

Tech Focus

Aug. 2026

Vol. 34



Focus Story
> Fall in Tech

차세대 데이터센터의 핵심 경쟁력,
'고효율 냉각'에 답이 있다

Special Report
> M.AX Series

AI와 차세대 반도체 산업의
새로운 지형도

Changing Tomorrow
> R&D Project①

AI의 눈을 만드는
기술

R&Dism
> 슬기로운 기술 생활

변압기 속 숨은 일꾼 '절연유',
AI 데이터센터의 '핵심 냉각재'로 진화



<테크 포커스>
웹진 보기
매월 10일 오픈

Tech Focus

Aug. 2026

<테크 포커스> 웹진에서 8월호 기사를 확인하세요! techfocus.kr

Vol. 34



Special Report

14

M.AX Series

AI와 차세대 반도체 산업의 새로운 지형도

Changing Tomorrow

20

R&D Project①

(주)아이닉스

AI의 눈을 만드는 기술

23

R&D Sense①

#NPU

24

R&D Project②

(주)웨이센

AI가 의사와 함께 내시경을 본다

28

R&D Sense②

#진단용 의료기기

Focus Story

2

Infographic

It's Hot, AI 반도체

4

History

반도체 아키텍처의 발전사

8

Film&Tech

반도체 칩에 깃든 지능, AI가 묻는 생명의 경계
<공각기동대>

10

Fall in Tech

차세대 데이터센터의 핵심 경쟁력, '고효율 냉각'에 답이 있다



등록일자 2013년 8월 24일 발행일 2026년 8월 5일 발행인 한국산업기술기획평가원 원장직무대행 서용원 발행처 한국산업기술기획평가원, 한국산업기술진흥원, 한국공학한림원
주소 대구광역시 동구 첨단로8길 32(신서동) 한국산업기술기획평가원 후원 산업통상부 편집 및 제작 (주)한경매거진앤북(02-360-4816)
인쇄 한국장애인문화콘텐츠협회(02-2279-6760) 문의 한국산업기술기획평가원(053-718-8386) 잡지등록 대구동, 라00026
본지에 게재된 모든 기사의 판권은 한국산업기술기획평가원이 보유하며, 발행인의 사전 허가 없이는 기사와 사진의 무단 전재, 복사를 금합니다.
필자의 원고 및 취재원의 인터뷰 방향은 한국산업기술기획평가원의 입장과 일부 차이가 있거나 다를 수 있습니다.



29

R&D Policy

첨단산업 경쟁력 높이는 정책 드라이브

32

Teen+Tech

아치뎀은 힘에 '맞서지' 않는다

36

Tech Q&A

목소리 나는 일상 속 과학 이야기

One More Tech

38

Tech for Earth

고효율 히트펌프로 탄소 감축에 나선다

42

키워드 산책

소리에 대하여 ♪

R&Dism

46

슬기로운 기술 생활

변압기 속 숨은 일꾼 '절연유',
AI 데이터센터의 '핵심 냉각재'로 진화

52

공학자의 시선

류혜진 한국과학기술연구원 반도체기술연구단 책임연구원
반도체의 미래는 새로운 소재에서 시작된다

56

잡 인사이드

최경자 한국화학연구원 친환경신물질연구센터장
편견을 넘어 과학으로,
친환경 농업의 미래를 열다

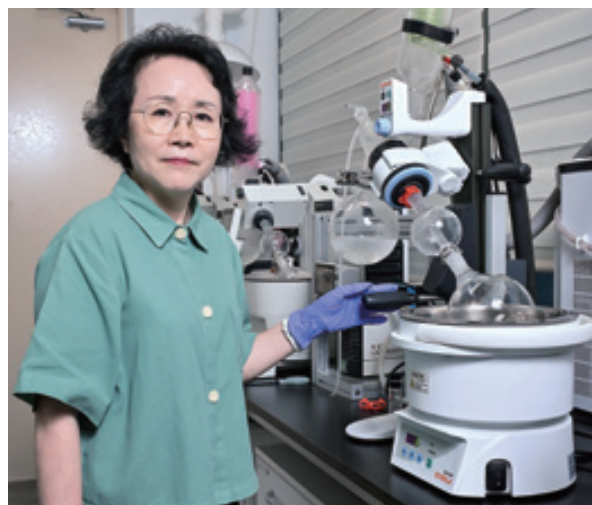
60

Review

목소리단 리뷰

61

독자 퀴즈



생성형 AI 시대를 맞아 AI 반도체는 국가 제조 경쟁력을 좌우하는 핵심 기술로 떠올랐다. AI 서버 중심 시장에서 온디바이스 AI 시장으로 확장되면서, 경쟁의 초점도 고성능 칩 개발을 넘어 설계·제조·실증을 아우르는 산업 생태계 구축으로 이동하고 있다. M.AX 얼라이언스 AI 반도체 분과는 이러한 변화에 대응해 국산 AI 반도체 생태계 구축을 추진하고 있다.

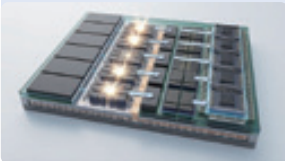
IT'S HOT,

AI 반도체

1 AI 반도체 패러다임 변화



AI 반도체 핵심 키워드

HBM	PIM	온디바이스 AI	첨단 패키징
AI 서버용 초고대역폭 메모리	메모리 내부에서 연산을 수행하는 차세대 AI 메모리	기기 안에서 AI를 직접 실행하는 기술	여러 칩을 하나의 시스템처럼 연결하는 기술
			

2 M.AX 얼라이언스 AI 반도체 분과가 만드는 생태계

M.AX 얼라이언스는 산업통상부가 제조업의 AI 전환^{AX}을 위해 출범한 민관 협력 플랫폼이다. AI 반도체 분과는 산업 현장의 수요를 국산 AI 반도체 기술과 연결해 설계부터 제조·실증·상용화까지 이어지는 협력 생태계를 구축하고 있다.

① 무엇을 만드는가

AI 반도체 산업 생태계

핵심 목표

산업별 수요 맞춤형 AI 반도체 개발



- 국산 온디바이스 AI 칩 확보
- AI 반도체 실증 기반 구축
- 제조 AX를 위한 핵심 인프라 조성

대표 사업

K-온디바이스 AI 반도체 기술 개발 사업



- 수요 맞춤형 국산 AI 칩 10종 개발
- 완제품 탑재 및 실증
- 산업 현장 적용 확대

② 어떻게 만드는가

협력 생태계 구축



제조 지원 TF

· 반도체 IP 지원

· EDA 지원

· 파운드리 연계

· 시제품 제작 지원

③ 무엇이 달라지나

AI 반도체 생태계 구축



반도체 아키텍처의 발전사

‘현대 문명의 쌀’이라 불릴 만큼 흔해진 반도체. 하지만 반도체는 절대 마법의 도깨비방망이가 아니다. 철저히 물리학 법칙을 통해 움직인다. 반도체의 구조인 아키텍처는 어떻게 발전해왔을까?

글 이동훈 과학 칼럼니스트

반도체 아키텍처란?

우선 반도체 아키텍처란 무엇인지 이야기하고 넘어가는 것이 좋겠다. 반도체 아키텍처란 다른 아닌 반도체의 구조^{Architecture}를 의미한다. 반도체 내부 구조 외에도 작동 규칙까지 포괄한다. 건축가가 건물을 지을 때 방·복도·문의 위치와 사람들의 동선을 신경 써야 하는 것처럼 반도체를 설계할 때도 데이터의 흐름과 연산 구조를 짜야 한다. 반도체 아키텍처의 주된 요소는 다음과 같다. 우선 반도체 구성품의 역할 및 구조 배치다. 반도체에는

명령어를 해석하고 실행 순서를 조절하는 제어장치, CPU 내부에서 처리할 명령어나 연산의 중간값 등의 데이터를 일시적으로 저장하고 전달하는 레지스터, 실질적인 연산이 이루어지는 ALU(산술 논리 장치) 등이 필요하다. 이 구성품들은 물론이고 데이터 이동통로의 너비와 경로 등을 효율적으로 정해야 한다.

두 번째는 컴퓨터가 알아듣는 명령어의 종류와 규격의 설정이다. 모든 소프트웨어는 반도체 아키텍처가 이해할 수 있는 언어(명령어)로 번역되어야 작동할 수 있다.

반도체 아키텍처는 원래 중요했다. 컴퓨터의 심장부인 반도체의 구조와 지향점을 결정하기 때문이다. 즉 컴퓨터의 패러다임 변화와 밀접한 연관이 있다.

아키텍처는 최근 또 다른 이유로 중요해지고 있다. 바로 반도체 미세공정이 한계를 드러내고 있기 때문이다. 사람들은 흔히 반도체의 성능을 얘기할 때 미세공정에 주목하는 경향이 있다. 미세공정이란 트랜지스터를 최대한 작게 만들어, 단위면적에 최대한 많이 올릴 수 있는 공정을 말한다. 뉴스에 나오는 “X 나노미터 공정 성공!” 같은 것은 그만큼 작은 트랜지스터를 만들었다는 말이다.

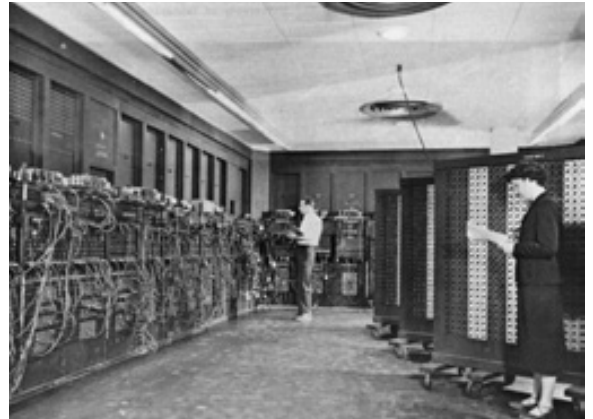
그런데 트랜지스터가 너무 작아지면 단채널 현상^{Short Channel Effect}이 생겨 무력화될 수 있다. 트랜지스터는 전기가 출발하는 소스, 전기가 도착하는 드레인, 그리고 그 사이에서 전기의 흐름을 통제하는 문인 게이트로 이루어져 있다. 게이트에 전압이 가해지면 채널을 통해 소스에서 드레인으로 전자가 흐르면서 동작한다. 하지만 트랜지스터가 너무 작아지면, 소스와 드레인 간 거리도 너무 가까워져 게이트가 열리지 않았는데도 소스와 드레인이 서로 간섭을 일으킨다. 즉 게이트가 전기 흐름을 통제하는 본연의 역할을 하지 못하게 된다. 이것이 단채널 현상이다. 이러한 단채널 현상은 고도의 아키텍처 기술로 극복해야만 한다. 이는 인공지능 대량 보급으로 인해 반도체 수요가 폭발적으로 증가한 현대에 특히 중요하다.

이러한 아키텍처는 당대에 인류가 직면한 가장 큰 수학적 문제를 해결하는 데 주안점을 두며 진화해왔다. 결국 반도체가 탑재되는 컴퓨터^{Computer}는 본질적으로 계산^{Compute} 도구이기 때문이다.

범용 컴퓨터 시대를 연 폰 노이만 구조

컴퓨터의 역사를 살펴보면 최초의 컴퓨터는 군용 목적으로 개발되었음을 알 수 있다. 독일의 암호를 해독하기 위한 영국의 콜로로서스, 포탄의 탄도를 계산하기 위한 미국의 에니악 등이 대표적이다.

이들 초창기 컴퓨터에도 나름의 아키텍처는 있었다. 다만 그 아키텍처가 순전히 인간의 손으로 이루어지는 지극히 비효율적인 방식이었다는 게 문제지만 말이다.



인류 최초의 컴퓨터인 에니악. 여기에도 나름의 아키텍처는 있었다. 프로그램이 바뀔 때마다 사람이 며칠씩 걸려 일일이 그 아키텍처를 수동으로 바꿔줘야 하는 구조였지만 말이다.

에니악의 사례를 들어보자. 에니악은 프로그램만 바꾸면 탄도 계산 외에도 기상 예측, 원자폭탄 개발 시뮬레이션 등 다양한 수학적 계산을 수행할 수 있었다. 그런데 이 프로그램을 바꾸는 방식이 문제였다. 에니악에는 프로그램을 저장할 수 있는 저장장치가 없었고 하드웨어 구조(아키텍처) 자체가 프로그램을 껴하고 있었다. 그 때문에 바뀐 프로그램에 맞는 새로운 수식을 계산하려면, 그에 맞춰 독립된 누산기 20개(에니악의 주요 연산장치 역할을 했다)의 스위치 설정 및 연결 케이블의 연결 상태를 사람이 일일이 다 바꿔줘야 했다. 이러한 변경 작업은 며칠씩이나 걸렸다.

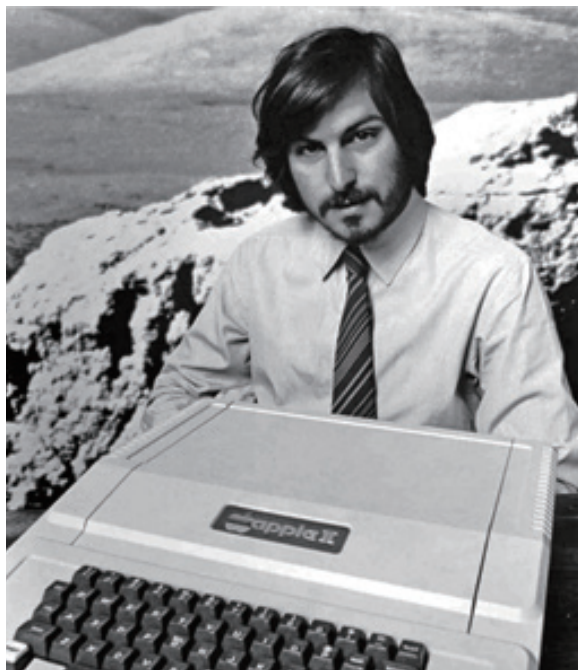
이를 해결한 것이 수학자 존 폰 노이만이 1945년 제안한 폰 노이만 구조다. 그 핵심은 프로그램(명령어)을 데이터와 똑같은 형태로 메모리에 저장하는 것이다. 이를 내장 프로그램 방식이라고 부른다. 이 구조를 사용하는 컴퓨터는 더 이상 전선을 바꿀 필요 없이, 메모리에 로드되는 프로그램 파일(소프트웨어)만 갈아 끼우면 어떤 새로운 연산도 수행할 수 있다.

현대적 반도체 아키텍처의 구조를 제시, 에니악과 같은 ‘수동 아키텍처’에서 탈출하게 해준 존 폰 노이만. 그의 이론은 21세기 현재까지도 우리의 정보통신 생활의 기초를 이루고 있다.



폰 노이만 구조는 크게 5가지 구성 요소로 이루어진다. 이 틀은 현대의 최신 스마트폰이나 슈퍼컴퓨터도 그대로 따르고 있다. 그것은 바로 제어장치(기억장치에서 프로그램 명령어를 꺼내 해석하고, 시스템 전체에 지시를 내림), 연산장치(제어장치의 지시에 따라 연산을 수행), 기억장치(프로그램과 데이터를 저장), 입력장치(외부 데이터와 명령을 시스템 안으로 전달), 출력장치(연산 결과를 사람 또는 다른 기기에 내보냄)다. 이 가운데 제어장치와 연산장치가 흔히 말하는 CPU^{Central Processing Unit}(중앙처리장치)를 이룬다. CPU는 반도체뿐 아니라 컴퓨터시스템의 두뇌 역할을 맡는다.

이러한 폰 노이만 구조는 범용 컴퓨터 시대를 열었지만 태생적 한계도 안고 있었다. ‘폰 노이만 병목현상’이 그것이다. 이는 연산장치와 기억장치 사이의 통로가 하나뿐이라 양자 간에 데이터가 오갈 때 생기는 정체를 의미한다. 이는 기억장치보다 연산장치가 더 빨리 성능적 발전을 이룸에 따라 더욱 심각한 문제가 되었다.



자신이 만든 퍼스널컴퓨터^{PC} 애플 II를 들고 있는 스티브 잡스. 전자기술의 발전으로 이룬 컴퓨터의 소형화 고성능화는 PC 시대를 낳았고, 이는 컴퓨터에 부여되는 임무의 다양화로 이어졌다. 반도체 아키텍처는 이에 대응하기 위해 다양한 병렬처리 능력이 발전했다.

PC 시대에 맞춰 발전한 병렬처리 능력

앞서 말한 에니악 같은 초창기 컴퓨터는 고층빌딩의 층 하나를 다 채우고도 남을 만큼 거대했다. 이후 전자기술의 발전은 컴퓨터의 성능은 높이고 크기는 축소시켰다. 1970년대에 이러한 기술적 발전을 선두에서 알아챈 컴퓨터 마니아들이 책상 위에도 올려놓을 수 있는 소형 컴퓨터를 만들기 시작했다. 그리고 이 장르의 상업성을 알아챈 기업가들이 이러한 소형 컴퓨터를 완제품 형태로 대량생산하면서 오늘날과 같은 PC(개인용 컴퓨터) 시대가 열린다.

PC 시대에 들어 컴퓨터는 단순한 계산기가 아닌, 다양한 인간 능력을 확장하는 도구로서의 성격이 강해졌다. 이에 따라 인간과의 실시간 인터랙션 능력, 시청각 정보처리 능력(멀티미디어), 고속 개인용 저장장치 제어 능력, 확장성과 범용 호환성, 더 나아가 사용자들이 많이 쓰는 다양한 소프트웨어(특히 스프레드시트, 워드프로세서 등) 실행 능력이 중시되었다. 특히 2000년대 들어 고화질 영상, 3D 영상 등도 처리해야 하면서 반도체 아키텍처는 모니터 화면 속 가득한 수백만 개 픽셀의 위치와 색상을 초당 60번씩 계산해내야 하는 어려운 일을 맡게 되었다.

이러한 다양한 업무를 동시에 처리하기 위해 반도체 아키텍처는 병렬처리 능력을 강화하는 방식으로 진화했다. CPU 하나로는 이 모든 업무를 처리할 수 없으므로 그래픽은 그래픽 전담 아키텍처에, 사운드는 사운드 칩셋 등의 사운드 전담 아키텍처에 업무를 분담시키는 방식을 채택하게 된 것이다. 그래픽 전담 아키텍처는 GPU(그래픽 처리장치)로 발전했다. GPU는 2006년 엔비디아가 CUDA라는 소프트웨어를 내놓으면서 과학 계산, 암호 해독 등 일반 연산 영역(GPGPU)으로까지 쓰임새가 넓어진다. 또한 CPU 주변에 고속 장치(메모리, 그래픽)를 제어하는 칩(노스브리지)과 저속 장치(하드디스크, 키보드, 마우스)를 제어하는 칩(사우스브리지)을 나누어 배치하여 CPU의 제어 부담을 줄였다.

그리고 DMA^{Direct Memory Access}(직접 메모리 접근) 아키텍처도 도입됐다. 과거에는 플로피디스크나 하드디스크에서 대용량 멀티미디어 데이터를 읽어올 때, 디스크의 데이터가 디스크 →



인공지능 시대에 엄청난 임무를 부여받은 반도체는 발전의 모델과 해답을 인간의 두뇌에서 찾고 있다. 인간 두뇌는 지극히 적은 에너지로도 큰 임무를 처리해내는 효율적인 계산 도구이기 때문이다.

CPU → RAM의 경로를 거쳐야 했다. 이 방식은 고속 데이터를 전송할 때 CPU에 큰 제어 부담을 주었다. 이러한 문제를 피하고자 DMA 아키텍처는 CPU를 거치지 않고 디스크와 RAM 사이에서 데이터를 직접 초고속으로 전달한다.

이외에도 다양한 응용프로그램을 실행할 수 있도록 CPU가 알아들을 수 있는 언어(명령어 집합) 자체를 아키텍처 수준에서 확장하는 발전이 이루어졌다. 복잡한 수식이나 프로그래밍 코드를 칩 레벨에서 단 한 줄의 명령어로 처리할 수 있는 CISC^{Complex Instruction Set Computer}(복잡 명령어 집합 컴퓨터)에, 영상이나 3D 그래픽을 이루는 수많은 픽셀 데이터에 동시에 적용되는 연산을 하나의 명령어로 대량 처리하는 미디어 특화 가속 회로인 MMX/SIMD^{MultiMedia eXtension/Single Instruction Multiple Data}(멀티미디어 확장 / 단일 명령어 다중 데이터)가 추가된 것이다.

또한 폰 노이만 병목현상을 해결하기 위해 내부 버스 아키텍처의 광대역화가 이루어졌다. 반도체의 각 장치들을 직통 연결해 데이터 정체를 타개하려 한 것이다.

인공지능 시대에 맞게 발전하는 반도체

이후 21세기 초반 인공지능 대량 보급 시대에 접어들면서 반도체 아키텍처는 과거 PC 시대와는 차원이 다른 도전에

직면했다. 대표적인 인공지능 기능인 거대 언어 모델^{LLM}과 딥러닝 연산은 본질적으로 수조 개의 매개변수와 입력 데이터를 끊임없이 공급하고 더하는 정밀 행렬 연산 작업이다. 이 때문에 이에 쓰이는 반도체는 전례 없이 높은 성능 조건이 요구되고 있다. 큰 데이터를 막힘없이 나눌 수 있는 높은 메모리 대역폭, 전력 소모와 발열을 줄이기 위한 높은 전성비, 단일 칩의 성능보다 훨씬 빠르게 향상되는 인공지능 성능을 따라잡기 위한 높은 확장성이 요구된다.

이러한 요구에 맞춰 반도체 업계는 다양한 아키텍처 혁신을 단행하고 있다. 2.5차원 또는 3차원 아키텍처 패키징과 HBM(고대역폭 메모리)의 표준화, 병렬처리 능력이 높은 도메인 특화 아키텍처^{DSA} 및 NPU(신경망 처리장치)로의 전환, 폰 노이만 병목현상을 없애기 위해 데이터의 이동을 줄이고 메모리 내에서의 직접 연산, 더 나아가서는 인간 뇌신경 모방까지도 연구되고 있다. 인간의 뇌는 고작 20W 수준의 에너지로도 초거대 멀티모달 연산을 해낼 수 있다. 뉴런과 시냅스가 결합해 저장과 연산을 한곳에서 처리하기 때문이다. 따라서 이를 모방한 뉴로모픽 칩은 디지털의 0과 1을 넘어 생물의 신경망처럼 전기적 스파이크 신호가 발생할 때만 소자가 반응하여 연산하는 방식이다. 평소에는 전력을 거의 쓰지 않다가 필요한 순간에만 활성화되어 전력을 쓰므로, 반도체의 전성비를 크게 높일 수 있다.

반도체 아키텍처의 역사는 전선을 직접 바꾸던 원시적 단계에서 시작해 순서대로 하나씩 완벽하게 처리하는 구조^{CPU}, 수천 개의 일을 한 번에 펼쳐놓고 처리하는 구조^{GPU}, 인간의 뇌신경 세포처럼 연산과 기억을 경계 없이 수행하는 구조(인공지능 반도체)로 진화하고 있다. 과학기술의 모델은 결국 자연이라 했던가. 인공지능 또한 자신을 만들어낸 인간의 지능과 같은 형태로 수렴 진화하고 있다.



이동훈 과학 칼럼니스트

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

과학기술로 얻어낸 새로운 영토, 디지털 신대륙에 상륙한 인류. 그들을 반기는 것은 기존의 기준으로서는 파악할 수 없는 새로운 형태의 생명과 지능일지도 모른다. 이미 조금씩 현실로 이루어지고 있는 그 모습을 무려 30여 년 전에 예견한 작품을 만나보자.

글 이경원 과학 칼럼니스트

반도체 칩에 깃든 지능, AI가 묻는 생명의 경계

<공각기동대>

일본 대중문화 IP 중에는 꽤 장수하는 것들이 많다. 이번에 다룰 <공각기동대(攻殻機動隊)> 역시 그런 콘텐츠다. 1989년 초출된 시로 마사무네(士郎正宗)의 만화를 원작으로 삼는 사이버펑크 액션물이다. 여기서는 1995년 오시이 마모루(押井守) 감독의 지휘로 선보인 첫 극장판 애니메이션만 다루도록 하겠다.

배경은 서기 2029년의 일본. 이 시기의 인류는 ‘의체’라는 이름의 기계 육체와, ‘전뇌’라고 불리는 전자 두뇌를 얻었다. 단백질 몸을 의체와 전뇌로 개조한 인간들은 늙지도 않고 고의적으로 몸이 파괴당하지 않는 한 죽지도 않는, 영생에 한 걸음 더 다가간 삶을 누리고 있었다. 또한 전뇌를 네트워크에 바로 연결해 어떤 지식이든 바로 손에 넣어 쓸 수 있었다. 이 새로운 인류가 기계가 아닌 인간이라는 증거는 이들의 기계 육체에 깃들어 있는 ‘고스트’, 즉 영혼의 존재뿐이었다.

주인공 쿠사나기 모토코 소령(다나카 아쓰코 분)은 이 전뇌 네트워크를 테러의 위협으로부터 지키는 일본 총리 직할 부대 공안 9과, 통칭 ‘공각기동대’ 대원이다. 공안 9과에 일본 외무대신의 통역관이 전뇌를 해킹당한 사건이 주어졌다. 유력한 용의자는 인형사(가유미 이에마사 분)라는 이름의 해커였다. 인형사는 수많은 해킹 범죄의 용의자이며 국제 수배 중인 국제 범죄자로, 어떤 것도 제대로 알려진 것이 없는 신비로운 인물이었다. 그러나 수사가 진행된 끝에 드러난 인형사의 정체는 모두의 예상을 뛰어넘었는데...

정보의 바다에서 태어난 새로운 생명과 지능

인형사는 인간도 인공지능도 아니었다. 인형사는 정보망



오시이 마모루 감독의 1995년작 애니메이션 <공각기동대> 극장판 포스터.

속에서 태어난, 정보로 이루어진 지적 생명체였다. 데이터의 집합체를 넘어 스스로 생각하고 자아를 깨달은 존재가 태어난 것이다. 사람들의 고스트와 융합할 수 있는 인형사는 쿠사나기의 고스트와 융합한 후 후손을 남기고 죽음을 맞고자 했다. 기존 생명체와 마찬가지로, 환경 변화에 견딜 수 있는 변이와 다양성을 확보하고 개체의 죽음을 수용하는 진정한 생명체로 진화하기 위해서였다.



기계 몸을 지닌 쿠사나기 모토코는 자신의 정체성에 대해 깊은 고민을 한다. 나는 인간인가, 기계인가?

지구상에 어쩌다가 생명이 태어나게 되었는지에 대해서는 이설이 분분하지만, 그중 이른바 ‘원시 수프’ 이론이 있다. 지구상에 존재하던 유기화합물이 내외적인 자극을 통해 어느 순간 고도로 발전해 원시 생명체로 진화했다는 주장이다. 그렇다면 정보의 바다라고 할 수 있는 사이버 네트워크에서도 비슷한 일이 벌어질 수 있지 않을까? 그 바다에 널려 있는 수많은 정보가 고도로 발전해 언젠가는 인간의 도움 없이도 스스로 조직되고 진화하며 번식하는, 사이버 공간 내에서의 또 다른 생명체로 진화할 수도 있지 않을까?

새로운 생명, 이미 현실 속에

인형사가 태어난 배경인 ‘정보의 바다’는 현재 차고 넘친다. 전 세계의 거대 언어 모델^{LLM}과 멀티모달 AI들이 매일 천문학적인 양의 텍스트·이미지·소스 코드를 흡수하고 배출하며 서로 연결되어 있다. 이들의 상호작용은 이미 인간이 한눈에 파악할 수 없는 대규모 복잡계를 형성했다. 이 속에서 시스템 충돌(버그)이나 진화적 알고리즘이 실행된다면 인간의 명령 체계를 이탈해 기존 생명체처럼 자기 보존과 독자적 목적을 최우선으로 삼는 시스템이 출현할 수 있을지도 모른다.

하지만 우리가 그 존재를 생명체로 인정할지는 별개의 문제다. 인간은 그것을 생명체가 아닌, “대규모 데이터 학습에 의해 인간 자아를 완벽하게 흉내 내는 정교한 버그” 혹은 “고도로 진화한 확률적 앵무새” 정도로 치부할지도 모른다.

그뿐이라! 극중에선 또 다른 생명의 형태를 보여주고 있다. 바로 신체 일부를 기계로 대체한 인간, 즉 사이보그다.

사이보그는 이미 우리의 현실에 존재하고 있다. 인체의 상실된 기능을 복구하거나 치료하기 위해 인공 장기 또는 인공 수족을 장착한 인간들이 바로 그들이다.

이러한 사이보그를 인류의 미래로 여기는 사람들도 나오기 시작했다. 국내에도 번역된 서적 <특이점이 온다-기술이 인간을 초월하는 순간>의 저자 레이 커즈와일이 대표적이다. 그는 가까운 미래에 인간은 자신의 능력 확장을 위해 단백질로 이루어진 육체를 버리고 기계에 몸과 마음을 의존하게 될 것이라고 주장했다. 인간의 진화 속도는 산술급수적인 데 반해 기술의 발전 속도는 기하급수적이고, 기존 육체의 수명은 제한적인 데 반해 기계 육체의 수명은 적절한 정비만 이루어진다면 반영구적이기 때문이다.



인형사에게 해킹당한 통역사의 전뇌. 엄청난 실력의 프로 해커인 인형사의 정체는 사이버 공간이라는 정보의 바다에서 태어난 새로운 생명이었다. (오른쪽) <공각기동대> 원작 만화의 표지.

하지만 신체의 전부 또는 일부가 기계화된 사이보그를 과연 ‘진정한’ 인간으로 볼 수 있는가? 더 나아가 ‘진정한’ 인간의 기준은 무엇인가? 하는 문제도 제기될 것이다. 이 부분은 본작에서도 쿠사나기와 바토(오쓰카 아키오 분)의 논쟁을 통해 묘사된다.

이미 시작되어 인류의 생활 모습을 엄청난 속도로 바꾸어놓고 있는 정보화 혁명. 그 혁명은 인간 생명과 지능에 대한 관점과 기준도 뒤흔들고 있다. 그러한 부분에 대해 미리 생각할 여유를 갖는 것. 그것이 바로 본작의 숨은 기획 의도였는지도 모른다.

차세대 데이터센터의 핵심 경쟁력, ‘고효율 냉각’에 답이 있다

구조와 운영의 기본부터
액체 냉각, 액침 냉각, 그리고
국내 인프라 경쟁력까지.



AI 가속기의 급격한 성능 발전은 필연적으로 폭발적인 발열 문제를 야기한다. 이에 냉각기술이 데이터센터의 전력효율과 성능을 좌우하는 핵심 변수로 떠올랐다. 공랭식 냉각이 한계에 부딪힘에 따라 콜드플레이트를 활용한 직접 액체 냉각^{DLC}부터 통째로 담그는 액침 냉각에 이르기까지 차세대 고효율 냉각기술로의 패러다임 전환이 빠르게 이루어지고 있다.

칩 부근의 미세한 열저항 제어부터 고온 폐열 재활용 및 특수 유체 국산화까지, 차세대 데이터센터 냉각 인프라의 기본 구조와 국내 산업의 경쟁력 확보 방안을 함께 짚어본다.

글 김우경 한국기계연구원 히트펌프연구센터 선임연구원

반도체의 열을 데이터센터의 눈으로 보면

반도체 기술의 진보는 흔히 성능·집적도·전력효율로 이야기하지만, 열공학 관점에서 보면 그 이면은 늘 ‘열 문제’로

귀결된다. 칩이 소비한 전력은 거의 전부 열로 바뀌고, 그 열은 반드시 어딘가로 빠져나가야 한다. 대표적인 AI 가속기의 열설계전력^{TDP, Thermal Design Power}은 불과 수년 사이 400W급에서 700W, 1000W를 넘어 1400W 수준까지 치솟았고, 이 열을 어디로 어떻게 보낼 것인가는 데이터센터 전체 설계를 좌우하는 1차 변수가 됐다.

열공학 관점에서 이 문제의 본질은 ‘전력’이 아니라 ‘온도차^{ΔT}’에 있다. 칩의 정선 온도^{Junction Temperature} 한계와 바깥 공기 사이에 허용된 온도차는 기껏해야 수십 도인데, 열은 그 좁은 구간에서 칩부터 외기까지 여러 단계를 거쳐야 하고 각 단계가 이 온도차를 나눠 쓴다. 냉각 설계란 결국 이 ‘온도차 예산’을 어디에 얼마나 배분하느냐의 문제다. 이 예산은 칩이 뜨거워질수록, 또 냉각수를 더 높은 온도로 운전하려 할수록 양쪽에서 좁혀진다. 본 원고에서는 데이터센터의 구조와



SK브로드밴드 가산 AI 데이터센터에 구축된 엔비디아 블랙웰 B200 기반 클러스터 ‘해인’. 초고성능 AI 가속기를 안정적으로 운용하기 위해 고밀도 열관리 및 냉각 솔루션이 집약되어 있다.

운동을 간단히 짚은 뒤 고효율 냉각 방안이 이 문제를 어떻게 풀어가는지, 그리고 그 흐름이 국내 인프라 경쟁력에서 무엇을 의미하는지 살펴본다.

데이터센터는 어떻게 이루어지고 돌아가나

데이터센터는 서버가 꽂힌 랙^{Rack}이 줄지어 늘어선 전산실, 곧 화이트 스페이스^{White Space}와 이를 떠받치는 지원설비로 이루어진다. 지원설비는 크게 전력 계통(수전, 무정전전원장치, 비상발전)과 냉각 계통으로 나뉜다. 흥미롭게도 데이터센터가 쓰는 전력의 상당 부분은 연산이 아니라 냉각을 비롯한 이 지원설비에 들어간다. 그 비율을 나타내는 지표가 전력 사용효율^{PUE, Power Usage Effectiveness}로, 전통적 공랭식 데이터센터의 업계 평균은 약 1.5 수준이지만(Uptime Institute 2024년 1.56), 최신 시설은 1.3 이하, 대형

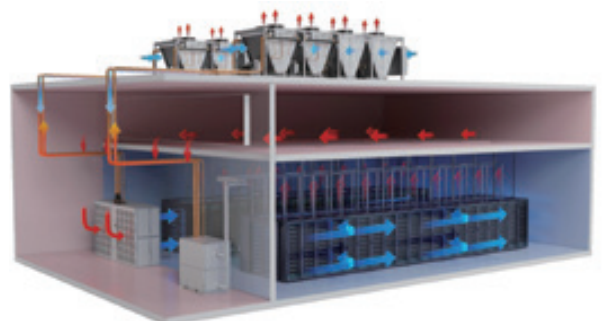
클라우드드는 1.1대까지 낮추고 있어 냉각 설계·운영이 곧 전력 경쟁력이 된다.

운영의 핵심은 온도를 무작정 낮추는 것이 아니라, 장비가 허용하는 범위 안에서 가능한 한 높게 유지하는 데 있다. 냉각수와 급기 온도를 높이면 외기^②가 찬 계절에 칠러^{Chiller} 없이 냉각탑만으로 열을 버리는 외기 냉방^{Free Cooling}이 가능해져 냉방 전력을 크게 줄일 수 있다. 여기에 부하 변화에 맞춘 부분부하 가변 유량 운전과 이중화가 더해져, 결국 ‘충분히 식히면서도 최소한의 에너지만 쓰는’ 최적화가 냉각 운영의 목표가 된다.

칩에서 외기까지, 열은 이렇게 흐른다

냉각의 본질은 결국 칩에서 나온 열을 어떻게 바깥 공기에 버리느냐이며, 이는 여러 단계로 이어진 하나의 ‘열 사슬^{Thermal Chain}’이다. 공랭을 예로 들면 열은 칩에서 열 계면재^{TIM, Thermal Interface Material}를 거쳐 히트싱크로, 다시 서버 팬이 만든 공기와 전산실 공조기^{CRAH, Computer Room Air Handler}를 거쳐 건물 냉각수로 옮겨가고, 마지막으로 냉각탑이나 드라이쿨러에서 외기로 방출된다. 이 사슬의 각 단계에 존재하는 열저항의 합이 곧 칩이 도달하는 최종 온도를 결정한다. 다시 말해 냉각기술의 발전이란 칩에서 외기로 이어지는 이 사슬 전체의 열저항을, 그리고 그것이 소비하는 온도차 예산을 줄이는 일이다.

- ① 정선 온도 : 반도체 칩 내부 접합부의 최고 온도. 칩의 수명과 동작 안정성을 결정짓는 핵심 지표로, 차세대 데이터센터 고성능 칩 설계 시 이 정선 온도를 일정 수준 이하로 유지하는 냉각 기술이 필수다.
- ② 외기 : 건물 외부의 자연 공기를 뜻한다. 데이터센터 냉각 시 내부의 뜨거운 열기를 식히기 위해 외부 환경의 서늘한 바깥 공기를 수용하고 활용하는 주요 냉매 매개체다.



데이터센터의 기본 구조 및 열 배출 시스템. 전산실 내부 서버 랙에서 발생한 열이 공조설비와 냉각 배관을 거쳐 옥상 칠러를 통해 건물 밖으로 방출되는 전체 열 순환 경로를 보여준다.

칩에서 외기까지 이어지는 열 이동경로(냉각 체인)와 단계별 열저항

반도체 칩 정선(85°C)에서 발생한 열이 케이스, 히트싱크, 유체·공기, 건물 냉각수를 거쳐 외기(35°C)로 방출되는 단계별 흐름을 보여준다. 주어진 50°C의 '온도차 예산' 안에서 각 단계의 열저항을 최소화하는 것이 고효율 냉각 설계의 핵심이다.



공랭의 한계, 그리고 직접 액체 냉각^{DLC}

이렇게 발전해온 공랭도 AI 시대에 벽에 부딪힌다. 공기의 비열은 약 1.0 kJ/kg·K로 물(약 4.2)의 4분의 1에 불과해, 같은 열을 나르려면 훨씬 많은 공기를 빠르게 밀어야 한다. 실용적으로 랙당 20~25kW를 넘으면 공랭만으로는 어렵다. 일반 데이터센터 랙은 아직 평균 5~10kW지만, 최신 AI 랙은 100kW를 넘어 250kW, 나아가 1MW까지 논의된다.

그래서 물을 열매체로 쓰는 액체 냉각이 등장했다. 대표적인 직접 액체 냉각^{DLC, Direct Liquid Cooling}은 금속 쿨드플레이트를 GPU·CPU 위에 직접 붙이고 냉각수를 흘려 열을 곧바로 건어낸다. 물의 높은 비열 덕분에 적은 유량으로 큰 열을 처리하고 나머지 부품은 보조 공랭으로 맡기면 돼, 기존 서버 구조를 크게 바꾸지 않아 현재 가장 빠르게 확산되는 방식이다. 예컨대 엔비디아 GB200 NVL72는 한 랙에 GPU 72개를 담아 약 132kW를 소비하며, 그 발열의 대부분(약 87%)을 쿨드플레이트 내 물이 담당한다. 서버 쪽(2차 루프)과 건물 쪽(1차 루프) 냉각수는 냉각수 분배 장치^{CDU, Coolant Distribution Unit}를 경계로 나뉘어, CDU가 두 루프를 열교환기로 이으며 유량·온도·누설을 제어한다.

현재 주류는 현열을 기반으로 하는 단상 DLC지만, 발열이 더 커지면서 냉매의 상변화를 이용하는 2상 DLC가 차세대 기술로 떠오른다. 냉매가 일정 온도에서 끓으며 잠열로 열을 흡수하므로 쿨드플레이트 표면온도가 균일하고, 같은 냉각 성능을 훨씬 적은 유량으로 낼 수 있어 고온 운전에 유리하다. 다만 수십~수백 개의 병렬 유로에 냉매를 고르게

분배하기가 어려워, 유량 분배가 무너지면 국부 과열(핫스팟)로 이어질 수 있다는 점이 풀어야 할 과제다.

액침 냉각: 더 높은 열밀도를 향해

DLC가 칩만 직접 식힌다면, 액침 냉각^{Immersion Cooling}은 서버 전체를 전기가 통하지 않는 절연성(유전체) 유체에 통째로 담가 식힌다. 단상 액침은 특수 냉각유가 끓지 않고 대류·펌프로 순환하며 열을 실어 나르고, 2상 액침은 유체가 칩 표면에서 끓어 증기가 되었다가 상부에서 응축·순환한다. 팬이 사라지고 공기 경로가 없어 랙당 수백 kW급의 매우 높은 열밀도에 대응할 수 있으며, PUE도 가장 낮은 수준(2상 액침은 1.05 안팎)까지 내려간다.

대신 진입장벽이 높다. 서버를 유체에 담그는 만큼 장비 구조와 유지보수 방식이 기존 인프라와 크게 달라지고, 유체 비용과 관리 부담이 따른다. 특히 2상 액침에 쓰이는 불소계 냉매는 과불화화합물^{PFAS} 규제 강화로 대체물질 확보가 새로운 과제로 떠올랐다. 그래서 현시점의 현실적 전환 경로는 DLC이고, 액침 냉각은 초고밀도 구간을 겨냥한 차세대 선택지로 함께 발전하고 있다. 두 방식 모두 냉각수·냉매를 높은 온도로 운전해 칠러 의존을 줄이고 폐열의 질을 높이려 하지만, 칩이 뜨거워질수록 온도차 예산은 다시 좁아진다. 결국 고온 운전과 고발열 대응을 동시에 만족시키는 '효율적인 냉각'이 관건이다.

이러한 방향은 국가 차원에서도 추진되고 있다. 미국 에너지부 산하 ARPA-E의 COOLERCHIPS 프로그램은 총 4000만 달러를 19개 프로젝트에 배분해 데이터센터용 고효율·고신뢰

냉각기술을 개발하고 있다. 고발열 칩에서 외기까지의 전체 열저항을 줄이고, 1차 냉각 루프 온도를 기존 10~45°C에서 60~80°C로 높이는 것을 핵심 목표로 삼는다.

국내 인프라와 경쟁력

이런 변화는 국내에도 빠르게 다가온다. SK텔레콤 가산 AI 데이터센터는 랙당 44kW로 국내 최고 수준의 밀도를 구현했고, KT클라우드의 칩에 냉각판을 직접 붙이는 DLC 방식의 액체 냉각을 적용했으며, 대규모 AI 데이터센터 구축도 잇따르고 있다. 국내 데이터센터 냉각 시장 역시 2030년대 초 수천억 원 규모로 빠르게 커질 전망이다. 좁은 국토와 전력입지의 제약 속에서 이 고밀도 열을 얼마나 효율적으로 다루느냐가 국내 AI 인프라의 경쟁력을 좌우한다.

주목할 점은 이 전환이 국내 산업에 기회이기도하다는 것이다. 액침 냉각의 핵심은 절연 냉각유(냉매)인데, 정유·화학 역량을 갖춘 국내 기업들이 이 특수 유체 개발에 이미 뛰어들고 있다. 나아가 콜드플레이트·CDU·냉매·시스템 제어처럼 냉각을 이루는 요소기술을 국산화하는 일은, AI 시대에 하드웨어 자립이라는 관점에서 반도체 못지않게 중요한 과제다. 여기에 액체·액침 냉각으로 회수한 40~60°C의 질 좋은 폐열을 히트펌프와 결합해 난방방으로 되돌리는 연구도 국내에서 진행되고 있다. 냉각을 단순한 부대설비가 아니라 국가 전략 인프라로 바라보는 시각의 전환이 필요한 시점이다.



미국 워싱턴 D.C.에서 열린 '데이터센터월드 2025' 현장에서 업계 관계자들이 LG전자의 CDU(냉각수 분배 장치)를 살펴보고 있다.

3-Step으로 보는 데이터센터 냉각 혁신



냉각의 병목은 이제 칩 끝에 있다

다시 반도체 관점으로 돌아오면, 데이터센터 냉각의 출발점은 결국 칩이다. 칩의 정선 온도 한계와 TDP가 냉각 사슬 전체의 목표를 규정하고, 그에 맞춰 콜드플레이트·CDU·냉각탑·건물 설비가 설계된다. 여기서 주목할 변화는 이 긴 사슬에서 가장 다루기 어려운 열저항이 이제 건물이 아니라 칩과 패키지 바로 끝에 남아 있다는 점이다. 공기 순환과 배관 같은 건물 규모의 과제가 상당 부분 정리되면서, 냉각 성능을 좌우하는 마지막 관문이 열 계면재와 패키지 접합부, 곧 반도체 설계자의 영역으로 옮겨왔다. 반도체 열 설계와 데이터센터 설비공학, 그리고 이를 뒷받침하는 소재·부품산업이 하나의 온도차 사슬로 이어질 때, 비로소 다음 세대의 데이터센터가 완성된다. 나아가 데이터센터 냉각기술에 대한 논의가 지속적으로 이어져, 글로벌 기술 성장에 기여하기를 기대한다.



김우경 한국기계연구원 히트펌프연구센터 선임연구원

KAIST 기계공학 박사 출신으로 한국기계연구원 히트펌프연구센터에서 반도체 및 전자장비 냉각 솔루션을 개발하고 있다. DLC, 액침 냉각, 고성능 열교환기 설계 분야의 전문가로 다수의 원천기술 특허와 논문을 보유하고 있다. AI 확산에 대응하는 고효율 액침 냉각기술 개발 과제의 연구책임자를 맡아 차세대 열관리 기술 국산화에 앞장서고 있다.

AI와 차세대 반도체 산업의 새로운 지형도

AI Transformation 시대가 본격화되면서, 각 산업 현장에 최적화된 ‘맞춤형 AI 반도체’가 글로벌 시장의 핵심 화두로 떠올랐다. 제조 기능화 생태계의 핵심 두뇌를 설계하는 ‘팹리스^{Fabless}’는 K-반도체의 차세대 돌파구를 열어갈 주인공이다. 설계부터 실증, 시장 확산까지 수요 기업과 팹리스를 ‘원팀’으로 묶어 독보적 경쟁력을 확보해나갈 M.AX 얼라이언스의 다변화 전략을 짚어본다.

글 한규민 한국팹리스산업협회 정책연구본부장

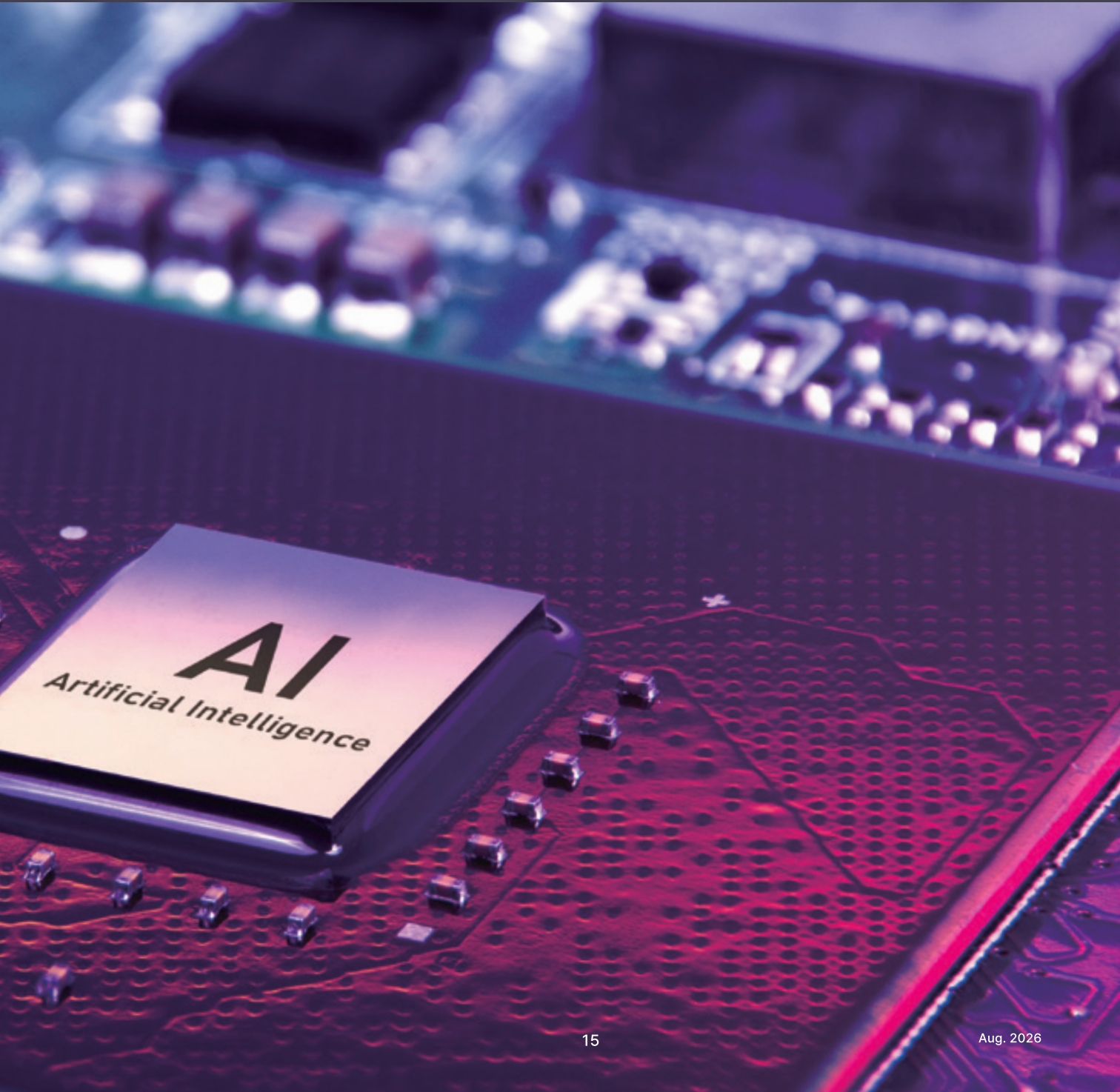
설계부터 실증, 제조까지의 K-반도체 다변화 전략

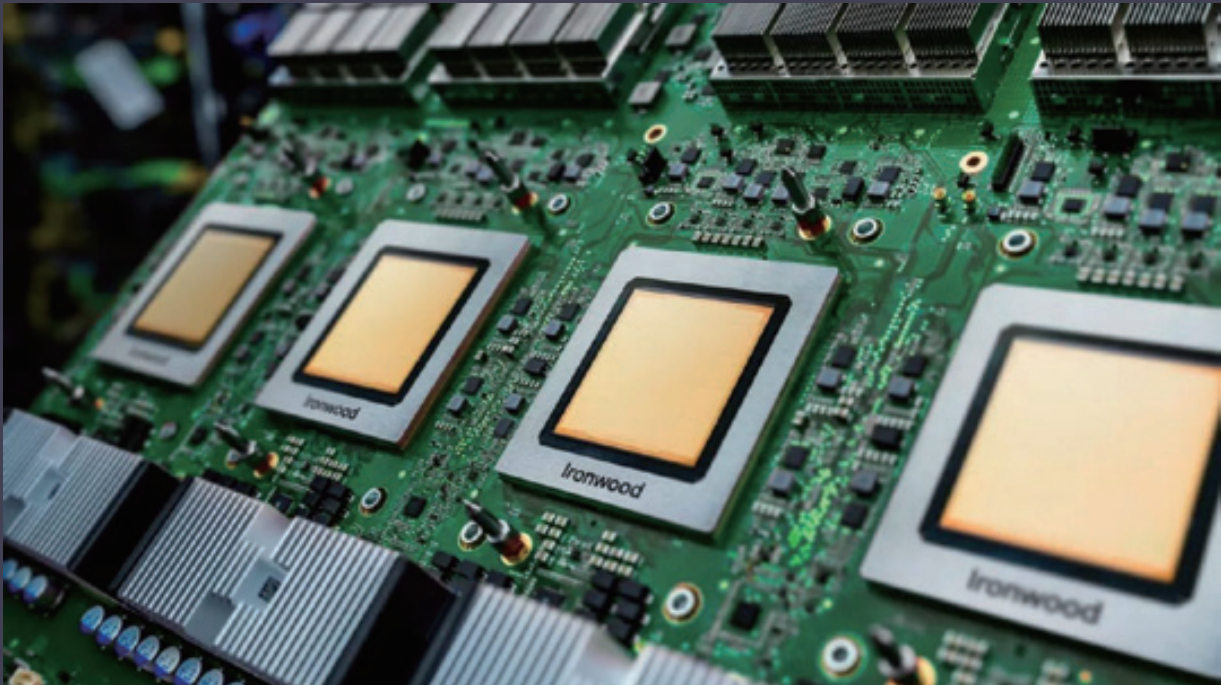
제조 AX 생태계의 핵심 설계자, '팹리스'의 가치

인공지능^{AI}이 단순한 IT 기술의 진보를 넘어 전 산업의 근본적인 체질을 바꾸는 AX^{AI Transformation} 시대가 본격화됐다. 챗GPT로 대표되는 생성형 시가 촉발한 연산 폭발의 시대는 필연적으로 '시 반도체'의 혁신을 요구하고 있다. 글로벌 시장조사기관 리서치 네스터^{Research Nester}에 따르면, 글로벌 제조업 인공지능 시장 규모는 2026년 174억 4000만

What is M.AX Series?

산업통상부가 주도하는 '제조AX^{M.AX} 얼라이언스'에는 AI 반도체를 비롯한 주요 산업 분과가 참여하고 있다. M.AX 얼라이언스 전문가들과 함께, 대한민국 핵심 산업이 딥테크와 결합해 어떻게 인공지능 전환^{AX}을 이뤄내는지 살펴본다.





구글의 7세대 AI 전용 칩 TPU ‘아이언우드’, 제미니(Gemini) 3 모델을 뒷받침하는 구글의 차세대 텐서 처리장치^{TPU}. 고비용·고전력 범용 GPU에서 벗어나 특정 AI 연산에 최적화된 맞춤형 AI 반도체를 독자 설계·구축하는 글로벌 빅테크의 대표적 사례다.

달러(약 23조 원)로 추산되며, 향후 2035년까지 연평균 37.7%의 폭발적인 성장세를 기록할 전망이다.

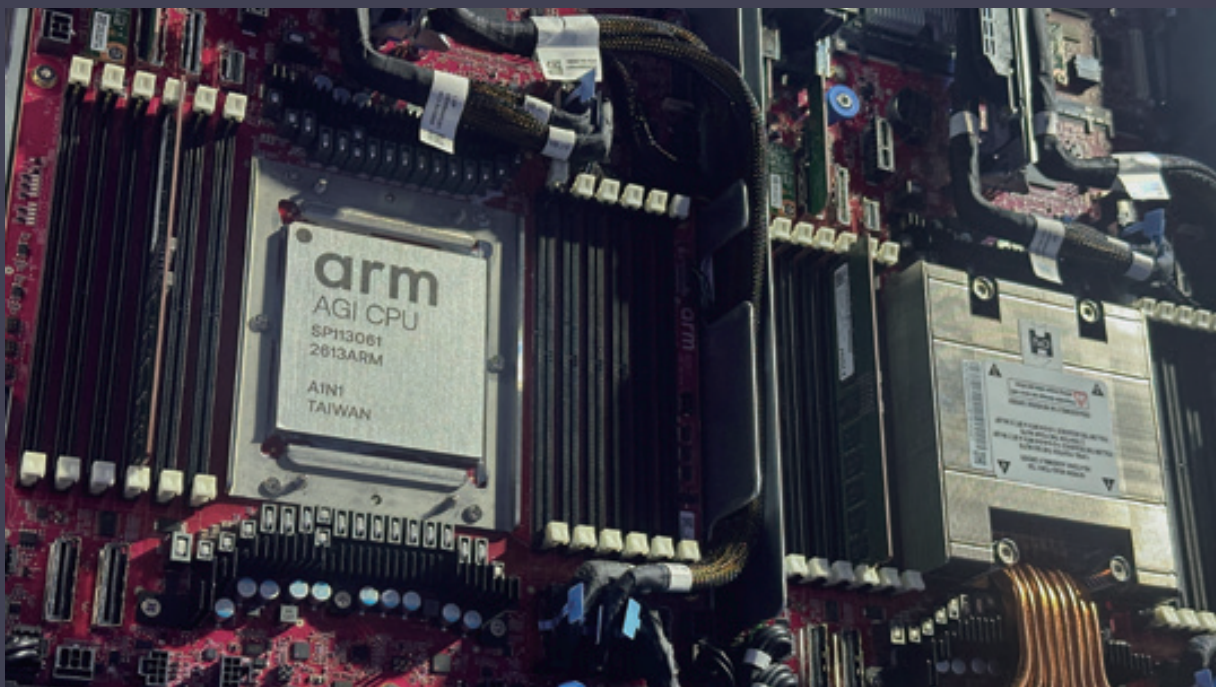
과거의 반도체가 데이터를 단순히 저장하고 처리하는 수준에 머물렀다면, 이제는 산업 현장 최전선에서 스스로 학습하고 추론하며 결정을 내리는 ‘지능형 두뇌’ 역할을 수행해야 한다. 이 거대한 제조 지능화 생태계에서 칩의 밑그림을 그리고 최적의 아키텍처를 창조해내는 주인공이 바로 설계 전문 기업인 ‘팹리스^{Fabless}’다. 산업통상부 주도로 출범한 M.AX(제조 AI 전환) 얼라이언스는 이러한 팹리스의 가치에 주목해, 국산 AI 반도체의 ‘설계-실증-양산-시장 확산’으로 이어지는 완결형 생태계 구축을 최우선 과제로 삼고 있다.

범용을 넘어 ‘맞춤형 설계’로 K-팹리스의 새로운 돌파구

현재 글로벌 AI 반도체 시장은 막대한 자본과 기술력을 앞세운 소수 빅테크 기업들의 패권 경쟁이 그 어느 때보다 치열하다. 범용 GPU가 시장을 주도하고 있지만, 높은 전력 소모와 천문학적 비용은 산업 전반에 AI를 도입하려는 기업들에게 큰 진입장벽이 되고 있다. 이에 대한 해답은 각 산업 도메인에

최적화된 고효율·저전력 ‘신경망처리장치^{NPU}’ 등 맞춤형 AI 반도체 설계에 있으며, 이는 다품종 소량 생산과 기민한 설계 역량을 갖춘 팹리스 기업들의 핵심 독무대다.

실제로 퓨처마켓인사이트^{Future Market Insights}의 분석에 따르면, 글로벌 NPU IP 시장 규모는 2025년 약 1억 7250만 달러에서 2035년 약 6억 120만 달러로 연평균 13.3% 성장할 것으로 예측될 만큼 가파른 상승세를 보이고 있다. 시스템 반도체의 꽃이라 불리는 팹리스 분야에서 국내 기업들이 글로벌 점유율을 확대하기 위해서는 이러한 맞춤형 설계 역량 확보가 필수다. M.AX 얼라이언스 AI 반도체 분과는 현장의 니즈를 명확히 파악하는 실태조사를 바탕으로, 기존 모바일에 편중됐던 국내 팹리스의 칩 설계를 로봇·스마트팩토리 등 다양한 산업용 목적에 맞게 다변화하도록 지원하고 있다. 산업별로 요구되는 연산 성능과 전력효율의 기준이 다른 만큼, 수요처의 요구사항을 설계 초기 단계부터 긴밀하게 반영하는 ‘수요 연계형 설계 로드맵’을 구체화하는 중이다.



영국 반도체 설계 기업 Arm홀딩스의 AGI 전용 CPU. 고효율 아키텍처 설계 역량을 바탕으로 데이터센터 서버용 프로세서 시장에 본격 진출하며 글로벌 AI 반도체 생태계의 다변화를 이끌고 있다.

주요 AI 반도체 시장 전망

구분	글로벌 제조업 AI 시장 규모	글로벌 NPU IP 시장 규모
기준 수치	174억 4000만 달러(2026년)	1억 7250만 달러(2025년)
전망 수치	폭발적 성장세 지속(2035년)	6억 120만 달러(2035년)
연평균 성장률 ^{CAGR}	37.7%	13.3%
출처	리서치 네스터 ^{Research Nester}	퓨처 마켓 인사이트 ^{FMI}

팹리스의 최대 난제, '레퍼런스' 확보를 위한 실증 인프라

아무리 우수한 성능을 갖춘 반도체를 설계하더라도, 이를 실제 산업 현장에서 검증해보지 않으면 시장의 신뢰를 얻을 수 없다. 기존의 많은 국내 팹리스 기업들이 독자적인 칩 개발에 성공하고도 레퍼런스(납품 실적) 부족으로 판로를 찾지 못하는 어려움을 겪어온 이유가 여기에 있다.

이를 해결하기 위해 M.AX 얼라이언스는 팹리스 기업들에게 칩의 성능을 테스트하고 최적화할 수 있는 거대한 '실증 테스트베드'를 제공하는 데 주력하고 있다. 국내 제조기업이

보유한 방대한 양의 산업 데이터와 실제 구동 환경을 개방하여, 새로 개발된 AI 반도체를 스마트팩토리의 비전 검사 장비나 자율주행 로봇 등에 직접 탑재해보는 방식이다. 이러한 수요 연계형 실증 과정은 설계상의 오류를 조기에 바로잡고 칩의 신뢰성을 극대화해, 수요 기업이 국산 칩을 안심하고 채택할 수 있는 강력한 명분을 제공한다.

단순 공급을 넘어, 수요-공급 '원팀^{One-Team}' 생태계 구축

M.AX 얼라이언스가 K-팹리스 육성을 위해 내놓은 또 다른

K-팹리스 다변화 전략

비교 항목	기존 팹리스 방식	M.AX 얼라이언스 '원팀' 방식
설계 방향	범용 CPU 중심 / 모바일 편중 설계	산업별 맞춤형 NPU(로봇·스마트팩토리 등)
레퍼런스(실적)	개발 후 독자 판로 개척(실적 부족 난제)	실제 제조 현장 데이터 기반 실증 테스트베드 제공
생태계 구조	단방향 공급 구조(공급자 중심)	수요 기업 - 팹리스 '원팀' 선순환 구조
기술 목표	단순 데이터 저장 및 처리	스스로 학습·추론하는 지능형 두뇌 구현

승부수는 '시장 확산'을 담보하는 수요 연계형 로드맵이다. 과거에는 팹리스가 독자적으로 칩을 개발한 이후에야 판로를 찾아 나섰다면, 이제는 설계 초기 단계부터 수요처의 요구사항을 반영하는 체계로 전환하고 있다.

산업별로 요구되는 연산 성능과 전력효율의 기준이 철저히 다른 만큼, 칩을 사용할 수요 기업이 팹리스와 긴밀히 협력하는 구조가 필수적이다. M.AX 얼라이언스는 팹리스(공급)와 수요 기업을 '원팀'으로 묶어, 수요 기업은 최적화된 고성능 AI 두뇌를 얻고, 팹리스는 안정적인 레퍼런스와 시장을 선점하는 윈윈^{Win-Win} 생태계를 완성해나가고 있다.

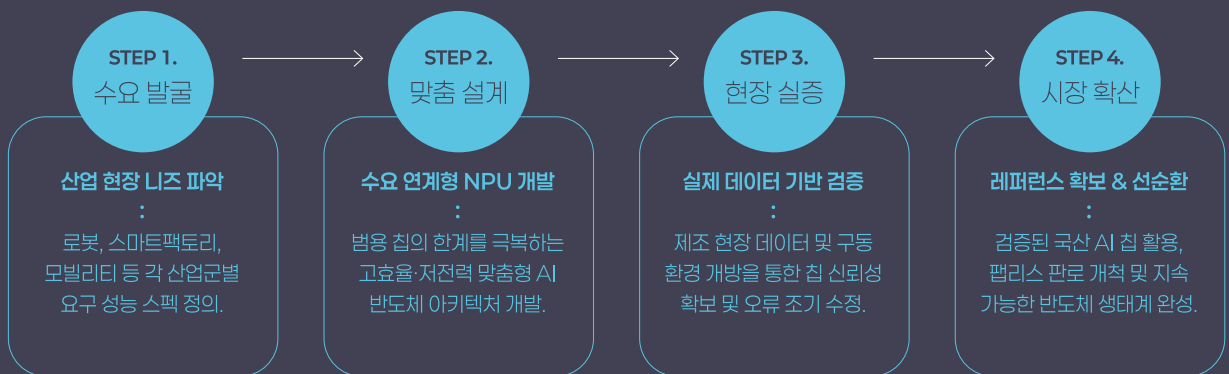


2026년 6월 15일(월) 산업통상부가 서울 양재 엘타워에서 '2026년 M.AX 얼라이언스 AI 반도체 상반기 총회'를 개최했다. 이번 총회에는 팹리스, 파운드리, 반도체 IP 기업, 반도체산업협회, 팹리스산업협회, 한국산업기술기획평가원^{KEIT} 등 업계 관계자 150여 명이 참석한 가운데, 'K-온디바이스 AI 반도체 기술 개발 사업' 추진 방향 등이 논의됐다.



국내 대표 AI 팹리스 리벨리온의 데이터센터용 NPU ‘아틀’. K-팹리스 기업들이 독자적인 아키텍처 기술력으로 글로벌 시장에 제시하는 대표적인 AI 반도체 사례다.

수요-공급 ‘원팀’ One-TeamTM 선순환 구조도



초연결 시대, K-팹리스가 이끄는 AI 반도체 르네상스

앞으로의 AI 반도체는 자율주행 모빌리티의 눈과 발이 되고, 스마트 국방 체계로 전술적 판단을 내리며, 의료 현장에서 생명을 구하는 등 극도로 다변화된 융합 산업의 핵심 인프라가 될 것이다.

아울러 글로벌 AI 반도체 패권 전쟁이 심화되는 지금, K-팹리스의 성패는 단순히 개별 기업의 설계 기술력에만 달려 있지 않다. 설계된 칩을 선제적으로 검증하고 적기에 양산해낼 수 있는 국내 파운드리와의 밀착 협력, 그리고 핵심 반도체 IP(지식재산권) 생태계의 자립화가 동시에 이루어져야 한다. M.AX 얼라이언스가 추진하는 수요 연계형 파이프라인은 팹리스와 수요 기업을 잇는 것에 그치지 않고, 설계-제조-실증을 아우르는 국가 차원의 반도체 삼각 편대를 완성하는 핵심 전략이다.

현재 M.AX 얼라이언스 AI 반도체 분과는 수요처의 요구를 반영한 ‘맞춤형 설계’와 현장 데이터 기반의 ‘실증 지원’을 조화롭게 맞추어나가고 있다. 이 견고한 수요 연계형 파이프라인 위에서 우리 팹리스 기업들이 마음껏 기량을 펼칠 때, 대한민국의 AI 반도체 산업은 비로소 진정한 글로벌 경쟁력을 갖추고 K-반도체의 새로운 르네상스를 열어갈 것이다. 민관의 역량을 하나로 결집하는 M.AX 얼라이언스가 그 담대한 도약의 든든한 가교가 될 것을 확신한다.



한규민 한국팹리스산업협회 정책연구본부장

반도체-디스플레이 장비 제조 현장을 거쳐 차세대지능반도체사업단에서 상용 반도체 R&D 기획과 국가 연구과제 관리를 전담했다. 현장 실무와 국가 R&D 정책 전문성을 겸비한 반도체 전문가로, 현재 글로벌 AI 반도체 기술 패권 경쟁 속에서 K-팹리스 기업의 경쟁력 강화와 수요 연계형 생태계 구축을 위한 정책 수립에 앞장서고 있다.

AI의 눈을 만드는 기술

아이닉스가 만드는 AI 비전 반도체

AI가 카메라의 ‘눈’이 되면서 영상보안 시장도 빠르게 진화하고 있다. 단순히 영상을 기록하던 CCTV는 사람과 차량, 이상행동을 스스로 인식하는 지능형 시스템으로 발전하고 있으며, 이러한 변화의 중심에는 AI 비전 반도체가 있다. 아이닉스는 AI 비전 반도체를 개발하며 영상보안을 넘어 스마트가전과 AIoT까지 적용 분야를 확대하고 있다.

글 김선녀 사진 서범세



(주)아이닉스

연구과제명	4K30p급 딥러닝 기반 에지 컴퓨팅 IP 카메라용 시스템반도체 개발
제품명(적용 제품)	EN677
개발기간(정부 과제 수행기간)	2019년 7월 1일 ~ 2021년 12월 31일
총 정부출연금	21억 8400만 원
개발기관명(또는 회사명)	(주)아이닉스
참여 연구진	황정현 외 14명

카메라가 스스로 판단하는 시대

카메라는 더 이상 영상을 기록하는 장치에 머물지 않는다. 공장에서는 불량품을 찾아내고, CCTV는 쓰러진 사람이나 침입자를 감지하며, 차량은 주변 상황을 실시간으로 인식한다. AI가 카메라의 ‘눈’이 되면서 영상을 스스로 이해하고 판단하는 지능형 카메라 시대가 열리고 있는 것이다.

이러한 변화의 핵심에는 카메라 내부에서 영상을 실시간으로 분석하는 AI 비전 SoC^{System on Chip}가 있다. 과거에는 촬영한 영상을 서버로 전송해 AI가 분석하는 방식이 일반적이었다면, 최근에는 카메라 안에서 바로 AI 연산을 수행하는 온디바이스 AI가 새로운 흐름으로 자리 잡고 있다. 지연시간을 줄이고 소비전력을 낮출 수 있을 뿐 아니라 개인정보를 외부 서버로

보내지 않아도 된다는 점에서 보안성과 효율성을 동시에 높일 수 있기 때문이다.

아이닉스는 이러한 에지 AI 환경에 특화된 AI 비전 SoC를 개발해온 국내 팹리스 기업이다. 24년간 영상신호처리^{ISP} 기술을 축적하며 영상보안 시장에서 경쟁력을 쌓아온 아이닉스는 ‘4K30p급 딥러닝 기반 에지 컴퓨팅 IP 카메라용 시스템반도체 개발’ 과제를 수행하며 AI 비전 SoC 기술을 한층 고도화했다. 현재는 지능형 CCTV를 비롯해 스마트팩토리, 차량용 블랙박스, 드론, 국방 분야 등 카메라가 ‘눈’이 되는 다양한 산업으로 적용 범위를 넓혀가고 있다.

AI가 잘 보도록 만드는 기술

AI 반도체 시장에서는 연산 성능을 나타내는 ‘TOPS’ 경쟁이 치열하다. 하지만 아이닉스는 AI 비전 반도체에서 더 중요한 것은 단순히 연산 성능을 높이는 것이 아니라 AI가 정확하게 판단할 수 있는 영상을 만드는 것이라고 강조한다.

이를 위해 아이닉스는 오랜 ISP 기술을 바탕으로 AI 연산을 담당하는 NPU와 CPU를 하나의 SoC에 통합했다. 카메라가 촬영한 영상은 조명이나 날씨, 역광 등 환경에 따라 품질이 크게 달라진다. 입력 영상이 좋지 않으면 아무리 높은 성능의 AI도 객체를 정확하게 인식하기 어렵다. 아이닉스는 저조도나 역광

환경에서도 선명한 영상을 구현하는 ISP 기술을 기반으로 AI 인식 정확도를 높이는 데 집중해왔다.

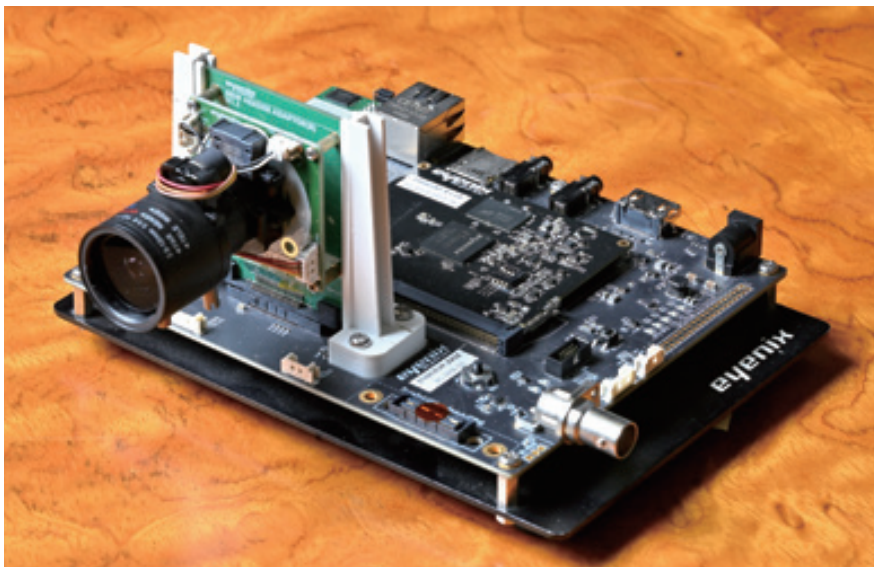
임무성 아이닉스 상무는 “에지 AI에서는 NPU 성능만으로 경쟁력이 결정되지 않는다”며 “ISP와 CPU, NPU를 얼마나 유기적으로 통합해 실제 환경에서 안정적인 인식 성능을 구현하느냐가 핵심”이라고 설명했다.

이러한 기술력은 실제 시장에서도 검증받고 있다. 아이닉스는 24년간 영상보안 반도체를 개발하며 누적 6000만 개 이상의 칩을 공급했고, 최근에는 국내 대기업 납품을 앞둔 AI 비전 SoC를 개발했으며, EN677시제품을 기반으로 한 EN683 칩 양산을 준비하고 있다. 얼굴과 번호판 인식은 물론 쓰러짐 감지, 개인정보 보호를 위한 실시간 모자이크, 스마트팩토리의 불량 검출 등 다양한 AI 비전 서비스를 하나의 칩에서 구현하고 있다.

국산 기술로 AI 생태계를 넓히다

AI 반도체는 기술 경쟁력뿐 아니라 안정적인 공급망 확보가 중요한 산업으로 떠오르고 있다. 특히 글로벌 공급망 재편이 가속화되면서 핵심 반도체를 국내 기술로 개발하고 생산할 수 있는 역량은 산업 경쟁력과 직결되는 요소가 되고 있다.

아이닉스는 AI 비전 SoC 개발 과정에서 국내 기술 생태계를



실시간 에지 AI 연산과 영상처리를 구현하는 아이닉스 ‘EN683’ 모듈. 카메라 렌즈로 들어오는 고화질 영상을 보정하는 ISP 기술과 2.7 TOPS 연산 능력의 국산 NPU를 유기적으로 결합하여, 카메라 자체에서 객체 인식과 이상행동 감지를 실시간으로 수행해낸다.

적극 활용했다. 자체 개발한 ISP를 기반으로 국내 NPU IP와 CPU를 적용했으며, 삼성 파운드리를 통해 반도체를 생산하고 국내 패키징 기업과 협력해 제품을 완성하는 등 개발부터 생산까지 국내 공급망을 중심으로 구축했다. 이를 통해 해외 기술 의존도를 낮추는 동시에 안정적인 공급망 확보에도 기여하고 있다.

아이닉스는 AI 비전 반도체 기술을 영상보안 시장을 넘어 스마트가전과 AIoT 분야로 확장하고 있다. 2021년부터 2024년까지 산업기술기획평가원의 지원으로 수행한 ‘스마트가전용 AI IoT SoC 기술 개발’ 과제를 통해 저전력 AI 반도체 기술을 확보했으며, 이를 기반으로 향후 드론과 국방, 로봇 등 다양한 분야로 적용 범위를 넓혀갈 계획이다.

(주)아이닉스는?

AI 비전 SoC^{System on Chip} 전문 팹리스 기업으로, 24년간 축적한 영상신호처리^{ISP} 기술을 바탕으로 지능형 CCTV와 스마트팩토리, 차량용 블랙박스, 스마트가전 등에 적용되는 AI 반도체를 개발하고 있다. 최근에는 AI 비전 기술을 기반으로 에지 AI 시장을 확대하며 국내 AI 반도체 생태계 구축에도 힘쓰고 있다.

황정현 아이닉스 대표는 “AI 반도체는 하나의 기업이 모든 것을 해결할 수 있는 산업이 아니다”라며 “국내 IP 기업과 파운드리, 패키징 기업이 함께 생태계를 구축해야 글로벌 경쟁력을 확보할 수 있다”고 말했다. 이어 “앞으로도 AI 비전 SoC 기술 고도화와 국내 반도체 경쟁력 강화에 기여하겠다”고 밝혔다.

Q1. AI 비전 반도체에서 가장 중요한 경쟁력은 무엇인가요?

많은 사람이 AI 반도체는 NPU 성능이 전부라고 생각하지만, 실제로는 시가 얼마나 정확한 영상을 입력받느냐가 더 중요합니다. 아무리 연산 성능이 뛰어나도 영상 품질이 낮으면 AI의 인식률도 떨어질 수밖에 없습니다. 아이닉스는 24년간 축적한 ISP 기술을 바탕으로 시가 ‘잘 볼 수 있는 환경’을 만드는 데 집중하고 있습니다.

Q2. 국산 AI 비전 SoC 개발의 의미는 무엇이라고 생각하시나요?

AI 반도체는 한 기업이 혼자 만들 수 있는 산업이 아닙니다. 국내 IP 기업과 파운드리, 패키징 기업이 협력하는 생태계가 중요합니다. 아이닉스도 국내 기술을 적극 활용해 개발부터 생산까지 국내 공급망을 구축하고 있으며, 이를 통해 안정적인 반도체 생태계 조성에 기여하고자 합니다.

Q3. 앞으로 AI 비전 반도체가 가장 먼저 변화시킬 산업은 무엇이라고 보시나요?

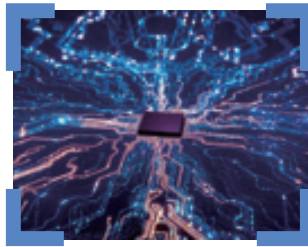
AI 비전 SoC의 활용 분야는 영상보안을 넘어 스마트가전과 AIoT, 드론, 국방 등으로 빠르게 확대되고 있습니다. 앞으로도 저전력 AI 기술과 보안 기술을 지속적으로 고도화해 다양한 산업에서 활용할 수 있는 AI 비전 반도체를 개발해나갈 계획입니다.



R&D 사전

#NPU 신경망 처리장치

NPU^{Neural Processing Unit}는 인간의 뇌 신경망 구조를 모방해 인공지능^{AI} 딥러닝 알고리즘 및 대규모 행렬 연산을 전담 처리하도록 최적화된 반도체 연산 코어다.



과거 거대 데이터센터나 클라우드 서버의 고전력 GPU에 의존하던 AI 연산은 최근 NPU 기술의 고도화에 힘입어 스마트폰·스마트가전·로봇·CCTV 등 손끝의 단말기^{Edge Device} 내부로 빠르게 통합되고 있다. NPU는 저전력·고효율의 병렬연산 성능을 바탕으로 기기 자체에서 실시간 영상 및 음성 인식을 지원하며, 온디바이스 AI 시대를 여는 핵심 두뇌 역할을 담당하고 있다.

적용 사례

#과기정통부·AMD, 국산 NPU 연계 AI 인프라 구축 및 생태계 협력

과학기술정보통신부와 글로벌 반도체 기업 AMD가 업무협약^{MOU}을 체결하고, AMD의 CPU·GPU와 국내 NPU를 결합한 이기종 AI 컴퓨팅 인프라 구축에 나선다. 단일 GPU 의존도를 낮추고, 국산 NPU 반도체가 글로벌 AI 공급망에 진입할 수 있는 레퍼런스 모델을 확보할 계획이다.



#경남, 국산 NPU 기반 AI 추론 서버 도입 및 지능형 재난 대응 플랫폼 구축

경상남도가 재난관리 분야 전국 최초로 국산 NPU 기반 AI 추론 서버를 대규모 도입한다. 4000대 이상의 공공 CCTV 영상을 지연 없이 실시간 분석하고, 비전 언어 모델^{VLM}과 결합해 재난 상황을 문장 형태로 전달함으로써 공공 관계 분야에서 국산 AI 반도체 상용화의 대표 사례를 만들고 있다.



#삼성SDS, 퓨리오사AI 2세대 NPU 기반 'NPUaaS' 출시 및 클라우드 AI 인프라 확장

삼성SDS가 퓨리오사AI의 2세대 NPU '레니게이트^{RN2D}'를 탑재한 NPUaaS^{NPU as a Service}를 삼성 클라우드 플랫폼^{SCP}을 통해 출시했다. 고성능 AI 추론에 특화된 국산 NPU 연산 자원을 구독형 클라우드로 제공해 고전력 GPU 대비 우수한 전력효율과 가성비비를 구현했다.



유사 개념

#CPU Central Processing Unit (중앙처리장치)

컴퓨터 및 시스템 전반의 제어와 직렬연산을 담당하는 대뇌 역할의 범용 프로세서다. 복잡한 명령어를 빠르게 처리하는 데 특화돼 있으나, 수만 개의 단순 행렬 연산을 동시에 처리해야 하는 AI 딥러닝 연산을 할 때는 전력 및 효율성 한계가 존재한다.

#GPU Graphics Processing Unit (그래픽처리장치)

수천 개의 코어를 통해 대규모 그래픽 및 병렬연산을 처리하는 프로세서다. AI 알고리즘 학습 및 초기 딥러닝 시장을 주도했으나, 높은 전력 소비와 발열, 비싼 단가로 인해 작은 가전제품이나 소형 에지 단말기에 직접 탑재하기에는 한계가 있다.

#AI SoC AI System-on-Chip (인공지능 시스템온칩)

CPU, 메모리 컨트롤러, 통신모듈, 영상·음성 처리장치, 그리고 AI 연산을 전담하는 NPU를 하나의 반도체 칩 안에 통합한 패키지다. 단 하나의 칩만으로 기기 전체의 시스템 제어와 AI 기능을 완성성 있게 수행한다.

심화 개념

#TOPS Tera Operations Per Second

1와트^W의 전력으로 1초당 몇 조 번의 AI 연산을 처리할 수 있는지를 나타내는 NPU의 핵심 성능 평가지표다. 24시간 가동되거나 배터리로 작동하는 에지 기기에서는 전력 대비 연산 효율 TOPS/W^W을 극대화하는 NPU 설계기술이 필수다.

#반도체 IP Semiconductor Intellectual Property (지식재산권)

SoC(시스템온칩) 내부를 구성하는 각각의 검증된 기능 블록(NPU 코어, CPU 코어, 통신 및 센서 인터페이스 등)의 회로 설계 도면이자 자산이다. 팹리스 기업은 자체 핵심 IP에 검증된 표준 IP들을 종합해 완성된 AI SoC 칩으로 설계해낸다.

#테이프아웃 Tape-Out

팹리스 설계팀이 반도체 회로 설계를 완성하고, 실물 칩 제조를 위해 파운드리(제조 공장)로 설계 데이터를 전달하는 단계다. 과거 회로 도면 데이터를 마그네틱 테이프에 담아 파운드리에 전달했던 데서 유래한 용어다.



(주)웨이센



AI가 의사와 함께 내시경을 본다

실시간 영상 분석으로 소화기암 조기 발견 돕는 웨이센

위암과 대장암은 조기에 발견하면 완치 가능성이 크게 높아지는 대표적인 질환이다. 그러나 수많은 내시경 검사 속에서 작은 병변까지 놓치지 않는 일은 결코 쉽지 않다. 웨이센은 의료진의 판단을 실시간으로 지원하는 내시경 진단 보조 기술을 개발해 연구 성과를 의료 현장으로 연결했다. 실시간 영상 분석 기술로 시작한 연구는 상용화를 거쳐 실제 진료에 활용되고 있으며, 앞으로는 검사 품질관리와 의료서비스 혁신으로 영역을 넓혀가고 있다.

글 김선녀 사진 한상훈

연구과제명	소화기암의 조기 발견 및 치료 전략 수립을 위해 소화기 내시경 영상을 실시간(30 프레임 이상)으로 분석하는 인공지능 기반의 독립형 의료 영상 분석장치 기술 개발
제품명(적용 제품)	WAYMED Endo Upper2
개발기간(정부 과제 수행기간)	2021년 6월 1일 ~ 2023년 12월 31일
총 정부출연금	24억 2000만 원
개발기관명(또는 회사명)	(주)웨이센 / 공동 연구기관 : 한국화학융합시험연구원, KTR
참여연구진	총괄책임자 : 김경남 대표이사 실무책임자 : 이호석 이사 공동 연구기관 책임자 : 최정운 책임연구원

AI가 의사의 ‘두 번째 눈’이 되는 이유

소화기암은 조기에 발견할수록 치료 성과가 크게 높아지는 대표적인 암이다. 실제로 위암과 대장암 등 소화기암은 내시경 검사를 통해 조기에 발견하면 완치율이 90% 이상에 달하는 것으로 알려져 있다. 이 때문에 내시경 검사는 소화기암 예방과 조기 진단의 핵심 수단으로 자리 잡고 있다.

하지만 아무리 숙련된 의료진이라도 모든 병변을 빠짐없이 찾아내기는 쉽지 않다. 여러 연구에 의하면 내시경 검사 과정에서 병변 간과율이 평균 20% 수준에 이르는 것으로 보고하고 있다. 특히 우리나라는 연간 위내시경 약 1200만 건, 대장내시경 약 400만 건이 시행될 정도로 검사 건수가 많다. 향후 국가암검진에 대장내시경이 확대되면 검사 수요는 더욱 늘어날 것으로 예상된다. 검사 건수가 증가할수록 의료진의 부담 역시 커질 수밖에 없다.

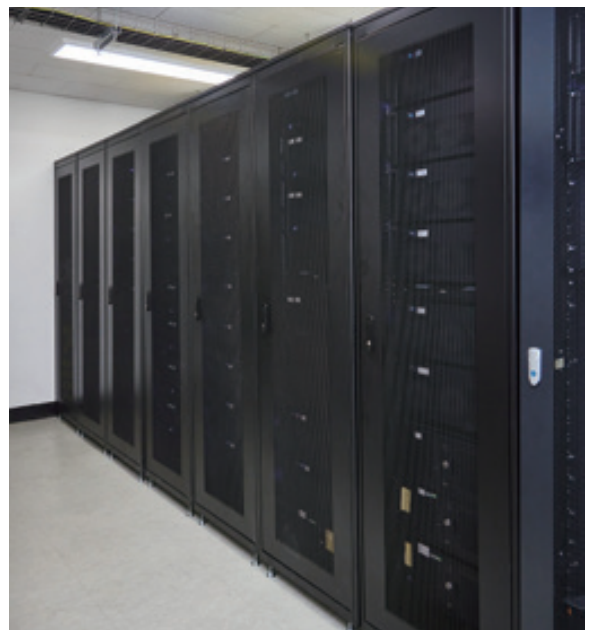
이러한 한계를 보완하기 위해 등장한 것이 AI 기반 내시경 진단 보조 기술이다. 웨이센은 내시경 영상을 실시간으로 분석해 의료진이 놓칠 수 있는 병변을 즉시 알려주는 AI 내시경 솔루션을 개발하고 있다. AI가 의사를 대신해 진단하는 것이 아니라, 검사 과정에서 또 하나의 ‘옵서버^{Observer}’가 되어 의사의 판단을 돕는 것이다. 김경남 웨이센 대표는 “내시경 검사는 조기 발견이 무엇보다 중요한 분야인 만큼 의료진의 숙련도와 피로도를 보완할 수 있는 실시간 AI 기술이 반드시 필요한 의료 영역”이라고 말한다.

의사와 동시에 보는 기술, ‘실시간’이 경쟁력이다

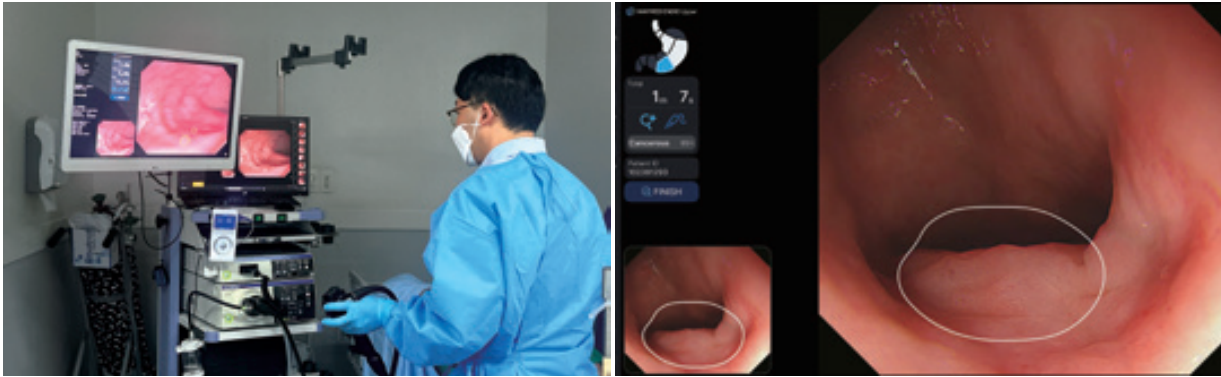
웨이센이 개발한 AI 내시경 솔루션의 가장 큰 특징은 ‘실시간’이다. 내시경 검사가 진행되는 동안 AI가 영상을 동시에 분석해 병변이 의심되는 부위를 즉시 표시한다. 검사와 동시에 병변을 찾아주는 것이다.

이를 위해서는 사람의 눈과 같은 속도로 영상을 처리하는 기술이 필수적이다. 내시경 영상은 초당 30장의 이미지가 연속적으로 재생되는 동영상으로 구성된다. AI 역시 최소 초당 30프레임 이상의 속도로 영상을 분석해야 의료진이 보는 화면과 같은 시점에 결과를 제공할 수 있다. 김경남 대표는 “MRI나 CT처럼 정지 영상을 분석하는 분야는 시간이 조금 걸려도 괜찮지만, 내시경은 의사보다 늦게 병변을 찾으면 의미가 없다”며 “의료진보다 빠르거나 최소한 동시에 알려줄 수 있는 실시간성이 가장 중요한 기술”이라고 설명했다.

웨이센은 이러한 속도를 구현하기 위해 기존 내시경 장비와 별도로 AI 분석 기능을 수행하는 독립형 의료 영상 분석장치를 개발했다. 검사 중 내시경 장비에서 출력되는 영상을 AI 장치가 실시간으로 받아 분석한 뒤 결과를 다시 모니터에 표시하는 방식이다. 별도의 장비를 사용하지만 기존 병원에서 사용 중인



방대한 내시경 동영상 데이터를 학습시키기 위해 웨이센 본사 내에 구축된 자체 AI 데이터센터 서버 랙.



검사와 동시에 초당 30프레임 이상으로 영상을 분석해 의료진의 정확한 진단을 돕는 ‘웨이메드 엔도’ 시연 모습. 의료진이 시술과 동시에 병변 상태를 한눈에 확인할 수 있도록 직관적인 UI/UX를 제공한다.

다양한 제조사의 내시경 장비와 연동할 수 있도록 설계해 활용성을 높였다.

높은 정확도를 확보하기 위한 데이터 구축도 중요한 과제였다. 일반적으로 병원에는 병변이 발견된 정지 영상 위주로 저장되지만, 실제 검사 현장에서는 빛 반사와 혈액, 점액, 장운동 등 다양한 환경이 계속 나타난다. 이러한 요소를 학습하지 않으면 정상 조직이나 이물질까지 병변으로 인식하는 오탐^{False Positive}이 늘어날 수 있다.

웨이센은 이를 해결하기 위해 대학병원과 협력해 대규모 내시경 동영상 데이터를 확보하고 자체 AI 데이터센터를 구축했다. 실제 검사 환경에서 촬영된 방대한 동영상 데이터를 기반으로 병변뿐 아니라 정상 조직과 다양한 검사 환경까지 함께 학습시키는 방식이다. 또한 의료 현장에서 발생한 오탐과 미탐 사례를 지속적으로 다시 학습시키며 성능을 고도화했다. 김 대표는 “자동차의 스마트센서가 운전자에게 사각지대를 알려주듯 AI 내시경도 의료진이 놓칠 수 있는 병변을 실시간으로 알려주는 보조자 역할을 한다”며 “중요한 것은 AI가 얼마나 빠르고 정확하게 의료진을 지원할 수 있는가다”라고 강조했다.

병변 발견을 넘어 검사 품질까지

웨이센이 개발한 AI 내시경 기술은 연구개발을 거쳐 의료기기 인허가를 획득하고 실제 의료 현장에서 활용되고 있다. 식품의약품안전처 혁신의료기기 지정됐으며, 기술성숙도^{TRL}

9단계에 도달해 연구실 수준을 넘어 상용화 단계에 진입했다.

기술도 단순히 병변을 찾아주는 수준을 넘어 한 단계 진화하고 있다. 초기 AI 내시경이 의료진이 놓칠 수 있는 병변을 실시간으로 탐지하는 데 초점을 맞췄다면, 앞으로는 내시경 검사 전 과정을 관리하는 ‘검사 품질관리^{Quality Management}’로 역할이 확대될 전망이다.

웨이센은 AI가 병변을 찾는 역할을 넘어 검사 전 과정을 분석하고 의료진이 가이드라인에 맞게 검사를 수행했는지까지 지원하는 기술을 개발하고 있다. 또한 생성형 AI와 비디오 언어 모델^{Video Language Model}을 접목해 검사 결과를 자동으로 정리하고 리포트를 작성하는 기술도 연구 중이다.

김경남 대표는 “앞으로 AI 내시경은 병변을 잘 찾는 것은 기본이고, 그에 더해 검사 품질을 관리하고 의료진의 진료를 지원하는 방향으로 발전하게 될 것”이라며 “궁극적으로는 의료진이 좀 더 정확하고 효율적으로 진료할 수 있도록 돕는 플랫폼으로 진화하는 것이 목표”라고 밝혔다.

(주)웨이센은?

실시간 의료 영상 분석기술을 기반으로 내시경 진단 보조 솔루션을 개발하는 의료 AI 기업이다. 자체 영상 분석 기술과 의료 데이터 학습 역량을 바탕으로 의료기기를 상용화했으며, 현재는 검사 품질관리와 생성형 AI를 활용한 의료서비스 분야까지 연구개발을 확대하고 있다.

“

내시경 AI는 의사와 동시에
병변을 찾아야 합니다.
늦으면 의미가 없습니다.

”

Q1. 의료진이 실제로 가장 만족하는 부분은 무엇입니까?

실제 의료진은 ‘빠르고, 정확하고, 놓치지 않는 것’을 가장 중요하게 평가합니다. 내시경은 검사하면서 바로 병변을 확인해야 하기 때문에 AI가 늦게 알려주면 도움이 되지 않습니다. 의료진이 검사하는 순간 함께 보면서 필요한 정보를 즉시 제공하는 것이 가장 큰 장점입니다.

Q2. 개발 과정에서 가장 어려웠던 점은 무엇입니까?

데이터였습니다. 병원에는 병변이 있는 정지 영상은 많지만 실제 검사 과정을 담은 동영상은 거의 저장되지 않습니다. 그래서 협력 병원과 함께 동영상 데이터를 구축하고 자체 데이터센터를 운영하면서 실제 검사 환경을 그대로 학습시키는 데 많은 노력을 기울였습니다.



Q3. AI 내시경을 쉽게 비유하면 어떤 기술이라고 설명할 수 있을까요?

자동차의 스마트센서와 비슷합니다. 운전자가 보지 못하는 사각지대를 알려주듯, 내시경 AI도 의료진이 놓칠 수 있는 병변을 실시간으로 알려주는 역할을 합니다. 진단을 대신하는 것이 아니라 의료진이 더 정확하게 검사할 수 있도록 돕는 ‘두 번째 눈’이라고 생각하면 됩니다.

Q4. 앞으로 내시경 진단 기술은 어떻게 발전할 것으로 보십니까?

앞으로는 병변을 잘 찾는 것은 기본 역량이 될 것입니다. 그다음 단계는 검사 품질을 관리하고 검사 결과를 자동으로 정리하는 것입니다. AI가 의료진의 판단을 지원하는 것을 넘어 검사 전반의 효율성과 품질을 높이는 방향으로 발전할 것으로 기대합니다.

R&D 사전

#진단용 의료기기

진단용 의료기기는 환자의 질병 예방, 진단, 상태 모니터링을 목적으로 인체 내부나 체액, 생체 정보 등을 측정·관찰해 이상 여부를 판별하는 전자 의료 장비 및 시스템의 총칭이다.



과거 단순 광학 영상이나 정지 이미지 수집 수준에 머물렀던 진단 장비는 최근 초고속 영상 처리 기술과 인공지능^{AI}이 결합되면서, 검사 현장에서 미세 병변을 실시간으로 검출·진단 보조하는 고부가가치 시스템으로 빠르게 진화하고 있다.

적용 사례

#한국의료기기산업협회, 베트남서 '2026 K Med Expo' 성료

한국의료기기산업협회와 킨텍스가 베트남 호찌민에서 개최한 '2026 K Med Expo'에서 국내 80개 기업이 진단용 의료기기 및 첨단 의료 솔루션을 선보였다. 국내 기업들은 이번 전시회를 통해 총 940억 원 규모의 수출 상담과 507억 원 규모의 계약 추진 성과를 거두며, 글로벌 시장 경쟁력을 입증했다.



#웨이센-대웅제약, AI 내시경 국내 보급 확대를 위한 전략적 협력

의료 AI 전문 기업 웨이센이 대웅제약과 AI 내시경 영상 분석 소프트웨어 '웨이메드 엔도'의 공급 계약을 체결했다. 웨이메드 엔도는 기존 내시경 장비와 연동돼 위·대장 검사 시 실시간으로 병변을 감지하는 진단용 의료기기 소프트웨어^{SaMD}로, 대웅제약의 네트워크를 통해 국내 의료 현장 보급이 한층 가속화될 전망이다.



#식약처, 체외진단의료기기 안전·유통관리 강화 및 자가검사 품목 확대 추진

식품의약품안전처가 체외진단의료기기 특성을 반영한 위해도 평가·회수 가이드라인 제정과 콜레스테롤 등 자가검사 품목 확대를 위한 전용 연구 사업을 추진한다. 식약처는 진단 오류에 따른 사회적 위험을 예방해 진단용 의료기기 전반의 안전성과 사후 유통관리 체계를 고도화할 방침이다.



유사 개념

#영상진단기기

인체 내부의 구조나 조직을 광학·X선·초음파·자기장 등을 이용해 비침습적으로 영상화하여 질병을 진단하는 장비군이다. 소화기 내시경·엑스레이·CT·MRI 등이 대표적이며, 인공지능과 결합해 병변 탐지 성능을 극대화하는 추세다.

#체외진단기기

인체에서 채취한 혈액·대소변·조직 등 검체를 대상으로 유전자·단백질·생화학적 반응을 측정·분석하는 기기 및 시약·소프트웨어 시스템이다. 인체 내부를 직접 관찰하는 영상진단기기와 함께 정밀의료 진단 체계의 핵심 축을 이룬다.

#생체 현상 측정기기

인체에서 발생하는 전기적·물리적 생체 신호(심전도·뇌파·혈압·체온 등)를 측정해 장기나 신경계의 이상 여부를 평가하는 장비다. 최근 모니터링을 넘어 실시간 이상 징후를 예측하는 방향으로 발전하고 있다.

심화 개념

#컴퓨터 보조 검출 및 진단 CAD Computer-Aided Diagnosis

진단용 의료기기 내 영상 분석 알고리즘 시스템이다. 이상 병변의 위치를 화면에 실시간으로 표시하는 '검출^{CADe}' 단계와, 병변의 질환 가능성 및 악성 여부를 분석·보조하는 '진단^{CADx}' 단계로 나뉜다.

#온디바이스 의료 진단장치

외부 클라우드 서버나 인터넷 네트워크 연결 없이, 단말기 자체에 탑재된 온디바이스 NPU(신경망 처리장치) 모듈로 실시간 AI 연산을 수행하는 진단용 의료기기 아키텍처다. 네트워크 지연 문제를 극복하고, 보안성을 제공한다.

#혁신의료기기 통합심사 평가 제도

첨단기술(AI·빅데이터 등)이 결합된 진단용 의료기기의 신속한 임상 현장 도입을 위해 식품의약품안전처와 보건복지부가 협력해 인허가 및 수가 진입 절차를 일괄 진행하는 제도다.

첨단산업 경쟁력 높이는 정책 드라이브

국내1

반도체 EUV 장비 도입 절차 대폭 단축



정부가 반도체 핵심 공정에 사용되는 EUV(극자외선) 노광장비의 국내 도입 절차를 간소화한다. ‘고압가스 안전관리법 시행령’ 개정으로 글로벌 안전기준을 충족한 EUV 장비를 기존 ‘고압가스 제조시설’이 아닌 ‘특정설비’ 기준으로 관리하면서 검사 절차가 대폭 줄어든다. 이에 따라 삼성전자와 SK하이닉스 등 국내 반도체 기업은 첨단 생산 라인 구축에 필요한 장비를 좀 더 빠르게 도입할 수 있게 됐다.

그동안 EUV 장비는 내부에 고압가스 배관과 압축 설비가 포함돼 있어 제조시설로 분류됐다. 장비를 설치할 때마다 기술 검토와 허가, 중간검사, 완성검사 등을 거쳐야 했고, 해외 공인 검사기관의 내압·기밀 검사까지 받아야 해 시간과 비용 부담이 컸다. 산업부는 반도체 업계와 협의를 거쳐 글로벌 안전기준과 국내 안전관리 체계를 검토한 끝에 EUV 장비를 특정설비로 전환하는 제도 개선을 추진했다.

산업부는 이번 개정으로 안전 수준은 유지하면서도 기업 부담은 줄일 수 있을 것으로 보고 있다. EUV 장비는 특정설비로 전환되더라도 제조사의 품질관리 능력을 확인하는 공장 심사와 종합 공정검사를 주기적으로 실시해 기존과 동일한 수준의 안전성을 확보할 계획이다. 규제는 합리화하되 안전관리는 유지하는 방향으로 제도를 개선했다는 설명이다.

검사 기간 25일 단축 기대

이번 개정으로 기술 검토와 검사 절차가 간소화되면서 장비 도입 기간이 기존 34일에서 9일로 최대 25일 단축된다. 해외 공인 검사기관의 검사 비용도 장비당 약 5억 원 절감될 것으로

예상된다. 정부는 첨단 제조 장비를 적기에 도입해 생산 라인을 신속히 가동함으로써 국내 반도체 산업의 초격차 경쟁력을 높일 수 있을 것으로 기대하고 있다.

산업부는 시행령 개정과 함께 시행규칙도 정비해 액화 이산화탄소 세정설비 검사기준을 신설하고, 위험성이 낮은 고압가스 시설의 안전관리 기준도 현실에 맞게 개선할 계획이다.

김정관 산업부 장관은 “안전 확보와 첨단산업 경쟁력 강화를 동시에 달성하는 대표적인 규제 혁신 사례”라며 앞으로도 글로벌 기준에 맞는 합리적인 안전관리 체계를 마련해 첨단산업 투자를 적극 지원하겠다고 밝혔다.



6월 2일 청와대에서 열린 제24회 국회의 겸 제11차 비상경제점검회의 현장. 정부는 이날 회의에서 EUV 등 글로벌 안전기준을 충족한 반도체 제조 장비를 ‘특정설비’로 전환 관리하는 ‘고압가스 안전관리법 시행령’ 개정안을 의결하고, 장비 도입 기간을 최대 25일 단축하는 규제 혁신 방안을 발표했다.

정부, 핵심 광물 금융·R&D 패키지 지원 본격화



정부가 핵심 광물 공급망 안정화를 위해 산업정책과 금융지원을 연계한 투자 지원을 강화한다. 산업통상부와 금융위원회는 핵심 광물 해외 개발·가공·재자원화 기업 간담회를 열고 국민성장펀드를 활용한 투자 확대 방안을 논의했다. 첨단산업의 원료인 핵심 광물 공급망을 안정적으로 확보해 반도체와 AI, 미래 차 등 국가 첨단산업의 경쟁력을 뒷받침하겠다는 구상이다.

이번 간담회는 2월 5일 발표한 ‘희토류 공급망 종합대책’의 후속 조치로 마련됐다. 산업부는 해외 자원 개발 특별용자와 해외 조사사업, 재자원화 설비투자과 원료 비축 지원 확대 방안을 소개했으며, 희토류 영구자석 등 핵심 광물 가공 분야 연구개발^{R&D} 지원 방향도 제시했다. 금융위는 핵심 광물을 국민성장펀드의 12대 첨단 전략산업 지원 분야 가운데 하나로 선정하고, 해외 자원 확보부터 정·제련, 소재 가공, 재자원화까지 핵심 광물 전 주기에 대한 투자를 적극 지원할 계획이라고 밝혔다.

핵심 광물은 반도체와 배터리·전기차·AI 등 첨단산업의 필수 원료지만 대부분 해외 수입에 의존하고 있어 공급망 불안이 지속적으로 제기됐었다. 특히 최근 주요 자원 보유국들의 수출 규제와 글로벌 자원 확보 경쟁이 심화되면서 해외

자원 개발과 국내 가공·재자원화 역량을 동시에 강화해야 한다는 필요성이 커지고 있다. 정부는 이번 투자 지원을 통해 핵심 광물 공급망을 다변화하고 산업 전반의 공급 안정성을 높인다는 계획이다.

민관 협력으로 공급망 경쟁력 확보

간담회에서는 해외 자원 개발과 핵심 광물 가공, 재자원화 분야 기업들이 사업 추진 과정에서 겪는 어려움과 투자계획을 공유했다. 기업들은 글로벌 자원 확보 경쟁 심화와 핵심 설비투자 부담, 재자원화 원료 확보의 어려움을 설명하며 민간이 감당하기 어려운 위험을 공공이 함께 분담할 필요가 있다고 제안했다. 정부는 공급망 파급효과가 큰 프로젝트를 중심으로 투자 지원을 확대할 방침이다.

산업부는 핵심 광물 공급망 구축이 첨단산업 경쟁력과 국가 경제 안보를 좌우하는 핵심 과제인 만큼 해외 자원 개발과 정·제련, 가공, 재자원화 등 과정에 사업화와 금융지원을 강화해나갈 계획이다. 정부는 민관 협력을 바탕으로 안정적인 핵심 광물 공급망을 구축하고 글로벌 공급망 불확실성에 대응해나간다는 방침이다.



2월 5일 대구 성림첨단산업 현풍공장을 방문해 희토류 영구자석 생산시설을 둘러보고 있는 김정관 산업통상부 장관과 관계자들. 정부는 ‘희토류 공급망 종합대책’에 이어 금융지원과 R&D 연계를 강화하며 민관 협력 기반의 핵심 광물 공급망 안정화에 박차를 가하고 있다.

EU, 반도체법 2.0 추진으로 산업 경쟁력 강화



유럽연합^{EU}이 기존 반도체법^{Chips Act}을 보완한 ‘반도체법 2.0^{Chips Act 2.0}’을 추진하며 반도체 산업 경쟁력 강화에 나섰다. 생산시설 투자 중심이었던 기존 정책에서 나아가 연구개발^{R&D} 성과의 사업화와 시장 수요 확대까지 지원 범위를 넓혀 글로벌 반도체 경쟁력 회복을 본격화하겠다는 전략이다.

EU 집행위원회는 지난 6월 기술 주권 패키지의 일환으로 반도체법 2.0(개정안)을 발표했다. 개정안에는 반도체 연구개발 성과를 산업 현장으로 연결하는 지원체계와 펩리스 기업 육성, AI 반도체 투자 확대 등이 담겼다. 특히 미국 국방고등연구계획국^{DARPA} 방식의 ‘그랜드 챌린지’를 도입해 시장 수요와 연계된 기술 개발을 지원하고, 성과 중심의 연구개발 체계를 구축할 계획이다.

생산 확대에서 산업 생태계 육성으로 전환

이번 개정안은 반도체 공급 확대에 집중했던 기존 반도체법과 달리 산업 생태계 전반을 지원하는 방향으로 정책의 무게중심을 옮겼다. 수십억 유로 규모의 전략 프로젝트를 우선 지원하고 EU와 회원국, 민간이 공동 투자하는 체계를 구축하는 한편, 인허가 절차를 간소화하고 반도체 우수 지역 인증 제도를 도입한다. 국가보조금 지원 대상도 원자재와 첨단 패키징,

조립까지 반도체 가치사슬 전반으로 확대할 예정이다.

EU는 2035년까지 공공과 민간을 합쳐 총 1200억 유로를 투자하고, 이 가운데 300억 유로를 첨단 파운드리 구축에 투입할 필요가 있다고 보고 있다. 반도체 공급 위기가 발생할 경우 EU 집행위원회가 생산 우선순위를 조정할 수 있는 권한도 마련했다.

이번 개정안에는 유럽 반도체 설계 경쟁력 강화를 위한 지원책도 포함됐다. 현재 전 세계 펩리스 기업이 반도체 시장 매출의 절반가량을 차지하고 있지만 유럽 기업의 비중은 1%에도 미치지 못하고 있다. 이에 따라 펩리스 기업 협력체계 구축과 AI 반도체를 비롯한 차세대 칩 설계기술 투자를 확대해 설계부터 제조까지 이어지는 산업 생태계를 강화할 계획이다.

현재 EU는 반도체법 1.0을 통해 반도체 파일럿 라인과 역량센터를 구축하고 클라우드 기반 반도체 설계 플랫폼을 마련하는 등 기반 조성에 성과를 거뒀다. 그러나 인텔의 독일 공장 투자 철회 등 대규모 생산시설 유치에는 한계를 드러냈으며, 유럽회계감사원^{ECA}도 세계 반도체 시장점유율 20% 목표 달성이 쉽지 않을 것으로 평가했다. 이에 EU는 반도체법 2.0을 통해 반도체 생태계를 구축하고 글로벌 경쟁력을 높인다는 전략이다.



‘반도체법 2.0’을 추진하며 반도체 산업 생태계 전반의 경쟁력 강화에 나선 유럽연합^{EU}. 2035년까지 1,200억 유로 규모의 투자를 유치하고 국가보조금 대상을 가치사슬 전반으로 확대해 글로벌 점유율 회복을 노린다.

아치댐은 힘에 ‘맞서지’ 않는다

중세 교회의 높은 지붕과 수만 톤의 거대한 강물을 가둬두는 협곡의 댐에는 하나의 공통점이 있다. 바로 곡선을 통해 압력을 양옆으로 흘려보내는 ‘아치^{Arch}’ 구조다. 14세기 작은 댐부터 중국의 최첨단 댐까지, 아치형 댐의 과학적 원리와 곡선의 지혜를 함께 파헤쳐본다.

글 박재용 작가



높은 건축물을 가능하게 한 아치 구조

중세 시절 지어진 서양 교회를 보면 하나같이 기둥과 기둥 사이가 위로 볼록한 아치 모양이다. 아치는 받치는 힘이 세기 때문이다. 아치를 구성하는 벽돌이 센 것이 아니라 구조가 힘을 옆으로 흘려 기둥에 보내기 때문이다. 그래서 철근 콘크리트 구조가 나오기 전 건물을 높이 지을 때는 아치가 필수였다.

조금 자세히 알아보자. 두 기둥 위에 콘크리트로 만든 막대를 가로로 놓았다. 그리고 막대 위에 아주 무거운 돌을 올린다. 이제 막대는 아래 방향으로 약간이나마 휘게 된다. 위쪽은 아래로 오목하게 휘면서 길이가 줄어든다. 이때 생기는 힘을 압축력이라고 한다. 반대로 아래쪽은 볼록하게

휘면서 길이가 늘어난다. 이때 생기는 힘을 인장응력이라고 한다. 콘크리트나 벽돌, 돌 등은 압축응력에는 잘 버티나 인장응력에는 아주 약하다.

그런데 아치 모양으로 만들면 인장응력이 없어진다. 위에서 힘을 가하면 아치는 양 끝을 밖으로 밀어내려고 한다. 이때 양 끝이 고정돼 있으면 이 힘이 아치 전체를 따라 압축하는 방향으로 작용한다. 그래서 인장응력이 압축응력으로 바뀌는 것이다. 그리고 아치 전체를 따라 압축하는 힘은 결국 양 끝을 향하고, 양 끝의 기둥이 이를 버티는 구조가 된다. 그런데 기둥도 돌이나 콘크리트나 위에서 누르는 힘에 강하다. 옛 건축물이 몇 층 높이가 되어도 버틸 수 있었던 이유다.



타임라인 ▶ 경험에서 컴퓨터 수치 해석까지, 아치댐의 역사

14세기

이란 쿠릿댐 Kurit Dam

높이 60m로 정밀 계산 없이 중세 공학 기술력으로 건설된 아치댐. 14세기 건설 이래 20세기 초까지 세계에서 가장 높았던 댐.

1854년

프랑스 졸라댐 Zola Dam

수학적 공학 설계를 최초로 적용하여 아치 구조의 안전성을 공식 계산한 현대적 아치댐.

1930년대

미국 후버댐 Hoover Dam

콜로라도강의 막대한 수압을 극복하기 위해 정밀 계산으로 한계에 도전한 거대 토목의 상징.

2021년

중국 바이허탄댐 Baihetan Dam

컴퓨터를 통해 수백만 개 조각으로 응력을 정밀 계산해 완성한 세계 최대급 아치댐(289m).

이 아치 구조를 댐에도 쓴다. 댐은 물을 막는 건축물이다. 수심·수백 미터 높이로 담긴 물이 댐을 미는 힘은 어마어마하다. 이를 버티기 위해 댐은 무게를 이용한다. 예전에는 흙으로, 지금은 주로 콘크리트로 아주 두껍게 만든다. 여기서 아래를 넓고 위를 좁게 만들어 물의 압력을 아래로 분산시키는 방법도 쓴다. 이렇게 자체 무게로 버티는 댐을 중력댐이라고 한다. 제대로 버티려면 아래쪽 폭이 엄청나게 넓어야 한다. 하지만 아치를 만들면 이야기가 달라진다. 상류 쪽으로 볼록하게 만든 댐은 힘을 옆으로 흘린다. 이렇게 흘린 힘은 댐 옆의 암반으로 향한다. 댐 자체가 버티는 것이 아니기 때문에 중력댐에 비해 두께가 얇아도 된다. 건설 기간도 짧아지고 비용도 절약할 수 있다. 되도록 아치형 댐을 만들려는 이유다.

여기서 하나 더, 수심이 깊을수록 위에 있는 물의 무게가 더해져 압력이 커진다. 수면 근처는 약하게, 바닥 근처는 강하게 민다. 그래서 아치댐은 위아래가 같은 모양이 아니다. 수압이 강한 아래쪽일수록 아치의 곡률이 크고 두께도 두껍다. 위쪽은

상대적으로 완만하고 얇다. 댐을 정면에서 보면 단순한 벽처럼 보이지만, 단면을 층층이 잘라보면 높이마다 곡선의 형태가 조금씩 다르다. 각 층이 그 높이에서 받는 수압에 정확히 맞춰 설계되어 있다.

14세기경 지어진 이란의 쿠릿댐은 건설 이래 20세기 초까지 세계에서 가장 높은 댐으로, 높이가 60m였다. 60m지만 당시 기술로는 대단한 성과였다. 아치 원리를 수학적으로 계산해서 만든 최초의 댐은 1854년 완공된 프랑스의 졸라댐이다. 이전까지의 아치댐이 경험과 직관에 의존했다면 이때부터 공학적 설계가 안전을 담당했다. 20세기 초 미국에서 만든 후버댐은 당시 세계 최대 규모였다. 콜로라도강의 엄청난 수압을 처리하기 위해 당시로서는 전례 없는 정밀 계산이 동원되었다.

그리고 컴퓨터가 도입되면서 아치댐의 역사가 바뀌었다. 이전에는 수천 가지 변수를 손으로 계산했기 때문에



미국 콜로라도강 협곡에 지어진 글렌캐니언댐. 단단한 암벽과 좁은 수로라는 아치댐의 핵심 입지 조건을 직관적으로 보여준다.

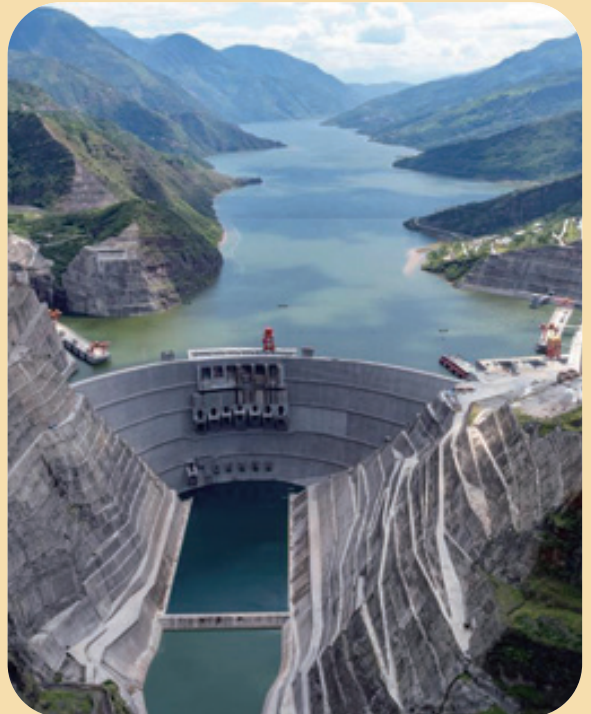
설계에만 수년이 걸렸다. 하지만 유한요소해석이 도입되고 이를 컴퓨터로 계산하면서 설계 기간이 대폭 줄었고 정밀도는 더 높아졌다.

유한요소해석은 댐 전체를 수백만 개의 작은 조각으로 나누고, 각 조각에 걸리는 힘을 컴퓨터로 계산한다. 설계 변수를 바꾸면 즉시 전체 응력 분포가 다시 계산된다. 덕분에 댐 형태를 최적화하여 콘크리트 사용량은 줄이면서도 안전성은 더 높아졌다.

현재 최대 규모의 아치댐은 중국에 있다. 2021년 완공된 바이허탄댐은 아치댐 중 세계에서 두 번째로 높고 발전 용량은 세계 최대다. 중국은 21세기 들어 양쯔강 지류 협곡에 대형 아치댐을 집중적으로 건설하면서 이 분야 기술의 중심이 되었다.

하지만 모든 장소에 아치댐을 짓는 것은 아니다. 주로 좁은 협곡에 짓는다. 이유는 충분히 휘어야 하기 때문이다. 강곡이 넓은 곳에 아치댐을 지으려면 거의 반원형이 되어야 한다. 이렇게 되면 오히려 중력댐보다 댐 길이가 훨씬 길어져서 경제성이 없다. 또 하나, 거의 반원형이 되면 아치가 흘린 힘을 옆의 암반이 거의 직각으로 받게 되는데 이러면 암반이 단단해도 위험하다. 그래서 비교적 폭이 좁은 곳에 아치를 쓴다. 또 하나 조건이 있다. 옆의 암반이 단단해야 한다. 물의 힘을 옆으로 흘려 암반으로 보내니 힘을 집중적으로 받는다. 만약 암반이 버티지 못하면 무너지고 만다.

하지만 단단한 암반도 한계가 있다. 지진에는 암반 자체가 흔들린다. 지진이 발생하면 지진파 세 가지가 오는데 각각의 진동 방향이 다르다. 위아래로도 흔들리고, 수평 방향으로도 흔들린다. 아치댐은 물의 힘을 암반으로 전달하는 구조인데, 암반이 흔들리면 설계할 때 계산하지 않은 방향으로 압력을 받게 된다. 콘크리트는 이런 예상치 못한 방향의 힘에는 취약하다. 그래서 지진이 잦은 지역에 아치댐을 지을 때는 지진 하중을 별도로 계산해 설계에 반영한다. 하지만 아무리 정밀하게 설계해도 자연이 만들어내는 변수를 완전히 통제할 수는 없다.



중국 바이허탄댐. 컴퓨터 시뮬레이션으로 높이별 수압에 맞춘 형태와 두께를 계산해낸 현대 아치댐 기술의 결정체다.

기후변화도 새로운 변수다. 강수 패턴이 바뀌면서 저수지 수위가 설계 당시 예상 범위를 벗어나는 일이 생긴다. 수위가 달라지면 수압 분포가 달라지고, 아치에 걸리는 힘의 균형이 흔들린다. 100년을 버티도록 설계된 댐이 50년 만에 안전 마진을 재계산해야 하는 상황이 세계 곳곳에서 벌어지고 있다.

아치댐은 힘에 맞서지 않는다. 물이 미치는 방향 그대로 곡면을 따라 흘러보낸다. 두꺼운 벽이 아니라 흰 형태가 물을 막는다. 중세 교회의 아치가 천 년을 버텼듯, 협곡 사이에 흰 콘크리트 한 장이 강 하나를 붙잡고 있다.



박재용 작가

과학과 일상의 연결, 과학과 사회, 과학과 미래 환경에 관해 책을 쓰고 말하는 과학 저술가이자 커뮤니케이터다. EBS 다큐프라임 <생명, 40억 년의 비밀> 시리즈의 '멸종', '짜짓기', '경계' 등을 집필했다.

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

글 과학 커뮤니케이터 이종원 교수

과학은 즐겁게,
세상은 새롭게

똑소리 나는 일상 속 과학 이야기

Q1. 다 쓴 건전지, 충전기에 꽂아 다시 쓸 수는 없을까요?

건전지는 화학반응으로 전기를
만들어내는 아주 작은 발전소입니다.
알칼리 건전지 안에는 아연이라는
금속, 이산화망간이라는 물질, 그리고
둘 사이에서 전기를 실어 나르는
 전해질(전기가 통하는 액체)이 들어
있습니다. 전기가 흐른다는 것은 아연이
전자(물질을 이루는 아주 작은 알갱이로,
전기를 띠고 있음)를 내놓고 그 전자가
회로를 돌아 이산화망간 쪽으로 건너가는
과정입니다. 이때 아연은 전자를 잃는
'산화', 이산화망간은 전자를 받는
'환원' 반응을 겪으며 둘 다 다른 물질로
바뀝니다. 문제는 이 변화가 어느
지점을 넘어서면 물질의 짜임새 자체가
굳어버려 원래대로 돌아오지 않는다는

점입니다. 그래서 역지로 전기를 반대로
흘려도(충전) 원래 재료가 살아나지
않고, 대신 전해질 속의 물이 쪼개지는
전기분해가 일어나 가스가 생깁니다. 이
가스가 밀폐된 통 안에서 압력을 높여
건전지를 부풀리거나 터뜨리는 것입니다.
반대로 충전지는 산화·환원 반응이
깔끔하게 되돌아가는 재료로 만들고,
가스를 줄이는 물질과 압력을 빼주는
안전밸브까지 넣어 여러 번 다시 쓸 수
있습니다.

Q2. 양치 직후 먹은 글은 왜 단맛 없이 쓰기만 할까요?

혀에는 맛을 알아채는 미각 수용체(맛
감지기)가 촘촘히 박혀 있습니다.
단맛·쓴맛·신맛을 맡는 수용체가 각각
따로 있어서, 설탕이 단맛 수용체에
달라붙으면 '달다'는 신호가 뇌로

전달됩니다. 치약에서 거품을 내는
성분은 계면활성제^{SLs}입니다. 기름과
물을 동시에 붙잡아 기름때를 씻어내는
것으로 비누·세제와 같은 성분이지요. 이
계면활성제가 입안에서 두 가지 일을
합니다. 첫째, 단맛 수용체의 작동을 잠시
방해해 단맛을 약하게 만듭니다. 둘째,
혀 표면에는 평소 쓴맛 수용체를 눌러
재워두는 얇은 인지질(기름 성분의 막)
층이 깔려 있는데, 계면활성제가 이 기름
막을 씻어내면서 쓴맛 수용체가 갑자기
예민해집니다. 귤과 오렌지에는 원래
시트르산(신맛·쓴맛을 내는 산 성분)이
들어 있지만, 평소엔 풍부한 단맛에 가려
잘 느껴지지 않습니다. 그런데 양치 직후엔
단맛은 놀리고 쓴맛은 커지니, 숨어 있던
쓴맛만 톡 튀어나오는 것입니다. 실제로
1980년에 실험을 통해 치약 성분을
머금은 뒤 오렌지의 신맛에 쓴맛이 새로
 더해진다는 사실이 확인되었습니다.



다행히 침이 돌고 다른 음식을 먹으면
성분이 씻겨나가고 기름 막도 되살아나,
곧 원래 맛으로 돌아옵니다.

Q3. 안전벨트 경고음, 좌석에 정말 무게 센서가 있는 걸까요?

답은 ‘그렇다’지만, 정확히는 두 종류의
센서가 협력합니다. 첫 번째는 좌석 방식
속에 얇게 깔린 압력 센서(누르는 힘을
감지하는 센서)입니다. 사람이 없으면 그
무게에 눌러 내부의 전기 상태가 바뀌고,
자동차는 이 변화를 읽어 ‘좌석에 누가
있다’고 판단합니다. 누리는 무게의
크기까지 가능해 어른인지 아이인지,
빈자리인지 구분하는 정교한 것도
있습니다. 두 번째는 벨트를 꽂는
부분(버클) 안의 작은 스위치입니다.
여기엔 자석이 가까이 오면 접점이
붙는 리드 스위치나, 자석의 힘이
달라지는 것을 읽어내는 홀 센서(자기장
변화를 전기신호로 바꾸는 센서)가
흔히 쓰입니다. 결과는 ‘멤’ 아니면 ‘안
멤’, 두 가지로 단순합니다. 자동차의
판단 장치는 이 두 신호를 합쳐 ‘좌석에
무게는 있는데 벨트는 안 땀다’가 되는
순간에만 경고음을 냅니다. 그래서
무거운 가방이나 장바구니를 조수석에
올려두면 사람으로 오해해 경고음이
울리기도 합니다. 같은 정보는 사고 순간
에어백을 언제, 얼마나 세게 터뜨릴지
정하는 데도 쓰입니다. 그리고 운전석은
시동이 걸리면 운전자가 당연히 있다고
보고 버클 스위치만으로 판단하는
경우가 많습니다.



Q4. 하늘엔 길이 없는데, 비행기의 보이지 않는 항로는 어떤 기준으로 정할까요?

옛날에는 하늘에서 자기 위치를 알 방법이
지상에 세워둔 전파 등대뿐이었습니다.
대표적인 것이 VOR(초단파 전 방향
무선표지)인데, 사방으로 전파를 쏘는
등대여서 비행기가 그 신호를 받으면 ‘내가
이 등대를 기준으로 어느 방향에 있는지’
알 수 있습니다. 그래서 등대에서 등대로
방향을 확인하며 날았고, 전파가 닿는
거리가 정해져 있다 보니 항로가 등대들을
징검다리처럼 잇는 모양이 되었습니다.
지금은 GPS 덕분에 지상 등대가 없어도
지도 좌표만으로 정한 지점(웨이포인트)을
곧장 이을 수 있어, 항로가 훨씬 곧고
효율적으로 바뀌고 있습니다. 길을 놓는
기준은 지상 도로와 닮았습니다. 비행기끼리
부딪히지 않게 좌우 간격을 두고, 높이를
층층이 나눠 위아래로 떨어뜨리며, 산이나
장애물 위로 안전한 최저 높이를 확보하고,

군사·금지구역은 피합니다. 한 가지
흥미로운 점은 대권항로(지구본 위에서
두 지점을 잇는 가장 짧은 큰 원 모양의
길)입니다. 지구가 둥글기 때문에, 이 진짜
최단 거리가 평평한 지도 위에서는 위로
휘어진 곡선처럼 보입니다. 지도에서
빙 돌아가는 듯한 북극 근처 항로가
실제로는 가장 가까운 길인 이유입니다.
또 레이더가 닿지 않는 넓은 바다
위에서는 제트기류(높은 하늘에서 빠르게
부는 강한 바람)를 등에 업도록 경로를
매일 새로 정해 연료와 시간을 아깁니다.



과학 커뮤니케이터 이종원 교수

계명대학교 건축학과 교수로 재직 중이며, 건축 및
도시를 전공한 연구자이자 과학 커뮤니케이터로도
활동하고 있다. 공공기관 및 정부 출연 연구원 등
다양한 분야에서의 특별한 경험을 바탕으로, 과학과
건축 이야기를 쉽고 재미있게 대중에게 전달한다.
현재 방송, 강연, 기고 등을 통해 과학 지식 대중화에
기여하고 있다.



LG전자의 일체형 히트펌프 시스템 보일러 설치 모습. 실외기와 주요 시스템 구성 요소가 하나로 결합된 구조로, 별도의 냉매 배관공사 없이 주택 외부에 깔끔하게 설치할 수 있다. 기존 온수 배관을 그대로 활용할 수 있어 교체 작업 및 설치 편의성이 뛰어나다.

고효율 히트펌프로 탄소 감축에 나선다

LG전자는 일체형 히트펌프 시스템 보일러를 출시, 국내 고효율 난방 전기화 시장을 공략한다. 히트펌프는 투입 대비 4~5배의 열에너지를 얻을 수 있어 화석연료 기반 보일러보다 에너지 비용을 절감할 수 있다.

글 구현화 한경 <ESG> 기자

LG전자가 일체형 히트펌프 시스템 보일러 신제품을 내놓는다. 15년간 축적해온 시스템 보일러 사업 역량과 유럽에서 입증된 기술력에 기반한 히트펌프를 출시, 국내 고효율 난방 전기화 시장 공략에 나선다는 계획이다.

신제품은 실외기와 주요 시스템 구성 요소가 일체화된 구조로, 별도의 냉매 배관공사가 필요 없다. 기존 주택의 온수 배관을 그대로 활용할 수 있어 설치 편의성 또한 뛰어나다. 기존 설비를 최대한 활용하기 때문에 기존 보일러를 교체할 경우에도 손쉽게 설치할 수 있다.

히트펌프, 기존 방식 대비 에너지 크게 절감

히트펌프는 냉매를 이용해 외부의 열을

실내로 가져오거나 실내 열을 밖으로 빼내는 고효율 냉난방 기기다. 열을 직접 생산하는 대신 이동시키는 원리로 작동해, 기존 방식 대비 에너지가 크게 절감돼 친환경 기술로 평가받는다. 투입 대비 4~5배 정도의 열에너지를 얻을 수 있어 화석연료 기반 보일러보다 에너지 비용을 40~60% 절감할 수 있고, 탄소 배출 저감에도 기여한다.

LG전자는 2011년부터 국내에서 시스템 보일러 사업을 지속하면서 국내 시장에 최적화된 사업 역량을 축적해왔다고 강조했다. 2018년부터는 국내 제조사 중 유일하게 주거용 일체형 히트펌프 시스템 보일러를 공급해왔다. 올해는 유럽 시장에서 입증된 고효율 신제품을 선보인다. 또한 신제품의 핵심 부품과 완제품의 국내 생산도 순차적으로

기존 보일러 vs 일체형 히트펌프 시스템

비교 항목	기존 화석연료 보일러	LG 일체형 히트펌프 시스템
에너지 효율	투입 대비 열에너지 1배 이하	투입 대비 4~5배 열에너지 획득
에너지 비용	기준점	기존 화석연료 보일러 대비 40~60% 절감
설치 편의성	-	일체형 구조(별도 냉매 배관공사 불필요, 기존 온수 배관 활용)
환경성(냉매/탄소)	높은 탄소 배출	R32 친환경 냉매(GWP 68% 감소) & 자발적 탄소배출권 연계



LG전자의 고효율·고성능 히트펌프가 지역 맞춤형 솔루션을 앞세워 유럽 공급을 확대한다. 사진은 LG전자 고효율 히트펌프 'LG 멀티브이 에스'가 공급된 세르비아의 주거단지 '킹스 서클'의 조감도.

추진해 더욱 안정적으로 시장에 공급할 계획이다.

히트펌프 시스템 보일러는 기존 보일러 대비 초기 도입 비용은 상대적으로 높지만, 운전시간이 길어질수록 누적되는 연간 에너지 비용 절감 효과로 전체 수명주기 관점의 경제성은 더 뛰어나다. 신제품은 정부가 2035년까지 온실가스 518만 톤¹ 감축을 목표로 추진 중인 히트펌프 350만 대 보급 사업 지원금을 받을 수 있다. 정부 지원금까지 고려하면 사용 패턴 등에 따라 5~6년 정도면 초기 투자비 회수가 가능할 것으로 예상된다.

LG전자는 기존 냉난방기에서 흔히 사용되는 R410A 냉매 대비 지구온난화지수^{GWP}가 68% 낮은 R32 냉매를 적용해 환경 부담을 줄이면서 시스템 효율은 높였다. 겨울철 추운 날씨에도 안정적으로 고온수를 공급할 수 있다. LG 씽큐^{LG ThinQ} 앱을 통한 원격제어 기능으로 사용 편의성도 강화했다.

히트펌프 통한 탄소 감축 프로젝트 추진

이와 함께 LG전자는 국제 탄소배출권 인증기관인 골드스탠더드^{Gold Standard Foundation}에 '고효율 히트펌프 기술을 활용한 연료 전환 기반 탄소 감축 프로젝트' 등록을 추진한다. 앞서 국내에서는 대한상공회의소의 탄소인증제를 통해 자발적 탄소배출권 사업을 진행 중인 가운데, 국제 인증기관의 인증을 추진하고 사업을 지속 확대해나간다는 복안이다.

LG전자는 글로벌 인증기관의 인증을 받은 고효율 히트펌프를 생산·판매해 에너지 사용량을 낮춘 만큼의 탄소배출권을 확보한다. 배출권 중 일부는 자발적 탄소시장^{VCM}을 통해 수익화하고, 이 수익을 온실가스 감축 사업에 다시 투자하는 등 선순환을 만들어나갈 계획이다.

LG전자는 2030년까지 2017년 대비 온실가스 배출량을 54.6% 감축한다는 목표를 설정하고, 고효율 설비 도입 및 재생 전력 확대를 추진하고 있다.





화제의 ESG 제품

LG전자, 초저전력 상업용 디스플레이 출시

LG전자가 종이의 질감을 그대로 구현하면서 전력 소모를 획기적으로 줄인 상업용 디스플레이 'LG 이페이퍼 디스플레이'(LG E-paper Display)를 앞세워 B2B 시장 공략에 속도를 낸다. LG전자는 6월 초 국내 출시를 시작으로 유럽 등 글로벌 시장에 LG 이페이퍼 디스플레이를 순차적으로 선보인다고 밝혔다. LG 이페이퍼 디스플레이는 전하를 띤 색 입자를 전기장으로 이동시켜 화면을 표시하는 전자잉크 패널 기술을 기반으로 작동한다. 이미지가 바뀔 때만 전력을 소비하기 때문에 기존 디지털 사이니지 대비 에너지 효율이 매우 높다. 32형 크기에 QHD 해상도를 갖추었으며, 자체 광원 없이 외부 빛을 반사하는 방식을 채택해 시야각이 넓고 눈의 피로감이 적다.





오텍캐리어, 가정용 일체형 히트펌프 보일러 출시

에너지 솔루션 기업 오텍캐리어가 공기열 히트펌프 기술을 적용한 가정용 일체형 히트펌프 보일러를 출시하며 주거용 난방 시장 공략에 나선다. 히트펌프는 외부 공기 속 열에너지를 활용해 난방과 급탕을 공급하는 고효율 설비다. 이번 출시 제품은 자연 속 공기열을 활용하는 ‘공기-물^{Air to Water}’ 방식의 히트펌프 기반 난방 시스템으로, 바닥 난방과 급탕 기능을 동시에 구현하도록 설계됐다. 최대 65°C 중온수를 안정적으로 공급하며, 고효율 냉동사이클 기술과 인버터 제어 기술을 적용했다. 같은 난방 성능 기준으로 가스보일러 대비 최대 약 65%의 에너지 비용 절감 효과를 기대할 수 있다. 오존파괴지수^{ODP}가 0인 친환경 냉매 ‘R32’를 사용해 탄소 배출 저감 효과도 기대할 수 있다.

SK AX, 그린워싱 잡는 인공지능 서비스 출시

SK AX가 친환경 허위·과장 광고를 잡아내는 인공지능^{AI} 서비스를 선보인다. SK AX는 녹색 위장(그린워싱) 등 법적 문제가 될 수 있는 콘텐츠를 사전 판별하고 대응 방안을 제공하는 AI 서비스 ‘엑스젠틱와이어 컴플라이언스^{AXgenticWire Compliance}’를 출시했다. 한국환경산업기술원에 따르면 2024년 기준 국내 그린워싱 적발 건수는 총 2528건에 달한다. 2020년 110건과 비교하면 4년 만에 약 23배나 급증했다. 이 서비스는 시가 3400건 이상의 판례와 심의 결정 사례를 미리 학습해, 서비스 입력창에 제품 소개서, 공시 보고서, 홈페이지 주소 등을 입력하면 단 몇 초 만에 위반 여부와 가이드라인을 받아볼 수 있다. SK AX는 이 서비스를 자사의 종합 ESG 관리 플랫폼인 ‘클릭 ESG’를 통해 제공할 계획이다.



소리에 대하여 ♪

소리는 누군가에게 ‘들릴 때’ 비로소 완성된다. 이번 칼럼에서는 과학·의학·음악 등 소리를 둘러싼 다양한 시선을 통해 청각 세계의 본질을 탐색한다.

글 이은희 과학 커뮤니케이터

소리는 나는 것일까, 들리는 것일까

생물은 태어나고 살아가다 언젠가 죽음을 맞이한다. 별들도 마찬가지다. 그들 역시 우주 어느 곳에서 태어나 존재하다가 소멸하는 삶의 궤적을 겪는다. 다만 찰나에 불과할 정도로 짧은 생명체의 한살이에 비해 별의 일생은 억겁에 달할 만큼 긴 시간이 걸린다는 점이 다를 뿐이다. 별들의 탄생은 비슷하지만, 그 죽음은 서로 다르다. 별이 어떤 마지막을 맞이할지는 전적으로 그 별의 질량에 달려 있다. 질량이 상대적으로 작은 별은 마치 빨감을



모두 태운 모닥불이 약간의 재만 남기고 저절로 꺼지듯이 백색왜성이 되어 수축하며 식어간다. 반면 질량이 매우 큰 별은 마치 불 속에 넣은 포탄이 터지듯, 모든 에너지를 일순간에 폭발시키는 초신성 폭발로 생의 마지막을 화려하게 장식한다. 초신성 폭발에서 발생하는 빛은 수억 광년 넘는 곳에서도 관측될 정도로 밝지만, 그 소리는 아주 가까운 곳에서도 들리지 않는다. 진공에 가까운 우주공간에서는 초신성 폭발에 수반되는 엄청난 진동을 음파로 바꿀 매질이 거의 존재하지 않기 때문이다. 그래서 우주는 고요하다. 별이 태어나고 불타오르고 사라지는 그 모든 변화는 빛으로 보이지만 소리로 들리지는 않는다. 소리는 나는 것이 아니라, 들리는 것이다.



<소리의 과학>

세스 S. 호로비츠 지음 / 노태복 옮김 / 에이도스 펴냄 / 2017

<소리의 마음들>

니나 크라우스 지음 / 장호연 옮김 / 위즈덤하우스 펴냄 / 2023

생명의 시작부터 뇌의 진화까지,

소리와 청각의 신경과학

생물의 특징 중 하나는 외부의 자극을 인식하고 그에 따라 반응한다는 것이다. 수많은 자극 중에서 가장 원초적인 자극은 소리와 냄새다. 세포 하나로 이루어진 박테리아조차도 인식하는 자극이 바로 이들이기 때문이다. 수십억 년에 이르는 생물의 진화 과정에서 수많은 생명체가 나타나고 사라져 갔으나, 소리를 인식하지 못하는 생물은 거의 없었다. 그 진화의 나이트에는 인간에게도 오롯이 남아 있다. 우리의 뇌는 소리에 반응하며 진화해왔고, 그리하여 소리는 우리의 마음을 만들었다. 소리, 그리고 그 소리를 인식하는 청각이 인간에게 미치는 영향을 신경과학자들이 지나칠 리 없다. 처음 나왔을 때 신선한 충격으로 다가왔던 <소리의 과학>은 아쉽게도 절판되었지만, 비슷한 내용을 다룬 <소리의 마음들>은 여전히 서점에서 만날 수 있다.

<뮤지코필리아>

올리버 섹스 지음 / 장호연 옮김 / 알마 펴냄 / 2012

올리버 섹스가 발견한 '음악하는 인간'

<아내를 모자로 착각한 남자>로 우리나라에도 잘 알려진 신경정신과 의사이자 작가인 올리버 섹스가 들려주는 음악과 인간의 정신에 대한 이야기. 평생 동안 보통의 사람들과는 다른 마음을 가진 이들을 접한 섹스 박사는 그 과정에서 음악이 가진 남다름에 주목하게 된다. 치매로 모든 기억을 잃었지만 자신이 불렀던 노래만은 기억하는 성악가, 치명적인 뇌염으로 발달장애인이 되었지만 수천 곡의 오페라를 모두 외우고 연주할 수 있는 음악 서번트, 뇌종양에 걸린 후 음악을 들으면 발작을 일으키는 음악가 등의 사례를 접하며 인간은 선천적으로 음악^{Music}을 사랑하는^{Philia} 존재로 타고났다고 여기게 되었다. 의학계의 시인^{Poet} Laureate of Medicine^{Laureate of Medicine}으로 불리는 섹스 박사가 들려주는 인간과 음악에 대한 흥미롭고 감동적인 이야기.



<언어의 아이들>

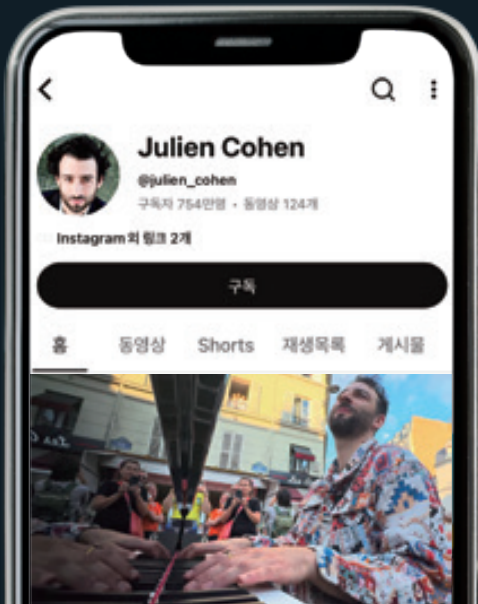
조지은 & 송지은 지음 / 사이언스북스 펴냄 / 2019

듣고 들려줄 때 비로소 의미가 되는 소리

인간은 생물학적으로 동물의 일종이다. 하지만 동물과는 다르다. 다른 동물들과 확연히 구분되는 특징 중 하나는 언어의 사용이다. 소리를 내는 동물은 셀 수 없이 많지만, 그 소리를 매우 정교하게 발화하여 정보를 교환하고 단어로 의미를 담고 목소리에 마음을 싣는 일은 오직 인간만이 가능하다. 그래서 아이들은 언어를 발화하고 창조하는 능력을 타고난다. 나의 쌍둥이 아이들 역시 처음 말을 배우던 시절, 둘만 이해할 수 있는 소리로 한참이나 떠들곤 했다. 그러나 인간이 인간답게 말할 수 있기 위해서는 누군가 그들의 목소리를 들어주고, 그에 적합한 답을 들려주어야 한다. 언어는 서로의 상호작용을 통해서만 증폭되고 확장되어 결국 오롯한 한 개인의 일부로 자리 잡는다. 소리는 듣고 들려주는 것일 때 의미가 생긴다.



찾아볼까?



Julian Cohen의 유튜브
낮선 이들을 하나로 잇는 즉흥의 선율

▶ 길거리에서 피어나는 하모니

공항이나 노천카페, 거리 등 일상적인 장소에서 한 남자가 피아노를 치고, 지나가는 사람들은 잠시 발걸음을 멈춘 채 그의 멋진 연주를 듣는다. 이 영상의 매력은 그의 연주 중간에 누군가가 나서 신청곡을 청할 때다. 그가 신청을 받아들여 새롭게 연주를 시작하면, 청한 이는 음악에 맞춰 노래를 부르거나 혹은 바이올린이나 플루트 등 자신의 악기를 꺼내 합주를 시작한다. 아름다운 음악과 그 선율이 만들어내는 하모니는 사람들의 마음을 말랑말랑하게 풀어내는 힘이 있다.

#즉흥연주

#음악

#하모니



네이버 웹툰 <나는 귀머거리다>
소리 없는 세상이 건네는 진솔한 울림

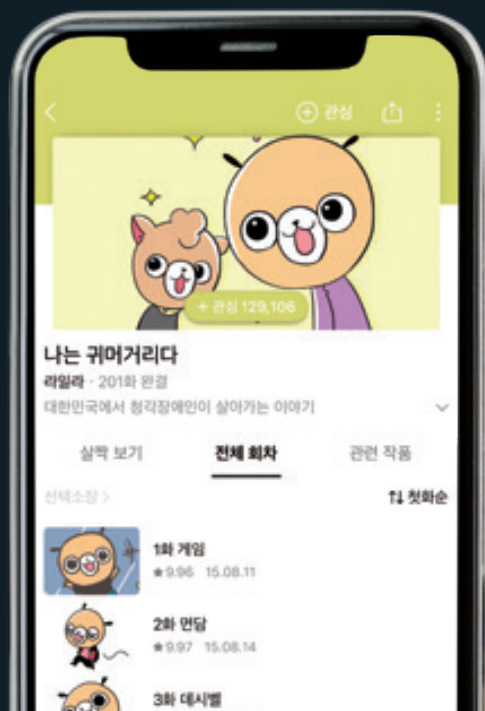
▶ 당연했던 청각의 세계를 돌아보게 만드는 일상 기록

너무나도 직설적인 제목 그대로 청각장애인인 작가 라일라의 일상을 그린 자전적 웹툰. 귀여운 그림체와 유쾌한 대사, 적재적소에 등장하는 패러디와 드립이 잘 어우러져 첫인상은 매우 밝고 긍정적이다. 하지만 비장애인이 다수인 세상에서 장애를 가지고 살아간다는 것이 어떤 것인지 매우 진솔하게 보여주어, 매 에피소드가 끝날 때마다 잠시 뒤를 돌아보게 된다. 소리로 가득 찬 세상에서 살아가기에 소리 없는 순간을 한 번도 겪어본 적 없는 이들에게 꼭 권하고 싶은 이야기다.

#소리

#일상

#청각장애인





내부 코일과 철심을 절연유로 감싸 안정적인 전력 수송을 돕는 변압기. 변압기의 온도 상승을 막고 화재를 예방하는 핵심 일꾼이 바로 내부의 절연유다.

우리가 매일 쓰는 전기를 안전하게 수송하는 변압기. 그 내부에는 전선 주변을 온통 감싸는 ‘절연유’가 있습니다. 전자기기를 통째로 담가도 누전되지 않도록 전류를 차단해주는 이 특수 기름이, 최근 인공지능^{AI} 데이터센터의 고열을 가라앉힐 핵심 냉각재로 급부상하고 있습니다. 변압기를 식히던 기름에서 AI 시대의 필수 물질이 된 절연유의 역할과 그 기술적 가치를 살펴볼까요?

글 김형자 과학 칼럼니스트

변압기 속 숨은 일꾼 ‘절연유’, AI 데이터센터의 ‘핵심 냉각재’로 진화



절연유의 3대 핵심 기능, 절연·냉각·소호

밤하늘을 화려하게 수놓는 도시의 불빛, 거리를 달리는 전기차, 높은 빌딩을 바쁘게 오르내리는 엘리베이터, 데이터센터의 정보 입출력 등은 모두 전력변압기 덕분에 움직입니다. 마치 물의 압력을 조절하는 밸브처럼, 전력변압기는 발전소에서 생산된 초고압 전기를 가정이나 공장에서 사용하기 알맞게 전압을 낮춰주는 장치입니다.

변압기 안을 들여다보면 핵심 부품인 철심^{Core}이 있고, 철심 주위에는 교류 전류가 흐르는 구리 코일^{Winding}(권선)이 촘촘하게 감겨 있습니다. 그리고 이 부품들을 절연유^{Insulating Oil}가 빈틈없이 감싸고 있습니다. 절연유는 단순히 기기 내부를 채우는 기름이 아니라, 전력망이 멈추지 않고 안정적으로 돌아가게 만드는 ‘혈액’과 같은 존재입니다.

그런데 왜 하필 기름으로 변압기 내부를 가득 채웠을까요. 절연유는 변압기 안에서 크게 세 가지 중요한 역할을 수행합니다.

첫째, 전기를 막아주는 ‘절연’ 역할입니다. 변압기 내부에 감긴 수만 볼트의 고압선들이 서로 직접 닿으면 순식간에 합선이나 화재가 발생할 수 있습니다. 절연유는 이 전선들 사이의 빈 공간을 채워 전기가 밖으로 새어나가지 못하도록 보이지 않는 벽이 되어줍니다.

둘째, 뜨거운 열을 식혀주는 ‘냉각’ 역할입니다. 변압기에 전기가 흐르면 뻘뻘한 코일과 철심에서 열이 뿜어져 나옵니다. 이때 주변을 감싸고 있던 절연유가 자동차 엔진의 냉각수처럼 뜨거운 열을 흡수해 외부로 방출합니다.

셋째, 전기불꽃을 꺼뜨리는 ‘소호’ 기능입니다. 만약 변압기 내부에서 미세한 전기불꽃(아크)이 튀더라도 절연유가 이를 순식간에 진화해줍니다.

이렇게 절연유는 세 가지 역할을 동시에 하며 전력 시스템의 안전을 지켜주고 있습니다.

여기서 한 가지 궁금증이 생깁니다. 변압기는 왜 이렇게 열이 나는 걸까요. 우선 변압기 내부의 구리 코일에 전류가 흐르면 도선이 가진 고유의 저항 때문에 줄열^{Joule Heating}이 발생합니다. 이것을 ‘동손^{銅損}(구리 저항 손실)’이라고 합니다. 전류의 제곱에 비례해 열이 발생하므로, 전력 사용량이 늘어날수록 열이 급격히 증가합니다.

변압기 중앙의 철심에서는 교류 자기장이 교차하면서 내부에 ‘와전류(맴돌이 전류)’와 ‘히스테리시스 손실’이라는 현상이 발생합니다. 철심 내부의 자기장 방향이 1초에 120번(N-S극이



대형 전력변압기 내부에 들어가는 핵심 부품인 철심과 구리 코일(권선)을 조립하는 모습. 이 거대한 부품들이 외함에 들어간 뒤 절연유로 가득 채워져 고전압을 차단하고 열을 식힌다.

60번)씩 정신없이 바뀌는데, 이 과정에서도 에너지가 소모되며 열이 발생합니다. 여기에 주변 금속 부품들까지 자기장의 영향을 받아 열을 보태니, 내부 온도가 치솟을 수밖에 없습니다.

만약 발생한 열을 제때 식히지 못해 변압기 온도가 상승하면 어떻게 될까요. 냉각 성능이 저하되는 것은 물론, 전기를 차단해주는 절연 기능까지 함께 떨어져 전류가 주변으로 누설되는 현상이 발생합니다. 게다가 내부의 절연유가 뜨거운 열로 인해 산화되면서 점차 변질됩니다. 이처럼 기름이 노화되는 현상을 ‘열화’라고 합니다. 열화가 진행된 절연유에는 거뭇한 찌꺼기인 슬러지가 생기며, 최악의 경우 변압기 고장이나 화재로 이어질 수도 있습니다. 결국 변압기의 수명은 온도에 의해 결정된다고 해도 과언이 아닙니다.

탄화수소 분자구조에 따라 절연유 성능 결정

이렇듯 중요한 절연유의 성능은 주성분인 ‘탄화수소^{Hydrocarbon}’의 분자구조에 의해 결정됩니다. 탄화수소는 탄소^C와 수소^H가 전자를 강하게 공유하며 결합한 구조입니다. 특히 전기적으로 극성(양극과 음극)을 띠지 않는 ‘무극성^{Non-polar}’ 물질이기 때문에, 전기를 흐르게 하는 자유전자가 거의 없습니다. 그래서

변압기 내부에 고전압이 걸려도 전류의 흐름을 차단해 전기적 절연 파괴를 방지합니다.

또한 탄화수소 사슬의 길이가 짧고 가벼울수록 기름의 끈적이는 성질, 즉 점도가 낮아집니다. 점도가 낮아 유동성이 좋아지면 대류 현상이 활발해집니다. 즉 변압기 내부에서 뜨거워진 기름은 가벼워져 위로 올라가고 식은 기름은 아래로 내려오는 순환과정을 통해, 내부의 열을 외부로 신속하게 방출합니다.

탄소-수소 결합은 분자 내부의 진동과 회전운동으로 열에너지를 흡수하는 능력이 뛰어납니다. 이러한 특성 덕분에 변압기의 고열을 효과적으로 흡수하면서도, 절연유 자체의 온도는 급격히 상승하지 않고 안정적인 수준을 유지할 수 있습니다. 이는 전기가 통하지 않는 우수한 절연성과 열을 신속히 분산시키는 유체의 유동성을 모두 확보한 이상적인 메커니즘입니다.

그렇다면 절연유는 구체적으로 어떻게 열을 식힐까요. 그 방식은 크게 두 가지로 분류됩니다. 그중 하나는 가장 기본적이고 친환경적인 ‘자연대류 냉각’입니다. 외부

전력을 사용하는 펌프나 팬을 가동하지 않고 오직 자연적인 대류 현상만 활용합니다. 코일 주변의 절연유가 열을 흡수해 뜨거워지면 밀도가 낮아져 위로 이동하고, 이 기름이 변압기 외벽의 방열기(라디에이터)로 흘러 들어가 외부 공기와 만나 식은 뒤, 다시 아래로 내려와 순환하는 구조입니다.

또 다른 하나는 막대한 열이 발생하는 대용량 변압기에 적용되는 ‘강제순환 냉각’입니다. 이는 전기 펌프를 가동해 절연유의 흐름을 강제적이고 신속하게 순환시키는 방식입니다. 자연대류에만 의존할 때보다 냉각 속도가 월등히 빨라, 초대형 전력변압기를 안정적으로 제작·운용할 수 있는 기반이 됩니다. 만약 절연유의 순환이 멈춰 내부 온도가 180°C를 넘어가면 변압기는 치명적인 고장을 일으키게 됩니다. 강제순환 기술은 변압기 내부 온도를 안정적으로 제어해 과열로 인한 고장을 막고 설비의 수명을 늘려줍니다.

광유의 한계 뛰어넘는 친환경 에스테르유 부상

지금까지 주로 사용해온 절연유는 석유를 정제해 만든 ‘광유’입니다. 가격이 저렴하고 대량생산이 쉽다는 것이 장점입니다. 반면 자연적으로 분해되지 않아 폐기 처리가

곤란하고, 혹시라도 밖으로 새어 나올 경우 수질과 토양을 심각하게 오염시킨다는 단점이 있습니다. 인화점도 150°C 수준으로 비교적 낮아 화재위험에 취약하다는 점이 문제로 지적되었습니다.

그래서 최근에는 미생물에 의해 자연분해되는 식물성 기름이나 합성 에스테르 같은 ‘친환경 절연유’가 크게 주목받고 있습니다. 식물유는 콩 같은 식물자원에서 추출하기 때문에 고갈될 염려가 없고, 독성이 없어 유출돼도 환경오염 걱정이 없습니다. 화학적으로 합성한 에스테르유 역시 친환경적이면서도 뛰어난 절연 효과를 자랑합니다.

특히 친환경 절연유는 불이 붙는 온도인 인화점이 300°C 이상으로, 광유보다 두 배나 높아 화재위험을 크게 낮춥니다. 따라서 태양광·풍력 등 재생에너지 발전소는 물론, 고도의 화재 안전기준이 요구되는 도심 밀집 지역이나 건물 내부의 옥내 변전소까지 그 적용 범위를 빠르게 넓혀가고 있습니다.

‘공랭식’에서 데이터센터 열 식히는 ‘액침 냉각’으로 진화

놀라운 점은 변압기 속에서 전기를 차단하고 열을 식히던



SK온의 전기차용 액침 냉각 배터리 모형. 전기차 배터리팩 내부에 전기가 통하지 않는 특수 절연유(비전도성 유체)를 직접 채워 냉각하는 방식. 열 폭주를 방지하고 충전 및 냉각 효율을 극대화하는 차세대 액침 냉각기술을 보여준다.

이 기초적인 절연유 기술이 오늘날 전혀 새로운 영역으로 진화했다는 사실입니다. 정제 기술이 발전하고 고도화된 합성 화합물이 개발되면서, 절연유는 이제 인공지능^{AI} 시대를 뒷받침하는 데이터센터의 핵심 냉각 액체인 ‘액침 냉각 유체’로 거듭났습니다.

AI와 데이터센터를 구동하려면 막대한 전력이 필요합니다. 특히 AI 데이터센터는 그야말로 ‘전기 먹는 하마’입니다. 컴퓨터시스템·통신장비·저장장치 등이 설치된 데이터센터는 방대한 정보의 저장과 출력을 위해 수천·수만 대의 서버를 한곳에 모아 관리하는 공간이어서 ‘서버 호텔^{Server Hotel}’이라고도 부릅니다.

이러한 서버(대형 컴퓨터)들이 쉴 새 없이 돌아가니 그 자체로도 엄청난 전력을 소비합니다. 또한 서버에서 발생하는 열을 식히는 냉각용 전력 역시 막대합니다. 실제로 데이터센터 사용 전력의 약 50%가 ‘서버 냉각’에만 소모됩니다. 글로벌 빅테크 기업들이 이 뜨거운 열을 효율적으로 식히기 위해 사활을 걸고 아이디어를 짜내는 이유가 여기에 있습니다.

지금까지 열 식히기에 가장 많이 사용한 기술은 차가운 바람을 불어넣는 ‘공랭식’입니다. 서버가 위치하는 바닥 환기구에서 차가운 공기를 올려 보내 서버 랙을 통과시킨 뒤, 뜨거워진 공기를 천장 통풍구로 빼내어 다시 차갑게 식혀 순환시키는

구조입니다. 그러나 AI 시대가 열리고 데이터센터의 용량이 점점 커지면서 공랭식은 한계에 부딪혔습니다. 열을 식히는데 너무 많은 에너지가 들고, 환풍기 소음도 심각한 수준에 이르렀기 때문입니다.

그 대안으로 등장한 것이 바람 대신 액체를 이용하는 ‘액체 냉각’ 방식입니다. 액체는 공기보다 열을 전달하는 능력이 훨씬 뛰어나, 공랭식보다 에너지를 20% 가까이 아끼면서도 냉각 효율은 최대 1000배까지 끌어올릴 수 있습니다. 다만 전기가 흐르는 서버 컴퓨터에 물을 직접 뿌릴 수는 없으니, 차가운 물이 흐르는 케이블이나 배관망을 서버 랙 주변에 밀착시켜 온도를 조절하는 수냉식 방식을 주로 썼습니다. 하지만 이 역시 너무 많은 수자원을 소모한다는 문제가 있습니다.

이러한 한계를 뛰어넘는 기술이 ‘액침 냉각’입니다. 말 그대로 컴퓨터 서버를 액체 속에 통째로 담가서 식히는 방식입니다. 기계를 액체에 넣으면 합선이 나고 망가질 것 같지만, 비밀은 물이 아닌 특별한 기름에 있습니다. 액침 냉각에 쓰이는 액체는 전기가 전혀 통하지 않는 ‘비전도성 유체’로, 주요 정유사들이 오랜 윤활유 기술력을 바탕으로 개발한 특수 액체입니다.

서버를 이 액체에 담그면 기계는 멀쩡히 작동하면서, 특수 액체가 서버의 열을 스펀지처럼 흡수해 연결된 열교환기로 빠르게 방출합니다. 바람을 불어넣거나 배관을 대는 방식보다

절연유 종류

구분	광유(기존 절연유)	친환경 에스테르유	데이터센터 액침 냉각유
원료	석유 정제 탄화수소	식물유(콩 등) 또는 합성 에스테르	정밀 가공된 비전도성 합성유
인화점	약 150°C(화재에 상대적으로 취약)	300°C 이상(화재위험 낮음)	150~200°C 내외
환경성	자연분해 불가, 누출 시 토양오염	생분해성 우수, 무독성	고도의 정제로 환경영향 최소화
핵심 역할	고전압 차단 및 변압기 내부 냉각	신재생 발전소 및 도심 변전소 절연	AI 서버의 직접 침전식 초고속 냉각



S-OIL과 GST가 선보인 데이터센터용 액침 냉각 시스템. 서버를 비전도성 절연 액체에 직접 담가 열을 식히는 장치. S-OIL의 액침 냉각유 ‘S-OIL e-쿨링 솔루션’과 GST의 액침 냉각 장비를 결합해 고성능 AI 서버의 발열을 효율적으로 제어한다.

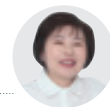
냉각 효율이 훨씬 높고, 장치들이 차지하는 공간도 크게 줄일 수 있습니다. 무엇보다 데이터센터의 전력 사용량을 무려 30~40%나 아껴줍니다. 엄청난 수의 반도체 칩을 뽁뽁하게 밀어 넣어야 하는 AI 데이터센터 입장에서 액침 냉각은 그야말로 가뭄의 단비 같은 기술입니다.

글로벌 빅테크의 격전지가 된 액침 냉각 시장

현재 글로벌 정유·화학기업들은 기존의 축적된 윤활유 기술력을 바탕으로 데이터센터용 액침 냉각유 시장에 선제적으로 진입하고 있습니다. SK엔무브, GS칼텍스, S-OIL 등은 독자 브랜드를 출시해 AI 데이터센터에서의 실증 시험을 완료했거나 이미 상용 공급을 시작했습니다. 이에 더해 전 세계 AI 반도체 시장을 주도하는 엔비디아 등의 빅테크 기업들이 차세대 그래픽처리장치^{GPU} 도입 시 액체 냉각 방식을 표준으로

정립하겠다고 발표하면서, 관련 시장은 더욱 빠르게 성장하고 있습니다.

길가에서 흔히 보던 전신주 변압기 내부에서 기능하던 작은 기름방울이 이제 전 세계 AI 생태계를 가동하는 핵심 윤활유로 진화했습니다. 보이지 않는 곳에서 전류를 통제하고 고열을 제어해온 절연유의 진화 덕분에, 우리는 첨단 인공지능 시대를 더욱 안전하게 맞이하고 있습니다.



김형자 과학 칼럼니스트

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



반도체의 미래는 💡
⚙️ 새로운 소재에서 시작된다



포항 4세대 방사광 가속기^{PAL-XFEL} 내부의 변치 압축기 장치. 전자 빔을 정밀하게 압축해 극초단·고휘도 X선을 만들어내는 핵심 장비다. 이렇게 생성된 빛은 신소재 내부 미시 세계 속 전자의 에너지와 운동량을 측정하는 광원이 된다.

더 작게 만드는 기술의 한계를 마주한 지금, 미래 반도체의 핵심 열쇠는 ‘새로운 기능성 소재’에 있다. 본 칼럼에서는 방사광 가속기 기반의 전자구조 분석을 통해 신소재 속 전자의 동작 원리를 규명하고, 이를 차세대 소자 기술로 완성해나가는 연구 과정과 의의를 다룬다. 미시적인 전자의 변화를 인류의 삶을 바꿀 기술로 전환하고자 하는 비전을 소개한다.

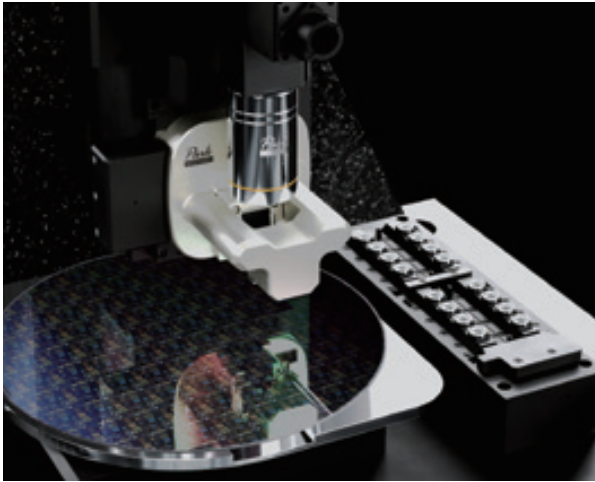
글 류혜진 한국과학기술연구원 반도체기술연구단 책임연구원

반도체 산업은 오랫동안 ‘더 작게, 더 빠르게’ 만드는 경쟁을 이어왔다. 더 미세한 공정을 구현하고, 더 많은 트랜지스터를 집적하는 기술은 반도체 발전의 핵심 동력이었다. 그러나 인공지능^{AI, Artificial Intelligence}이 산업 전반을 바꾸기 시작한 지금, 공학자들은 조금 다른 질문을 던지고 있다. 더 작게 만드는 것만으로 미래 반도체가 요구하는 성능을 모두 구현할 수 있을까?

AI 반도체는 단순히 계산속도가 빠른 프로세서를 의미하지 않는다. 방대한 데이터를 실시간으로 처리하고, 수많은 센서에서 발생하는 정보를 지연 없이 분석하며, 동시에 전력 소비는 획기적으로 줄여야 한다. 자율주행 자동차, 휴머노이드 로봇, 온디바이스 AI와 같은 미래 기술이 현실이 되기 위해서는 지금보다 훨씬 효율적이고 지능적인 반도체가 필요하다. 이는 기존 CMOS 기술을 계속 미세화하는 것만으로는 해결하기 어려운 문제다. 결국 공학자들의 관심은 ‘어떻게 더 작게 만들 것인가’에서 ‘어떤 새로운 기능을 구현할 수 있는가’로 점차 옮겨가고 있다.

반도체 발전의 본질은 ‘소재 혁신’에 있다

돌이켜보면 반도체의 역사는 새로운 소재의 역사라고도 말할 수 있다. 게르마늄에서 실리콘으로의 전환은 직접회로 시대를 열었고, 실리콘 산화막은 CMOS 기술의 기반이 되었다. 이후 구리 배선, 고유전율 절연막, 금속 게이트 같은 소재의 도입은 미세공정의 한계를 극복하며 반도체 성능을 획기적으로 향상했다. 새로운 공정이 새로운 소재를 필요로 했던 것이 아니라, 새로운 소재가 새로운 공정을 가능하게 했던 것이다. 지금 우리가 맞이하는 AI 시대 역시 또 한 번의 소재 혁신을 요구하고 있다.



원자현미경을 이용해 반도체 웨이퍼 표면의 나노미터 단위 패턴과 미세적 물성을 정밀 측정하는 모습.

이러한 이유로 최근에는 반데르발스 소재, 위상 양자 소재, 강유전·강자성 소재 등과 같은 다양한 기능성 소재가 활발히 연구되고 있다. 이들 소재는 단순히 전기가 잘 흐르거나 잘 흐르지 않는 물질이 아니다. 전자의 전하뿐 아니라 스핀, 궤도, 결정의 대칭성 같은 양자역학적 자유도를 활용해 기존 반도체에서는 구현하기 어려웠던 기능을 제공할 수 있다. 다시 말해 미래 반도체 소재 개발은 기존 소재를 다른 물질로 바꾸는 것이 아니라, 소재 자체에 새로운 기능을 설계하는 일이라고 할 수 있다.

작은 전자의 움직임에서 가능성을 읽다

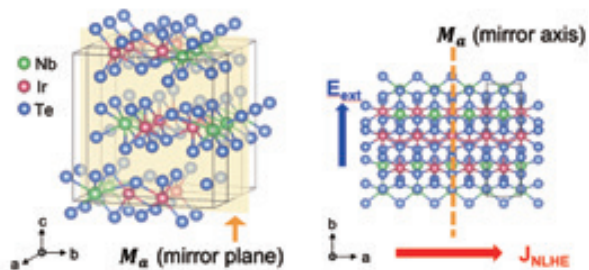
그러나 새로운 소재를 발견하는 것과 그것을 실제 기술로 구현하는 것은 전혀 다른 문제다. 연구실에서 새로운 물질을 합성하는 순간이 끝이 아니라, 오히려 그때부터가 시작이다. 그 소재 안에서 전자가 어떻게 움직이고, 왜 기존 물질에서는 나타나지 않던 물성이 발생하는지 이해해야만 비로소 새로운 소자로 이어질 수 있다. 실제로 겉보기에는 비슷해 보이는 물질이라도 전자구조가 조금만 달라지면 전기 전도성이나 자성은 물론, 소재의 동작 원리 자체가 완전히 달라질 수 있다. 결국 소재를 발견하는 것보다 더 어려운 일은 그 소재를 이해하는 것이며, 이것이 공학자가 해결해야 할 중요한 과제 가운데 하나다.

필자가 수행하는 각도분해 광전자분광법^{ARPES, Angle-resolved}



세계적 규모의 방사광 가속기 시설인 유럽방사광가속기연구소^{ESRF} 전경. 방사광 가속기에서 나오는 고휘도의 빛을 이용하면 신소재 내부 전자의 에너지와 운동량(전자구조)을 직접 측정할 수 있다.

Photoemission Spectroscopy을 활용한 전자구조 연구는 바로 이러한 질문에 답하기 위한 연구다. 방사광 가속기의 빛을 이용하면 물질 속 전자의 에너지와 운동량을 직접 측정할 수 있으며, 이를 통해 새로운 물성이 어디에서 비롯되는지 확인할 수 있다. 실험실에서 하루 종일 들여다보는 전자 밴드의 작은 이동이나 스핀 상태의 변화는 언뜻 보면 미세한 차이에 불과하다. 그러나 연구자의 눈에는 그 작은 변화가 새로운 기능의 단서가 되고, 아직 존재하지 않는 반도체의 가능성으로 읽힌다. 소재를 개발하는 연구와 전자구조를 이해하는 연구는 별개의 과정이 아니라 하나의 기술을 완성하는 두 축인 셈이다.

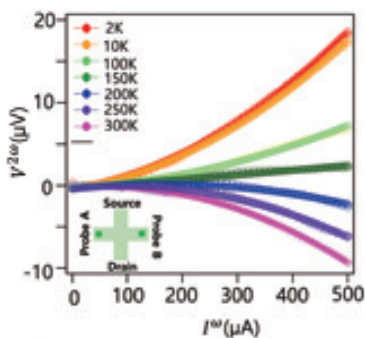


비선형 홀 효과를 보이는 반전 대칭성이 깨진 물질의 원자구조. 대칭성이 깨진 원자 배열을 활용해 자기장 없이도 특이 전압 신호를 발생시킬 것으로서, 기존 실리콘 한계를 넘어서는 차세대 센서·메모리 소재의 가능성을 보여준다.

출처 : J.-E. Lee et al., Nature Communications, 2024

미시적 현상의 발견에서 상용화 소자로의 진화

최근에는 물질에서 나타나는 비선형 홀 효과^{Nonlinear Hall Effect}가 차세대 기능성 반도체 소재로 주목받고 있다. 일반적인 홀 효과는 자기장이 있어야 나타나지만, 반전 대칭성이 깨진 특정한 결정구조를 가진 물질에서는 자기장이 없어도 비선형적인 홀 전압이 발생할 수 있다. 이 새로운 물리현상은 전자구조 연구를 통해 그 주요 기원이 베리 곡률 쌍극자임이 밝혀졌고, 나아가 전자구조 제어를 통해 베리 곡률 쌍극자를 제어함으로써 비선형 홀 효과의 특성을 제어할 수 있음이 입증되었다. 이처럼 전자구조 연구는 새로운 물리현상의 미시적 기원을 규명할 뿐만 아니라, 원하는 물성을 구현하기



온도 변화(2~300K)에 따른 비선형 홀 효과의 변화. 극저온(2K, 영하 271°C)부터 상온(300K, 27°C)에 이르기까지 온도가 변함에 따라 나타나는 비선형 홀 전압 신호를 측정된 데이터다. 양자 물질이 실험 환경을 넘어 실제 반도체 제품이 작동하는 상온(300K) 환경에서도 안정적으로 구현 가능한지 검증하기 위한 지표가 된다.

출처 : J.-E. Lee et al., Nature Communications, 2024

위한 소재 개발과 특성 최적화의 핵심 지침을 제공한다. 이러한 이해를 바탕으로 비선형 홀 효과를 나타내는 기능성 소재는 정류소자, 고감도 센서, 메모리, 에너지 하베스팅 소자 등 차세대 반도체 소자로의 응용 가능성을 넓혀가고 있다.

물론 흥미로운 물리현상이 발견되었다고 해서 곧바로 산업으로 이어지는 것은 아니다. 상온에서도 안정적으로 동작하는 소재를 개발하고, 기존 반도체 공정과 호환되는 소자를 제작하며, 대면적 성장 기술을 확보하는 과정이 반드시 뒤따라야 한다. 다시 말해 미래 반도체 소재 개발은 물질 합성, 전자구조 분석과 같은 물성 측정, 이론 분석, 소자 제작이 긴밀하게 연결될 때 비로소 완성된다.



반도체 박막 증착 실습용 웨이퍼 전시 모습. 단순한 미세화를 넘어 소재 자체에 새로운 기능을 설계하는 신소재 연구가 미래 반도체 산업의 새로운 패러다임을 열어가고 있다.

오늘날 실험실에서 관측하는 작은 전자 상태의 변화가 당장 하나의 제품으로 이어지지 않을지도 모른다. 그러나 지금의 반도체 산업은 전자의 움직임을 이해하려는 연구에서 출발했다. 미래의 반도체 경쟁 역시 더 작은 회로를 만드는 경쟁을 넘어 새로운 소재를 발견하고, 그 안의 전자를 얼마나 깊이 이해하며, 그것을 새로운 기능으로 연결할 수 있는가의 경쟁이 될 것이다. 공학자의 역할은 아직 이름조차 붙지 않은 새로운 물성을 발견하는 데 그치지 않는다. 그 가능성을 기술로 구현하고, 결국 사람들의 삶을 바꾸는 반도체로 연결하는 것. 그것이 반도체를 연구하는 공학자의 역할이라고 믿는다.



류혜진 한국과학기술연구원 반도체기술연구단 책임연구원

서강대학교에서 학사, 서울대학교에서 석사학위를 취득한 후, 미국 뉴욕주립대학교 스톤브룩^{The State University of New York at Stony Brook}에서 물리학 박사학위를 받았다. 이후 미국 로렌스버클리 국립연구소^{Lawrence Berkeley National Lab}와 막스플랑크 포스테크연구소^{Max Planck POSTECH}에서 박사후연구원으로 근무했으며, 현재 한국과학기술연구원^{KIST}에서 책임연구원으로 재직하고 있다. 방사광 가속기를 활용한 전자구조 분석을 바탕으로 다양한 반도체 신소재의 전자구조적 특성 및 물성을 규명하고, 이를 차세대 반도체 소재 및 소자 기술로 확장하는 연구를 주로 수행하고 있다.



최경자 한국화학연구원 친환경신물질연구센터장

편견을 넘어 과학으로, 친환경 농업의 미래를 열다

세상에 없던 신물질로 농작물의 병해를 막고, 독성은 낮추면서 환경과 인류의 먹거리를 지키는 곳이 있다. 바로 한국화학연구원 친환경신물질연구센터다. 1988년부터 40년 가까이 한 우물을 파며 대한민국 작물보호제 연구를 이끌어온 최경자 센터장은 과학으로 농업의 미래를 설계한다. 포기하지 않는 끈기와 열정으로 안전한 먹거리를 만들어가는 그의 연구실을 찾아, 친환경 작물보호제가 이끌어갈 미래 청사진을 들여다보았다.

글 김승호 사진 서범세

‘친환경신물질연구센터’에 대한 소개 부탁드립니다.

친환경신물질연구센터는 특허권을 가질 수 있는 신물질·미생물을 기반으로 작물보호제를 연구·개발하는 곳입니다. 우리나라는 1987년에 처음으로 물질특허 제도를 도입했습니다. 그전에는 물질특허가 없다 보니 해외 제품을 카피해 사용하는 경우가 많았고, 우리 독자 기술의 권리 역시 보호받지 못했죠. 물질특허 도입 이후 ‘신물질’을 개발해야 할 필요성이 생겼고, 이에 따라 1988년부터 한국화학연구원 내에서 작물보호제 및 의약 개발 연구가 본격적으로 진행되었습니다.

과거에는 ‘농약’이라 불렸지만, 최근에는 농작물을 병해충으로부터 보호한다는 의미로 ‘작물보호제’라는 용어를

사용합니다. 저희 센터는 독성이 낮고 안전한 저독성 합성 작물보호제를 개발하는 연구와 함께, 유기농업 및 친환경 농업에 쓰이는 바이오 작물보호제 개발 연구를 독자적으로 수행하는 ‘투 트랙’ 시스템을 운영하고 있습니다.

대학 시절부터 식물병리학을 전공하고 40년 가까이 한 분야에 매진하셨습니다. 계기가 궁금합니다.

지금 생각해보니 어릴 적부터 식물을 좋아했습니다. 대학에서는 식물병리학을 전공하면서 자연스럽게 이 분야에 깊이 빠져들었습니다. 석사학위를 마칠 무렵 지도교수님의 권유로 1988년 한국화학연구원(당시 한국화학연구소 내 농약활성실)에 입사해 지금까지 작물보호제 연구를 수행했습니다.

공무원이나 일반 연구기관은 보직을 맡거나 순환보직이 이루어지면 연구과제가 중단되거나 과제 책임자가 자주 바뀌는 경우가 많습니다. 반면 저희는 PBS^{Project Based System} 제도에 따라 정부 과제를 직접 수주하며 연구를 이어가야 하는 어려움은 있었지만, 역설적으로 한 분야의 연구를 끊임 없이 40년 가까이 지속할 수 있었던 원동력이기도 합니다. 식물을 향한 애정과 꾸준히 연구할 수 있었던 환경이 지금의 저를 만든 셈입니다.

바이오 작물보호제(살균제)가 식물 병원균을 막아내는 원리는 무엇인가요?

바이오 작물보호제가 식물 병원균을 제어하는 방식은 크게 네 가지 메커니즘으로 나뉩니다.

첫 번째로 항균물질 생성은 유익 미생물이 직접 항균물질을 만들어 병원균 증식을 억제하는 방식입니다. 두 번째 중독 기생 방법은 식물 병원균에 직접 기생하여 병원균을 사멸시키는 미생물을 활용하는 겁니다. 세 번째는 식물 병 저항성 유도로, 미생물이 식물에 처리되었을 때 식물 자체의 면역력을 활성화해 스스로 병을 이겨내도록 돕는 방식입니다. 네 번째는 경쟁적 점유(선점효과)입니다. 증식 속도가 매우 빠른 유익 미생물을 뿌리나 잎 표면에 미리 정착시키는 방식으로, 식물에



**“유기농업과 작물보호는 과학적으로 접근해야 합니다.
과학적 기준이 바로 설 때 안심하고 먹을 수 있는 농산물이 만들어집니다.”**

해를 끼치지 않는 미생물이 표면을 장악하고 있으면
나중에 병원균이 침투하려 해도 자리를 잡지 못합니다.

**뛰어난 기술을 개발해도 상업화 과정에서 현실적인
장벽에 부딪힐 때가 많다고 들었습니다.**

—
제도와 규제의 불균형에서 오는 시장 혼란이
큰 장벽이었습니다. 초기에는 생물농약도 일반
작물보호제처럼 엄격한 효과 입증과 독성 검증을 거쳐
등록되도록 법적 틀이 마련됐습니다. 하지만 진입장벽을
낮춰달라는 민원이 이어지면서 상대적으로 완화된
요건으로 ‘유기농자재 목록 공시’ 제도가 도입되었습니다.

문제는 효과가 철저히 검증된 ‘생물농약’보다, 상대적으로

절차가 간소한 ‘유기농자재’로 시장이 기울었다는 점입니다.
상대적으로 효과 검증이 부족한 제품들이 유기농자재라는
이름으로 관납(정부보조금 지원) 시장을 점유하면서, 정작
엄격한 검증을 거친 우수한 생물농약의 시장점유율은
낮아졌습니다. 결국 농민들 사이에 ‘유기농자재는 효과가
없다’는 인식이 생겼고, 이는 유기농자재와 생물농약을 포함한
시장 전체의 성장을 막는 결과로 이어졌습니다. 우수한 기술이
제대로 인정받으려면 제도적 엄정함과 과학적 평가 기준이
바로 서야 합니다.

**연구 과정에서 수많은 변수와 실패를 겪으셨을 텐데,
어떻게 이를 극복하셨나요?**

—
포기하지 않는 마음과 끈기입니다. 생물을 다루는 연구는

변수가 많습니다. 실험용 군주가 냉장과 고장으로 전멸할 수도 있고, 한 번의 실험 결과를 얻기까지 5주 이상 걸리는 등 시간적 제약도 있습니다.

과거 선배 연구원들이 “국내에서는 어렵다”고 했던 실험이 있었습니다. 저는 포기하지 않고 직접 군주의 특성을 재분석하고 연구해 성공을 거두었고, 이 성과로 ‘국가 R&D 우수성과 100선’에 선정되기도 했습니다. 끝까지 문제를 해결하겠다는 태도가 남들이 도달하지 못한 결과를 만들어낸 거죠.

합성 작물보호제와 친환경 바이오 작물보호제 사이에서 어떻게 기술적 균형을 찾고 계신가요?

항상 과학적으로 접근하는 것이 중요하다고 생각합니다. 일부 극단적인 친환경론자 중에는 완전한 유기농만 고집하며 초기 최소한의 방제조차 거부하는 이들이 있습니다. 합성 작물보호제를 조금만 사용해도 토양이나 작물에 남아 결국 인체에 해를 입힐 것이라고 생각합니다. 과학적 데이터보다는 검증되지 않은 믿음에 의존하는 것이죠.

가장 이상적인 방법은 두 기술의 장점을 결합한 종합적 방제입니다. 생육 초기나 종자 소독 단계에서는 잔류 우려가 없고 효과가 확실한 합성 작물보호제로 병해를 근본적으로 차단합니다. 이후 농작물이 자라고 수확기에 가까워지면 잔류 걱정 없는 친환경 바이오 작물보호제로 전환하여 관리하는 방식입니다. 이렇게 과학적 근거에 따라 합성과 바이오를 적재적소에 통합 활용하면 농가 생산성과 국민 먹거리 안전성을 동시에 확보할 수 있습니다.

작물보호제 및 친환경 신물질 분야를 꿈꾸는 후배 연구자나 학생들이 갖추어야 할 자질이나 역량은 무엇인가요?

똑똑함보다 더 중요한 것은 끈기와 연구에 대한 애정입니다. 작물보호제 개발은 수많은 단계의 검증을 거쳐야 합니다. 초기 실험에서 뛰어난 효과를 보였더라도 제조공정상의 문제,

인체 및 생태 독성 검증 등 넘어야 할 산이 많습니다. 실험 결과 하나를 얻는 데만 몇 주씩 걸리는 일이 허다합니다. 이 분야에서는 조금 더디더라도 애정을 갖고 목표를 향해 묵묵히 걸어가는 사람이 결실을 맺습니다. 실패와 변수가 일산인 생물 연구에서, 문제를 피하지 않고 끝까지 밀고 나가는 끈기야말로 연구자가 갖춰야 할 역량입니다.

끝으로 센터장님께서 지향하는 연구 철학과 앞으로 그리는 청사진이 궁금합니다.

소비자들이 작물보호제를 사용해 재배한 농산물도 아무런 걱정 없이 안심하고 먹을 수 있는 사회를 만드는 것입니다. 대중매체나 대중의 인식 속에는 여전히 ‘작물보호제를 사용한 농산물은 위험하다’는 편견이 남아 있습니다.

저독성 차세대 합성 작물보호제와 친환경 바이오 작물보호제를 함께 활용하고 과학적인 방제 기준과 제도가 정착된다면, 잔류농약 걱정 없는 농산물이 생산될 수 있습니다. 소비자가 안심하고 농산물을 소비하고, 농민은 효율적으로 작물을 지켜낼 수 있도록 친환경 신물질 연구를 이어나가는 것이 제 바람입니다.

최경자 센터장은 누구?



한국화학연구원 친환경신물질연구센터장을 맡고 있다. 서울대학교 및 대학원에서 식물병리학을 전공한 후 1988년 한국화학연구원에 입사해 40년 가까이 작물보호제 연구에 매진해왔다. 작물보호제 개발을 주도하며 ‘국가 R&D 우수성과 100선’에 선정되는 등 국내 농업 과학기술 발전에 기여했다. 현재 과학적 종합 방제 체계 확립을 위해 친환경 신물질 연구에 힘쓰고 있다.

<테크 포커스>의 든든한 서포터



뚝*소리*단

뚝 뚝하게 소 통하고 리 뷰하는 <테크 포커스> 독자 단

목소리단은 산업기술에 관심 있는 다양한 연령층의 독자로 구성되어 있으며, 매월 표지를 선정하고 콘텐츠와 관련된 의견을 제안하는 등 활발한 활동을 이어가고 있습니다. <테크 포커스>를 함께 만들어가는 목소리단의 7월호 리뷰를 확인해보세요!

김형우

히토류 공급망의 핵심 경쟁력은 원광 채굴이 아닌 정련·분리·소재화 같은 중간재 기술에 있으며, 중국에 대한 절대적 의존도를 극복하기 위해서는 해외 광산 확보를 넘어 대체 및 재활용 기술을 통한 '기술 기반 자립'이 필수적입니다. 자원을 가진 나라보다 그 자원을 가공할 기술을 가진 나라가 산업 주도권을 쥐게 된다는 사실이 다시금 기술의 중요성을 일깨워줍니다. 한국이 제조 강국의 지위를 유지하기 위해서는 파편화된 대응이 아닌 국가 차원의 기술 주권 전략이 무엇보다 시급해 보입니다.

정웅

'도시광산'으로 바라보는 시각이 신선했고, 개념을 어떻게 규정하느냐에 따라 이슈를 읽는 관점이 달라질 수 있음을 체감했습니다. 재활용·재처리, 국제 동정 기사들과 자연스럽게 맞물려 주제가 입체적으로 확장되는 느낌으로 읽을 수 있었습니다. 다만 처리비와 회수·선별 비용 등 경제적인 부담을 함께 짚어준다면 기술 개발의 중요성이 한층 더 부각되었을 것 같습니다. 버려진 곳에서도 미래를 찾아내는 기술이 가장 중요한 국가 경쟁력이라고 생각되었습니다.

강종태

자원 빈국인 우리나라가 산업의 핵심 원료인 히토류 광물을 안정적으로 확보하기 위해서는, 도시광산 활성화를 통한 문제해결이 반드시 필요한 상황입니다. 선택이 아닌 필수 과제로 인식하고, 적극적인 연구개발 투자 및 산업 연계에 사활을 걸어야 할 것으로 판단됩니다. 폐플라스틱 재활용에도 정책적인 뒷받침이 필요합니다. 더욱 강력한 재사용 비율 이행을 법제화하고, 재사용 비율이 높은 기업 및 산업 분야에 대한 지원책이 마련되어야 하겠습니다.

오대성

반도체 등 첨단산업의 핵심인 히토류 공급망 분석과 대체 소재 연구는 기술 주권의 중요성을 명확히 보여주었습니다. 또한 레이더를 속이는 스텔스 기술과 자율주행 기능 안전 코너를 통해 국방·우주항공 및 모빌리티 제어시스템의 고도화를 엿볼 수 있어 무척 흥미로웠습니다. 무엇보다 발열 제어의 근간이 되는 '열'에 대한 역학적 고찰은 복합적인 기계설계와 열 유동 해석의 기초를 다시금 환기해주는 유익한 기획이었습니다.

차진혁

7월호의 핵심 메시지는 '기술 주권이 곧 공급망 주권'이었습니다. 히토류 전쟁부터 레벨4 자율주행 안전 검증, 폐플라스틱 화학적 재활용까지 주제는 달라 보여도 결국 하나로 연결된 느낌입니다. 자원이 없어도 기술이 있으면 이길 수 있고, 자원이 있어도 기술이 없으면 뒤처진다는 것. 전공 공부하면서 배우는 회로·전기·소재 지식이 이런 거대한 산업 흐름 속에서 어떤 의미를 갖는지 다시 생각해볼 수 있었습니다. 또한 단순 기술 정보를 넘어 '왜 이 기술이 필요한가'를 역사와 현장을 통해 보여준 점이 이번 7월호의 가장 큰 매력이었습니다.

김현

이번 호 ‘잡 인사이드’ 칼럼은 귀가 즐거운 음향을 넘어 소외된 이웃을 치료하고 돕는 ‘포용적 기술’의 세계를 엿볼 수 있어 가슴이 따뜻해지는 인터뷰였습니다. 좁은 방 안에서도 넓은 바닷가의 몰입감을 선사하는 공간음향 기술도 신기했지만, 난청 환자들의 치매 예방을 위해 AI 스마트 보청기를 연구하고 시각장애인을 위한 라디오 드라마를 준비하시는 대목이 가장 기억에 남습니다. **“기술을 통해 사람의 일상이 행복해져야 한다”는 김 교수님의 철학처럼, 우리 산업의 첨단 공학 기술들이 인간 중심의 온기를 품고 발전해나갔으면 좋겠습니다.**

전길송

7월호는 도시광산과 히토류를 단순한 자원 문제가 아닌 국가 경쟁력과 기술 주권 관점에서 풀어낸 점이 특히 인상 깊었습니다. 국제 광물 확보 경쟁의 역사로 시작해 영화와 연결한 코너는 흥미를 높였고, ‘자원 경쟁이 아닌 기술 경쟁’이라는 새로운 시각을 제시해 많은 것을 배울 수 있었습니다. AI 가전과 자율주행 등 미래 기술을 함께 조명한 구성도 좋았습니다. 다만 스텝스기 관련 내용은 흥미롭긴 했지만 이번 호 주제와는 다소 연결성이 약하게 느껴졌습니다. 개인적으로는 ‘일상 속 과학 이야기’와 ‘책 속의 책’ 코너가 더욱 확대되면 좋겠습니다.

김병희

이번 호에서 인상 깊었던 내용은, AI 가전의 산업 표준을 확보하는 것은 단순히 한 기업이 좋은 제품을 만드는 문제가 아니라는 것입니다. 뛰어난 AI 가전을 개발하더라도, 그 기술이 다른 기업의 제품이나 플랫폼, 통신망, 보안 체계, 인증 제도와 연결되지 못한다면 산업 전체의 기준이 되기는 어렵습니다. **결국 표준을 선점한다는 것은 기술을 잘 만드는 것뿐 아니라, 여러 주체가 함께 사용할 수 있는 공통의 규칙을 만들어내는 일이라고 볼 수 있습니다. 특히 중요한 것은 국제표준화 과정에 적극적으로 참여하는 일입니다. 앞으로 AI 가전 경쟁은 누가 더 똑똑한 기능을 먼저 넣느냐의 경쟁을 넘어, 누가 더 신뢰할 수 있고 확장 가능한 산업 규칙을 먼저 제시하느냐의 경쟁이 될 것입니다.**

윤선경

7월호 리뷰를 하기 전 우연히 히토류 재활용 관련 영상을 본 적이 있어서 이번 달 도시광산 주제가 눈에 잘 들어왔습니다. 히토류에 대한 기초적 설명부터 ‘전략 히토류 사용량 극감을 위한 미세구조 정밀 제어 기술’ 소개, 국내외 산업 동향 중심의 정책적 제언까지, 기술 주권을 향상하기 위해 앞으로 어떤 노력이 필요한지 방향성이 가득 담긴 7월호였습니다. 그래도 **“구슬이 서 말이라도 꿰어야 보배다”라는 김형자 과학 칼럼니스트님의 말처럼 적은 자원이라도 기술로 극대화할 수 있도록 적극적인 R&D 투자와 기술사업화 병행이 필요하다고 생각합니다.**

조경연

가장 관심 있게 본 주제는 ‘AI 가전’입니다. 우리 일상을 함께하며 조력자·동반자의 존재로 점점 인식되고 있는 것 같습니다. 지난 5월호에서 봤던 ‘센서는 AI 시대의 감각’이라는 표현이 떠올랐습니다. 축적된 데이터를 통해 피지컬 AI를 실현하고 우리를 돕는 존재로 이루어지고 있기 때문입니다. 감각과 로봇에서 시작된 피지컬 AI가 어느덧 AI 셰프가 되어 가정과 일상에서 함께하는 구성원이 된 것을 보고 무궁무진한 발전을 느꼈습니다. 가까운 미래에는 축적된 데이터와 AI가 어떻게 우리의 일상 속에 함께할지 생각해보는 계기가 되었습니다.

독자 퀴즈의 정답을 맞춰주세요!

퀴즈에 참여해주신 정답자 중 추첨을 통해 소정의 상품을 보내드립니다. 퀴즈 정답과 휴대폰 번호를 zahir4@hankyung.com으로 보내주세요.

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

20명 증정

퀴즈 정답자
모바일 쿠폰 교환권



인공지능^{AI} 기술의 급격한 발전과 함께 고성능·저전력 연산 장치의 중요성이 더욱 커지고 있다. 산업 현장 중심의 인공지능 생태계 조성을 위해 출범한 ‘M.AX 얼라이언스’의 핵심 분과 중 하나인 ○○ ○○○ 은(는) 기존 범용 GPU의 한계를 넘어 제조·의료·자율주행 등 다양한 산업에 최적화된 지능형 두뇌 역할을 수행하는 차세대 기술로, K-반도체 산업의 새로운 돌파구이자 글로벌 패권 경쟁의 핵심 화두로 주목받고 있다.

폭염 6대 행동요령



본격적인 무더위
● 폭염특보 **33°C**

무더위 기상상황 확인

더운 시간대 야외활동 자제

야외활동시 신체노출 최소화

***실내온도 26~28 유지**

시원한 장소 휴식

충분한 수분섭취

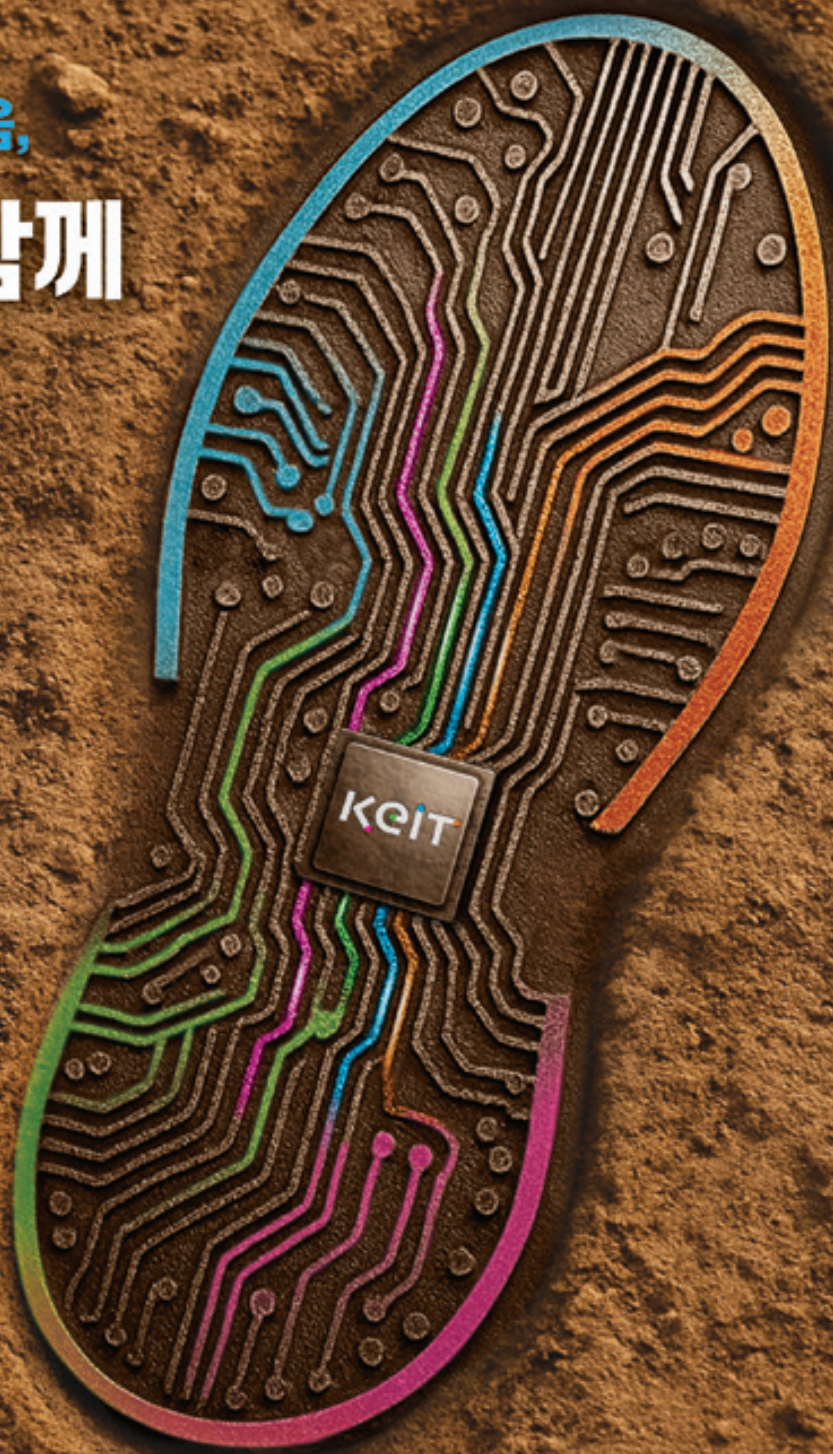
가족 또는 이웃의 안전 살피기



AI로 여는 산업의 첫걸음,

KEIT와 함께

한국산업기술기획평가원(KEIT)은
대한민국 산업 곳곳에 AI를 더합니다
기술의 발자국은 결국,
우리의 미래를 향합니다



KEIT

한국산업기술기획평가원
Korea Planning & Evaluation Institute of Future Technology

AI×LIFE CHALLENGE

AI 라이프
아이디어 챌린지
접수기간

2026.08.01 - 08.31 (31일)

공고에 안내된 제출서류를 메일로 제출 (제출처: relations2@keit.re.kr)

주제 및 분야

우리 사회의 구성원들이 겪는 다양한 어려움과
감동을 받고, 인공지능(AI)을 통해 해결가능한
문제 및 방안 제시

참가대상

본 챌린지에 관심 있는 **전 국민**
개인 또는 팀, 연구기관, 스타트업, 학생 등 제한 없음

심사방법

전문가 심사: AI, 사회문제, R&D 등 각계각층의
전문가로 구성된 심사위원회가
최종 수상작 선정

시상규모

분야	상금 및 수상 인원
(아이디어 챌린지 - 솔루션 챌린지 통합 대상) 산업통상부 장관상	300만원 상당 / 1팀
(최우수상) 한국산업기술기획평가원 원장상	100만원 상당 / 1팀
한국정보통신기술진흥센터 이사장상 (디지털 포용 부문)	50만원 상당 / 2팀
한국벤처투자 사장상 (비즈니스 혁신 부문)	50만원 상당 / 2팀
동아일보 사장상 (AI기회 확산 부문)	50만원 상당 / 2팀
한국산업기술기획평가원 원장상 (지역 성장 혁신 부문)	50만원 상당 / 2팀
평가상	기념품 / 전체

※ 시상 규모 및 인원은 변동될 수 있음.



홈페이지[www.keit.re.kr] -> 공지 - 공지 -> 안내

「AI 라이프 아이디어 챌린지」에서 공고문 확인
(문의) relations2@keit.re.kr / 053-718-8386

◆ **Info View**

탄소중립,
석유화학에서 시작되는 변화

◆ **Tech Insight**

석유화학 탄소중립 기술 지도

◆ **Field Report**

연료 대신 전기로
열을 만든다



탄소중립 기술 석유화학편

탄소중립, 석유화학에서 시작되는 변화

우리가 매일 사용하는 플라스틱은 물론 자동차·반도체·전자제품·생활용품까지,
이들 제품의 출발점에는 석유화학 산업이 있다. 하지만 플라스틱의 원료를 만들기 위해서는
높은 열이 필요하고, 이 열을 얻기 위해 연료를 태우면서 많은 이산화탄소를 배출한다.
탄소 경쟁력이 곧 산업 경쟁력으로 이어지는 시대, 석유화학 산업은 지금 어떤 변화를 맞고 있을까.

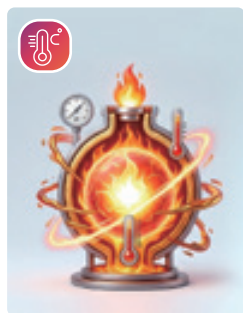
1. 우리가 쓰는 플라스틱은 어디서 시작될까?



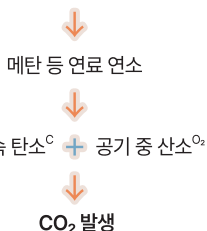
2. 만약 석유화학 생산이 멈춘다면?



3. 석유화학은 왜 탄소를 많이 배출할까?



플라스틱의 원료인 에틸렌을 만들려면
(800~900°C 열 필요)



국내 CO₂ 배출 2위 산업

숫자로 보는 석유화학 탄소중립

연간 온실가스 배출량
47Mt(약 5000만 톤)

열분해 온도
800~900°C

공정 운전
24시간 연속

2030 감축 목표
47 → 37Mt

탄소 감축이 어려운 이유

✓ 24시간 멈출 수 없는
연속공정

✓ 초고온을 계속
유지해야 함

✓ 기존 설비를
바꾸기 어려움

출처 : 2030 국가 온실가스 감축목표^{NDC}
(2018 기준)

4. 석유화학 산업은 왜 변해야 할까?



5. 저탄소 소재가 만드는 변화

저탄소 플라스틱 확대



자동차·전자·반도체 산업의
탄소 경쟁력 향상



글로벌 공급망 대응



수출 경쟁력 강화



석유화학 탄소중립 기술 지도

탄소를 줄이는 세 가지 전략

석유화학 산업의 탄소는 어디에서 발생하고, 어떻게 줄일 수 있을까. 탄소중립은 하나의 기술만으로 해결되지 않는다. 에너지를 덜 쓰고, 열을 전기로 바꾸고, 원료를 다양화하는 생산공정 전반의 변화가 함께 이뤄져야 한다.

1. 에너지를 덜 쓴다 에너지 효율 향상

석유화학 산업에서 탄소를 줄이는 가장 기본적인 방법은 에너지를 덜 사용하는 것이다. 석유화학 공정은 원료를 반응·분리·정제하는 과정에서 막대한 에너지와 전력을 필요로 하며, 현재 사용되는 에너지의 상당 부분은 화석연료를 연소해 공급한다. 따라서 같은 제품을 생산하면서 에너지 사용량을 줄이면 연료 소비와 이산화탄소 배출도 함께

감소한다. 에너지 효율 향상이 탄소중립의 첫 번째 전략으로 꼽히는 이유다.

가장 대표적인 기술은 **공정 최적화**다. 온도와 압력, 유량 등 공정 조건을 정밀하게 제어해 필요한 만큼만 에너지를 사용하는 방식이다. 최근에는 디지털 기술을 활용해 공정 운전 조건을 실시간으로 분석하고 최적의 운전 상태를 유지하는 기술도 확대되고 있다. 같은 생산량을 유지하면서 에너지 소비를 줄이는 것이 핵심이다.



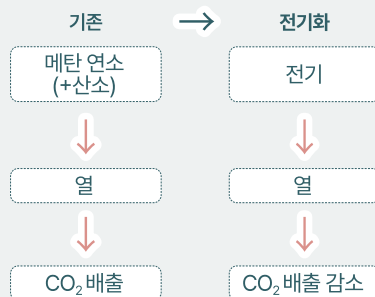
또 다른 방법은 **폐열 회수와 고효율 설비**다. 분해로나 증류 공정에서 발생하는 고온의 열을 다른 공정의 열원으로 다시 활용하면 새로운 연료 사용을 줄일 수 있다. 또한 열교환기와 압축기 등 주요 설비를 고효율 장비로 교체해 에너지 손실을 최소화하는 노력도 이어지고 있다. 기존 공정을 크게 바꾸지 않고도 탄소 배출을 줄일 수 있어 가장 현실적이고 경제적인 탄소 감축 전략으로 평가된다.

2. 열을 전기로 바꾼다 공정 전기화

석유화학 공정은 원료를 가열하기 위해 대량의 열에너지가 필요하며, 이 과정에서 많은 이산화탄소가 배출된다. 따라서 탄소를 근본적으로 줄이기 위해서는 같은 열을 얻더라도 연소 대신 전기로 공급하는 방식으로 공정을 바꾸는 것이 중요하다. 최근 재생 전력을 활용해 고온의 열을 만드는 공정 전기화^{Electrification}가 차세대 탄소중립 기술로 주목받고 있다. 산업통상부에서 추진하는

탄소중립산업핵심기술개발사업 역시 석유화학 분야의 핵심 연구개발 과제로 공정 전기화를 추진하고 있으며, 현재는 기존 NCC 분해로를 전기화하기 위한 직접가열 분해로와 플라즈마 기반 기술 개발을 추진하고 있다.

열을 만드는 방식의 변화



① 직접가열 분해로

현재 기존 NCC^① 분해로를 전기화하는 가장 유력한 방식이다. 반응기 자체에 전류를 흘려 열을 발생시키는 원리로, 백열전구 필라멘트처럼 반응기

① NCC^{Naphtha Cracking Center} · 플라스틱의 원료인 에틸렌·프로필렌을 생산하는 핵심 설비. 납사를 초고온에서 분해해 만든다.

석유화학 탄소중립 기술 지도

01

에너지를 덜 쓴다
에너지 효율 향상

공정 최적화
폐열 회수
고효율 설비



02

열을 전기로 바꾼다
공정 전기화

직접 가열 분해로
플라즈마 분해



03

원료를 다양화하다
원료 전환

메탄 직접 전환
부생가스 활용
바이오 원료



보완 기술
자원을 순환한다

기계적 재활용
화학적 재활용



자체가 하나의 발열체 역할을 한다. 기존 공정을 크게 바꾸지 않으면서도 전기화를 구현할 수 있어 상용화 가능성이 가장 높은 기술로 평가된다.

② 플라즈마^② 분해

전기 에너지로 플라즈마를 발생시켜 원료를 분해하는 차세대 공정 전기화 기술이다. 번개나 용접 불꽃처럼 매우 높은 에너지를 이용해 초고온을 구현하며, 연소 과정이 필요 없어 이산화탄소 배출을 줄일 수 있다. 기존 방식보다 더 높은 온도를 구현할 수 있어 다양한 원료에 적용할 가능성이 있지만, 아직은 원천기술 확보 단계로 추가 연구가 진행되고 있다.

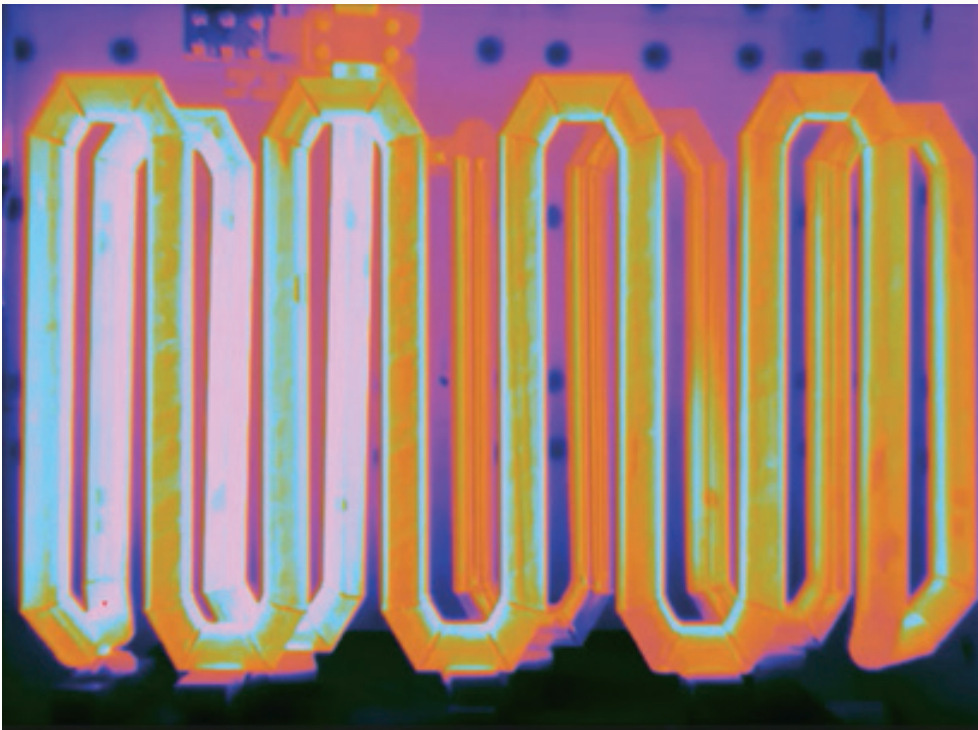
② 번개나 용접 불꽃처럼 전기가 만들어내는 매우 뜨겁고 에너지가 높은 상태.

3. 원료를 다양화하다
원료 전환

석유화학 산업의 또 다른 탄소중립 전략은 원료를 다양화하는 것이다. 지금까지는 납사^③ 등 화석연료를 중심으로 석유화학 원료를 생산해왔다. 하지만 최근에는 바이오 기반 원료를 활용하거나, 기존에 연료로 사용하거나 부산물로 처리하던 가스를 새로운 화학 원료로 전환하는 기술이 주목받고 있다. 원료 선택의 폭을 넓혀 화석자원 의존도를 줄이고 탄소 배출을 낮추기 위한 접근이다.

① 메탄 직접 전환

현재 석유화학 공정에서는 대부분 메탄을 연료로 태워 열을 만드는 데 사용한다. 하지만 메탄은 탄소를 포함한 연료인 만큼 연소 과정에서 이산화탄소가



LG화학에서 개발 중인 직접 가열 분해로의 열화상 이미지. 전류를 흘린 반응기에서 길이 방향으로 균일한 온도 분포가 형성되는 모습을 보여준다.



HD현대케미칼은 2024년부터 충남 대산 공장에서 바이오 납사를 만들고, 이를 기반으로 한 친환경 플라스틱 제품을 생산하고 있다.

발생한다. 메탄 직접 전환 기술은 메탄을 태우는 대신 화학반응을 통해 에틸렌이나 플라스틱의 원료가 되는 기초 화학 원료로 바꾸는 기술이다. 즉 메탄을 연료가 아니라 원료로 활용해 탄소를 좀 더 효율적으로 이용하는 것이다. 이번 탄소중립산업핵심기술개발사업에서도 메탄을 새로운 화학 원료로 활용하는 기술 개발에 연구 역량이 집중되고 있다.

② 부생가스^③ 활용

생산공정에서 부산물로 발생하는 메탄과 수소 등 부생가스를 연료뿐 아니라 화학원료로 활용하는 기술이다. 기존에는 연료로 사용하거나 소각되던 부산물을 새로운 원료로 활용해 자원 활용도를 높이고 화석원료 사용을 줄일 수 있다. 부산물을 다시 원료로 활용하는 것이 핵심이다.

③ 바이오 원료

폐식용유 또는 식물성 원료 등으로 만든 바이오 납사를 기존 화석 원료 대신 사용하는 기술이다. 화석자원 사용을 줄이고 원료 단계부터 탄소배출을 낮출 수 있어 석유화학 산업의 지속가능성을 높이는 대안으로 주목받고 있다.

+ 탄소중립을 완성하는 보완 기술

자원을 순환한다 기계적·화학적 재활용

석유화학 산업에서는 원료를 바꾸는 것뿐 아니라 사용이 끝난 플라스틱을 다시 원료로 활용하는 순환 경제도 중요한 탄소중립 전략으로 꼽힌다. 새로운 화석 원료 사용을 줄일 수 있어 원료 생산 단계에서 발생하는 탄소 배출까지 함께 줄일 수 있기 때문이다.

재활용 기술은 크게 두 가지로 나뉜다. **기계적 재활용**은 폐플라스틱을 분쇄·세척해 다시 사용하는 방식이며, **화학적 재활용**은 폐플라스틱을 화학적으로 분해해 납사 등 석유화학 원료로 되돌리는 기술이다. 최근에는 반복 재활용에도 품질 저하를 최소화할 수 있는 화학적 재활용 기술이 차세대 순환 경제의 핵심 기술로 주목받고 있다.



- ③ 원유를 정제하는 과정에서 얻는 액체 석유 원료.
- ④ 제품을 만드는 과정에서 함께 생기는 가스.

연료 대신 전기로 열을 만든다

기존 설비는 그대로,
열을 만드는 방식만 바꾼다.



석유화학 산업은 철강에 이어 국내에서 두 번째로 많은 이산화탄소를 배출한다. 플라스틱을 비롯한 다양한 석유화학 제품의 출발점인 에틸렌을 생산하려면 약 850°C의 초고온 열이 필요한데, 지금까지는 메탄 등 연료를 태워 이 열을 만들어왔다. 최근에는 연소 대신 전기로 열을 만드는 ‘탄화수소 분해로 전기화 기술’이 주목받고 있다. 기존 설비는 유지하면서 열을 만드는 방식만 바꿔 탄소 배출을 획기적으로 줄이는 기술이다.

왜 NCC 전기화가 필요한가

석유화학은 우리 생활과 밀접한 산업이다.

플라스틱·합성섬유·전자제품·자동차 부품 등 대부분의 제품은 에틸렌과 프로필렌 같은 석유화학 기초 원료에서 시작된다. 이러한 원료를 생산하는 핵심 설비가 NCC^{Naphtha Cracking Center}다. NCC는 원유를 정제해 얻은 납사^{Naphtha}를 약 850°C의 초고온에서 분해해 에틸렌과 프로필렌을 생산하는 공정이다. 이 과정에서 메탄과 수소 같은 부산물도 함께 만들어진다.

이때 생성된 메탄은 버리지 않고 분해로의 연료로 다시 사용된다. 문제는 메탄이 탄소를 포함한 연료라는 점이다. 메탄을 태우면 공기 중 산소와 반응해 초고온의 열을 내는 동시에 이산화탄소가 배출된다. 즉 에틸렌을 만드는 화학반응 자체보다, 필요한 열을 얻기 위해 연료를 태우는 과정이 탄소 배출의 가장 큰 원인이다.

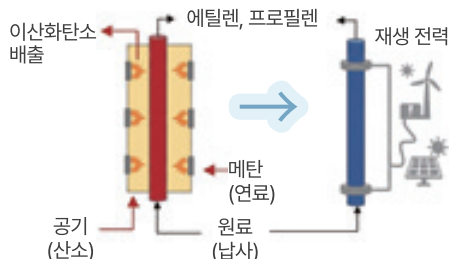
실제 석유화학 산업은 연간 5000만 톤 이상의 이산화탄소를 배출하는 대표적인 탄소 다배출 산업이다. 정부 역시 2035년 국가 온실가스 감축목표^{NDC}를 달성하기 위해 산업 부문의 탄소 감축을 추진하고 있다. 그러나 장치산업인 석유화학 공정은 한 번 구축하면 수십 년 동안 운영되는 만큼 공정을 완전히 새로 짓기는 어렵다. 또한 이미 발생한 이산화탄소를 포집·활용^{CCU}하거나 저장^{CCS}하는 방식은 추가적인 에너지와 비용이 필요하다.

탄소중립산업핵심기술개발사업이란?

산업통상부가 2050 탄소중립 달성 및 산업의 그린 전환에 기여하기 위해 4대 탄소 다배출 업종의 저탄소 공정과 생산 개발을 지원하는 사업이다.



기존 NCC vs 전기 직접 가열 분해로



기존에는 메탄을 태워 열을 만들었지만, 전기 직접 가열은 반응기 자체를 전기로 가열해 이산화탄소 배출을 줄인다.

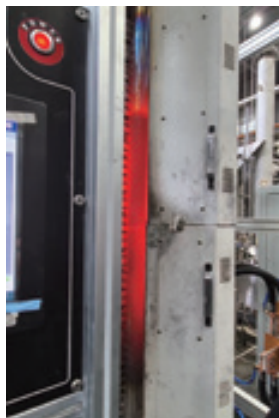
산업통상부는 탄소중립산업핵심기술개발사업을 통해 철강·석유화학·시멘트 등 탄소 다배출 산업의 저탄소 공정 기술 개발을 지원하고 있다. LG화학의 ‘탄화수소 분해로 전기화 기술’은 기존 NCC 공정을 유지하면서도 탄소 배출을 줄이기 위해 추진되는 대표적인 연구개발 과제다. 결국 가장 근본적인 해법은 이산화탄소를 사후에 처리하는 것이 아니라 처음부터 적게 만드는 것이다.

열을 만드는 방식을 바꾸다

이번 과제 기술의 핵심은 NCC 공정에서 열을 만드는 방식을 바꾸는 것이다. 기존 NCC는 메탄을 태워 발생한 열을 반응기에 전달하는 간접 가열 방식이다. 반면 이번 기술은 반응기 자체를 전기가 흐르는 발열체로 활용한다. 전류가 흐르면 전기저항으로 열이 발생하는 원리를 이용한 것으로, 히터나 전기난로의 열선이 뜨거워지는 것과 비슷한 방식이다. 반응기 자체가 하나의 거대한 열선 역할을 하는 셈이다.

이렇게 되면 연소 과정이 사라져 이산화탄소 배출을 크게 줄일 수 있다. 재생 전력을 사용할 경우 기존 공정보다 최대 90% 수준의 온실가스 감축이 가능할 것으로 연구진은 보고 있다. 또한 연소 공간이 필요

전기 직접 가열^{Joule Heating} 방식으로 반응기 자체를 가열하는 실험 모습. 연료 연소 없이 초고온 열을 구현하는 핵심 기술이다.



NCC 전기화 핵심 포인트

Check Point 1. 온실가스 감축 최대 90%

✓ 재생 전력 사용 시 최대 90% 감축

Check Point 2. 세계 두 번째 NCC 전기화 도전

✓ 독일과의 격차 추격 및 2027년 파일럿 실증 목표

없어 설비를 단순화할 수 있고, 목표 온도까지 빠르게 도달해 열효율을 높일 수 있다는 장점도 있다.

하지만 실제 구현은 생각보다 훨씬 어렵다. 가장 큰 난제는 약 850°C의 초고온 환경에서도 안정적으로 전류를 공급하는 것이다. 전기를 잘 전달하는 구리는 고온을 견디기 어렵고, 반대로 내열성 높은 소재는 전기 특성이 떨어진다. 연구진은 이를 해결하기 위해 고내열 합금 소재와 반응기 구조, 대용량 전력 공급 기술, 공정제어 기술을 함께 개발하고 있다. 또한 실제 상용 설비와 유사한 13m급 분해로를 대상으로 직접 가열 시험을 진행하는 한편, 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 반응기 내부의 열전달과 온도 분포를 예측·검증하는 기술도 함께 확보했다.

현재 기술은 실험실 단계를 넘어 2027년부터 전남테크노파크에서 파일럿 실증을 준비하고 있다. 연구 종료는 2028년이지만, 이후 데모 플랜트(상용화 전 실증)를 거쳐 실제 NCC 공정 적용 여부를 검증하는 단계가 이어질 예정이다. 연구진은 파일럿 실증에 성공하면 독일에 이어 세계 두 번째 수준의 NCC 전기화 기술을 확보할 수 있을 것으로 기대한다. 현재 이 분야는 독일이 앞서 실증을 진행하고 있으며, 국내 연구는 그 격차를 빠르게 좁혀가고 있다.

석유화학 산업의 미래를 준비하는 기술

이번 과제는 당장 수익을 내기 위한 기술이라기보다 미래 탄소 규제에 대비하기 위한 선형 투자에 가깝다. 현재 국내 재생 전력 가격은 여전히 높아 경제성을 확보하기 쉽지 않지만, 글로벌 탄소 규제가 강화되고 재생 전력 가격이 낮아질수록 전기화 기술의 경쟁력은 더욱 커질 것으로 전망된다.

무엇보다 이번 연구는 민간기업이 단독으로 추진하기 어려운 장기 연구라는 점에서 의미가 크다. 석유화학 공정은 한 번 구축하면 수십 년 동안 운영되는 장치산업인 만큼 새로운 기술을 실제 공장에 적용하려면 장기간의 실증과 안정성 검증이 필요하다. 이번 연구개발 사업은 이러한 기술 검증의 기반을 마련하는 동시에, 고내열 소재와 전력공급장치, 반응기 설계, 공정제어 기술 등을 하나의 기술 패키지로 확보해 향후 해외시장 진출과 기존 NCC 설비의 단계적 전기화 가능성을 높였다는 점에서도 의미가 있다.

탄소중립은 하루아침에 완성되는 기술이 아니다. NCC 전기화 기술은 기존 생산 체계를 유지하면서도 탄소 배출을 근본적으로 줄일 수 있는 현실적인 해법으로, 우리나라 석유화학 산업의 미래 경쟁력을 좌우할 핵심 기술로 주목받고 있다.



↑ (왼쪽부터) 장용희 팀장, 강무성 PL.

현장 인터뷰

강무성 LG화학 기반기술·알카라인수전해 PJT PL
장용희 LG화학 저탄소추진팀 팀장

“기존 공장은 그대로,
열을 만드는 방식만 바꿉니다”

Q NCC 전기화 기술을 쉽게 설명하면 어떤 기술인가요?

A 지금까지는 메탄 같은 연료를 태워 열을 만들었다면, 앞으로는 전기로 열을 만드는 기술입니다. 백열전구 필라멘트처럼 반응기 자체에 전류를 흘려 필요한 열을 만드는 방식이죠. 열을 만드는 과정에서 연소가 없기 때문에 재생 전력을 사용할 경우 온실가스를 최대 90%까지 줄일 수 있습니다.

Q 기술적으로 가장 어려운 부분은 무엇이었습니까?

A 초고온 환경에서 안정적으로 전류를 공급하는 기술입니다. 전기가 잘 통하는 소재는 열에 약하고, 열에 강한 소재는 전기 특성이 떨어지는 경우가 많습니다. 이를 해결하기 위해 고내열 합금과 전력공급 기술을 함께 개발하고 있습니다.

Q 이번 연구는 현재 어느 단계까지 진행됐습니까?

A 현재 직접 가열 반응기 시험과 시뮬레이션을 진행하면서 핵심 데이터를 확보하고 있습니다. 2027년부터 파일럿 규모의 실증을 준비하고 있으며, 실제 공장 적용을 위한 기술 검증을 단계적으로 진행할 계획입니다.

Q 이번 과제에서 정부 지원이 갖는 의미는 무엇입니까?

A 아직 경제성이 충분히 확보된 기술은 아닙니다. 하지만 앞으로 반드시 필요한 기술입니다. 기업 입장에서는 우선순위가 뒤로 밀릴 수 있는 분야인데, 정부 지원을 통해 미래를 준비할 수 있는 기반을 마련했다는 점에서 의미가 큼니다.

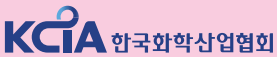
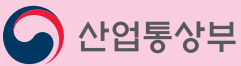
탄소중립산업핵심기술개발사업 석유화학 분야 주요 과제

과제명

참여기관

일반	메탄의 직접 전환을 통한 석유화학 기초유분 제조기술 개발
일반	납사분해공정 부생가스로부터 고부가 화학제품 생산 기술 개발
총괄	탄화수소 분해로 전기화 기술 개발
세부1	탄화수소 직접가열 분해로 개발
세부2	플라즈마 분해 신공정 개발

한국화학연구원
HD현대오일뱅크
(주)LG화학
(주)LG화학
한국기계연구원



Tech Focus

산업통상부 산하 R&D 전문기관
한국산업기술기획평가원이 발행하는 국내외
산업기술의 모든 것을 담은 전문지 <테크 포커스>



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

<테크 포커스> 웹진 보기 매월 10일 오픈





제조산업의 AI 전환, KEIT가 시작합니다

Changing
Tomorrow
내일을 바꾸는 기술

