 개발하고, 제품 연구 단계부터 제조공정까지 탄소배출을 줄이는 방식으로 ESG 경영을 실천한다는 설명이다. 업계 관계자는 “자율주행 기술의 발달과 목적 기반 모빌리티^{PBV}의 등장으로 자동차는 단순한 이동 수단이 아닌 생활공간으로 바뀌고 있다”며 “내연기관 차량의 전동화 전환도 빨라지면서 소비자는 생활공간인 자동차의 친환경성에 관심이 높아지고 있다”고 말했다. 현대트랜시스는 유해 물질 저감과 대체 소재 개발 등을 통한 ‘유해 물질 제로(0)’를 목표로 인간 친화적 시트 개발·생산에 주력하고 있다. 유해 물질인 브롬계·안티몬계 난연제¹를 친환경 인계·무기계 난연제로 대체한 친환경 인조가죽(2019년)과 시트 섬유 원단 표면에 불소계 방오처리제가 아니라 친환경 실리콘계 방오제를 입히는 방오² 처리 기술(2020년) 등이 대표적 성과로 꼽힌다. 최근에 툴루엔계 원재료와 난연제 등을 사용하지 않는 친환경 슬래브 폼(자동차 내장

— 1
타기 쉬운 성질이 있는 플라스틱 따위의 유기 물질에 첨가하거나 도포하여 연소를 억제하거나 완화하는 물질을 말한다.

— 2
해양건축물이 물에 닿는 부분인 연수부에는 각종 해양생물이 부착하게 된다. 그 부착량이 많아지면 구조물의 기능을 저하시키는데 이것을 방지하는 것을 말한다.



현대트랜시스 유해 물질 제로
대표 프로젝트

2019년 유해 물질인 브롬계·안티몬계
난연제를 친환경 인계·무기계 난연제로
대체한 친환경 인조가죽

2020년 시트 섬유 원단 표면에 불소계
방오 처리제가 아니라 친환경 실리콘계
방오제를 입히는 방오 처리 기술

재 소재) 선행 연구에도 나섰다. 소비자들이 불편함을 호소하는 화학성분 냄새와 유해 물질을 저감하기 위한 연구개발도 활발하다. 냄새 제거, 공기정화, 오염과 마모 방지, 온도·습도 조절 등 사용자의 오감 만족을 이뤄내 쾌적한 운전 환경을 제공하는 것이 목표다.

자연 친화적 소재로 만든 자동차

현대트랜시스는 2010년 유기용제형 접착제를 사용하지 않는 폴리우레탄 인조가죽을 개발해 그랜저HG에 적용했다. 또 옷나무 열매 추출물인 카다놀을 활용해 향균 효과 95% 이상의 폼패드를 YF소나타에 선보이기도 했다. 이 외에도 피로도 진단과 조치, 졸음 방지 등 건강진단과 치유에 도움이 될 수 있는 제품도 개발한다. 원재료, 천연 소재에서 추출 시트 원재료를 천연 소재에서 추출한 바이오매스로 대체하는 등 자연 친화적 기술개발에도 앞장서고 있다. 바이오매스는 연소 시 질소산화물, 황산화물, 이산화탄소 등 배출이 적은 친환경 에너지원이다. 이와 함께 재활용 소재와 폐가죽 리사이클링을 통한 자원 재활용, 시트 경량화를 통한 연비 개선 등 탄소배출 저감에도 적극적으로 나서고 있다.

현대트랜시스는 2013년 세계 최초로 피마자오일 추출물 20% 함량의 바이오 폴리우레탄 폼패드 개발에 성공했다. 이를 통해 차량 한 대당 이산화탄소는 1.08kg, 에너지 사용량은 18MJ(메가줄) 절감 효과를 얻었다. 옥수수에서 추출한 바이오매스 20%의 인조가죽도 2021년 K9 시트에 탑



지난 2019년 현대트랜시스가 미국에서 활동하는 친환경 패션 디자이너와 손잡고 자동차 폐소재를 업사이클링하는 착한 협업에 나섰다. 사진은 '현대트랜시스' 동탄시트연구소 연구개발 과정에서 발생한 시트 가죽 자투리.



현대자동차 G90 시트.

재됐다. 회사는 2018년 세계 최초로 기존 시트의 석유계 소재를 천연광물 자원인 석영에서 추출한 실리콘으로 바꿔 차량 한 대에 18.4kg의 이산화탄소를 절감하는 효과를 거뒀다. 화학섬유를 천연섬유로 30%까지 대체하는 섬유 원단도 개발 중이다. 천연가죽을 만들면서 발생하는 폐기물을 60% 이상 재활용할 수 있는 기술 확보에도 나섰다. 시트 제조 과정 중 하나인 커버링 접착 공법도 화학 접착제를 불꽃으로 녹여 폼패드에 시트 가죽을 붙이는 화염 미네이션 대신 물을 기반으로 하는 시트용 수성 접착제로 바꿨다. 현대트랜시스는 이를 활용한 제조설비와 접착 기술도 세계 최초로 개발했다. 이를 통해 온실가스 배출량을 25% 저감할 수 있었다는 것이 회사 측 설명이다.

소재 개발·폐기 시 탄소배출 감축

현대트랜시스는 소재 개발과 폐기 처리 과정에서 발생하는 탄소배출을 줄이는 데도 집중하고 있다. 회사 관계자는 “연구 과정에서 발생하는 월 7톤가량 시트 폐기물을 재활용하기 위한 방법을 지속적으로 고민해왔다”며 “2018년부터 사회적기업인 ‘컨티뉴^{CONTINUE}’, 2020년 사회적기업 ‘공공공간’과 협업해 자투리 가죽을 활용한 명함 지갑과 키홀더 등을 만들었다”고 말했다. 이 외에도 회사 측은 다양한 친환경 제품을 만들고 있다고 전했다. 2021년에는 시트 연구 과정에서 나오는 폐기물인 자투리 가죽을 활용해 제작한 업사이클링 키링 제품 ‘업사이클링’을 선보였다. 업사이클링은 활용도가 낮아 버려지던 작은 자투리 가죽으로 만들어 가죽 폐기물을 줄인 제품이다. 키링 내부에는 친환경 소재인 타이벡® 소재로 제작한 장바구니를 함께 제공해 제로 웨이스트 실천을 독려하고 있다. 여수동 현대트랜시스 사장은 “현대트랜시스는 국제사회 공동 과제인 기후 위기 대응에 적극적으로 동참하는 미래 모빌리티 솔루션업계 ESG 선도기업”이라며 “2040년까지 전 사업장의 전력을 100% 재생에너지로 사용하는 시스템을 구축하는 등 책임감 있는 변화와 혁신을 추진하고 올바른 움직임을 이끌겠다”고 강조했다.

2013년 세계 최초
피마자오일 추출물 20% 함량의



차량 한 대당 이산화탄소 1.08kg,
에너지 사용량 18MJ 절감

산업의 내일을 읽고 기업의 오늘을 이끕니다

KEIT는 알고 있습니다

하나의 기술을 완성하기까지

얼마나 많은 땀을 흘리고 있는 지를 -

KEIT도 뒤겠습니다

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



분광학 분야에서 가장 앞선 성취를 이루고 싶다

이광진 고려대학교 기초과학연구원^{IBS} 분자분광학 및 동력학 연구단 연구교수는 빛과 물질 간 상호작용을 연구하는 분광학자이자 물리학을 통해 우주원리를 이해하고자 하는 프런티어 연구자다. 물리학과 과학적 사고가 우리 세계와 삶을 바라보는 안목을 넓혀준다고 믿는 이 교수를 만나 물리학과 그의 연구 세계에 대한 생각을 들어봤다.

word 김광균 photo 서범세

Q 교수님은 물리학 중에서도 분자분광학을 연구하고 계신 것으로 알고 있습니다. 분광학이라는 연구 분야가 생소하게 느껴지는데, 어떤 연구를 하는 학문인지 소개 부탁드립니다.

분광이란 말 그대로 ‘빛을 나눈다’는 의미입니다. 빛은 파장에 따라 가시광선·자외선·적외선·X선 등으로 분류되는데요, 빛이 물질과 결합할 때 스펙트럼별로 다른 반응을 보입니다. 분광학은 분자에 빛을 조사한 다음 그 빛과 분자 간 상호작용을 보며 분자 내부의 특성을 연구하는 분야라고 보면 됩니다.

Q 중학생 시절부터 물리학자를 꿈꾸셨다고 들었습니다. 물리학과로 진로를 결정한 계기나 이유가 있나요?

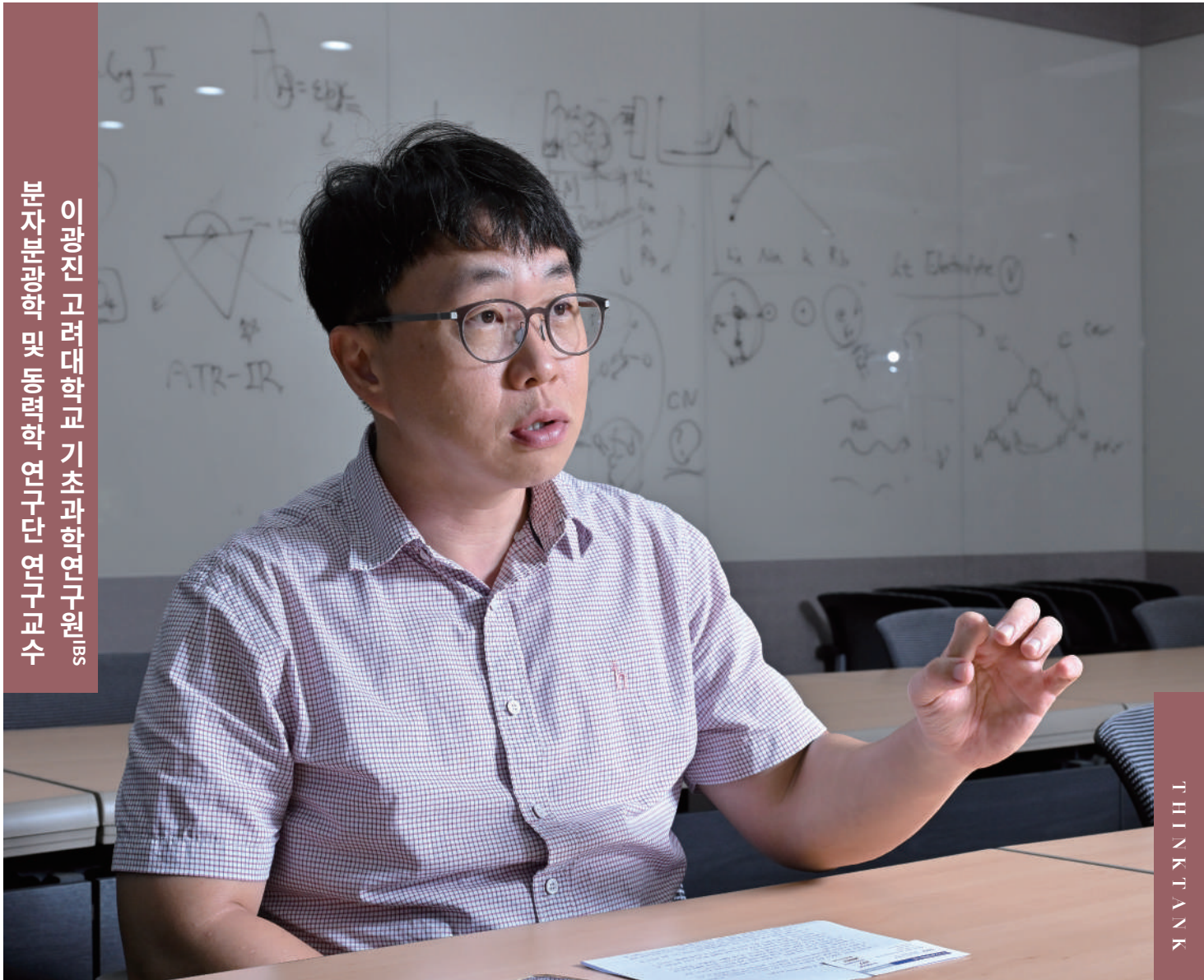
물리학자를 꿈꿨다고보다는 물리학과에 가고 싶다는 생각을 했죠. 중학교 때 과학경시대회에 나가게 됐는데, 당시 과학 선생님이 방과 후 저를 많이 가르쳐주셨어요. 물리학을 전공한 선생님 덕분에 순수 호기심으로 접근하는 물리학에 큰 흥미를 느꼈습니다. 고등학교에 진학한 후에도 다른 친구들과 달리 진로 고민은 하지 않을 만큼 물리학과 진학에 대한 결심이 확고했어요. 아버지는 제가 법대에 가길 원하셔서 약간 의견 대립이 있었지만, 결국 담임선생님에게 설득당하셨죠.

Q 물리학에도 여러 분야가 있을 텐데요. 그중에서도 빛과 물질의 상호작용을 연구하는 분광학을 선택하신 이유가 궁금합니다.

박사과정은 분광학이 아닌 광학 이론을 전공했어요. 이론물리학은 실험을 직접 하는 것은 아니고 손으로 계산한다든지 컴퓨터로 시뮬레이션하는 방식으로 연구합니다. 박사학위를 받고 이화여자대학교에서 연구원 생활을 하게 됐는데, 마침 레이저분광학을 대대적으로 연구하는 팀이 있었어요. 어떤 선택을 했다고보다는 제가 광학 연구자이다 보니 자연스럽게 연구팀에 합류하게 됐습니다. 그 연구가 굉장히 재밌었어요.

Q 박사학위 취득 후 세계적 권위의 로체스터대학교 광학연구소에서 연구원 생활을 하셨는데요. 어떤 계기로 연구소에서 근무하게 되셨는지, 연구원 생활은 어땠는지 궁금합니다.

이화여대에서 몇 년 머물다 미국으로 건너가게 됐어요. 미국은 기초과학 분야가 가장 발전한 국가일 뿐 아니라 세계 우수 학자들이 몰려오는 곳이기 때문에 그곳에서 견문을 넓히고 싶었어요. 여러 곳에 지원했는데, 그중 로체스터대학교 광학연구소 쪽에서 관심을 보여 그곳에 가게 됐죠. 분위기는 매우 자유롭고 수평적이예요. 제가 모든 걸 기획하고 연구를 진행할 수 있었어요. 연구 결과에 대해서는 자유롭게 토론하고 과학적 근거가



타당하다면 무리 없이 받아들여졌어요. 연구할 준비가 된 과학자에게 매우 좋은 곳이라고 생각해요.

◎ 많은 노벨상 수상자를 배출한 곳이기도 한데, 그런 면에서 영감을 받거나 도움 받은 것이 있나요?

2018년부터 2020년까지 연구소에 있었는데, 2018년에 발표한 노벨 물리학상 세 명 중 두 사람이 로체스터대학교 연구소 출신이었어요. 제라르 무루 Gérard Mourou 교수님과 도나 스트리클랜드 Donna Strickland 교수님인데, 두 분은 사제지간이기도 합니다. 스트리클랜드 교수님은 노벨 물리학상 역사상 세 번째 여성 수상자고, 1985년 연구 결과로 노벨상을 받았어요. 저도 많은 자극을 받았죠. 제가 있던 그룹 지도교수님이 “너희도

할 수 있다”며 힘을 북돋워주기도 했어요.

◎ 현재 IBS 분자분광학 및 동역학 연구단 연구교수로서 차세대 에너지 소자로 주목받는 ‘페로브스카이트’ 연구에 전념하고 계신데요. 이 연구에 매력을 느끼는 이유는 무엇인가요?

페로브스카이트는 제가 연구하는 여러 물질 중 하나입니다. 현재 차세대 친환경 태양전지 후보 물질로 주목받고 있고 프런티어 영역에서 세계 1, 2위를 다투는 연구 분야입니다. 쉽게 말하면

스카치테이프처럼 엄청 투명하고 얇아 건물 창문에도 쉽게 붙일 수 있는 태양전지를 만들고 싶은 거예요. 탄소를 배출하지 않아 기후변화 문제도 해결할 수 있을 테고요. 미래를 바꿀 수 있는 에너지 후보 물질 중 하나라는 점에서 흥미롭게 연구하는 분야입니다. 한 가지 재미있는 사실은 지금까지 10년 넘게 엄청난 양의 논문이 쏟아져 나오고 있음에도 이 물질에 대한 근본적 물리화학적 특성이 규명되지 않았다는 점입니다. 그런 만큼 많은 기초과학 연구자들이 그렇듯이 저 역시 분광학이라는 툴을 통해 여전히 해결되지 않은 문제를 찾아 연구하는 거죠.

◎ 최근 <진격의 물리학>이라는 책을 쓰셨는데요. 기초과학의 중요성, 기초물리학에 대한 이해의 필요성을 강조하는 것으로 읽히기도 합니다. 어떤 말씀을 하고 싶으셨나요?

전문가와 대중 사이에서 지식을 전하려는 사람이 늘면서 지식이 왜곡돼 전달되거나 피상적으로 접근해 오해를 부르는 경우도 많아졌습니다. 과학을 이해한다는 것은 단지 지식을 이해하는 수준이 아니라 과학적 사고방식을 이해한다는 걸 의미하거든요. 어떤 문제에 대한 답을 구할 때 사고하는 과정이 중요한데, 우리 일상에선 쉽게 무시되곤 합니다. 예를 들면 일본 원전의 오염수(일본 정부 명칭 '처리수') 방출 문제도 우리가 과학적 사고를 하면 금방 판단할 수 있어요. 알프스^{ALPS}라 불리는 다핵종 제거 설비 관련 논란은 각국 과학자들이 실험을 통해 데이터를 공유하고 동일한 결과가 나오는지 비교해보면 됩니다. 결과를 올바르게 판단하기 위한 과학적 사고 과정을 공유하면 해결될 문제인데, 그게 안 되니 안타깝죠.

◎ 물리학은 우리의 세계를 확장하는 데 어떤 역할을 해왔다고 보시나요? 물리학을 통해 자연과 우주의 이치를 탐구하는 것이 중요한 이유는 뭘까요?

2012년 힉스 입자를 발견했을 때 물리학자들이 서로 부둥켜안고 우는 장면을 볼 수 있었습니다. 일반 대중은 “그게 무슨 의미가 있냐”, “그것으로 뭘 할 거냐” 하고 질문할 수 있겠죠. 그러나 기초과학 연구자들은 ‘이걸 연구해서 나중에 뭘 하겠다’는 식으로 생각하지 않습니다. 물리학의 기본 정신은 우리를 둘러싼 환경, 우주가 어떤 방식으로 작동하는지를 알고 싶다는 거예요. 인간은 우주에 대한 본능적 지적 호기심으로 기초과학을 연구해왔습니다. 그 과정에서 우연히 인류 문명의 발전에 기여한 사례들이 있어요. 대표적인 것이 발전기입니다. 영국의

마이클 패러데이는 단지 전기장과 자기장의 상호작용이 어떻게 이뤄지는지 알고 싶어 원리를 탐구했을 뿐이지만 전자기 유도 현상 발견으로 발전기 개발을 앞당겼습니다. 이처럼 인간의 본능적 호기심은 우주를 바라보는 범위를 확장했고, 그 와중에 문명 발전에도 기여한 거죠.

◎ 프런티어 과학자로서 보람을 느끼는 순간이나 현실에서 맞닥뜨리는 어려움은 어떤 것이 있나요?

프런티어라고 하면 맨 앞에 있다는 의미인데요. 그 말은 그 앞에 아무도 없다는 뜻이겠죠. 연구를 통해 얻은 결과가 맞는지, 맞는다면 무엇을 의미하는지 판단할 수 없다는 거예요. 그렇다면 전문가들끼리 토론하고 좀 더 설득력 있는 과학적 근거를 마련하기 위해 각고의 노력을 기울여야 하는데, 그런 부분이 쉽지 않습니다. 그걸 성공적으로 해냈을 때 느끼는 희열은 엄청나죠. 현실적 측면에선 미국이나 독일, 일본 등 다른 나라에 비해 기초과학 연구자에 대한 처우가 부족하다는 점이 아쉽습니다. 그런 부분은 어느 정도 개선됐으면 합니다.

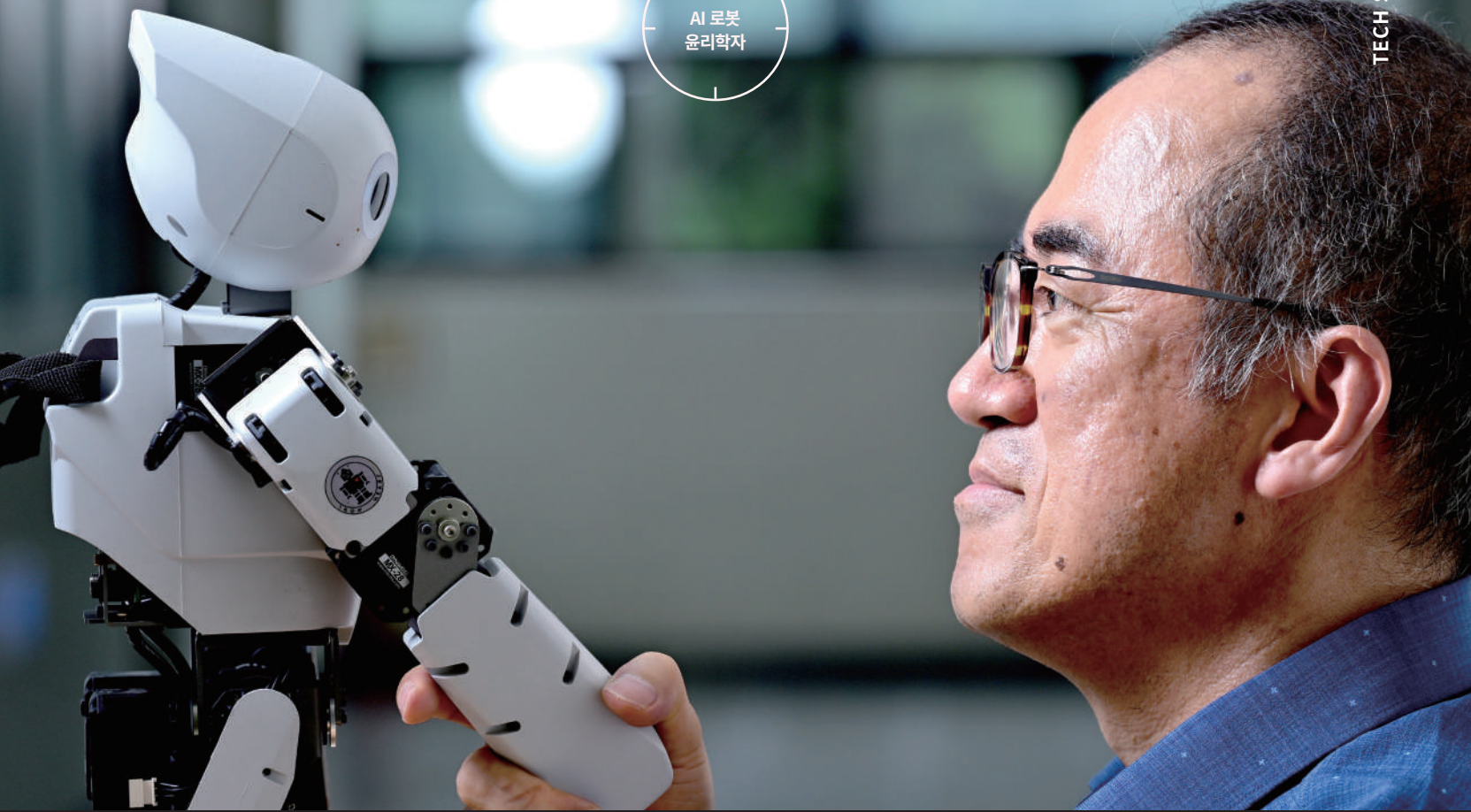
◎ 분광학 연구자이자 물리학자로서 이루고 싶은 목표가 있으신가요?

저뿐만 아니라 모든 과학자의 꿈일 텐데, 제가 연구하는 분야에서 선도적 연구 결과를 만들고 거기서 파생되는 다른 연구 분야를 만들어내고 싶어요. 남들이 보지 못한 새로운 원리를 발견하고, 그 원리가 후속 연구에 영향을 미쳐 또 다른 연구 결과를 만들어내는 데 기폭제가 됐으면 하는 바람입니다. 또 최근에 쓴 책처럼 앞으로도 학생들이 읽기 쉬운 과학 교양서를 계속 집필하고 싶습니다.



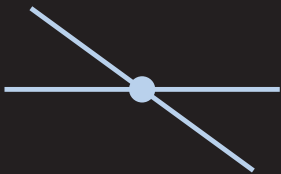
이광진 교수가 최근에 낸 <진격의 물리학>은 기초과학의 중요성과 기초물리학에 대한 필요성을 강조하고 있다.

AI 로봇
윤리학자



첨단기술에도 도덕이 필요하다!

AI 로봇윤리학자, 김종욱 동아대학교 교수



갈수록 진화하며 일상에 널리 보급되는 인공지능^{AI}. 인간 사이에서 사용되면 필연적으로 윤리적 문제가 따라올 수밖에 없다. 윤리란 다른 아닌 인간 사이의 문제를 규율하는 규칙이기 때문이다. 그로 인해 기존에 없던 새로운 직업도 생겨난다. 이번에 탐방할 AI 로봇윤리학자가 대표적이다.

word 이동훈 photo 서범세

통섭적 시각이 필요한 신생 학문 분야

AI 로봇윤리는 지극히 통섭적인 학문이다. 공학자뿐 아니라 윤리학, 법학, 사회학, 심리학, 경영학, 철학 등 많은 분야의 연구자들이 서로 협력해야 한다. 현대 융합 학문의 결정판이라는 것이 김종욱 교수의 표현이다. 이 분야는 이공계 외에도 인문학, 법학, 경영학 등 타 학문 분야 전공자들도 진입할 수 있다.

김 교수는 AI 로봇윤리학자로서 다양한 활동을 하고 있다. 2016년부터 산업부 과제를 5년간 수행하며 AMA 챗봇 ‘미소톡^{Moral Intelligent Social TALK}’ 1차 버전을 만들었다. 지금도 이 챗봇에 다양한 기능과 콘텐츠를 넣고 있으며, 올해 말 교육 및 연구용 책을 출판하는 것을 목표로 집필 작업 중이다. 2018년에는 학계와 산업계를 지원하고자 산업부 후원으로 로봇윤리현장 가이드라인을 여러 전문가와 함께 작성해 발표했다. 2022년부터는 국가 AI윤리정책포럼 위원으로 활동하고 있다. 위원 활동 중 국가 AI 윤리 10대 핵심 요건(인권 보장, 프라이버시 보호, 다양성 존중, 침해 금지, 공공성, 연대성, 데이터 관리, 책임성, 안전성, 투명성)에 관한 체크리스트 항목을 수정·보완했다. 자사 서비스에 자율 규제를 적용하는 AI 기업을 위해 AI 윤리 체크리스트 작성 자문도 해주었다.

김종욱 교수는 누구?

포항공과대학교 전자전기공학과에서 학부와 석사·박사과정을 마치고 포스코기술연구소를 거쳐 2006년 동아대학교에 부임해 인공지능로봇닉스 연구실을 운영하고 있다. AI 로봇윤리 외에도 최적화 알고리즘, (휴머노이드) 로보틱스, 지능 제어, 임베디드 시스템을 주로 연구하고 있다. AI 로봇윤리는 2016년부터 산업부 과제로 연구하기 시작했다. 현재 중개의과학과도 겸직하고 있다.

로봇의 정의와 도덕은 무엇인가?

김종욱 교수의 학창 시절 전공은 공학이다. 윤리학이나 철학을 배운 적은 없었다. 그런 그가 AI 로봇윤리에 관심을 갖게 된 계기는 마이클 샌델 교수(하버드대학교)의 내한 강연이었다. 그의 강연 소식을 접한 김 교수는 샌델 교수의 책 <정의란 무엇인가>를 읽었다. 그 책에는 유명한 트롤리 딜레마를 소개하며 철학적 사고를 진행하는 내용이 담겨 있었다. 공학자인 그에게도 그런 논의와 고민은 무척 신선하고 흥미로웠다. 앞으로 자율주행차가 상용화되면 반드시 맞닥뜨릴 문제이기 때문이다. 그 후 2014년에 일어난 세월호 사건을 통해 더 안전하고 살기 좋은 사회를 만드는 데 기술을 사용해야겠다는 결심이 섰다. 또 <왜 로봇의 도덕인가?>(웬델 윌러치 외 지음)라는 책을 통해 AI와 로봇 기술이 고도화될 때 발생할 수 있는 다양한 문제를 구체적으로 고민하게 되었다. 그 책에는 인공 윤리 에이전트^{Artificial Moral Agent, AMA}(자율적으로 도덕적 판단이 가능한 소프트웨어 에이전트)라는 기술이 소개되어 있었다. 외국에서는 수년 전부터 본격적으로 연구가 시작되었지만, 당시 한국 학계와 산업계에서는 논의조차 되지 않았다. 하지만 그 중요성을 감안하면 연구를 늦출 수 없다고 생각한 그는 이 분야에 투신했다.

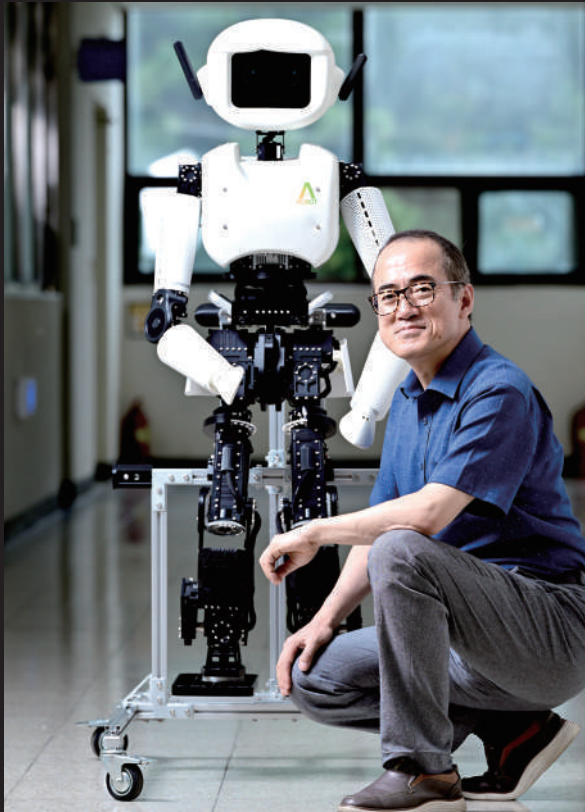
김 교수는 업무 중 AI 로봇윤리 개념과 구현 방법을 잘 모르던 스타트업 기업에 자문을 통해 도움이 되어줄 때 큰 보람을 느낀다. 그중에서도 가장 기억에 남은 것은 스캐터랩에서 이루다 2.0을 발표하기 전 윤리성 검토 및 기능 추가 작업 자문으로 참여했을 때다. 이 외에도 갈수록 더 많은 사람이 AI 로봇윤리에 관심을 보이는 것이 기쁘다고 말한다. 알파고, 자율주행차, 챗GPT 등 다양한 AI 제품이 등장했기 때문이다.

반면 힘들 때도 있다. ‘윤리’라는 명칭에 대한 선입견과 거부감 때문에 비판적이거나 냉소적인 태도를 보이는 공학자와 대화를 나눌 때다. 사람도 윤리적이지 않을 수 있는데, AI와 로봇에서 왜 윤리를 따져야 하느냐는 이도 있다. 그리고 AI 로봇윤리가 아직은 작은 연구 분야라는 것도 난점 중 하나다.

그러나 AI 분야는 눈부시게 발전하고 있다. 일반인도 몇 년 후에는 가정에서 AI 스피커, 서비스 로봇을 사용하게 될 것이다. 그때 사적인 대화가 다른 사람에게 무단으로 전송되거나, 자율주행차가 낸 사고를 보험 처리하거나, 교육용 로봇이 아이에게 비교육적 언행을 하는 등 문제가 발생할 수 있다. 이 모든 것이 AI 로봇윤리가 없으면 해결할 수 없는 문제다. 특히 AI 로봇윤리는 개발자나 회사뿐 아니라 사용자에게도 책임과 권리를 부여하는 방향으로 발전하고 있다. 앞으로는 일반인도 AI 로봇윤리에 대해 알아야 한다. 생활 밀착된 구체적 문제를 많이 다루기에 일반인에게도 진입 장벽은 의외로 낮다. 이런 실례를 기반으로 누구나 꾸준히 관련 내용을 연구하면 명실공히 ‘학자’ 수준의 전문가가 될 수 있다는 것이 김 교수의 생각이다. 학자에게는 결국 학위 유무보다는 특정 주제에 대해 일반인보다 많이, 올바르게 연구하는 것이 더 중요하기 때문이다.

AI 로봇윤리의 정립, 우리에게 놓인 선구자적 숙명

김 교수는 AI 로봇윤리 10대 핵심 요건 중 다양성 존중, 개인정보 및 프라이버시 보호, 투명성(시스템 내부 프로세스 등 정보를 사용자나 관리자가 알 수 있어야 함), 설명 가능성(시스템이 판단 결과를 출력했을 때 어떤 근거와 과정으로 그렇게 했는지 평이한 용어로 설명할 수 있어야 함), 책임성(시스템이 사고를 일으켰을 때 그 보상과 책임 여부에 대해 이해관계자별로 어느 정도 정해줄 필요가 있음), 안전성(시스템이 사고 시 사용자의 피해를 최소화해야 함) 등이 앞으로도 중요하게 다뤄질 것으로 내다보았다. 이미 미국과 유럽연합^{EU}, 국제 전기전자공학자협회^{IEEE} 등에서는 각 윤리적 요건을 객관적으로 서술·평가·인증하는 프로세스를 진행하고 있



AI 로봇윤리학자가 되려면?

- 1 전공 분야 외 전문적 지식도 갖춰야 한다. 그래야 문제에 대한 현실적 대안을 제시할 수 있다.
- 2 타 분야에 대한 열린 마음이 필요하다.
- 3 다양한 관점의 자료를 접하고, 시민사회 문제, 정치·문화의 변화 등에 관심을 갖는 사회 참여적 태도가 필요하다.

다. 공학 분야에서는 IEEE P7000~P7012 시리즈가 AI 로봇윤리의 표준으로 정립되고 있다. 즉 윤리적으로 올바른 제품일수록 시장에서 더 비싸게 팔린다는 것이다. 우리나라도 이러한 국제적 추세에 발맞춰야 한다는 것이 김 교수의 의견이다. AI 로봇윤리 분야의 발전에 따라 관련 직업도 더욱 다양해질 것이다. 학위와 테뉴어를 갖춘 연구자 외에도 말이다. 각 기술 기업에는 최고 윤리 담당관을 정점으로 하는 다양한 직책이 생겨 자사 제품의 윤리성을 책임질 것이다. 각급 학교에서 AI 로봇윤리를 교육하고, 관련 교재를 개발·제작하는 이도 생길 것이다.

앞서 말했듯, AI 로봇윤리는 이미 우리 삶 깊숙이 들어와 있다. 최근 들어 불거진 문제 중 하나가 챗GPT 등 대화형 AI가 할루시네이션¹ 현상을 일으켜 거짓말을 태연하게 하는 것이다. 사소한 문제일 수도 있지만, 사람들이 그런 거짓말을 무비판적으로 믿고 따르면 큰 문제가 될 수도 있다. AI는 결코 스스로 윤리를 깨칠

수 없다. 인간이 끊임없이 윤리를 가르치고, 이를 제대로 실행하는 지 감시해야 한다. 관리자는 AI의 부도덕한 행위를 발견해 막아야 하고, 사용자는 AI의 구조와 거기서 파생되는 결함을 숙지해 무절제하게 쓰지 않아야 한다(AI 리터러시 확보). 물론 AI에게 윤리를 교육하고 사용하는 인간 역시 올바른 윤리적 잣대를 지녀야 한다. AI에게 윤리를 가르치며 동시에 우리 인간의 윤리도 다시금 되돌아보는 것이야말로 AI 로봇윤리가 가져온 뜻밖의 장점일 것이다.

또 어떤 윤리적 상황에서도 선악을 명확히 가릴 수 없는 회색지대가 있기 마련이다. 트롤리 딜레마의 사례가 대표적이다. AI에 전적으로 윤리적 판단을 맡겨서는 안 되고, 인간의 윤리적 판단과 개입 가능성, 책임 소재를 남겨둬야 한다. AI의 용도에 따라 상충하는 여러 윤리적 원칙 중 특정 원칙을 더욱 중요하게 적용해야 할 수도 있다. AI 로봇윤리를 제대로 연구개발^{R&D}하지 않을 경우, 이는 민주주의에 대한 심각한 위협이 될 수도 있다는 것이 김 교수의 지적이다. 인간이 AI(또는 그 AI를 조종하는 다른 인간)의 노예가 될 수 있다는 것. 멀리 갈 것도 없이 AI 알고리즘이 가져다준, 진실하지 못한 편향된 자료만을 학습한 사람들이 확증 편향만을 키워, 타당한 판단을 하지 못하는 현 세태만 봐도 그 위험성을 알 수 있다. 이는 특히 우리나라에서 심각하다. 그러나 이러한 문제를 슬기롭게 극복할 경우, 우리나라는 AI의 선용에도 선도 국가가 될 수 있을 것이다.

인간과 AI가 평화롭게 공존하는 미래를 꿈꿔

인간을 이해하며 기본 의식과 지적·도덕적 판단력, 따뜻한 성품을 갖춘 컴패니언^{companion}(동반자) 로봇을 만드는 것이 그의 꿈이다. 그는 얼마 전 자신의 연구실에 사람 크기(135cm)의 휴머노이드 로봇을 도입해 인간의 다양한 모션을 카메라 영상으로 학습시키는 시연 기반 학습 기술을 개발 중이다. 이 기술이 완성되면 휴머노이드 집사로봇이 청소, 물건 가져오기, 돌봄 등 작업을 사람과 유사한 자연스러운 동작으로 구현하도록 인체 모션 DB를 만들 수 있다. 또 조종하는 사람이 특정 포즈를 취하면 로봇이 사람의 골격 모델을 파악해 그 포즈를 인식하고 따라 할 수도 있다. 그리고 AMA를 컴패니언 로봇에 임베딩하고 챗GPT 같은 대규모 언어 모델을 연결하면 가정용 휴머노이드 집사로봇이 상용화될 날도 머지않았다는 것이 그의 의견이다.

— 1

영어로 환각, 환영, 환청을 뜻하는 단어다. 챗GPT와 같은 AI 언어 모델에서 주어진 데이터 또는 맥락에 근거하지 않은 잘못된 정보나 허위 정보를 생성하는 것을 뜻한다.

똑소리단

‘똑’똑하게 ‘소’통하고 ‘리’뷰하는 <이달의 신기술> 독자‘단’

‘똑소리단’은 산업기술에 관심 있는 다양한 연령층의 독자로 구성되어 있으며, 매월 표지를 선정하고 콘텐츠와 관련한 의견을 제안하는 등 활발한 활동을 이어가고 있습니다. <이달의 신기술>을 함께 만들어가고 있는 똑소리단의 9월호 리뷰를 확인해보세요!



김정은

‘소부장’이라는 단어를 처음 접했는데, 미래를 위해서는 반드시 투자와 관심이 필요한 분야인 것 같습니다. 요즘 수소 관련 이슈가 화제인데, 잡지에도 실려 유익한 정보를 얻을 수 있었습니다. 이제 곧 추워질 텐데, 난방과 관련한 신기술이 있으면 알고 싶네요. 난방비가 오른다는 소식에 벌써부터 걱정입니다.

전유정

9월호도 내용이 알차서 배운 것이 많습니다. 전공이 과학과는 거리가 멀어 신기술이 나오면 받아들이는 독자 입장에서 이런 창구가 있다는 것이 기쁩니다! 불과 얼마 전 초전도체 문제로 나라가 떠들썩했는데, 초정밀 기기가 나날이 발전하고 있더니 우리나라의 기술력이 높아진 것 같아 마음이 뿌듯합니다. 10월호도 기대할게요.

[2p] All About 소부장

유강열

소부장 산업과 관련해 이슈 분류와 수치 등 분석 자료가 유익했습니다. 다양한 분야로 나눠 소개할 만큼 지식을 쌓거나 현재 경향을 파악하는 데 큰 도움이 되었습니다.

[4p] 초정밀·초박형·초소형화 시대

류승연

나노 단위의 작은 부품에서 전기차 급속충전 배터리 탄생까지! 놀라운 소부장 세계를 쉽게 이해할 수 있어 좋았습니다. 무엇보다 위기가 기회라는 말이 있듯이 우리나라 소부장 기술에서 수출 규제와 관련한 위기를 잘 극복했으며, 어떻게 나아가야 할지까지 자세히 기술해 더 좋았습니다. 자주독립적 기술로 이어지도록 정책과 지원이 잘 이루어지길 바랍니다.

[10p] 첨단 미래산업 선도하는 소부장 기업 총출동

조재현

‘중일 연간 소부장 수입액 변동표’를 보며 중국 의존도가 생각보다 심각하다는 것을 알았습니다. 기업에서 기술개발해 국산화해도 지속적인 개발을 위한 후속 지원이 있어야 하는데, 이 부분이 아쉽더군요. QCD 관점에서 중국과 차별화할 수 있는 특화 기술개발을 위해 노력해야 할 것 같습니다.

[20p] 미래 자동차 산업을 위한 반도체의 진화

김정현

미래 자동차는 단순히 이동수단이기는 컴퓨터에 가깝다고 생각합니다. 많은 양을 빠르게 생산하고 결과를 내는 과정에서 반도체의 중요성을 다시 한번 깨달았습니다.

[4p] 초정밀·초박형·초소형화 시대

이주현

학부 수업에서 나노 재료에 대한 강의를 들은 후 관심이 있었는데, 이번 기사가 나노 소재와 부품 기술에 관한 것이라 더욱 흥미롭게 읽었습니다. 특히 반도체, 이차전지 등에서 나노 소재가 어떻게 기술을 향상시키는지 구체적 사례를 소개해 더 와닿은 것 같습니다.

[4p] 초정밀·초박형·초소형화 시대

전준규

첨단소재 부품의 변천사와 나노 소재 부품의 미래를 사진과 삽화로 비교해놓아 일반인도 쉽게 이해할 수 있겠더군요. 어려운 데다 먼 나라 이야기 같은 소부장 산업의 현황에 대해 깊이 알 수 있어 유익한 시간이었습니다. 앞으로 국내 소부장 산업이 더욱 발전해 국가전략산업의 밝은 미래가 되기를 기대합니다.

[10p] 첨단 미래산업 선도하는 소부장 기업 총출동

김형우

국내 소부장업계 소식을 한 번에 알 수 있는 좋은 기회였습니다. 처음엔 ‘소부장’이라는 단어가 생소했는데, 다양한 전문가의 인터뷰를 보고 금세 이해할 수 있었습니다. 앞으로도 소부장 기업이 더욱 발전하기를 바랍니다.

[30p] 디지털트윈 기술로 선박을 통합 관리하다

유한결

해군에서 복무할 때 함선의 안전을 위해 기관병들이 몇 번이고 배를 순찰하던 게 기억납니다. 수소연료 선박도 중요하지만 그 안전을 지키는 기술도 눈여겨 보아야 할 때입니다.



REVIEW

[40p] 특허권 소송 전문 NPE는 정말 괴물인가?

류승연

기업이 열심히 개발한 기술을 NPE들이 특허권을 사들여 라이선스료를 받으려는 악당 이미지가 강했는데, 의외로 저평가된 기술 분야의 자금순환 역할을 하는 순기능이 있다는 사실에 놀랐습니다. 기술이 발전할수록 특허소송도 더 많아질 텐데, 기업들이 신경 써야 할 것이 더 많아지는 만큼 기술개발 발전을 위해 기업을 보호하는 법적 자문과 지원이 필요해 보입니다.

[52p] 기후변화 문제를 보는 시선과 수소 환원 제철

정다현

철강산업을 통해 성장하는 우리나라가 기후변화에 대한 벌금, 비용을 내야 하는 상황에서 기존 방식으로 발생하는 이산화탄소 대신 순수한 물을 발생시키는 수소 환원 제철의 중요성을 느꼈습니다. 그러나 수소의 대량생산 문제, 새로운 설비 시설 설치 문제가 있다는 것을 알게 되었습니다. 특히 수소 생산에 관심이 있는 저는 그 중요성이 크게 다가왔습니다.

[56p] 스마트폰 배터리 탈착, 정말 지구를 위한 걸까?

오선욱

스마트폰 배터리 탈착 의무화는 환경을 위함이기도 하지만, 무역과 공급망 강화 목적도 있는 것 같습니다. 환경과 산업 사이에 한국 기업이 물량 확보나 규제에 어려움이 없었으면 좋겠습니다.

[60p] 인공지능 기술이 이루는 지속 가능한 경영의 꿈

선보영

날이 갈수록 기술 융합을 통한 혁신이 지속되는 것 같습니다. 탄소배출 저감이라는 기술개발 목표 달성을 위해 화학적 기법뿐 아니라 AI를 도입한 사례가 인상깊었습니다.

[76p] 영화 <탑간: 매버릭> 첨단소재로 극한까지 나아가는 항공기

조재현

작년에 본 영화라 기사 내용이 흥미로웠습니다. 회사에서 무인항공기 부품을 제작하고 있지만 소재에 대한 고찰은 거의 없었는데, 기사를 통해 열차폐 코팅, 탄소나노튜브 등 기술을 알게 되었습니다. 10월 서울ADEX 항공 전시회에 참관하게 되면 항공기의 멋진 외관뿐 아니라 소재 분야를 관심 있게 봐야 할 것 같습니다.

[56p] 스마트폰 배터리 탈착, 정말 지구를 위한 걸까?

박주은

스마트폰 배터리 탈착형으로 제품군을 새롭게 만든다면 기존 스마트폰의 폐기 비용이 더 들어갈 것 같아요. 스타벅스의 리유저블컵처럼 환경을 위한다는 말로 오히려 환경을 해치도록 또 다른 제품을 만드는 건 아닐까요?

[52p] 기후변화 문제를 보는 시선과 수소 환원 제철

전준규

솔직히 수소 환원 제철이라는 단어를 처음 들어보았습니다. 제철 과정에서 탄소배출을 '0'으로 만들 수 있는 꿈의 제철 방식이라는 것뿐 아니라 아직도 100% 수소만 사용해 철강을 생산하는 방식이 상용화되지 않았다는 것도 알게 되었습니다. 탄소배출량을 획기적으로 줄여야 하는 업계의 도전과 함께 우리 기술로 만든 수소 환원 제철의 성공 소식을 손꼽아 기다리겠습니다.

[56p] 스마트폰 배터리 탈착, 정말 지구를 위한 걸까?

이유정

탈착형 배터리가 정말 환경에 도움이 되는 건지, 아니면 아시아 국가 기업 규제를 위한 건지 좀 더 조사해보고 싶네요! 후속 취재도 있으면 좋겠습니다

[70p] 한국과 기술협력으로 미래 항공기 개발 이끌 것

정다현

세계 최대 항공기 제작사 보잉 코리아와 한국이 미래 항공기 공동개발을 위한 협력에서 에릭 존 최고경영자의 스토리가 인상 깊었습니다. 여러 이해관계가 얽힌 파트너들과 앞으로 방향, 비전을 정하는 데 외교관으로서 활동할 때 얻은 능력을 발휘한 점이 흥미로웠습니다.

인간과 기계 간 소통을 더욱 편리하게!

장준혁 한양대학교 융합전자공학부 교수

오직 목소리만으로 기계를 움직이는 음성인식 기술. 단지 멋있어 보이기만 하는 기술은 아니다. 인간이 더욱 직관적 방식으로 기계와 의사소통할 수 있게 해주는 기술이다. 또 지문처럼 같은 목소리를 가진 사람이 매우 드물다는 특성상 보안기술과도 밀접한 연관이 있다. 알면 알수록 매력적이고 쓸모가 많은 이 기술로 ‘젊은 공학인상’을 받은 연구자를 만나보았다.

word 이동훈 photo 서범세

지난 3월 16일, 한국공학한림원은 제27회 한국공학한림원 대상 및 젊은 공학인상 수상자 3명을 발표했다. 이 중 젊은 공학인상은 50세 미만 공학 기술인 중 산업계와 학계에서 각각 1명씩 선정해 수여한다. 올해 이 상은 김형수 SK하이닉스 부사장과 장준혁 한양대학교 교수에게 돌아갔다. 이 중 장준혁 교수는 인공지능^{AI} 딥러닝 기술에 기반한 세계 최고 수준의 한국어 음성인식 기술을 독자 개발해 국내 음성인식 기술 분야 발전에 크게 공헌한 바를 인정받아 젊은 공학인상을 받았다. 그는 과연 어떤 기술을 개발한 것일까. 어떤 잠재력을 지니고 있을까.

한국어에 최적화된 음성인식 기술개발

경북대학교 전자공학부(학사), 서울대학교 전기공학부(석사)와 전기 컴퓨터 공학부(박사)에서 수학한 장 교수. 이후 캘리포니아대학교 산타바버라 캠퍼스에서 박사후연구원을 지내고, KIST와 인하대학교를 거쳐 현재 한양대학교 융합전자공학부 교수 및 전기정보통신기술연구소 연구소장을 지내고 있다.

음성인식 기술을 간단히 설명하면, 음성을 텍스트로 변환하는 기술이라고 할 수 있다. 딥러닝 기술의 도움으로 성능 고도화와 사용처 증가가 이루어지고 있다. 그러나 역설적으로 그럴수록 더욱 열악한 환경에서 사용되는 경우가 많아진다. 구체적으로는 크고 지속적인 소음, 불분명한 발화, 인간과 기계 간 대화 등이다. 이러한 약조건을

무릅쓰고 원하는 음성을 정확히 잡아내 인식해야 하는 과제가 있는 것이다.

그렇기에 잡음 제거 기술, AI 스피커에서 발생하는 에코 제거 기술, 멀티 마이크를 사용해 스피커의 위치를 파악하는 기술, 스피커가 내는 소리를 증폭시키는 빔포밍 기술 등 여러 기술의 개발이 필요하다. 그러나 이렇게 증폭된 소리도 정확히 인식해야 한다. 음성을 인식하려면 음소를 텍스트로 변환해야 한다. 음소는 언어 사용자가 인식하는 소리의 최소 단위로, 해당 언어의 소리 체계 내에서 다른 소리와 구별되어 대립적 기능을 한다. 문제는 이 음소와 텍스트 간에 일대일 대응이 일어나지 않고 불일치하는 경우도 많다는 것이다.

이러한 문제를 해결하기 위한 과거 음성인식 기술로는 하이브리드 모델이 있었다. 음성을 계층별(음소-단어-문장)로 각각 음향 모델, 발음 모델, 언어 모델을 적용해 계층별 나열 상태를 예측한 다음 이 모델들을 하나로 연결해 음성을 인식하려는 것이었다. 이 모델은 고전적 확률 모델에 많이 의존한다. 모델이 여러 계층이라 훈련 과정에서 많은 수작업이 요구된다. 또 고전적 확률 모델은 예측을 위한 맥락의 길이가 길어지거나 변수 간 복잡한 관계를 표현할 때 필요한 데이터 수와 모델 크기가 기하급수적으로 증가하는 문제가 있다.

이를 해결하기 위해 등장한 기술이 엔드투엔드^{End-to-End, E2E} 모델이다. 3개의 모델을 쓰는 하이브리드 모델과 달리 하나의 모델로 음성부



AI 딥러닝 기술에 기반한 세계 최고 수준의 한국어 음성인식 기술을 독자 개발해 젊은 공학인상을 받은 장준혁 한양대 교수.

터 문장까지 연결하도록 훈련시킨다. 고차원 음성 벡터를 적게는 몇 층, 많게는 수십 층의 심층신경망을 통과시켜 문장을 예측하도록 한다. 온전히 데이터에 의존해 학습하며, 결과적으로 아래층 신경망에서 음소와 유사한 단위의 정보를 학습하게 되고, 중간 정도 신경망에서 조금 더 큰 단위의 정보를 학습함으로써 문장을 완성한다. 사람이 직접 발음 모델을 만들 필요가 없고, 여러 모델을 독립적으로 학습시킬 필요가 없어 훈련이 간편하다. 또 모델의 학습과 연결이 분리되지 않으므로 모델의 연결 과정에서 성능이 하락하지 않는다.

한국어에 최적화된 기술 개발

장 교수는 E2E 모델의 한국어 인식 능력을 높이려 했다. 물론 E2E 모델은 하이브리드 모델에 비해 다양한 언어 인식 능력이 뛰어나다. 그러나 한국어에는 다른 언어에 없는 특징이 많다. 사투리와 신조어, 특유의 언어 사용 관례 등은 한국어 비사용자는 알기 어렵다. 유튜브에서 우리말을 자막으로 만들 때 ‘뽕사리’를 잘 내는 것도 그 때문이다.

이를 위해 장 교수는 한국어에 최적화된 세 가지 기술을 개발했다. 멀티 마이크 전처리, 딥러닝 기반의 음향 모델과 언어 모델이다. 멀

티 마이크는 스피커 위치를 정확하게 잡아내기 위해 사용되며, 이때 생기는 잡음을 제거하는 기술이 멀티 마이크 전처리다. 음향 모델과 언어 모델은 각각 음성을 음소 단위로 바꿔주는 기술, 단어 간 상관 관계를 이용해 최종 문장을 완성하는 기술이다. 이러한 기술개발을 통해 삼성전자 빅스비, LG전자 Think Q, 현대자동차 커넥티드카 음성인식 서비스, SK텔레콤 NuGU 등 국내 AI 음성인식 서비스의 상용화에 기여했다.

영화 <아이언맨>의 AI 비서 ‘자비스’는 주인 토니 스타크와 자연어로 대화하며 그의 요구를 충족시킨다. 그런 멋진 시스템을 만들어 내는 것이 장 교수의 목표다. 무섭게 발전하는 음성인식 기술을 보면 그런 날도 머지않은 것 같다. 인터뷰를 마무리하며 후학을 위한 조언을 부탁하자, 그가 말했다. “기왕에 한 번 사는 인생 남이랑 똑같이 대중대중 사는 게 아니라 최선을 다해 의미 있게 살다 갑시다. 자신이 남보다 잘할 수 있는 분야에서 높은 목표를 이루기 위해 묵숨 걸고 매달려보라는 겁니다. 그런 태도가 오랫동안 이어지면 언젠가는 삶이 더욱 의미 있고 윤택해지겠죠. 남보다 더 큰 행복과 성취감, 휴식과 보상도 누릴 수 있습니다. 그리고 세상을 더욱 좋게 바꿀 수도 있습니다. 제가 여태까지 그렇게 살았기에 자신 있게 말씀드립니다.”



영화 <로봇>



<로봇> 영화 포스터.

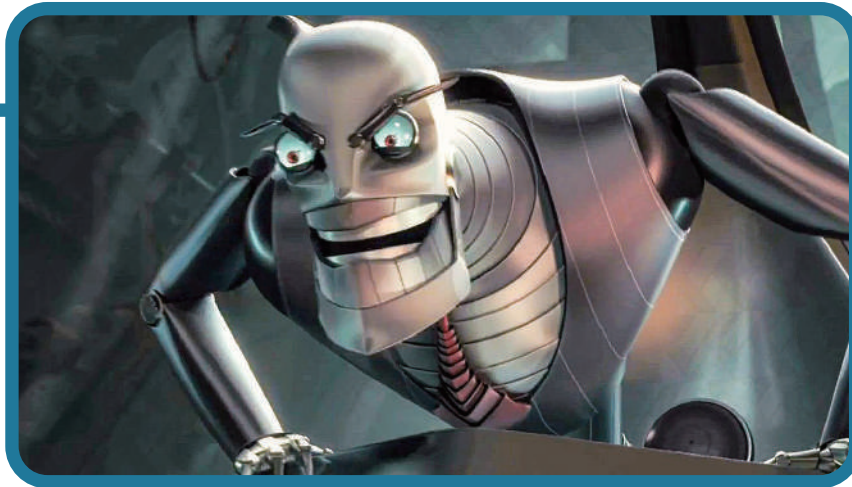
어쩌다 도시를 구한 촌 동네 로봇

흔히 SF를 가리켜 “미래를 배경으로 한 현대 우화”라고 말한다. 사실 이제는 식상하기까지 한 정의다. 그러나 그 사실을 지극히 노골적으로 보여주면서도 생각할 거리를 던져주는 작품은 드물다. 첨단기술과 자본주의가 지배하는 세상을 살아가는 우리의 슬프고도 우스운 자화상. 바로 이 작품 속에 있다.

word 이동훈(과학 칼럼니스트)

<로봇>, 생각할수록 참 단순한 제목이다. 영화 제목을 검색엔진에서 찾아보는 요즘 시대에는 뭔가 잘못 지은 제목 같기도 하다(참고로 이 영화는 이미 인터넷이 보급된 시기인 2005년에 나왔다). 일반명사를 작품 제목으로 썼다가는 속칭 ‘사오정 검색’만 양산하기에. 그래서인지 적어도 우리나라에서는 반응이 영 시원찮았다. 한국

관객 62만 명을 동원했다. 전 세계적으로 보면 그래도 선방한 축이지만(이 영화의 예산은 8000만 달러였고, 박스오피스 수입은 2억6250만 달러였다). 하지만 이 영화는 뜯어볼수록, 그렇게 치워버리기에는 아까운 뭔가가 있다. 무엇보다 21세기 우리네 모습을 너무도 신랄하게 비판한다.



빅웰드 산업의 탐욕스러운 새 사장 래칫. 더 많은 이윤을 위해서라면 가난한 로봇이 나가도 신경 쓰지 않는다.

영화는 ‘리벳 시티’라는 작은 도시에서 시작된다. 사람은 단 한 명도 나오지 않고, 오직 로봇만 존재하는 세상이다. 로봇 부부인 허브 카퍼바텀(스탠리 투시 분)과 리디아 카퍼바텀(다이앤 위스트 분) 사이에 아들 로봇 로드니(이완 맥그리거 분)가 태어난다. 가장인 허브가 레스토랑에서 접시닻이를 하며 생활하는 가난한 집안이다. 어느 날 로드니는 빅웰드(멜 브룩스 분)가 이끄는 대기업 ‘빅웰드 산업’을 알게 된다. 뛰어난 발명가인 빅웰드는 자신이 개발한 첨단기술을 이용해 세상을 이롭게 하는 방향으로 회사를 운영하고 있다고 말했다. 또 전 세계 훌륭한 발명가와 과학 기술자에게 회사의 문호를 개방해 그들의 아이디어가 빛을 볼 수 있도록 기회를 준다고 했다. 발명에 소질이 많지만 아버지처럼 접시를 닦던 로드니는 직접 개발한 산업용 로봇 ‘원더봇’(크리스 웨지 분)을 가지고 빅웰드를 만나기로 결심한다. 그는 빅웰드 산업의 힘을 빌려 원더봇을 상품화해 큰돈을 벌고 싶었다.

약당 래칫, 로봇 시티 장악을 꿈꿔 ▶

하지만 일이 순탄하게 풀리면 영화가 아니다. 천신만고 끝에 빅웰

드 산업 본사가 위치한 대도시 로봇 시티에 당도한 로드니. 하지만 빅웰드 산업의 문은 굳게 닫혀 있었다. 정문을 지키던 알미온 경비원 팀(폴 지어마티 분)은 로드니를 한참 놀리다 드디어 말해준다. 빅웰드 산업은 이제 더 이상 발명가도, 기술자도 채용하지 않는다는 사실을.

빅웰드 산업에는 이제 더 이상 빅웰드도 없다. 회사는 돈밖에 모르는 새로운 최고경영자 피니어스 T. 래칫(그레그 키니어 분)의 손에 넘어간 지 오래였다. 래칫은 신기술을 확보해도 그것을 로봇의 건강과 행복을 극대화하는 데 사용할 생각이 전혀 없었다. 수명이 다해가는 로봇의 유지관리에 필요한 저렴한 대체 부품은 단종시키고, 대신 매우 비싼 업그레이드 파트만을 강매하려고 했다. 업그레이드 파트를 살 돈이 없는 로봇은? 가차 없이 부셔져 자원 재활용 센터 ‘츄 슈’행이다. 그리고 그 센터는 래칫의 어머니 마담 개스킷(짐 브로드벤트 분)이 운영하고 있다. 개스킷과 래칫 모자는 로봇 시티의 모든 로봇이 파괴되는 한이 있어도 자신의 이익만 챙길 셈이었다.

빅웰드 산업에서 쫓겨난 로드니는 펜더 핀힐러(로빈 윌리엄스



로드니가 개발한 로봇 '윈더봇'. 영화 속에서 아주 잠깐이지만 로봇을 이용한 스마트 생산의 엄청난 위력을 보여준다.

영화의 세 주인공. 왼쪽부터 파이프, 로드니, 펜더.



분)를 위시한 일군의 낮은 거지 로봇들을 만난다. 기술이 뛰어난 로드니는 그들을 공짜로 고쳐주면서 가난한 로봇의 메시아로 떠오른다. 계획에 차질이 생기자, 개스킷-래치 모자는 로드니를 찾아 제거하려 한다. 하지만 로드니도 이에 저항하기로 마음먹으면서 극은 클라이맥스로 치닫는다.

아동용 영화로 포장한 성인용 사회풍자극

이 영화는 애니메이션인 데다 모든 연령층이 관람할 수 있다. 하지만 내용을 보면 성인용 영화나 다름없다. 직설적으로 말하면, 세상의 더러운 모습을 여과 없이 보여준다. 게다가 이 영화의 저변에는 인류 기술사^{技術史}와 문명사^{文明史}에 대한 통찰 그리고 미국을 위시한 현대자본주의 선진국의 고질병에 대한 통렬한 고발이 깔려 있다.

사실 인간은 신체적 조건만 놓고 보면 자연계의 최상위 포식자 자리를 차지할 만한 동물은 아니다. 맨손의 인간이 무슨 수로 사자나 호랑이, 곰과 싸워 이길 수 있을까. 심지어 지금도 지역에 따라 아침에 눈을 때마다 맹수 걱정을 해야 하는 동물이 바로 인간이다.

인간에게 날카로운 발톱과 이빨이 없어도 세계의 이치를 알 수 있는 뛰어난 두뇌가 있다. 인간은 두뇌를 사용해 자연을 정복하고,

자신이 원하는 대로 개조하거나 이용할 수 있는 방법을 찾아냈다. 이 방법이 바로 기술이다. 인간이 석기라는 도구를 만들어 사용하고, 농사지어 식량 생산량을 급격히 늘리게 된 것도 어찌 보면 당대 첨단기술 연구개발 활동의 산물이라고 할 수 있다.

기술 발전은 그 자체로 끝나지 않는다. 필연적으로 사회와 제도, 사상의 변화를 가져왔다. 기술 발전에 따라 석기 문명이 철기 문명으로 탈바꿈하며 인간의 전투력과 생산력이 급증했고, 인간 공동체도 점점 커졌다. 혈연관계가 아니거나 미약한 사람들을 공동체 또는 국가라는 이름의 울타리 안에서 일체감을 갖게 해 불필요한 내분을 없애기 위해서는 그들에게 공통의 서사(종교와 철학)를 주입해야 했다. 인류는 그래서 4대 성인(4대 성인)과 그들의 가르침인 고등 종교를 받아들였다.

18세기에 발명한 증기기관이라는 신기술 덕분에 인간은 비로소 인력도 자연력도 아닌, 스스로가 만들어낸 기계 힘으로 일할 수 있었다. 이러한 가용 에너지의 폭발적 증가는 산업혁명을 일으켰고, 인류(더 엄밀히 말하면 산업혁명을 가장 먼저 일으킨 일부 인류)의 전투력과 생산력은 다시 한번 폭발적으로 급증했다. 그러나 누구나 평등하게 증기기관을 소유한 것은 아니었다. 증기기관을 소유한 자와 그렇지 못한 자의 빈부격차 역시 인류 역사상 유례없을 정도로 벌어졌다. 이러한 산업 시대의 딜레마에 대한 사상적 해법은 지극히 상반된 두 가지 형태로 나타났다. 애덤 스미스의 자본주의와 카를 마르크스의 공산주의가 바로 그것이다. 자본

주의는 “증기기관을 소유한 자여, 능력껏 마음껏 생산하고 소비하라. 남에게 피해 주지 않는 한 이윤 추구 활동은 국가의 부를 늘릴 뿐이다”라고 말했다. 공산주의는 “몇몇 사람만 증기기관을 독점하니 빈부격차가 생기고 세상이 불행해진다. 국가가 개인에게서 모든 증기기관을 빼앗아 운영하고, 그 생산물을 국민에게 균등하게 배분하는 것만이 행복이다”라고 외쳤다. 그러나 1917년 러시아 공산혁명과 1922년 소련의 건국으로 등장한 현실 공산주의는 사회 전반에 팽배한 비효율과 빈곤이라는 덫을 극복하지 못하고 70여 년 만에 붕괴되었다.

이에 흑자는 ‘역사의 종말’이라고 표현하며 공산주의와의 체제 경쟁에서 이긴 자본주의의 위대함을 찬미했다. 하지만 그 후 30여년이 지난 지금, 세상은 과연 장밋빛일까? 그렇지 않다는 것은 이 영화에서 패러디한 부분만 봐도 알 수 있다. 영화 속 개스킷-래치 모자처럼, 더 큰 이윤을 위해서라면 생명이라는 고귀한 가치가 차 없이 뱉어버리는 사람들이 얼마나 많은가. 우리는 영화 속 경비원 팀처럼, 한 인간의 존엄성 크기를 그가 보유한 자본 가격에 따라 다르게 보는 우를 범하는 건 아닐까. 그리하여 어느새 지구를 생명이 살 수 없는 별로 만드는 데 일조하고 있는 것은 아닐까.

기술, 인간과 생명을 지키는 데 쓰여야 ▶

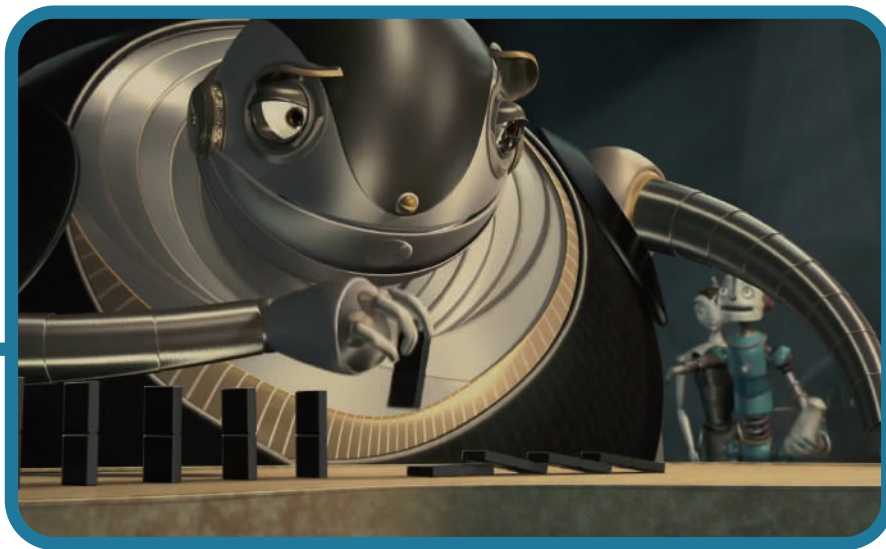
하나 마나 한 이야기지만, 적어도 인류가 멸종하기 전까지는 세계

에서 가장 중요한 가치는 인간이고 생명이다. 그리고 인류가 지닌 모든 유무형 재산은 그 가치를 지키고 증진하기 위해 쓰여야 한다.

래치에게 유배되어 도미노 놀이에 빠져 살다 로드니를 만나고 나서야 정신을 차린 빅웰드도 그 사실을 깨쳤을 것이다. 결국 그는 로드니와 손잡고 가난한 로봇을 규합해 개스킷-래치 모자를 물리치고 로봇 시티를 다시 살기 좋은 곳으로 만든다. 그리고 로드니를 자신의 오른팔 겸 후계자로 선포하며 영화는 끝을 맺는다.

산업혁명 이후에도 인류의 기술 진보 그리고 그에 따른 세상의 변화는 계속되었다. 20세기 중반, 인류는 원자력을 손에 넣었다. 이로써 인류는 스스로를 멸종시킬 수 있는 힘을 얻었다. 21세기 들어 인류가 만들어낸 또 다른 지능체, 즉 인공지능과 로봇 역시 인간의 하인에 머물지 않고, 아무리 얽잡아봐도 인간의 친구 자리까지는 넘볼 잠재력을 지니고 있다. 하물며 우리가 사는 대한민국은 세계에서 인구 대비 로봇 보유 대수가 가장 많은 나라다. 지금 이 순간에도 이 땅에서는 다종다양한 로봇이 인간에게 봉사하고 있다.

역시 당연한 이야기지만, 로봇을 포함한 모든 기술은 가치중립적이다. 그 자체로는 선도 악도 아니다. 무엇을 위해 사용하느냐가 중요할 뿐이다. 단 한 명의 인간도 나오지 않으면서도, 기술과 자본은 인간의 얼굴을 갖춰야 한다고 힘주어 말하는 영화. 그것이 바로 우리가 웃고 즐긴 영화 <로봇>이다.



빅웰드는 로드니의 말에 깨달음을 얻고 민초들을 위한 싸움에 동참한다. 그의 행보야말로 기술의 올바른 사용 방향에 대한 메타포가 아닐까.

2023년도 수소터빈 시험연구센터 구축사업 보조사업자 모집 공고

무탄소 발전의 조기 상용화 기반을 마련하고 해외 기술과 격차를 극복하기 위한 상용급 성능 검증 규모의 수소터빈 시험연구센터를 구축하기 위해 보조사업자를 모집합니다.

사업 기간

2023년 11월 1일~2026년 12월 31일(38개월)

지원 규모

총사업비 480억 원 내외(국비 355억 원, 지방비·민자 125억 원)

사업 내용

실제 운전 환경인 고온·고압 환경에서 발전용 수소터빈의 연소 성능을 시험평가할 수 있는 인프라 구축

- 1 설비 구축: 수소터빈 시험평가 장치 설계 및 전문 시험 장비 구축
- 2 센터 건축: 센터 부지 정비 및 주변 인프라 연계를 통한 센터 건축
- 3 기술 확보: 수소터빈 시험평가 인프라 구축 엔지니어링 기술 확보

보조사업자 신청 자격

수행 기관: 수소터빈 산업의 기술적 전문성 및 시험평가 운영에 대한 전문성을 바탕으로 국가 인프라 구축 사업을 수행할 역량을 보유한 기관

신청 자격: '국가를 당사자로 하는 계약에 관한 법률 시행령' 제12조에 의한 입찰 자격 요건을 갖춘 자

신청 방법

* 보조사업을 수행하고자 하는 자는 공고문 원본의 사업 안내문과 RFP를 참고해 사업계획서 작성 후 신청 방법에 따라 신청

** 접수 기한 내 '온라인'과 '오프라인' 모두 접수 완료한 경우에 한해 신청 완료 처리

온라인 신청

제출처: 국고보조금통합관리시스템(e나라도움, www.gosims.go.kr)

신청 기한: 2023년 10월 20일(금) 오후 5시까지

온라인 접수 문의: e나라도움 사용자 지원센터, 1670-9595

오프라인 신청

공고문에 첨부된 사업계획서 및 첨부 문서 등을 작성해 우편 또는 방문 제출

제출처: 서울시 강남구 테헤란로 114길 14, 유니온 빌딩(우. 06175)

한국에너지기술평가원 전력산업실 보조사업 담당자

제출 기한: 2023년 10월 20일(금) 오후 5시까지(우편·방문 제출은 기한 내 도착분에 한함)

제출 서류: 사업계획서 및 첨부 문서(제출 부수는 문서별 상이함)

* 신청 전 자세한 공고 내용 확인을 위해 산업통상자원부 홈페이지 내 공고문 원본을 반드시 참조하시기 바랍니다.

독자 퀴즈

다음 ○에 들어갈 단어를 적어주세요!

퀴즈에 참여해주신 정답자 분들께는 소정의 상품을 보내드립니다.

퀴즈 답변과 휴대폰 번호를 grintjssu@hankyung.com으로 보내주세요.

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

○○○○○는 이제 가상화로 발전하고 있다.
특히 디지털트윈 기술을 통해 실제 공장에서 발생하는 데이터를 가상공간에 똑같이 재현해 변화된 미래 공장의 모습을 그려가고 있다.

NEW TECHNOLOGY OF THE MONTH

산업통상자원부 산하 한국산업기술기획평가원,
한국산업기술진흥원, 한국에너지기술평가원,
한국공학한림원 등 R&D 대표기관 및
최고 권위인 공학기술자단체가 공동으로
발행하는 <이달의 신기술>



정기구독 안내

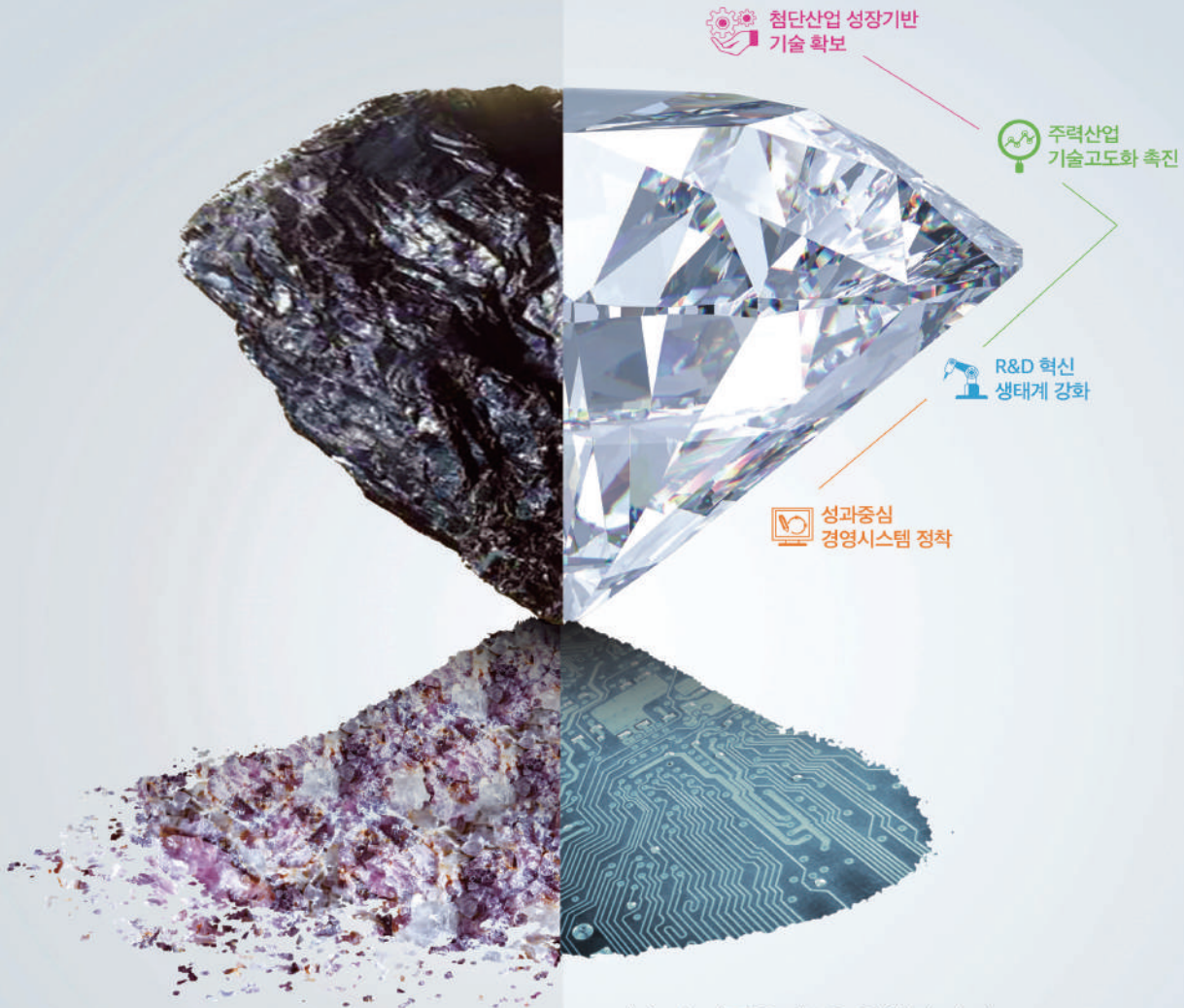
<이달의 신기술>은 2023년 11월호부터 무료로 전환될 예정으로, 신규 정기구독 서비스를 중단합니다. 현재 구독 중인 독자분들에게는 10월호까지 매거진을 발송해드릴 예정입니다.



02-360-4859

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