

# Tech Focus

Jan. 2026

Vol. 27



## Focus Story > Story①

‘5극 3특’ 전략을 통한 지역의  
성장 동력화와 높은 길로의 도약

## Changing Tomorrow > Best Practice

초고강도 소재와 공정 해석으로  
전기차 구조의 해법을 찾다

## Changing Tomorrow > R&D Project

연구실을 넘어 현장으로,  
엣지 기반 CPS 보안이 만든 제조 혁신

## R&Dism > 슬기로운 기술 생활

데이터센터의 전력량 폭증,  
‘분산 에너지 시스템’이 답이다!



<테크 포커스>  
웹진 보기  
매월 10일 오픈

# Tech Focus

Jan. 2026

<테크 포커스> 웹진에서 1월호 기사를 확인하세요! [techfocus.kr](http://techfocus.kr)

Vol. 27



## Focus Story

2

Infographic

IT's HOT, 5극 3특

4

Story①

‘5극 3특’ 전략을 통한 지역의 성장 동력화와 높은 길로의 도약

10

Story②

5극 3특 균형성장 전략과 강원·전북·제주의  
성장 엔진 육성 방안

16

Story③

해외 사례로 본 지역 산학협력 모델과 한국의 초광역 전략

## Changing Tomorrow

22

Best Practice

(주)화신

초고강도 소재와 공정 해석으로  
전기차 구조의 해법을 찾다

26

R&D Project

(주)나온웍스

연구실을 넘어 현장으로,  
엣지 기반 CPS 보안이 만든 제조 혁신

30

Tech Solution

김용기 충북대학교 천문우주학과 교수

보이지 않는 빛으로 삶을 읽다

34

Tech Q&A

똑소리 나는 일상 속 과학 이야기

36

R&D Sense

#CPS



등록일자 2013년 8월 24일 발행일 2026년 1월 5일 발행인 한국산업기술기획평가원 원장 전윤중 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(053-718-8332) 잡지등록 대구동, 라00026  
본지에 게재된 모든 기사의 판권은 한국산업기술기획평가원이 보유하며, 발행인의 사전 허가 없는 기사와 사진의 무단 전재, 복사를 금합니다.  
필자의 원고 및 취재원의 인터뷰 방향은 한국산업기술기획평가원의 입장과 일부 차이가 있거나 다를 수 있습니다.



37

R&D Policy

글로벌 AI 패권 경쟁과 국가 전략 전환

## One More Tech

40

Tech for Earth

CJ제일제당, 생분해성 바이오 소재 상용화 가속

44

키워드 산책

그림과 원리로 읽는 건축학 수업

## R&Dism

48

슬기로운 기술 생활

데이터센터의 전력량 폭증, ‘분산 에너지 시스템’이 답이다

54

공학자의 시선

노준석 포항공대

기계공학과·화학공학과·전자전기공학과 교수

메타표면의 산업화 시대를 설계하다

58

잡 인사이드

김홍인 한국지질자원연구원

자원활용연구본부 자원순환연구센터 센터장

도시 광산에서 미래 자원을 캐다

—

62

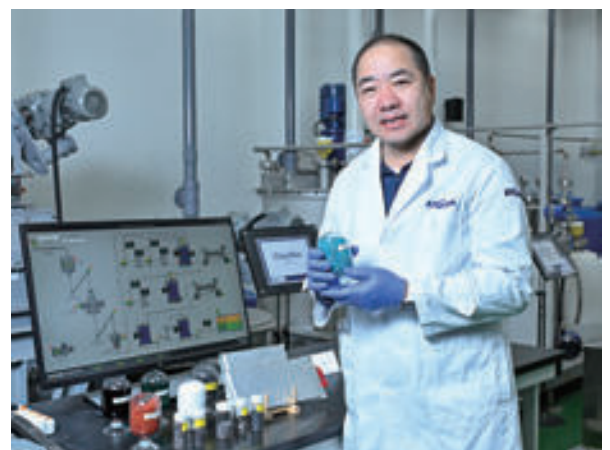
Review

똑소리단 리뷰

63

Notice

독자 퀴즈



대한민국의 경제 지도가 다시 그려지고 있다. 수도권 일극 체제의 한계를 넘어, 전국 8개 거점이 독자적인 성장 엔진으로 기능하는 ‘다극 체제’ 시대가 도래했다. 국토 전체를 혁신의 전략 기지로 탈바꿈시킬 ‘5극 3특’ 전략을 확인해보자.

# IT'S HOT,

## 5극 3특

### 1 5극 3특이란?



대한민국이 기존 수도권 일극 체계에서 벗어나, 전국을 ‘5대 초광역권(5극)과 3대 특별자치도(3특)’로 재편하는 국가 균형발전 전략.

**5극** → 수도권, 동남권, 대경권, 중부권, 호남권

**3특** → 제주·강원·전북

#### 정책 핵심 목적

균형성장

자치·분권 강화

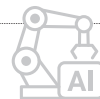
지역 산업 경쟁력 확대

잠재성장률 3% ↑

비수도권 GRDP 50% ↑

### 2 5대 초광역권(5극) 구성 및 특징

특화지역	포함 지역	전략산업 및 특징
수도권	서울, 인천, 경기	글로벌 금융, 디지털 기술, 행정 중심
중부권	세종, 대전, 충남, 충북	과학기술, 행정복합도시, 바이오
대경권	대구, 경북	첨단 의료, 로봇, 소재 부품
동남권	부산, 울산, 경남	해양 물류, 항공우주, 조선산업
호남권	광주, 전남	에너지, 농생명, 문화 콘텐츠



전략산업 및 특징





## 3

## 3대 특별자치도(3특) 구성 및 특징

특화지역

전략산업 및 특징

제주특별자치도	국제 관광, 청정에너지, 스마트농업 중심의 청정 미래도시
강원특별자치도	디지털헬스케어, 바이오산업, 산림 기반 탄소중립 산업
전북특별자치도	농생명, 재생에너지, 새만금 기반 그린 성장산업

## 4

## 5극 3특의 3대 분야

## ① 경제권 : 성장과 집중



기업이 투자하고 청년이 꿈을 키우는 지역

- 5극 3특 성장 엔진 육성
- 권역별 기존 주력산업 경쟁력 강화
- 지역 투자 자본 조성 및 금융지원 체계 구축
- 5극 3특 균형성장 뒷받침하는 지역 인재 양성
- 5극 3특 산·학·연 혁신 성장거점 조성

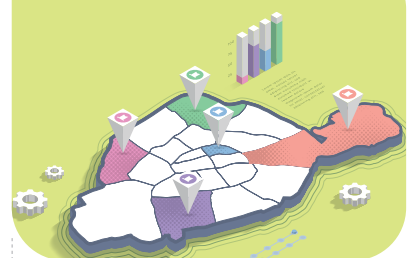
## ② 생활권 : 연결과 확산



편리하게 오가고, 함께 누리는 삶의 공간

- 국토 공간 재설계
- 초광역권 60분 교통체계 구축 및 연결망 강화
- 주거·의료·복지 등 통합 연계망 강화
- K·농·산·어촌 조성

## ③ 행정 및 재정 기반 구축



중앙과 지방이 협력하는 초광역 플랫폼

## 행정 기반

- 5극 3특 권역별 거버넌스 체계 구축
- 특별지방자치단체 강화
- 5극 3특 권역별 특별 협약 활성화

## 재정 기반

- 지방 재정 확대
- 5극 3특 권역별 재정체계 구축
- 성과 연동을 위한 평가 시스템 구축

## 5

## 5극 3특 추진 전략

## 정책 프레임 전환

균형 분산

권역 거점 중심  
+  
네트워크 연계

## 규모의 확장

사·도 단위

5극 3특  
권역 단위

## 경쟁력 유지 임계 규모 내재화

인구·기업·R&amp;D·교통망

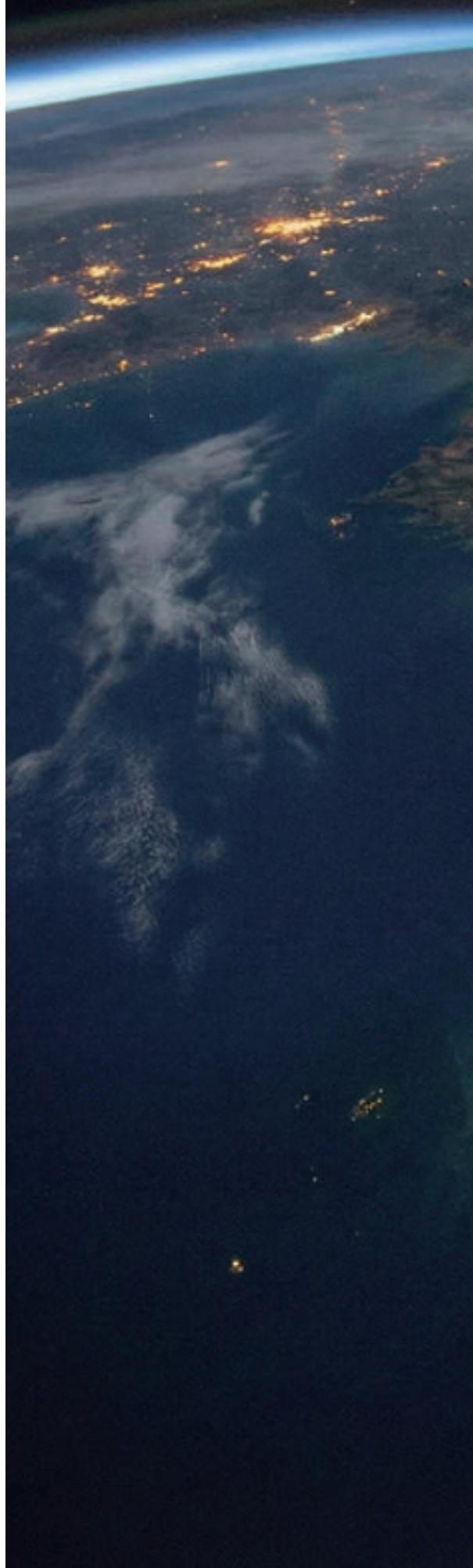
패키지화

# ‘5극 3특’ 전략을 통한 지역의 성장 동력화와 높은 길로의 도약

대한민국 경제는 수도권 일극 성장의 한계를 넘어, 지역을 국가의 핵심 전략 자산으로 재구성하는 ‘다극 체제’로의 대전환을 맞이하고 있다. 과거의 길에서 벗어나 첨단산업 혁신과 인재 유입이 선순환하는 ‘높은 길<sup>High-road</sup>’로의 도약이 필요한 시점이다. 본 글에서는 ‘5극 3특’ 전략을 중심으로 대한민국이 나아가야 할 새로운 산업 지형도를 제시하고자 한다.

글 김상태 성균관대학교 교수/지방시대위원회 위원

국민주권정부는 ‘5극 3특’을 지역 균형성장 정책의 기본 틀로 삼고 있다. 지방시대위원회(위원장 김경수)는 2025년 9월 ‘5극 3특 국가균형성장 추진전략 설계도’를 발표한 후, 12월 8일 ‘AI 시대 5극 3특 국토 공간 대전환 전략’을 대통령에게 보고했다. 보고회에서 김경수 위원장은 “지역을 시혜나 배려의 대상이 아닌 전략 자산으로 봐야 하며, 바로 지금 국토 전체를 전략적 생산공간으로 재구성”해야 함을 강조했다. 핵심은 지금까지의 수도권 일극 성장축에서 벗어나, ‘5극 3특’을 중심으로 한 ‘다극 체제’로 국가 전체의 성장을 견인하겠다는 구상이다.







‘5극 3특’ 균형성장 전략은 지역 정책 차원을 넘어 산업정책과 혁신정책 전반에 걸쳐 근본적이고 지속적인 변화를 이끌 것으로 예상된다. 실제 산업통상부는 업무보고에서 ‘지역을 경제성장의 중심으로’를 최우선 과제로 제시했는데, 민관합동으로 ‘5극 3특 성장 엔진’을 선정하고 메가 권역별 첨단산업 육성에 전력을 다하겠다고 약속했다. 과학기술정보통신부 역시 ‘지역 주도 과학기술 혁신 생태계 구축’을 핵심 정책과제로 제안했다. 이에 ‘5극 3특’ 전략의 핵심 기제를 살펴보고, 향후 산업 지형과 가치망의 변화 방향 및 성공을 위한 아이디어를 제안하고자 한다.

지난해 12월 3일 지방시대위원회는 국가데이터처와 공동으로 청년들(15~39세)의 광역권역 간 이동 분석 결과인 ‘데이터로 본 청년의 이동과 소득 변화’를 발표했다. 2022~23년 수도권으로 이동한 청년은 13만 명, 수도권에서 비수도권으로 이동한 청년은 10만 명으로, 3만 명이 수도권으로 순유입되었다. 눈여겨볼

대목은 수도권으로 이동한 청년들의 소득이 약 23% 상승했다는 점이다. 특히 대구·경북 권역에서 수도권으로 이동한 청년들의 소득은 30% 넘게 증가했다. 국가데이터처가 분석한 바와 같이, 청년들의 이동은 더 좋은 고용과 소득 기회를 실현하기 위한 ‘일자리 이동’의 결과다. 수도권과 비수도권 간의 일자리 질과 임금 격차는 청년들의 수도권 이동을 추동하고, 청년 인재를 필요한 첨단기업들은 다시 수도권을 선택하는 ‘피드백 고리<sup>Feedback Loop</sup>’로 기능하게 된다.



2025년 12월 8일 열린 지방시대위원회 보고회. 이재명 대통령과 위원들이 ‘SI 시대 5극 3특 국토 공간 대전환 전략’을 논의하고 있다.



## ‘낮은 길’을 버리고 ‘높은 길’로 가야 할 때

이러한 양상은 단순히 지역에 전통적 제조업(굴뚝산업) 입지를 제공하고 기업을 유치하는 것만으로는 지역 격차와 수도권 집중을 해소할 수 없음을 나타낸다. 첨단산업 분야를 중심으로 지역이 좋은 기업을 유치하고, 혁신과 창업을 통해 스스로 가치를 창출할 수 있을 때 현재의 악순환을 끊어낼 수 있다. ‘5극 3특’ 전략은 과거 ‘낮은 길<sup>Low-road</sup>’에서 ‘높은 길<sup>High-road</sup>’로의 지역과 산업정책 전환이라 할 수 있다. 미국 캘리포니아와 매사추세츠 등이 지향하는 ‘높은 길’은 정부가 대학과 연구에 투자하고 교통·주택·공교육 등 최상의 공공서비스를 제공해 주민의 삶의 질을 향상하는 방식이다. 정부와 공공부문은 적극적으로 산업·혁신전략을 수립·이행하고, 주민들은 더 나은 공공서비스를 향유하기 위해 기꺼이 조세를 부담한다. 이를 통해 인재가 유입되고, 연구개발과 이에 기반한 창업 및 혁신 활동이 촉진된다. 첨단산업 성장으로 더 많은 일자리와 가치가 창출되면서 공공 재원도 확충되는 선순환 구조를 형성한다.

반면 발전이 지체된 지역에서 주로 나타나는 ‘낮은 길’은 보조금과 세제 지원, 규제 완화를 통해 기업 유치에 집중하는 방식이다. 막대한 보조금과 세제 지원은 공공 재원 감소로 이어져 결국 공교육과 복지 서비스 축소를 초래한다. 규제 완화로 환경은 파괴되고 노동조건은 더욱 열악해진다. 결과적으로 우수한 인재와 기업은 빠져나가고 낮은 임금과 불안정한 일자리를 제공하는 기업들만 모여들게 된다.

‘5극 3특’ 균형성장 전략은 과거 기업 이전에 매달리던 ‘낮은 길’ 모델에서 벗어나, 지역 차원에서 첨단산업 분야의 혁신과 창업을 통해 성장을 견인하는 ‘높은 길’ 모델로 전환하겠다는 구상과 의지로 해석할 수 있다. 광역권역 차원에서 규모와 범위의 경계를 확보하고, 이를 기반으로 내생적 성장의 선순환 구조를 만들겠다는 계획이다. 이를 위해 초광역 단위의 첨단산업 성장 엔진을 발굴하고,

중앙-지역 정부와 민간이 합동으로 초광역 성장전략을 수립하고 있다. 또한 안정적이고 책임성 있는 추진을 위해 특별지방자치단체를 설립하고 초광역특별협약을 도입한다. 이를 뒷받침하기 위해 광역별 첨단산업 인재 양성, 지역 자율 R&D 확대, 지역별 투자펀드 설립, 창업 도시 지정 등이 병행된다. 지역의 권한과 자율성·책임성을 확대하기 위해 포괄보조금을 대폭 늘렸고, 차등적 재정지원과 지방 우대 정책도 시행한다.

## 외부 수혈이 아닌 ‘내생적 성장’

### 시스템 구축

지역의 내생적 성장 동력을 구축하는 방법은 세 가지로 정리할 수 있다. 첫 번째는 보조금, 세제 지원, 규제 완화 등의 유인으로 타 지역 기업을 유치하는 방식이다. 이는 지역 간 ‘제로섬’ 게임으로 전략하기 쉽고, 주로 굴뚝산업에 통하는 방식이라 첨단기업과 인재의 유인 효과는 낮다. 연관 기업들의 유인과 확산도 제한적이다. 두 번째는 첨단산업 허브 기업을 중심으로 한 ‘클러스터화’다. 허브 기업을 중심으로 협력기업들이 집적하고, 허브 기업이 필요로 하는 소재·부품·장비 관련 연관 기업들이 분사<sup>Spin-off</sup>와 창업으로

## 지역 성장전략의 패러다임 전환: ‘낮은 길’ vs ‘높은 길’

구분	낮은 길 <sup>Low-road</sup>	높은 길 <sup>High-road</sup>
핵심 수단	보조금 지급, 세제 혜택, 규제 완화	R&D 투자, 인프라 구축, 고품질 공공서비스
주요 타깃	외부 기업 유치, 전통적 제조업(굴뚝산업)	혁신 인재 유입, 첨단산업 및 창업 기업
정책 효과	지역 간 ‘제로섬’ 경쟁 유발	내생적 성장 및 혁신 생태계 조성
장기적 결과	공공서비스 질 저하 및 인재 유출	일자리 질 향상 및 지역 가치 창출의 선순환
비고	과거의 기업 이전 중심 모델	‘5극 3특’ 전략이 지향하는 모델

계속 생겨난다. 모기업을 중심으로 공급망이 확산·발전하는  
과정으로, 우리나라 산업화의 기본 궤적이었다. 세 번째는 새로운  
아이디어를 상용화하는 ‘기업가적 과정’<sup>Entrepreneurial Process</sup>이다.

이 과정은 높은 불확실성과 위험을 수반하므로 벤처투자 같은  
모험자본과 액셀러레이터 같은 전문 서비스가 동반되어야 한다.  
전문가 집단이 신뢰를 바탕으로 긴밀히 상호작용해 불확실성과  
위험을 낮춰야 하기에, 지역 창업 생태계 구축이 선행되어야 한다.

지속 가능한 성장 동력은 ‘높은 길’에 해당하는 두 번째와 세 번째  
방식으로 확보할 수 있다. 두 방식 모두 공급망과 생태계 내 연관  
기업 및 전문가들의 긴밀한 협력을 요구한다. 또한 지역의 ‘산업  
공유재’<sup>Industrial Commons</sup>인 연구개발 역량, 우수 인재, 금융자본, 에너지  
인프라 등을 갖추고, 글로벌 가치사슬 및 전국 단위 창업 생태계와  
긴밀히 연계되어야 한다.

### 성공의 열쇠, ‘스마트 특화’와 ‘혁신지구’ 전략

그렇다면 ‘5극 3특’이 과거 특화 발전 전략의 한계를 넘어 지역 성장  
동력을 창출하려면 어떻게 접근해야 할까? 무엇보다 초광역권별  
전략산업을 기술 분야와 공정별로 더욱 세분화하여 특화할 필요가  
있다. 지역과 도시별로 그간 구축한 역량과 자원을 바탕으로  
특정 분야와 공정에 특화해야 한다. 특정 공정에 강점이 있다면  
관련 일자리가 적더라도 그 분야에 역량을 집중해야 한다. 현재

지역에는 높은 성장 파급력을 지닌  
중소·중견기업과 특화된 분야에 탁월한  
연구개발 역량을 갖춘 대학·연구소의  
연구실이 포진해 있다. 이에 EU에서  
실시하는 ‘기업가적 발견’<sup>Entrepreneurial Discovery  
Process</sup> 방법을 활용해 지역의 강점과  
잠재력을 분석하고 전략을 수립하는  
‘스마트 특화 플랫폼’<sup>Smart Specialisation Platform</sup>  
도입을 제안한다. 특화 분야를 중심으로  
집합적 역량과 인프라인 ‘산업 공유지’를  
구축하고 산학연 협력 네트워크와  
가치망을 형성하는 방식이다. 피드백  
고리가 작동하기 시작하면 특화 분야  
연관 기업들이 유입·확장되고, 지역의  
대학과 연구소는 특화 분야에서만큼은  
서울대·카이스트를 능가하는 경쟁력을  
갖추게 될 것이다.

이러한 특화 분야 혁신·창업 생태계와  
가치망이 지속 성장하기 위해서는  
연관 기술과 지식을 갖춘 기업과 인재,  
연구기관을 전략적으로 유치해야 한다.  
광역권역·도시별로 성장전략에 맞춰



지난해 11월  
14일, 김경수  
지방시대위원장이  
경북대학교  
반도체융합기술  
연구원을 방문해  
반도체 관련 산학  
공동연구에 대한  
의견을 나누고 있다.



혁신클러스터의 대표적 사례로 꼽히는 보스턴 캔달 스퀘어. 대학과 기업, 정부가 유기적으로 협력해 만든 대표적인 ‘혁신지구’ 성공 사례다.

핵심 주체를 발굴하고 차별화된 맞춤형 유치 전략을 제안·협상하는 방식이다. 허브 기업과 인재는 지역 혁신 생태계에 새로운 지식과 아이디어를 유입시키고 확장하는 중심축 역할을 수행하기 때문이다.

스마트 특화 전략 및 허브 기업·기관의 전략적 유치와 더불어, 뉴욕시나 보스턴시가 성공시킨 ‘혁신지구’<sup>Innovation Districts</sup> 모델 도입도 적극 검토할 만하다. 지방정부가 기업·창업가·액셀러레이터 등 중개 기관과 대학 같은 혁신 주체들과 협력하여 생태계 전략을 수립하고, 각자의 역할과 책임을 명확히 하는 모델이다. 이는 참여 주체들의 위험을 최소화하면서 네트워크 효과를 극대화하는 전략적 민관협력 방식이다. 복잡한 생태계나 시스템에서 개별 행동에 따른 위험과 비용으로 발생하는 ‘집단행동의 딜레마’를 조정과 협력으로 해결하는 데 초점을 맞춘다. 뉴욕시는 시정부의 전략적 기획과 민간 자원을 결합해 도시 곳곳에 창업 생태계를 성공적으로 구축했다. 보스턴의 캔달 스퀘어 역시 대학·기업·정부가 유기적으로 협력해 발전시킨 혁신지구의 대표적 사례로서, 세계 최고의 혁신클러스터로 자리매김했다.

‘5극 3특’ 전략은 지역을 성장 엔진으로 전환하려는 정책으로, 균형성장 전략의 광역권역화가 최종 목표가 되어서는 안 된다. 과거의

시행착오와 해외 선진국의 성공 사례를 참고하여 광역 단위부터 도시, 커뮤니티 단위까지 다양한 모델을 시도해야 한다. 이를 철저히 검증하면서 성공 모델을 완성해나가는 ‘실험적 접근’만이 과거의 실패를 되풀이하지 않을 유일한 길이다.

※ 본 기고문은 필자 개인의 생각과 제안으로 지방시대위원회·정부의 입장과 다를 수 있습니다.



**김상태 성균관대학교 교수/지방시대위원회 위원**  
현재 성균관대학교 글로벌리더학부에서 행정학과 정책학을 강의하고 있다. 과거 중소벤처기업부와 산업부에서 18년간 근무했으며, 샌디에이고 바이오클러스터의 형성과 발전 과정으로 박사 논문 연구를 수행했다. 지방시대위원회 위원으로 활동하고 있다.



# 5극 3특 균형성장 전략과 강원·전북·제주의 성장 엔진 육성 방안

각 지역의 특화 산업을 중심으로 한 혁신 클러스터 조성에 대한 논의가 본격화되고 있다. 과거 관 주도의 산발적 지원이 아닌, 기업이 앞장서고 지역이 판을 까는 이 혁신 전략은 과연 성공할 수 있을까? 특별자치체와 광역 연합이 독자적인 성장 엔진을 장착하고 비상할 수 있는 구체적인 해법을 살펴본다.

글 이병현 광운대 교수/지방시대위원회 5극 3특 위원장









제주·세종·강원·전북 등 4개 특별자치시도로 구성된 특별자치시도 행정협의회는 지난해 12월 23일 세종시에서 정기회의와 특별자치 포럼을 열어 특별자치의 미래 방향을 제시했다.

대한민국의 지역 불균형 문제는 이미 임계점을 넘어섰다. 통계청 조사 결과 최근 10년 사이 수도권으로 순유입된 인구는 39만 8000명이며, 2024년 기준 수도권 거주 인구는 2605만 명으로 전체 대한민국 인구의 50.86%로 나타났다. 청년층과 중장년층의 이동 양상이 확연히 엇갈린다. 40대 이상 중장년층은 지방으로 순유출됐지만, 19세에서 34세 청년층은 매년 5만~8만 명이 수도권으로 순유입되었다.

청년들이 서울과 경기도로 몰려드는 이유는 진학과 취업이다. 청년들은 수도권 대학에 진학하고, 졸업 후에도 수도권에서 직장 and 주택을 구하는 것을 선호한다. 지방보다 수도권이 좋은 일자리가 많고, 생활 여건도 낫기 때문이다. 청년들이 수도권을 떠나길 싫어하기 때문에 기업도 인재를 구하기 위해 수도권으로 몰려든다. 지방에서 창업한 스타트업이나 벤처기업도 대규모 투자를 유치하여 성장 단계에 진입하면, 연구 인력을 구하기 위해 마곡이나 판교에 R&D센터를 설립하고 수도권 대학 출신 개발자와 엔지니어를 채용하려 한다.

젊은 인재와 일자리가 수도권으로 집중되는 상황에서, 지방에 산재해

있는 제조업이 중국 등 후발 개도국에 밀려 경쟁력을 상실하면서 대학도 동시에 소멸 위기를 맞고 있다. 2018년 한국GM 군산공장이 폐쇄되면서 군산시 20대 순유출 인구는 1만 명을 넘어섰으며, 덩달아 지역 국립대와 전문대의 신입생 미충원율도 대폭 증가했다. 지역 산업의 경쟁력이 떨어져 일자리가 줄어들면 지역 대학 졸업생의 수도권으로의 이탈이 가속화되고, 이는 다시 지역 내 스타트업과 벤처의 창업 활동 위축과 지역 기업의 개발 인력 및 엔지니어 인력난으로 연결된다. 산업이 사라지니 청년이 떠나고, 청년이 떠나니 대학이 무너지고, 대학이 무너지니 산업은 더 이상 재생 불가능해지는 악순환이 반복되고 있다.

### 5극 3특 균형성장, 무엇이 다른가

지방 경제의 침체는 한국 경제의 성장을 추락으로 이어지고 있다. 이미 한국 경제의 잠재성장률은 2% 이하로 떨어졌는데, 지방 경제의 회복 없이는 정부가 목표로 하는 3% 성장은 불가능하다. 이러한 문제의식 아래 이재명 정부는 수도권과 지방 간 균형성장을 핵심 국정 목표로 설정했으며, 이를 실현할 구체적인 전략으로 5극 3특 균형성장 전략을 제시하고 있다. 대통령 직속 지방시대위원회는 이에 대한 구체적인 실행 방안을 마련하여, ‘5극 3특 국가균형성장 추진전략 설계도’라는 이름으로 발표했다.

이 설계도가 제시하는 핵심 과제는 권역별로 성장 엔진이 되는 신산업을 육성하는 것이다. 5극 3특 권역별로 지자체·대학·기업이 협력하여 새롭게 육성할 산업 분야를 발굴하고, 연구개발과 사업화를 공동으로 추진해 지역 일자리를 창출하며 인재를 불러 모으는 것이 목표다. 기업은 지역의 연구개발과 생산설비에 대한 투자를 확대하고, 대학은 기업이 필요로 하는 인재를 양성하며, 중앙정부와 지자체는 자금 지원과 규제 완화를 통해 지역 내 기업과 대학의 협력을 촉진한다는 계획이다.

신산업 육성을 통해 지역 경제를 활성화하겠다는 정책이 이번 정부에서 처음 제기된 것은 아니다. 2003년 집권한 노무현 정부는 국가 균형발전을 핵심 국정 과제로 설정하고, 공공기관의 지방 이전과 기업의 지역투자 유치를 통해 혁신도시를 조성하며, 산학연 협력이 이루어지는 지역 혁신클러스터를 조성하는 정책을 추진했다. 이어 이명박 정부는 5+2 광역경제권으로 산업·인재·인프라를 키우는 정책과 광역경제권별 선도산업 육성을 추진했다. 박근혜 정부는 시·도 단위의

창조경제혁신센터를 설립해 지역별 창업 생태계 조성 사업을 추진했다. 문재인 정부에서는 혁신도시의 기업 유치와 지역 혁신클러스터 고도화, 도시재생 뉴딜을 통한 혁신 거점 조성을 추진했다.

이와 같이 지역의 신성장 산업 육성과 혁신클러스터 조성 정책은 역대 정부에서 지속적으로 시도했지만 다양한 정책과 사업이 여러 지역에서 산발적으로 추진되면서 기업·대학·인재·자금이 임계 규모 이상으로 결집하고 연결되어 집적효과를 갖는 혁신클러스터를 형성하지 못했다. 연구시설과 장비가 여러 지역으로 산개되었고, 단기적인 R&D 과제가 남발되면서 산업화로 연결되지 못했다. 중앙정부가 산업을 지정하고 지역이 따라가는 방식으로 사업이 추진되면서 동일한 신산업 육성 정책이 전국 각지에서 산발적으로 추진되었다. 또한 사업 대부분이 정부 지원에만 의존해 추진되었으며, 기업의 적극적인 투자는 없었다.

### 역대 정부별 지역 균형발전 및 경제 전략 비교

정부	핵심기조 및 전략	주요 추진 내용 및 특징
노무현 정부	국가 균형발전	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 공공기관 지방 이전 및 기업 투자 유치</li> <li>• 혁신도시 및 산학연 협력 중심의 ‘지역 혁신클러스터’ 조성</li> </ul>
이명박 정부	5+2 광역경제권	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 전국을 ‘5+2 광역경제권’으로 나누어 산업·인재·인프라 육성</li> <li>• 광역경제권별 선도산업 선정 및 육성 추진</li> </ul>
박근혜 정부	창조경제	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 시·도 단위 ‘창조경제혁신센터’ 설립</li> <li>• 지역별 창업 생태계 조성 사업 추진</li> </ul>
문재인 정부	혁신 거점 조성	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 혁신도시 기업 유치 및 지역 혁신클러스터 고도화</li> <li>• ‘도시재생 뉴딜’을 통한 혁신 거점 조성 추진</li> </ul>



## 기업이 앞장서고 정부가 묶어서 지원한다

이재명 정부의 5극 3특 권역별 신성장 엔진 조성 사업은 과거 정책을 교훈 삼아 추진 방식을 완전히 달리하고자 한다. 우선 권역별 성장 엔진은 중앙정부나 지자체 등 관이 일방적으로 결정하여 선정하는 것이 아니라, 기업의 투자 의사 결정에 따라 발현되도록 할 계획이다. 지역 성장 엔진 육성에 기업이 선도적이고 주도적인 역할을 하도록 하며, 중앙정부와 지자체, 대학은 기업의 투자 유치를 끌어내기 위한 규제·세제·자금·인력 측면의 지원을 할 계획이다. 5극 3특 권역별로 기업, 중앙정부와 지자체, 대학 간의 투자협약을 통해 신성장 엔진 육성을 위한 R&D, 인력 양성, 사업화를 일괄적으로 추진하자는 것이다.

권역별 신성장 엔진에 대한 중앙정부의 지원 방식도 크게 바뀐다. 지금까지 각 부처에서 개별 사업 단위로 나뉘어 추진되던 정부 지원을 가급적 통합하여 묶음으로 지원할 계획이다. 교육부의 거점 국립대 지원사업과 RISE 사업, 과기부의 지역 AI 전환 사업과 R&D 지원사업, 산업부의 지역 특화산업 R&D, 중기부의 지역 중소기업 R&D와 창업 지원사업, 국토부의 첨단 기업도시 조성 사업 등을 권역별 메가 샌드박스와 패키지로 묶어서 지원함으로써 사업 간 시너지를 극대화하고, 임계 규모 이상의 투자가 이루어지도록 할 계획이다. 특히 17개 시·도 단위로 분산 투자되던 것을 5극 3특 권역별로 투자를 집중해 혁신 거점이 조성될 수 있도록 한다.

이재명 정부가 5극 3특 균형성장 전략을 본격화하면서, 일각에서는 정부의 성장 엔진 지원이 부울경, 대구경북, 광주전남, 충청권 등 5극에 해당하는 지역에 집중되고 3개의 특자체인 강원, 전북, 제주에 소외될 수 있다는 우려가 나오고 있다. 하지만 앞서 언급했듯이 5극 3특 성장 엔진 육성은 권역별로 기업이 투자를 통해 앞장서고 지자체와 대학이 함께 만들어가는

것이며, 중앙정부의 투자는 권역별 기업 투자 수요에 따라 가변적으로 지원될 예정이기 때문에 3특이 소외될 여지는 없다.

## 3특<sup>특</sup>의 기회, '전략적 자율성'에 달렸다

5극 3특 중에서 3특에 해당하는 특별자치단체는 강화된 자치 권한과 규제 특례를 갖게 되므로, 기존의 '중앙정부 주도-지역 실행'이라는 획일적인 틀에서 벗어나 지역 특성을 고려한 차별화된 성장 엔진을 지역 주도로 기획하고 육성해나갈 기회다.

강원도의 경우 기존의 관광·레저 산업에 더해 의료 데이터와 바이오 기술을 활용한 맞춤형 헬스케어 서비스, 고령화 대응 바이오 솔루션 등에서 타 권역과 차별화하여 경쟁력을 확보할 수 있다. 원주·춘천 등 주요 거점에 조성되는 바이오 R&D 클러스터에서 의료기관-대학-기업이 연결되는 실증 중심의 R&D 순환구조가 정착된다면 강원도는 한국형 바이오 신산업의 표준을 제시하는 지역이 될 수 있다.



지난해 11월 19일 대학과 기업, 연구기관이 한 공간에 있는 '강원 산학융합지구' 준공식이 원주에서 개최됐다.



지난해 12월 23일 전주 라한호텔에서 '전북 벤처투자 라운드 Scale-up 통합 컨소시엄' 행사가 개최됐다.



### ‘3특(강원·전북·제주)’ 권역별 차별화 성장 엔진

구분	강원특별자치도	전북특별자치도	제주특별자치도
핵심 키워드	바이오 헬스케어	에너지 첨단 소재	우주, 친환경, UAM
주요 산업	의료 데이터 활용 헬스케어 고령화 대응 바이오 솔루션	농생명 산업, 이차전지와 수소에너지, 탄소 소재	민간 우주산업, UAM 친환경 건강식품, 화장품
실행 전략	원주·춘천 바이오 R&D 클러스터 구축(실증 중심 순환구조)	산학연 공동 R&D 센터 설립, 신기술 테스트베드 구축, 메가 샌드박스 기업투자 유치	글로벌 테스트베드 구축 및 기업 수요 맞춤형 인력 양성

전북은 서해안과 새만금의 신재생에너지 자원을 활용해 신성장 엔진을 만들어갈 수 있다. 인공지능과 바이오 기술을 전통산업과 융합한 농생명 산업뿐 아니라 이차전지와 수소·탄소 소재 등 첨단산업도 전북의 신성장 엔진으로 육성할 만하다. 전북 지역의 대학과 연구기관, 기업 간 협력으로 진행되고 있는 배터리 안정성 테스트, 차세대 전고체 배터리 연구, 탄소 복합 소재의 모빌리티 적용 등을 메가 샌드박스 지원과 대규모 상용화 투자로 연계한다면, 세계시장을 향한 ‘속도 경쟁’에서 우위를 점할 수 있다.

제주는 이미 신재생에너지 자립 실험, 탄소중립 모델, 관광산업 혁신 등 다양한 미래 정책 실험을 진행해온 지역이다. 이번 전략에서도 제주는 친환경 건강식품과 화장품 산업의 R&D와 제조 거점으로, 그리고 우주산업과 UAM의 글로벌 테스트베드로도 유망한 지역이다. 제주가 자생적인 경쟁력을 갖기 위해서는 이들 분야에서 기업 투자를 끌어내고, 국내외 인재 유치를 위해 정부 환경을 개선하며, 대학의 인력 양성 체계를 기업 수요에 맞게 혁신해야 한다.

‘5극 3특 균형성장 전략’이 성공하려면 정부의 설계도만으로는 부족하다. 가장 중요한 것은 권한과 책임의 재배분, 그리고 규제 체계의 구조적 전환이다. 특히 3특의 균형성장을 위해 중앙정부는 특별자치도에 실질적 권한을 대폭 이양해야 한다. 단순한 행정 위임이 아니라 산업정책의 설계와 집행에 필요한 권한과 예산, 규제 적용 여부 판단 권한을 포함한 전략적 자율권이 보장될 때 비로소 혁신이 속도를 낼 수 있다. 또한 규제 특례는 단발성 예외가 아니라 지속 가능한 실험 체제로 제도화되어야 한다. ‘선 허용 후 규제’ 원칙을 적극적으로 적용하고, 위험관리와 혁신 촉진이 균형을 이루는 규제 거버넌스를 구축해야 한다.

기업이 지역 성장 엔진 육성의 핵심 주체가 되어야 한다는 것은 3특 지역인 강원·전북·제주에서도 예외가 아니다. 기업이 선도적으로 지역



한화시스템은 지난해 12월 2일 제주도 서귀포시 하원테크노캠퍼스에서 제주우주센터 준공식을 개최했다.

투자전략을 수립하고 집행할 수 있도록 지자체와 대학은 중앙정부의 지원을 받아 규제 개선, 에너지 공급, 세제 감면, 주거와 생활 인프라 구축, 인력 공급 등 기업 투자 환경을 정비해야 한다. 이를 통해 강원·전북·제주가 새로운 성장 엔진을 장착하면, 한국 경제는 전체적으로 더욱 다양하고 깊이 있는 성장 경로를 확보하게 될 것이다.



**이병헌** 광운대 교수/지방시대위원회 5극 3특 위원장  
광운대학교 경영학부 교수이자 대통령 직속 지방시대위원회 ‘5극 3특 위원장’을 맡고 있다. 기술경영과 혁신전략 분야의 전문가로서, 지역과 기업이 주도하는 균형성장 모델을 제시하며 지방 소멸 위기 극복을 위한 정책 설계에 앞장서고 있다.

# 해외 사례로 본 지역 산학협력 모델과 한국의 초광역 전략

오늘날 혁신은 단일 기술의 발명을 넘어 주체 간의 긴밀한 ‘연결’과 ‘협력’을 통해 완성되는 집단적 과정으로 확장됐다. 이러한 흐름 속에서 산학협력과 혁신클러스터는 지역과 국가 경쟁력을 견인하는 핵심 동력으로 자리 잡았다. 미국, 독일, 일본 등 해외 선진 사례를 거울삼아 대한민국 ‘5극 3특’ 초광역 전략이 성공적인 혁신 생태계로 거듭나기 위한 구체적인 해법을 모색해본다.

글 임종빈 경기도경제과학진흥원 SI 본부장

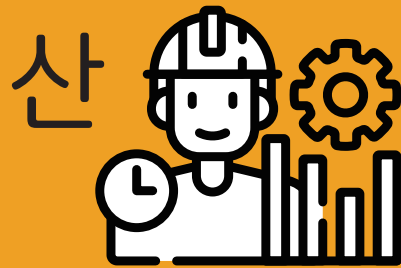
혁신<sup>Innovation</sup>은 오랫동안 경제성장과 국가 경쟁력을 좌우하는 핵심 개념으로 논의되었다. 그러나 혁신을 단순히 신기술 등장이나 연구 성과 축적으로 이해하던 시대는 지났다. 혁신에 대해 가장 먼저 주목했던 쉘페터<sup>J. Schumpeter</sup>는 혁신을 ‘새로운 결합의 실현’으로 정의하며 기술 발명 그 자체보다 경제구조를 변화시키는 힘에 주목했다. 그는 신제품 등장뿐 아니라 새로운 생산방식, 새로운 시장 개척, 조직 형태의 변화까지 모두 혁신의 범주에 포함했다.

이후 혁신 개념은 더욱 확장되었다. OECD는 혁신의 측정에 대한 국제적 기준 지침서 <오슬로 매뉴얼>을 발간하면서 혁신에 대해 “새로운 또는 현저하게 개선된 제품이나 공정, 새로운 마케팅 방법 또는 조직 운영상의 새로운 방법을 비즈니스 관행, 작업장 조직 또는 외부 관계에 구현하는 것”이라고 정의하며 지식이 경제적·사회적 가치로 전환되는 전 과정을 강조했다. 이는 연구개발<sup>R&D</sup>뿐 아니라 제도, 인력, 네트워크, 문화까지 포괄하는 개념으로 재정립한 것으로 볼 수 있다.

이 정의가 중요한 이유는 혁신을 결과가 아닌 과정으로 인식하게 만들었기 때문이다. 즉 혁신의 성패는 기술 수준만이 아니라,

지식이 얼마나 빠르고 효과적으로 확산·결합되는가에 달려 있다. 이러한 관점에서 오늘날 혁신은 더 이상 고립된 개인이나 단일 기업의 성취가 아니다. 혁신은 본질적으로 집단적이며 네트워크적이다. 여러 주체가 연결될수록 혁신의 속도와 파급력은 커진다. 바로 이 지점에서 산학협력이 핵심적인 의미를 갖는다.

산학협력은 단순한 산·학 간 공동 연구나 기술이전을 넘어선다. 대학은 지식과 인재의 공급원이며, 기업은 이를 시장가치로 전환하는 주체다. 정부는 이 둘을 연결하는 제도적 촉매 역할을 수행한다. 에츠클라와 레이데스도르프가 제시한 ‘트리플 헬릭스<sup>Triple Helix</sup>’ 이론은 이 세 주체의 상호작용이 혁신을 창출하는 기본 구조임을 설명한다. 이후 이 이론은



금융·시민사회·지역공동체까지 포함하는 ‘쿼드러플 헬릭스’ 논의로 확장되었지만, 여전히 산·학·관 협력은 혁신 시스템의 중심축으로 기능한다.

### 산학협력과 클러스터, 혁신의 필수 조건

그러나 산학협력은 선언만으로 작동하지 않는다. 대학은 장기 연구를, 기업은 단기 성과를, 정부는 정책 목표를 우선시한다. 이 혁신 주체들이 지속적으로 협력하기 위해서는 이들 간에 얽혀 있는 이해관계와 시간 축을 효과적으로 연결할 수 있는 제도적 장치와 공간적 기반이 필요하다. 이 역할을 수행하는 것이 바로 ‘혁신클러스터’<sup>Innovation Cluster</sup>다.

마이클 포터는 클러스터를 “특정 산업 분야에서 상호 연관된 기업·연구기관·공급망·지원조직이 지리적으로 집적된 상태”로 정의하며, 클러스터가 생산성 향상과 혁신 가속, 신산업 창출을 동시에 이끈다고 분석했다. 혁신클러스터는 단순한 산업단지나 연구단지가 아니다. 지식·인재·자본·데이터가 빠르게 순환하며, 우연한 만남과 반복적 협력이 혁신으로 이어지는 생태계다. 이러한 이론적 논의는 해외 주요 국가의 지역 혁신 전략에서 정책 수단으로 활용되며 현실로 구현돼왔다.

### 실리콘밸리에서 EU까지, 글로벌 클러스터의 성공 방정식

우리에게 가장 익숙한 혁신클러스터는 미국의 실리콘밸리다. 물론 실리콘밸리는 정부의 정책에 따라 조성된 혁신클러스터가 아니라 자연발생적으로 형성된 혁신클러스터다. 하지만 많은 국가에서 실리콘밸리의 성공 사례를 벤치마킹해 정책에 활용하고 있는 만큼, 자연발생적이라는 다른 특징을 갖고 있지만 반드시 살펴볼 필요가 있다.

실리콘밸리는 단기간에 정책적으로 조성된 산업단지가 아니라 수십 년에 걸친 정책·연구·시장 메커니즘이 축적된 결과물이다. 스탠퍼드대와 UC버클리를 중심으로 한 세계 최고 수준의 연구 역량, 국방부·NASA 등 연방정부의 장기적 R&D

대학의 연구 역량, 정부의 장기 R&D 투자, 벤처 자본이 유기적으로 결합하여 자생적인 혁신 생태계를 이룬 미국 실리콘밸리의 전경.





투자, 그리고 이를 사업화하는 벤처캐피탈 시장이 맞물리며 독보적인 혁신 생태계가 형성됐다.

실리콘밸리 모델의 핵심은 '지역 자율성과 국가 전략의 공존'이다. 연방정부는 특정 지역을 지정해 산업을 배분하지 않았다. 대신 기초연구와 도전적 기술개발에 대한 장기 투자를 지속했고, 규제 유연성을 통해 민간의 실험을 허용했다. 그 결과 혁신의 방향은 지역의 대학·기업·투자자가 주도했고, 이는 다시 미국 전체의 기술 패권을 뒷받침하는 기반이 되었다.

독일의 산학협력 모델은 미국 실리콘밸리와는 다른 경로를 보여준다. 독일은 프라운호퍼연구소를 중심으로 기초연구와 산업 현장을 연결하는 '중간 조직'을 제도화했다. 프라운호퍼연구소는 순수 학문 연구보다는 산업수요에 기반한 응용·실증 연구에 집중한다.



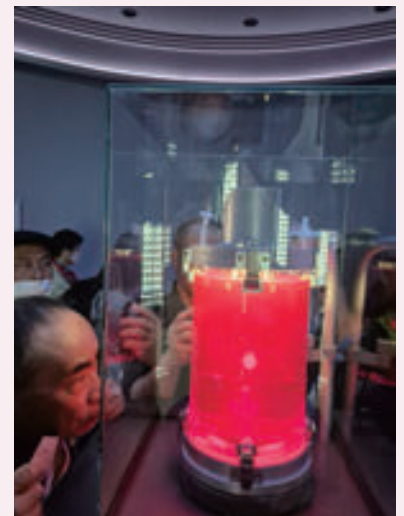
응용·실증 연구를 주도하며 독일의 기술경쟁력을 뒷받침하는 프라운호퍼연구소.

연방정부와 주정부가 연구비를 공동 부담하고, 연구 성과는 기업으로 이전된다. 이 구조는 대기업뿐 아니라 지역 중소·중견기업의 기술경쟁력을 끌어올리는 데 크게 기여해왔다.

독일 사례의 중요한 특징은 지역 혁신이 국가 산업 경쟁력으로 자연스럽게 연결된다는 점이다. 특정 지역의 기술 성과는 독일 제조업 전체의 경쟁력 강화로 이어지고, 이는 다시 국가 차원의 산업 전략을 지탱하는 선순환 구조를 만든다. 지역과 국가가 분리된 단위가 아니라 하나의 시스템으로 작동하는 것이다.

일본 역시 지역 혁신 전략을 재편하고 있다. 쓰쿠바 사이언스시티는 대학과 국책연구소 집적을 통해 기초연구 허브로 기능해왔고, 간사이 광역 바이오·헬스 클러스터는 오사카·교토·고베를 연결하는 초광역 협력 모델로 진화 중이다.

특히 일본 정부는 최근 지역 간 중폭 투자와 경쟁의 비효율성을 인식하고,



초광역 바이오·헬스 클러스터의 역동성을 보여주는 오사카 간사이 엑스포 현장.



각 지역의 비교우위에 기반한 ‘스마트 특화 전략’을 통해 선택과 집중, 그리고 초국경 협력을 동시에 추구하는 유럽연합.

광역 단위의 역할 분담과 네트워크형 클러스터 구축에 정책 역량을 집중하고 있다. 이는 단일 지역의 완결성보다 연결된 지역들의 집합적 경쟁력을 중시하는 방향을 지향한다.

유럽연합<sup>EU</sup>의 스마트 특화 전략<sup>Smart Specialisation Strategy</sup>도 중요한 시사점을 제공한다. EU는 각 지역이 모든 산업을 육성하려는 방식이 오히려 혁신을 저해한다고 판단하고, 지역별 비교우위에 기반한 선택과 집중을 유도해왔다. 동시에 국가 간·지역 간 협력을 통해 초국경 혁신 네트워크를 구축했다. 이는 지역 특화와 초광역 협력이 대립 개념이 아니라 상호 보완적이라는 점을 잘 보여준다.

이러한 해외 사례의 공통점은 분명하다. 첫째, 산학협력은 선택이 아니라 국가 혁신전략의 필수적 핵심 수단이다. 둘째, 혁신클러스터는 행정구역이 아니라 기능과 네트워크를 기준으로 설계되어야 한다. 셋째, 지역 특화는 분산이 아니라 전략적 선택과 집중의 결과로 봐야 한다. 넷째, 지역 혁신은 언제나 국가 전략과 긴밀히 연결되어야 한다.

## 세계는 지금 ‘지역 특화’와 ‘네트워크’에 주목한다

이러한 시사점은 우리나라의 ‘5극 3특 국가 균형성장 전략(이하 5극 3특 전략)’이 좀 더 효과적으로 기능해 조기에 성과를

창출하는 데 보완적으로 활용할 수 있다. ‘5극 3특 전략’은 수도권·충청권·동남권·대경권·호남권 등 5대 초광역 성장거점과 강원·전북·제주 등 3대 특별권역을 중심으로 산업·인재·R&D를 재배치하겠다는 것으로, 기존 균형발전 정책과는 분명히 다른 접근이다. 과거 정책이 행정구역 단위의 분산에 가까웠다면, 이번 전략은 기능 중심의 재편과 초광역 협력을 지향한다는 점에서 진일보했다.

이 전략의 핵심 키워드를 정리하면 △초광역 협력 △산업·기술 특화 △기능 중심 재편 △연결과 분업이라 할 수 있다. 방향성 자체는 해외 혁신클러스터 전략과 상당 부분 맞닿아 있다. 그러나 전략의 성공 여부는 방향이 아니라 구현의 완성도에 달려 있다.

## ‘5극 3특’, 행정 구역을 넘어 ‘초광역 생태계’로

‘5극 3특 전략’이 성공하려면 다음과 같은 것들이 구현돼야 한다.

첫째, 초광역 전략과 국가 R&D 정책의 구조적 적합성을 높여야 한다. 현재 우리나라의 R&D 예산은 부처별·과제별로 분절돼 있으며, 초광역 단위의 공동 기획과 장기 로드맵은 여전히 미흡하다. 해외 사례처럼 초광역 거점을 중심으로 한 대형·장기 연구 프로그램을 설계하고, 예산 배분 단계에서부터 지역 간 연계를 전제로 하는 구조 전환이 필요하다.

둘째, 국가 산업 전략과 지역 특화 전략 간 역할 분담을 명확히 해야 한다. 중앙정부는 글로벌 기술 경쟁에서 국가가



집중해야 할 핵심 기술과 산업 방향을 제시하고, 지역은 이를 구현하는 실행 단위로 기능해야 한다. 현재처럼 중앙과 지역이 유사한 정책을 중복 추진하는 방식으로는 초광역 협력의 시너지를 기대하기 어렵다.

셋째, 대학과 공공 연구기관의 역할을 혁신 시스템 관점에서 재정립해야 한다. 해외 혁신클러스터에서 대학과 연구기관은 단순한 연구 수행 주체가 아니라, 인재·기술·창업을 연결하는 ‘앵커 기관’으로 기능한다. 우리 역시 지역 거점 대학과 출연연이 교육과 연구를 넘어 산업과 창업을 연결하는 핵심 허브가 되도록 제도적 권한과 책임을 부여해야 한다.

넷째, 인재 정책을 지역 혁신전략의 중심에 놓아야 한다.

혁신클러스터의 성패는 결국 사람에 달려 있다. 지역 간 인재 이동을 촉진하고, 초광역 단위에서 연구·창업·취업이 연계되는 인재 순환구조를 설계하지 않는다면 공간 중심 전략은 한계를 가질 수밖에 없다.

마지막으로, 초광역 협력을 실질적으로 작동시키는 국가 차원의 거버넌스가 필요하다. 각 극과 특이 경쟁적으로 성장하기보다, 기술·데이터·인프라를 공유하는 협력 네트워크로 진화해야 한다. 이를 위해서는 중앙정부의 조정기능과 지역 주도의 실행 역량이 균형을 이루는 새로운 거버넌스 모델이 요구된다.

지역 균형성장은 이제 ‘지역에 무엇을 나눠줄 것인가’의 문제가 아니다. ‘각 지역이 어떤 기능으로 국가 혁신과 지역 성장에 어떻게 기여할 것인가, 어떻게 상생할 것인가’를 묻는 전략의 문제다. 해외 사례가 보여주듯, 강한 지역은 전략적 방향성과 지속적 실행에 의해 다져진다. 5극 3특 전략이 이러한 방향으로 구체화되고 성숙해간다면, 이는 단순한 지역 정책을 넘어 한국형 혁신 국가로 나아가는 구조적 전환의 핵심축이 될 것으로 기대한다.



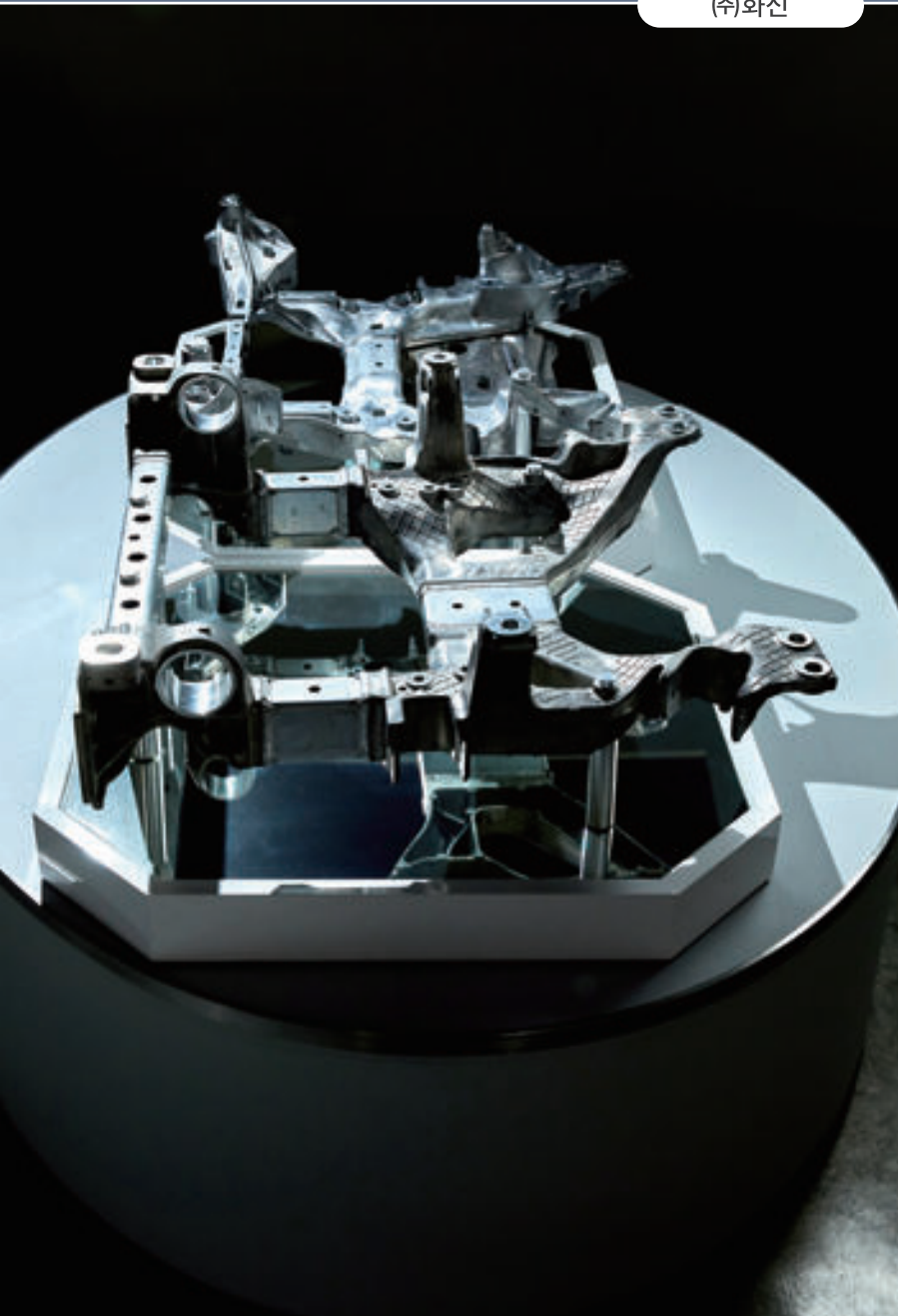
**임종빈** 경기도경제과학진흥원 AI 본부장  
기술경영 전공으로 박사학위 취득 이후  
혁신클러스터와 지역 혁신 분야에서 현장 실무  
경험을 바탕으로 다양한 연구를 수행했다. 현재는  
경기도경제과학진흥원에서 AI 본부장을 맡아 혁신  
이론의 정책적 구현에 노력하고 있다.



# 초고강도 소재와 공정 해석으로 전기차 구조의 해법을 찾다

전기차 경량화와 안전을 동시에 만족시키는 구조 기술의 실증 사례

(주)화신



전기차 시대가 본격화되면서 자동차 구조 설계의 기준도 빠르게 달라지고 있다. 대용량 배터리 탑재로 인한 중량 증가, 강화되는 충돌·안전 규제 속에서 차체와 새시 구조는 ‘가볍고 튼튼한’ 기술을 동시에 요구받고 있다. 화신은 초고강도 강재 새시와 알루미늄 배터리팩 케이스를 대상으로, 접합 장비 국산화부터 공정 해석 기반 제조 기술, 그리고 실제 양산 실증까지 전 과정을 연결하는 구조 기술을 구현했다.

글 김선녀 사진 임익순

연구과제명	780MPa급 이상 초고강도 소재 적용 전기자동차 새시 및 300MPa급 이상 알루미늄 배터리팩 케이스 용접을 위한 요소 공정 해석 기술 개발 및 제품화 실증
제품명(적용 제품)	FR Cross Member, RR CTBA, BPC
개발기간(정부 과제 수행기간)	2022년 9월 1일 ~ 2025년 12월 31일
총 정부출연금	26억5060만 원
개발기관	(주)화신
참여 연구진	박종규 상무, 김상훈 팀장, 서오석 팀장 등 26명

### 전기차 구조 혁신의 출발점, ‘가볍고 튼튼한’ 기술을 축적해온 화신

화신은 자동차의 차체와 새시 구조 부품을 전문으로 개발·생산해온 기업으로, 차량의 충돌 안전과 내구, 주행 성능을 좌우하는 핵심 구조 기술을 오랜 기간 축적해왔다. 차체는 사람의 뼈대, 새시는 다리에 비유될 만큼 자동차의 기본 성능을 결정하는 기반 부품이며, 화신은 이 영역에서 국내외 완성차 업체와 긴밀한 협력관계를 이어왔다.

화신의 사업 영역은 크로스멤버와 CTBA 등 하부 구조를 포함한 새시 부품, 차체 구조 부품, 그리고 전기차 확산과 함께 중요성이 급격히 높아진 배터리 구조 부품까지 폭넓게 아우른다. 특히 국내에서 유일하게 자동차 핵심 구조부품인 새시부터 차체, BPC<sup>Battery Pack Case</sup>까지 개발·양산 역량을 보유한 기업으로 글로벌 시장에서도 손꼽히는 구조 부품 전문 기업으로 평가받고 있다. 전기차 시대가 본격화되면서 자동차 구조 설계의 전제 조건도 크게 달라졌다. 대용량 배터리 탑재로 차량 중량이 증가하는 한편, 주행거리 확보와 충돌 안전, 배터리 보호에 대한 요구는 더욱 강화되고 있다. 이에 따라 ‘경량화와 안전을 동시에 만족시키는 구조 기술’은 단순한 성능 개선 차원을 넘어 전기차 경쟁력을 좌우하는 핵심 요소로 부상했다. 화신이 초고강도 강재 기반 새시와 알루미늄 배터리팩 케이스

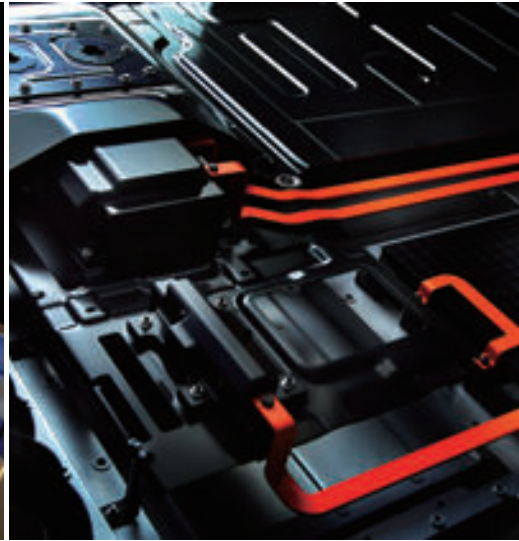
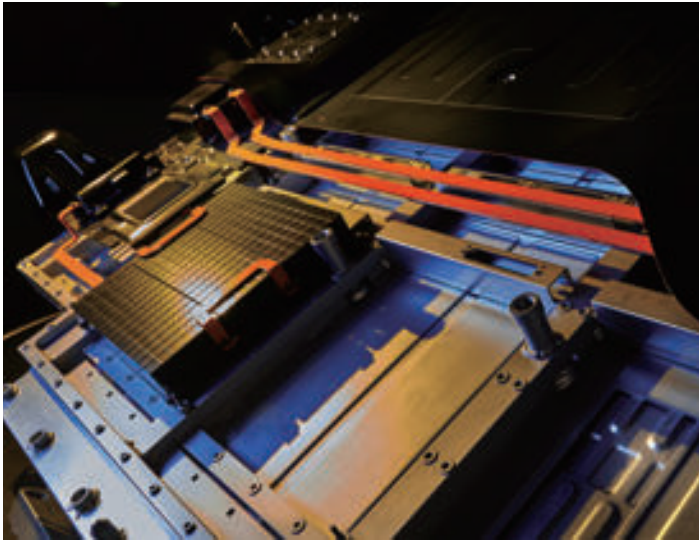
제조 기술 개발에 나선 이유도 여기에 있다. 기존 기술의 연장선이 아닌, 전기차 구조 환경에 최적화된 새로운 설계·공정 체계를 구축함으로써 전기차 구조 부품 개발의 해법을 제시하고자 했다.

### 장비 국산화에서 공정 해석까지, 전기차 구조 부품 개발의 전 과정을 잇다

이번 과제는 단일 기술 개발이 아닌, 접합 장비 국산화부터 구조 부품 실증까지 포괄하는 패키지형 과제로 추진되었다. 1세부에서는 전기차 새시와 배터리팩 케이스에 적용되는 이종 소재 접합 공정의 핵심인 외산 장비를 대체할 국산 접합 장비 개발과 스마트 접합 라인 구축이 이루어졌고, 2세부에서는 해당 장비를 실제로 활용해 초고강도 강재 새시와 알루미늄 배터리팩 케이스 부품을 개발·실증하는 역할을 맡았다. 이는 ‘장비만 국산화’하거나 ‘해석만 고도화’하는 접근이 아니라, 실제 양산 공정에서 작동하는 기술을 끝까지 검증하려는 전략적 선택이었다. 2세부에서 화신이 집중한 핵심은 공정 해석 기반 제조 기술이다. 780MPa급 이상 초고강도 강재와 300MPa급 이상 알루미늄은 경량화에는 유리하지만,



공정 해석 기반 제조 기술을 통해  
만든 RR CTBA<sup>Rear Coupled Torsion Beam Axle</sup>



화신은 소재의 특성에 맞춘 공정 해석과 접합 기술을 통해, 차체 지지력과 배터리 보호라는 전기차 구조 부품의 두 가지 난제를 모두 해결했다.

성형성과 용접성이 낮아 변형, 균열, 접합 품질 저하라는 공정 리스크를 동반한다. 화신은 기존의 시험 반복 중심 개발 방식으로는 이러한 문제를 해결하기 어렵다고 보고, 성형 해석과 용접 해석을 연계해 공정 단계에서 발생할 수 있는 문제를 사전에 예측·제어하는 요소 공정 해석 기술을 구축했다. 특히 특정 해석 툴에 종속되지 않고 다양한 상용 소프트웨어를 연계해 사용할 수 있도록 해석 체계를 고도화함으로써, 실제 산업 현장에서의 활용성과 확장성을 높였다.

이러한 공정 해석 기술은 프런트 크로스멤버, CTBA 등 새시 부품과 배터리팩 케이스 개발에 적용되었으며, 초고강도 강재 단일 소재 적용뿐 아니라 알루미늄 및 이중 소재 적용 설계까지 폭넓게 검토하는 기반이 되었다. 설계 단계에서는 성형성·내구·충돌 성능을 해석으로 검증하고, 제작 이후에는 용접 품질과 변형 관리, 기밀·수밀 시험 등을 통해 고객 요구 성능을 충족했는지 확인했다. 장비 국산화와 공정 해석 및 실증이 유기적으로 연결된 이번 과제는, 전기차 구조 부품 개발에서 ‘만들 수 있는 설계’를 실제 생산과 양산으로 이어주는 실질적인 기술 전환 사례다.

#### 양산 성과에서 산업 확산으로, 전기차 구조 기술의 다음 단계를 준비하다

이번 과제를 통해 확보한 기술은 연구 단계에 머물지 않고 실제 양산 성과로 이어지고 있다. 초고강도 강재를 적용한 새시 부품은 이미 양산 차종에 적용되었으며, 알루미늄 배터리팩 케이스 역시 양산을 통해 성능과 품질 신뢰성을 입증했다. 이중 소재 접합 기술은 아직 고객 검증과 추가 평가가 필요한 단계지만, 관련 설계·해석·공정 기술은 충분한 기술적 완성도를

확보한 상태다. 이는 향후 전기차 구조 설계에서 소재 선택의 폭을 넓히고, 구조 최적화 가능성을 한층 확장하는 기반이 될 것으로 기대된다.

산업적 관점에서 이번 기술의 의미는 분명하다. 경량화와 안전을 동시에 달성할 수 있는 구조 기술을 확보함으로써 전기차 주행거리와 에너지 효율 개선에 기여할 뿐 아니라, 공정 해석 기반 개발을 통해 개발기간과 비용을 줄이고 양산 품질의 변동성을 낮출 수 있다. 더 나아가 고난도 소재·접합 분야에서 국내 기술 자립도를 높이고, 국내 전기차 부품 산업 전반의 경쟁력을 강화하는 효과도 기대된다. 화신은 이번 KEIT 과제를 출발점으로, 소재·설계·공정·검증이 유기적으로 연결된 디지털 기반 구조 부품 개발 체계를 지속적으로 고도화할 계획이다. 초고강도 강재와 경량 소재의 혼용 확대, 배터리 보호 구조의 고도화, 스마트 제조 기술 접목을 통해 전기차와 미래 모빌리티 시대를 선도하는 구조 부품 전문 기업으로의 도약을 준비하고 있다.



### 이번 과제에서 ‘국산화’가 갖는 의미를 현장에서 체감한 순간이 있었나요?

이종 소재 접합 장비는 그동안 외산 의존도가 높았던 영역이라, 장비를 들여와도 공정 조건이나 유지보수 측면에서 제약이 많았습니다. 이번 과제를 통해 국산 장비를 실제 양산 공정에 투입하고, 문제를 직접 해결해나가는 경험을 했다는 점이 가장 큰 의미였습니다. 단순히 장비를 대체한 것이 아니라, 국내 기술로 공정을 이해하고 개선할 수 있는 기반을 만들었다는 점에서 현장에서 체감하는 변화가 컸습니다.

### 이번 기술이 향후 글로벌 완성차 또는 해외 시장에서도 경쟁력 있다고 보시는 이유는 무엇인가요?

글로벌 시장에서는 단순히 ‘강한 소재를 쓴다’는 것보다, 그 소재를 안정적으로 만들고 반복 생산할 수 있는지가 더 중요합니다. 이번 과제를 통해 화신은 초고강도 강재와 알루미늄을 대상으로 설계-공정-검증을 연계하는 체계를 갖추게 되었고, 이는 해외 고객사와의 협업에서도 충분한 경쟁력이 될 수 있다고 봅니다. 특히 전기차 구조 부품은



차종과 플랫폼에 따라 요구조건이 빠르게 달라지기 때문에, 공정 해석 기반 대응능력이 큰 강점이 될 것입니다.

### 이번 과제는 2025년 산업통상부 R&D 대표 10선에 선정되기도 했는데요. 4년간의 과제를 마친 실무 책임자로서, 개인적으로 가장 의미 있었던 점은 무엇인가요?

이번 과제는 기술적인 난도도 높았지만, 참여 기관과 기업이 많아 조율과 협업 측면에서도 쉽지 않은 프로젝트였습니다. 그럼에도 팀이 중심을 잡고 과제를 끝까지 완주했으며, 실제 양산 성과로 이어졌다는 점이 가장 기억에 남습니다. 개인적으로는 이 경험이 이후 진행 중인 후속 국책과제와 미래 기술개발의 중요한 자산이 될 것이라고 생각합니다.



### (주)화신은?

자동차 차체·새시 구조 부품 전문 기업으로, 충돌 안전과 내구, 주행 성능을 좌우하는 핵심 구조 기술을 축적해왔다. 새시 부품부터 차체, 전기차 배터리 구조 부품까지 포괄하는 개발·양산 역량을 바탕으로, 국내에서 유일하게 새시와 차체 구조를 아우르는 기술 포트폴리오를 보유하고 있다. 초고강도 강재와 경량 소재 적용, 공정 해석 기반 제조 기술을 통해 전기차와 미래 모빌리티 구조 부품 분야에서 글로벌 경쟁력을 강화하고 있다.



(주)나온웍스

## 연구실을 넘어 현장으로, 엣지 기반 CPS 보안이 만든 제조 혁신

### 설비·네트워크·제어계를 관통하는 CPS 보안기술의 진화

스마트팩토리 확산과 함께 제조 현장은 이제 사이버와 물리가 분리된 공간이 아니다. 공장기계의 제어신호와 진동·온도 같은 물리 데이터가 실시간으로 연결되면서 보안 역시 생산 안정성의 핵심 요소로 떠올랐다. 나온웍스는 엣지 컴퓨팅 기반 CPS 보안기술을 통해 ‘보안이 곧 생산 경쟁력’이 되는 제조 현장의 새로운 기준을 제시하고 있다.

글 김승호 사진 이승재



사업 평가기관	한국산업기술기획평가원
연구과제명	엣지 컴퓨팅 기반 공작기계 핵심 요소 상태 진단 및 보안기술 개발
제품명(적용 제품)	세레브로엣지
개발기간(정부 과제 수행기간)	2019년 11월 1일~2022년 5월 31일
총 정부출연금	40억 원
개발기관	(주)나온웍스
참여 연구진	이준경 외 18명

### CPS 보안 전문 기업 나온웍스와 제조 현장의 변화

나온웍스는 2007년 설립된 CPS<sup>Cyber-Physical System</sup> 보안 전문 기업으로, 제조 현장과 산업 제어 시스템<sup>ICS</sup> 환경에 특화된 보안기술을 축적해온 기업이다. 기존 IT 보안이 네트워크 경계 보호에 집중해왔다면, 제조 현장은 센서·제어신호·기계 동작이 동시에 얹힌 물리·사이버 융합 환경이라는 점에서 전혀 다른 접근이 요구된다. 나온웍스는 이러한 문제의식에서 출발해 15년 이상 산업용 통신 프로토콜 분석기술을 축적하며, 공작기계·제어설비 중심의 현장 보안이라는 독자적인 영역을 개척해왔다.

최근 제조산업은 스마트팩토리, 디지털 전환<sup>DX</sup>, AI 기반 최적화로 빠르게 이동하고 있다. 설비가 네트워크에 연결되고 데이터가 외부로 흐르는 구조가 일반화되면서, 생산성 향상과 동시에 보안 리스크 역시 급격히 커지고 있다. 특히 공작기계 같은 핵심 설비는 고장이나 공격이 곧바로 생산 중단과 인명·설비 피해로 이어질 수 있어, IT 시스템보다 훨씬 높은 수준의 안정성과 신뢰성이 요구된다. 그럼에도 기존 보안 솔루션은 제조설비



나온웍스는 설비 데이터를 현장에서 즉시 처리하는 엣지 컴퓨팅 기술로 지연 없는 보안 환경을 구현했다.

내부의 동작과 제어 로직을 이해하지 못한 채, 네트워크 트래픽 차단에 머무는 한계가 있었다.

나온웍스는 이러한 한계를 극복하기 위해 엣지 컴퓨팅 기반 CPS 보안이라는 접근법을 제시했다. 공작기계 바로 옆, 현장에 설치된 엣지 디바이스에서 데이터를 실시간으로 분석하고 판단함으로써, 보안이 곧 생산 안정성으로 이어지는 구조를 만든 것이다. ‘엣지 컴퓨팅 기반 공작기계 핵심 요소 상태 진단 및 보안기술 개발’을 통해 본격적으로 구체화됐으며, 단순한 연구 결과를 넘어 실제 산업 현장에 적용 가능한 플랫폼으로 발전했다.

### 엣지 기반 CPS 보안기술의

#### 핵심과 차별성

이번 과제의 핵심은 엣지 컴퓨팅과 CPS 보안을 결합해 공작기계의 상태 진단과 사이버 보안을 동시에 구현했다는 점이다. 공작기계는 진동, 온도, 음향, 제어신호 등 다양한 물리적 요소가 복합적으로 작동하는 시스템이다. 나온웍스는 이러한 데이터를 클라우드로 보내 분석하는 대신 현장에서 즉시 처리하는 엣지 구조를 선택했다. 이를 통해 지연 문제를 최소화하고, 네트워크 단절 상황에서도 공장 운영에 영향을 주지 않는 안정성을 확보했다.

기술적으로 가장 중요한 기반은 15년간 축적된 산업용 프로토콜 분석 역량이다. 나온웍스는 공개·비공개를 포함해 150종 이상의 산업용 통신 프로토콜을 지원하는 DPI(심층 패킷 분석) 엔진을 보유하고 있다. 이는 장비 제조사마다 각기 다른





‘세레브로 엣지’는 제조 현장 계층에 설치되어 데이터 보안과 생산 안정성을 확보하는 제조 특화 보안 솔루션이다.

제어환경을 갖는 공작기계 분야에서 매우 큰 강점이다. 단순히 통신 형식만 보는 것이 아니라, 제어 명령의 값과 범위까지 해석해 정상·비정상 동작을 구분할 수 있기 때문이다.

또 하나의 차별점은 물리 데이터와 사이버 데이터를 통합 분석한다는 점이다. 센서 데이터에서 감지된 이상 징후가 기계 고장 때문인지, 외부 공격에 의한 것인지 구분할 수 있어 불필요한 오탐지를 줄이고 정확도를 높였다. 특히 화이트박스 방식으로 설계해, 시스템이 ‘왜 위험하다고 판단했는지’ 엔지니어가 명확히 이해할 수 있도록 했다. 이는 AI 기반 블랙박스 판단에 대한 현장의 불신을 줄이고, 실제 운영 효율성을 높이는 요소로 작용했다.

아울러 플랫폼 자체에 보안 기능을 내재화함으로써, 서비스 개발자가 별도의 보안 설계를 고민하지 않아도 자연스럽게 안전한 솔루션을 만들 수 있도록 한 점도 주목할 만하다. 보안을 비용이나 장애 요소가 아닌, 디지털 전환을 가능케 하는 기반 기술로 재정의한 것이다.

## 상용화 성과와 제조 보안의 미래 방향

과제 종료 이후 해당 기술은 상용 제품 ‘세레브로 엣지<sup>CEREBRO-Edge</sup>’로

발전했다. 2024년 GS인증 1등급을 획득하며 공공시장 진입 기반을 마련했고, ‘국가연구개발 우수성과 100선’에도 선정됐다. 연구 단계에서 요구된 기능뿐 아니라 실제 현장의 다양한 요구까지 반영해 고도화된 플랫폼으로 완성되었다. 현재 국내 대기업 제조공정에 적용되고 있으며, 해외 주요 고객을 대상으로 실증 테스트도 진행 중이다.

나온웍스는 이 기술을 공작기계에 국한하지 않고 발전·물류·교통·수자원 등 다양한 장치산업으로 확장하고 있다. 특히 설비가 네트워크에 연결되는 모든 산업 영역에서 엣지 기반 CPS 보안 플랫폼의 필요성이 커지고 있다는 점에 주목하고 있다. CSAP 인증을 획득하면서 서비스형 공급 모델도 준비 중이며, 클라우드와 엣지를 결합한 풀 라인업 전략을 통해 새로운 시장을 개척하고 있다.

이준경 대표는 제조 보안의 역할을 ‘해킹 방지’에 국한하지 않는다. 설비고장 예방, 생산 안정성 확보, 품질 향상까지 아우르는 통합 솔루션으로 발전해야 한다는 것이다. 특히 스마트팩토리로 전환하는 중소 제조기업이 보안 부담 없이 디지털화를 추진할 수 있도록 돕는 것이 중요한 목표다. 보안을 사후 대응 비용이 아닌 생산 경쟁력을 높이는 투자로 인식시키는 것이 CPS 보안이 나아가야 할 방향이라는 설명이다.

엣지 컴퓨팅 기반 CPS 보안은 이제 개념 검증을 넘어 산업 현장에서 실제 가치를 증명하는 단계로 접어들고 있다. 나온웍스의 사례는 제조 보안이 기술적 필요뿐 아니라 산업구조 전환을 뒷받침하는 핵심 인프라로 자리 잡고 있음을 보여준다.

### 이번 과제에서 어렵게 느껴진 지점은 무엇이었나요?

가장 어려웠던 점은 기술 자체보다 ‘현장 이해’였습니다. 공작기계는 IT 시스템과 달리 기계 동작·소리·진동 같은 아날로그 요소가 강하고, 장비마다 구조와 제어 방식이 다릅니다. 데이터를 얻는 과정도 쉽지 않았고, 무엇이 정상이고 무엇이 이상인지 판단하기 위해서는 공작기계 전문가의 경험과 감각이 필요했습니다. 결국 기술을 만들기 전에 기계를 이해하는 데 많은 시간을 들였고, 그 과정이 이번 과제의 성패를 가른 핵심이었다고 생각합니다.

### 제조 현장에 CPS 보안을 적용할 때 가장 중요하게 고려한 기준은 무엇이었나요?

‘보안이 생산을 방해하지 않아야 한다’는 점입니다. 제조 현장은 멈추지 않는 것이 가장 중요합니다. 그래서 공격을 막는 것뿐 아니라, 정상적인 제어와 생산 흐름을 정확히 이해하는 것이 필요했습니다. 단순 차단이 아니라 이 명령이 왜 위험한지, 어떤 기준을 벗어났는지 설명할 수 있어야 현장에서 신뢰를 얻을 수 있습니다. 그래서 저희는 판단



근거를 명확히 보여주는 화이트박스 방식과 다층 검증 구조를 중요하게 설계했습니다.

### ‘제조 보안기술의 역할’은 어디까지라고 보시나요?

제조 보안은 이제 해킹을 막는 기술에 머물러서는 안 된다고 생각합니다. 설비고장을 예방하고, 생산 품질을 지키고, 결국 현장의 안전과 경쟁력을 높이는 역할까지 포함해야 합니다. 보안을 비용이 아니라 생산 안정성을 높이는 투자로 인식할 때, 제조 현장의 디지털 전환도 속도를 낼 수 있습니다. 저희는 CPS 보안을 ‘제조 현장의 보이지 않는 안전 인프라’로 만드는 것을 목표로 하고 있습니다.

### (주)나온웍스는?

2007년 설립된 사이버 물리 시스템<sup>CPS</sup> 보안 전문 기업으로, 제조 현장과 산업 제어 시스템<sup>ICS</sup> 보안 분야에서 축적된 기술력을 보유하고 있다. 15년 이상 산업용 통신 프로토콜 분석 기술을 기반으로, 엣지 컴퓨팅과 CPS 보안을 결합한 현장 중심 보안 플랫폼 ‘세레브로’ 시리즈를 개발해왔다. 공작기계·스마트팩토리 등 제조 현장의 실시간 안전성과 생산 안정성을 동시에 확보하는 솔루션을 제공하며, 산업 디지털 전환을 뒷받침하는 보안기술 기업으로 자리매김하고 있다.



천문학은 별을 연구하는 학문이기 이전에,  
인간이 세상을 이해하려는 질문의 가장  
오래된 기록이다. 백색왜성의 X선을  
추적해 별의 진화를 밝히는 연구자이자,  
대중천문학과 메이커스페이스 기반 교육을  
통해 과학과 사회를 연결해온 김용기 교수.  
그는 우주를 관측하는 태도가 곧 삶을 대하는  
태도라고 말한다. 연구실에서 강연장까지  
보이지 않는 빛을 모아온 그의 이야기는  
과학이 어떻게 한 사람의 삶과 철학이 되는지  
보여준다.

글 김선녀 사진 김가남

보이지  
않는  
빛으로

삶을  
읽다

김용기 충북대학교  
천문우주학과 교수

## Q1. 지금까지 해오신 연구에 대해 소개 부탁드립니다.

독일 베를린공대에서 X선을 방출하는 백색왜성 연구로  
박사학위를 받은 뒤, 30여 년간 충북대학교 천문우주학과에서  
연구와 교육을 이어오고 있습니다. 주요 연구는 백색왜성의  
자기장에서 생성된 X선이 가시광선 변동으로 나타나는 현상을  
관측·분석해, 주기 변화와 진화 과정을 밝히는 것입니다. 충북대  
천문대 망원경에 자동 관측 시스템을 구축해 백색왜성뿐 아니라  
외계행성, 소행성, 인공위성 추적 관측도 수행해왔습니다.  
또한 2000년대 초부터 대중천문학 과정을 개설해 천문 교구와  
교육 프로그램을 개발하며 천문학을 사회와 연결하는 연구를  
병행하고 있습니다. 최근 5년간은 메이커스페이스 전문 랩을  
운영하며 3D 프린터·CNC 등 다양한 장비를 활용해 아이디어의  
시제품 제작과 사업화를 지원하고, 교육 프로그램 개발과  
고천문의기 복원 등으로 연구 영역을 확장하고 있습니다.

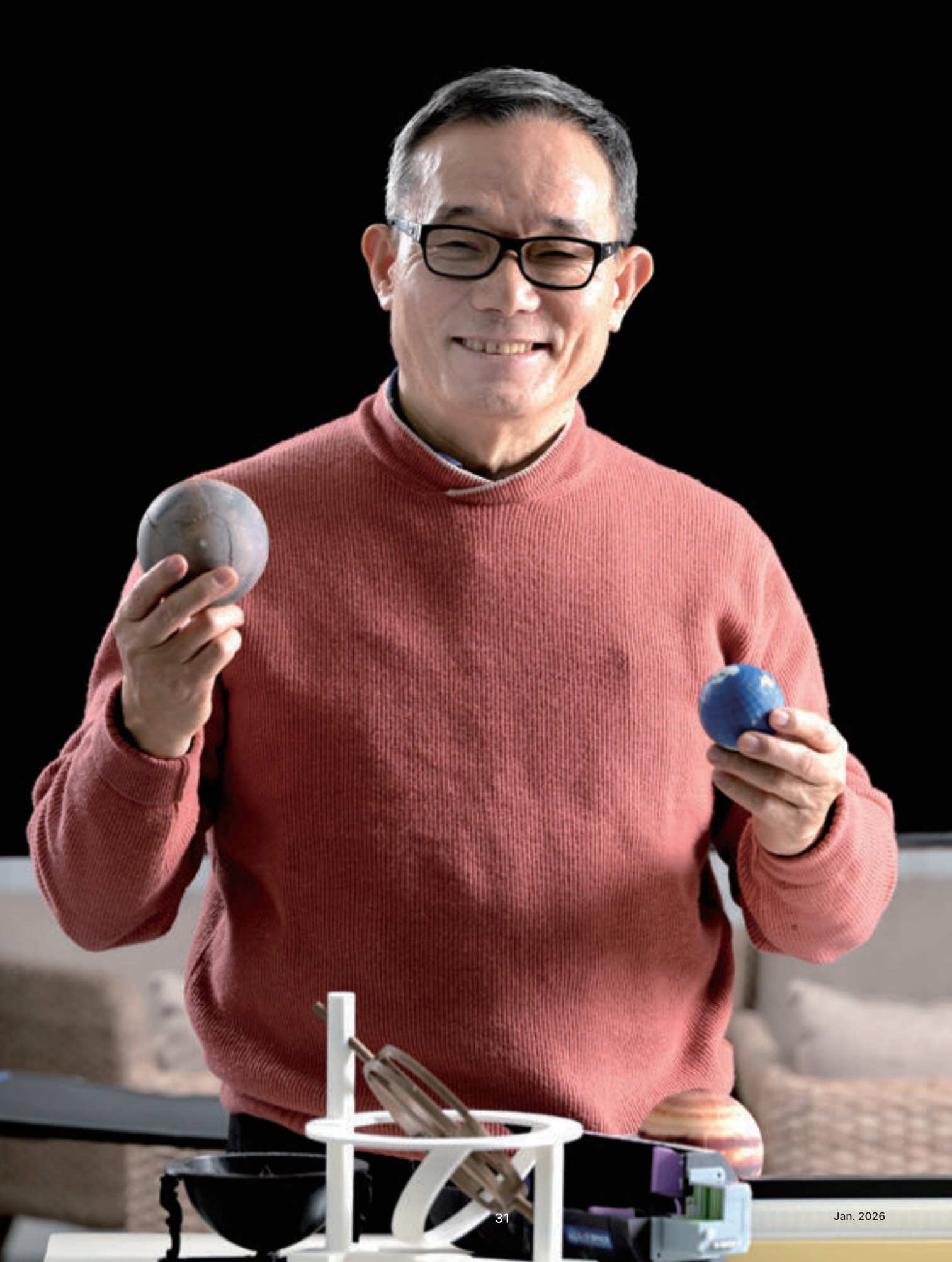
## Q2. '대중천문학'은 조금 생소하게 들립니다. 어떤 학문인가요?

대중천문학은 천문학 지식을 전달하는 데 멈추지 않고, 천문학  
연구 성과를 대중의 언어로 정확히 번역하고, 교육·전시·관측  
프로그램·시민과학 같은 활동을 통해 과학적 사고와 과학문화가  
사회에 뿌리내리도록 돕는 학문입니다. 천문학은 다른  
분야처럼 곧바로 산업 제품으로 연결되기보다는, 우리가  
세계를 바라보는 관점과 사고방식에 큰 영향을 줍니다. 그래서  
대중천문학은 과학에 대한 신뢰를 높이고, 시민이 과학적 쟁점을  
이해할 수 있도록 돕는 과학문화의 중요한 매개가 됩니다.  
최근에는 AI 기반 시뮬레이션과 맞춤형 학습 도구를 활용해  
학습 경험을 정교화하거나, 알트메트릭스<sup>Altmetrics</sup> 같은 지표로  
연구·콘텐츠의 사회적 파급력을 평가하는 등 연구와 실천 방식이  
확장되고 있습니다. 또한 교육학·과학철학·메이커 기반 실습이  
결합되면서, 추상적인 우주 개념을 '설명으로 이해하는 것'에서  
나아가 직접 만들고 조작하며 경험하는 학습으로 전환되고  
있습니다.

작년에는 독일 자브뤼켄대학교 창업지원센터에서 안식년을  
보내며, 독일 대학들이 교육과 연구에 더해 기술사업화를 '세

① 알트메트릭스 : 논문의 가치를 전통적인 인용 횟수가 아닌 사회적 반응과  
확산 정도로 측정하는 지표.





번째 사망'으로 체계화하는 현장을 경험했습니다. 이를 계기로 국내에서도 메이커센터 같은 지역 기반 인프라를 활용해 대중천문학이 교육과 연구를 넘어 지역사회와 연결되는 모델을 준비하고 있습니다.

### Q3. 교수님이 연구해오신 백색왜성은 어떤 천체이며, 왜 중요한 연구 대상인가요?

백색왜성은 태양처럼 질량이 낮거나 중간인 별이 진화를 마친 뒤 남기는 항성의 핵 잔해입니다. 더 이상 핵융합으로 에너지를 만들지는 못하지만, 지구 크기 정도의 작은 부피에 태양 질량의 약 60%가 압축돼 있어 밀도가 극단적으로 높습니다. 백색왜성 물질을 손가락으로 뜯다면 수 톤에 이를 정도입니다. 이 천체가 중요한 이유는 크게 두 가지입니다. 첫째, 은하에 존재하는 대부분의 별이 결국 백색왜성으로 진화하기 때문에, 백색왜성을 이해하는 것은 별의 생애 전반을 이해하는 일과 같습니다. 둘째, 백색왜성은 전자 축퇴압으로 지지되는 대표적인 천체로, 지상에서는 실험할 수 없는 고밀도 물질의 물리법칙을 관측으로 검증할 수 있는 중요한 연구 대상입니다. 작은 항성 잔해처럼 보이지만, 그 안에는 항성 진화와 물질 상태, 나아가 은하의 역사까지 담겨 있습니다.

### Q4. 백색왜성이 방출하는 X선은 인간의 눈으로는 볼 수 없는 빛입니다. 이런 '보이지 않는 빛'을 연구하는 것은 천문학적 어떤 의미가 있나요?

우주는 가시광선만으로는 온전히 이해할 수 없습니다. 파장대마다 드러나는 물리 과정이 다르기 때문입니다. X선은 특히 고온과 격렬한 에너지 변환을 보여주는 빛으로, 백색왜성이 쌍성계에서 물질을 끌어당기거나 강한 자기장에 의해 물질이 가속될 때 나타납니다. 중요한 것은 모든 백색왜성이 항상 X선을 방출하는 것이 아니라, 어떤 조건에서 어떤 물리적 메커니즘으로 X선이 생성되는지 밝히는 데 있습니다. X선 관측은 단순히 '보이지 않는 빛'을 보는 일이 아니라, 물질이 백색왜성으로 떨어지며 중력에너지가 열과 복사에너지로 전환되는 과정을 정량적으로 추적하는 작업입니다. 이는 핵융합에너지가 빛으로 나오는 일반적인 별과는 전혀 다른 에너지 방출 메커니즘을 이해하는 데 중요한 단서를 제공합니다.

### Q5. 교수님은 대중천문학 프로그램과 교육과정을 설계·운영하고 있습니다. 일반 대중, 특히 청소년에게 천문학 교육이 중요한 이유는 무엇인가요?

천문학은 인간이 처음 품은 과학적 질문에서 출발한 가장 오래된 학문입니다. 해와 달의 움직임, 계절의 반복을 관찰하며 인간은



김용기 교수는 희미한 빛을 꾸준히 모아 은하가 드러나는 과정과 같이 연구와 인생 모두 인내의 과정이라고 말한다.

자연에 규칙이 있음을 깨달았고, 그 과정에서 시간의 기준과 농업·수학·물리 같은 학문이 함께 발전했습니다. 천문학은 단순히 별을 연구하는 분야가 아니라, 세상을 이해하는 사고의 출발점입니다. 특히 천문학 교육은 지식을 전달하는 데 그치지 않고 사고방식을 훈련합니다. 관측으로 증거에 기반한 판단을, 모형과 시뮬레이션으로 가설과 검증 과정을 자연스럽게 익히게 됩니다. 또한 우주라는 거대한 스케일은 인과관계와 불확실성을 다루는 능력을 키워줍니다. 나아가 천문학은 물리·수학·컴퓨터·공학으로 자연스럽게 이어지는 학제적 관문으로, 청소년과 시민에게 가능성의 지평을 넓혀줍니다. 그래서 대중을 위한 천문학 교육은 과학을 ‘아는 것’을 넘어, 과학적으로 ‘생각해보는 경험’을 제공하는 데 그 의미가 있습니다.

#### Q6. 교수님이 생각하는 천문학은 어떤 학문인가요?

천문학은 대표적인 융합 학문입니다. 천문학자는 오케스트라의 지휘자와 마찬가지로 모든 악기를 직접 연주할 필요는 없지만 각 소리가 언제, 어떻게 쓰여야 하는지는 알고 있어야 합니다. 별의 중심을 연구하려면 수소가 헬륨으로 바뀌는 핵융합을 이해해야 하므로 핵물리가 필요하고, 별빛이 어떻게 관측되는지 알기 위해서는 원자물리와 광학이 필요합니다.

현대 천문학은 인공위성 없이는 불가능한 학문이기도 합니다. 가시광과 전파를 넘어 X선과 감마선을 관측하려면 항공우주 기술, 통신 기술, 정밀 제어 기술이 모두 필요합니다. 천문학자는 이 모든 기술을 혼자 개발하지는 않지만, 어떤 도구가 필요한지 판단하고 여러 분야와 협업해 우주의 질문에 답합니다. 그래서 천문학은 과학과 공학을 아우르며 다양한 학문을 하나로 묶어 우주의 신비를 풀어가는 학문입니다.

#### Q7. 과거 신체적 어려움과 편견을 극복하며 연구자로 성장해오셨습니다. 이 경험이 교수님의 연구 철학과 우주에 대한 관점에 어떤 영향을 주었나요?

천문학은 제게 학문을 넘어 삶을 다시 붙잡게 해준 존재입니다. 장애로 인해 반복된 입시 좌절과 편견을 겪으며 깊은 절망에 빠졌지만, 천문학을 만나며 우주를 바라보는 시선이 제 자신을 향하게 되었습니다. 우주의 137억 년 역사를 1년으로 압축한

## 김용기 교수는 누구

충북대학교 천문우주학과 교수로, 독일 베를린공대에서 X선을 방출하는 백색왜성 연구로 박사학위를 받았다. 30여 년간 백색왜성의 진화와 고에너지 복사 현상을 연구하는 한편, 대중천문학 교육과 메이커스페이스 기반 과학·창업 교육을 이끌어왔다. 천문학을 통해 과학적 사고와 삶의 태도를 함께 전하는 데 힘쓰고 있다.

‘우주 달력’을 통해 인간이 얼마나 늦게 등장한 존재인지 알게 되었고, 동시에 나는 우주가 오랜 시간 준비해 만들어낸 존재라는 깨달음에 이르렀습니다.

그때부터 저는 스스로를 ‘우주가 만든 최고의 걸작품’으로 인식하게 되었고, 이 정체성이 삶을 포기하지 않게 한 힘이 되었습니다. 유학 시절과 개인사에서 큰 상처를 겪었을 때도, 이 믿음은 저를 다시 일으켜 세웠습니다. 지금의 연구 철학 역시 같은 뿌리에서 나옵니다. 우주를 연구하는 일은 곧 인간의 존엄과 존재의 의미를 확인하는 과정이며, 그 인식이 저를 오늘도 연구자로 더욱 성장하게 합니다.

#### Q8. 교수님이 천문학을 통해 학생들에게 전하고 싶은 삶의 메시지는 무엇인가요?

저는 후학들에게 조건이 완벽해서 연구를 시작하는 사람은 거의 없다고 말합니다. 천체사진을 찍을 때처럼, 가장 중요한 것은 지금 가진 자원으로 무엇을 할 수 있는지 끝까지 고민하는 태도입니다. 밤하늘이 아무리 어두워 보여도 조리개를 열고 희미한 빛을 꾸준히 모으면 결국 은하가 드러나듯, 연구와 인생도 인내의 누적 위에서 빛을 냅니다. 장비가 부족하면 전략을 바꾸고, 데이터가 없으면 협업과 공개 자료를 활용하면 됩니다. 수학이 두렵다면 더 기초로 내려가 차근차근 쌓으면 됩니다. 연구는 재능을 증명하는 일이 아니라, 문제를 작게 쪼개 끝까지 밀고 가는 기술입니다. 무엇보다 한계를 이유로 스스로를 과소평가하지 않았으면 합니다. 우리는 모두 우주가 만든 최고의 걸작품이며, 포기하지 않는 태도가야말로 그 잠재력을 현실로 만드는 가장 확실한 방법입니다.



## 과학은 즐겁게, 세상은 새롭게

# 똑소리 나는 일상 속 과학 이야기

과학은 실험실 안에만 머물지 않습니다. 우리 집 거실부터 출근길 거리까지, 호기심 어린 질문이 닿는 곳이라면 어디든 과학의 세계가 펼쳐집니다. 흥미진진한 세계로 여러분을 초대합니다.

글 과학 커뮤니케이터 '과줄러' 백정엽 박사

### Q. 밤에 스마트폰을 보면, 왜 '눈만' 피곤한 게 아니라 머리까지 멍해질까?

우리 눈은 단순히 이미지를 보는 '렌즈'를 넘어, 뇌의 '생체시계 조절자' 역할을 수행합니다. 스마트폰의 블루라이트는 뇌의 각성 스위치를 강제로 켭니다. 우리 눈에는 시각세포 외에 '감광성 신경절세포<sup>ipRGCs</sup>'가 있습니다. 이 세포는 사물의 형태보다 주변의 밝기, 특히 블루라이트 파장을 감지해 뇌의 시상하부에 있는 시교차상핵<sup>SCN</sup>으로 신호를 보냅니다. 밤에 스마트폰을 보면 뇌는 이 빛을 '아침 햇살'로 착각합니다. 이로 인해 수면 유도 호르몬인 멜라토닌 분비는 중단되는 반면, 종일 몸속에 쌓인 피로물질인 아데노신은 계속 잠을 자라고 신호를 보냅니다. 결국 뇌는 낮과 밤의 화학적 신호가 충돌하는 '과부하'

상태에 빠지고, 이것이 눈의 피로를 넘어 사고 회로가 흐려지는 브레인 포그<sup>Brain Fog</sup> 현상으로 이어지는 것입니다.

### Q. 나이 들수록 시간이 더 빨리 가는 것처럼 느껴지는 이유는 뭘까?

어른들이 입버릇처럼 말하는 "세월 참 빠르다"에는 세 가지 가설 및 과학적 해석이 있습니다.

첫째, 지금까지 살아온 인생 대비 지나가는 시간의 '비율' 때문입니다. 1877년 프랑스 철학자이자 심리학자 폴 자네가 제안한 '비율 이론'은 현재의 시간을 살아온 전체 인생의 길이에 비례해서 느낀다는 것입니다. 예를 들어 5살 아이에게 1년은 인생의 20%지요. 반면 50살 어른에게

1년은 인생의 2%에 불과합니다.

둘째, 아이와 어른이 느끼는 '경험'의 밀도 차이 때문입니다. 천체물리학자이자 세계적인 과학 커뮤니케이터 닐 더그래스 타이슨이 본인 인스타그램을 통해 하나의 가설을 제안합니다. 뇌는 새로운 기억이 많을수록 시간을 길게 인식합니다. 모든 게 처음인 어린 시절과 달리, 성인의 뇌는 반복되는 일상을 '압축 저장'하므로 회상할 때 시간이 짧게 느껴집니다.

셋째, 나이가 들수록 시간을 '감지'하는 능력이 감소하기 때문입니다. 아드리안 베잔 듀크대 교수는 '마음의 눈'이 처리하는 이미지의 속도 차이로 설명했습니다. 젊은 사람의 뇌는 신경망의 정보전달이 빠르고 안구운동이 활발해 1초당 뇌가 찍어내는 '정신적





스냅샷' 수가 많기에 필름 프레임이 많은 '슬로모션' 영상처럼 시간이 길고 풍부하게 느껴집니다. 반면 나이 든 사람의 뇌는 이미지 처리 속도가 느려지고, 뇌가 기록하는 프레임 수가 줄어들기 때문에 마치 '타임랩스' 영상처럼 시간이 후딱 지나간 것처럼 느껴지는 것입니다. 세 가지 중 여러분은 어떤 해석에 더 공감하시나요? 분명한 건 하나 있습니다. 우리가 살아가면서 새로운 경험을 많이 하고 그동안 지나온 추억과 기억을 되새기는 행동을 할수록, 나이 들어도 '느끼는' 시간은 더 길어질 겁니다.

## Q. AI가 내 얼굴을 인식하는 속도와 사람이 사람 얼굴을 알아보는 속도 중 어느 게 더 빠를까? 인간의 뇌는 얼굴을 어떻게 구분하는 걸까?

순수한 '반응 속도'만 따진다면 AI의 압승입니다. 얼굴을 감지하고 식별하는 데 걸리는 시간을 기준으로 인간의 뇌와 AI의 처리 속도를 비교해보겠습니다.

**인간** : 인간이 얼굴을 보았을 때 뇌파를 측정하면 약 0.17초 후에 뇌의 시각피질에서 얼굴 인식 특유의 반응이 나타납니다.

**AI** : 최신 알고리즘은 인간보다 10배 빠른 단 0.018초 만에 얼굴을 식별하며, 정확도 또한 99.8%를 상회해 이미 인간의 한계를 넘어섰습니다. 2014년 페이스북의 DeepFace는 97.35%의 정확도로 인간의 평균 정확도와 유사했고(인간 97.53%), 2019년 등장한 ArcFace는 99.83%로 인간을 초월하는 정확도를 보였습니다.

분명 속도와 정확도 면에서 AI는 특정 조건에선 인간을 능가합니다. 그러나 인간의 뇌는 에너지 효율성 면에서 AI에 비해 여전히 압도적입니다. 마스크를 쓰거나, 조명이 어둡거나, 얼굴이 부분적으로 가려진 상황에서도 인간의 뇌는 맥락<sup>Context</sup>을 통해 대상을 유추하는 능력이 있습니다. 예를 들어 집 근처 횡단보도 건너편에 갈색 코트를 입고 붕어빵을 한 손에 들고 손을 흔드는 사람이 있습니다. 얼굴은 마스크로 가려졌고 모자도 쓰고 있습니다. AI는 이 사람이 누군지 모르겠지만 저는 아내란 것을 알 수 있습니다. 아내에게 선물한 갈색 코트를 입고 있고, 붕어빵을 사오겠다고 약속했던 맥락과 정보를 가지고 있기 때문이지요. 따라서 속도를 제외한 얼굴 인식 전반에 대해서는 인간이 AI보다 한 수 위라고 볼 수 있겠습니다.



**과학 커뮤니케이터 '과즐러' 백정엽 박사**  
경희대학교 생물학과를 졸업한 뒤 같은 대학에서 신경과학 박사학위를 받았다. 정부 출연 연구기관(한국생명공학연구원, 국가독성 과학연구소)에서 연구원 생활을 거치며 뇌과학을 기반으로 한 강연과 칼럼을 통해 과학 대중화에 기여해왔다. 현재 '과학을 즐기는 자'이라는 뜻의 '과즐러'라는 이름으로 유튜브·방송 등 다양한 채널에서 뇌과학을 쉽고 재미있게 이야기하고 있다.

## R&amp;D 사전

# #CPS Cyber-Physical Systems (사이버 피지컬 시스템)

CPS는 물리적 세계와 사이버 세계를 네트워크로 연결해 물리적 대상을 실시간으로 제어하는 통합 시스템을 말한다. 기존의 임베디드 시스템이 기기 자체의 제어에 집중했다면, CPS는 컴퓨팅, 통신, 물리적 프로세스가 밀접하게 결합된 네트워크 기반의 자율제어 시스템이라는 점에서 차이가 있다. 4차 산업혁명의 핵심 기반 기술로 꼽히며 스마트팩토리, 자율주행차, 스마트 그리드 등 다양한 산업 분야에서 핵심 두뇌 역할을 수행한다.



## 적용 사례

## #HD현대, 선박 통합 플랫폼 박차

HD현대가 인공지능<sup>AI</sup>과 로봇 기술을 적용한 ‘스마트 조선소’ 구축에 집중하고 있다. HD현대는 내입공정에 철판 성형 로봇, 판넬 용접 로봇 등 자동화 장비를 도입하고 CPS 구축을 완료해 내입공정 자동화를 이룰 예정이다. HD현대는 2030년까지 FOS<sup>Future of Shipyard</sup> 계획을 완료할 방침이라고 밝혔다.



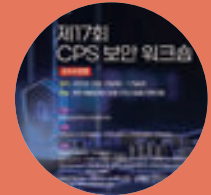
## #스마트 제조산업 혁신법 제정 속도

중소벤처기업부는 CPS, 제조 AI, 자동화 설비 등 스마트공장 핵심 기술을 보유한 공급 기업을 체계적으로 육성하기 위해 ‘스마트 제조산업 혁신법’ 제정을 추진하고 있다. 해당 법안은 단순히 기술을 보급하는 단발성 지원을 넘어, 제조 데이터 활용 체계를 구축해 스마트 제조 혁신 생태계를 조성하는데 초점을 맞추고 있다.



## #‘제17회 CPS 보안 워크숍’ 통해 CPS 보안 역량 강화

지난해 10월 16~17일, 한국정보보호학회와 CPS보안연구회가 주관한 ‘제17회 CPS 보안 워크숍’이 제주도에서 열렸다. 행사에는 공공기관·산업체·연구기관의 보안 담당자와 연구자 450여 명이 참가했으며, CPS를 겨냥한 지능형 지속 위협<sup>APT</sup> 사례를 분석하고 최신 대응 전략을 공유했다.



## 유사 개념

## #사물인터넷<sup>IoT</sup>

사물에 센서와 통신 기능을 부여해 인터넷에 연결하는 기술이다. IoT가 사물 간의 연결과 데이터 수집에 방점을 둔다면, CPS는 수집된 데이터를 바탕으로 물리적 대상을 제어하고 상호작용하는 통합 시스템이다.

## #디지털트윈<sup>Digital Twin</sup>

현실 세계의 사물을 가상공간에 쌍둥이처럼 복제해 시뮬레이션하는 기술이다. 디지털트윈이 현실을 똑같이 복제한 모델링과 분석에 초점을 맞추며, 이를 활용하면 CPS가 최적의 판단을 내릴 수 있도록 돕는다.

## #임베디드 시스템<sup>Embedded System</sup>

특정한 기능을 수행하기 위해 하드웨어에 탑재된 제어용 컴퓨터 시스템이다. 전자레인지나 세탁기처럼 독립된 기기 내에서 작동하는 경우가 많다. CPS는 이 시스템들이 네트워크로 연결된 확장 개념이다.

## 심화 개념

## #액추에이터<sup>Actuator</sup>

CPS의 물리적 제어를 담당하는 구동장치다. 센서가 물리적 환경정보를 수집해 사이버 세계로 보낸다면, 액추에이터는 사이버 세계의 명령을 받아 다시 물리적 움직임을 수행한다.

## #예측 유지보수<sup>PdM, Predictive Maintenance</sup>

물리적 기기의 상태 데이터를 분석해 고장 나기 전 미리 징후를 파악하고 조치하는 기술이다. CPS의 피드백 루프를 통해 기계를 효율적으로 유지관리하는 방식이다.

## #피드백 루프<sup>Feedback Loop</sup>

CPS 구동의 핵심 메커니즘이다. 물리적 환경 모니터링<sup>Sensing</sup> → 사이버 공간에서의 분석 및 판단<sup>Computation</sup> → 물리적 제어<sup>Actuation</sup> → 변화된 환경 재감지로 이어지는 순환 과정을 뜻한다.



# 글로벌 AI 패권 경쟁과 국가 전략 전환

## 국내1

### 경제 안보 및 제조업 AI 대전환 위한 산업부 조직 재정비



산업통상부(이하 산업부)가 2013년 이후 최대 규모의 조직개편을 단행했다. ‘산업자원안보실’과 ‘산업인공지능정책관’ 신설을 골자로 하는 직제 일부 개정령안이 지난해 12월 23일 국무회의에서 의결되어 12월 30일부터 시행됐다. 이번 개편은 1실, 1관, 4과가 신설되고 총 36명의 인력이 증원되는 대규모 재정비로, 정책 시너지 창출을 위한 차원에서 마련되었다고 산업부는 밝혔다.

가장 큰 변화는 ‘산업자원안보실’과 ‘산업인공지능정책관’의 신설이다. 우선 산업자원안보실장은 무역 안보 기능을 하나로 모아 경제·산업 안보의 컨트롤타워 역할을 수행하게 된다. 이는 글로벌 공급망 불확실성과 미·중 기술 패권 경쟁에 대응하여 국가 차원의 경제 안보 정책을 총괄·조정하기 위한 조치다. ‘산업인공지능정책관’은 제조업 인공지능 대전환<sup>MAX</sup> 정책을 전담한다. 이를 위해 하부 조직으로 ‘산업인공지능정책과’와 ‘제조인공지능전환협력과’를 배치하고, 기존의 기계로봇제조정책과와

바이오융합산업과를 각각 ‘인공지능기계로봇과’와 ‘인공지능바이오융합과’로 재편했다.

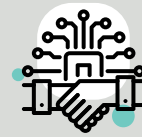
5급 3특 전략과 정책 시너지를 위한 조직 재배치도 진행했다. 기존 산업기반실 소속이었던 ‘지역경제정책관’과 ‘중견기업정책관’을 선임실인 ‘산업정책실’로 이관하여 산업 정책과 지역·중견기업 정책의 연계성을 강화했다. 또한 기업 성장을 저해하는 규제를 타파하기 위해 규제개혁, 규제 샌드박스 등 분산된 규제 기능을 통합한 ‘산업규제혁신과’가 신설되어 운영될 예정이다. 산업부는 이 개편을 통해 권역별 산업 육성 전략을 좀 더 체계적으로 수립·추진할 계획이다.

산업부는 이번 조직개편을 통해 핵심 국정 과제를 속도감 있게 이행하고, 우리 산업과 기업이 글로벌 경쟁에서 우위를 점할 수 있도록 지원할 계획이다.



산업통상부의 조직개편을 내용으로 하는 ‘산업통상부 직제 일부 개정령안’이 지난해 12월 23일 국무회의에서 의결되었다.

## 제조 AI 혁신 민·관 협력체, 100일 만에 성과 가시화



산업통상부가 주도하는 제조업 인공지능 전환 협력체 M.AX 얼라이언스가 출범 100일 만에 의미 있는 성과를 내고 있다. 이 협력체는 제조 데이터와 AI 기술을 결합해 제조업 경쟁력 상상을 목표로 구성됐는데, 현재 국내 기업·연구기관들의 협업이 빠르게 확대되는 모습이다.

M.AX 얼라이언스는 지난해 9월 산업부와 대한상공회의소가 공동으로 설립한 민·관 협력체로, 제조업의 디지털 전환<sup>M.AX, AI Transformation</sup>을 촉진하기 위해 기업·대학·연구소 등이 참여하고 있다. 출범 당시 1000여 개 참여 기관으로 시작했으나, 3개월여 만에 300여 개가 추가돼 총 1300여 개 기관으로 확대됐다.

이 같은 참여 확대로 협력사업도 빠르게 늘어나고 있다. 생산성을 높이는 AI 기반 프로젝트들이 현장에서 성과를 만들어내고 있다. 예컨대 GS칼텍스는 AI를 활용해 원유 증류 과정의 불완전연소를 줄여 연료비를 약 20% 절감했으며, 조선업계의 HD현대중공업은 AI 로봇을 투입해 용접검사 등 작업시간을 12.5% 줄이는 성과를 거두었다. 또 농기계 업체

티와이엠은 AI 기반 검사 시스템으로 생산성을 약 11% 향상한 것으로 나타났다.

그뿐 아니라 얼라이언스가 추진하는 협력사업은 누적 과제 100개를 넘어섰다. 제조업의 다양한 분야에서 AI 적용 사례가 쌓이면서 산업 전반의 디지털 전환 가속이 기대된다. 이러한 성과는 제조 데이터의 수집·공유·활용이 개선되고, 이를 기반으로 더욱 정교한 AI 모델 개발이 가능해졌다는 점에서 의미가 크다.

산업부는 출범 이후의 성과를 토대로 올해 약 7000억 원 규모의 예산을 투입해 M.AX 얼라이언스를 중심으로 제조업 AI 전환을 더욱 본격화할 계획이다. 이 예산은 AI 모델 개발, 데이터 공유 인프라 구축, 온디바이스 AI 반도체 개발 등 여러 분야에 투입할 예정이며, 제조 데이터 생태계를 강화하는 데 초점을 맞춘다. M.AX 얼라이언스는 다수의 분과로 구성되어 있으며, 대표적인 제조기업과 AI 스타트업, 소재·부품 기업 등이 참여하고 있다. 이러한 협력은 AI 기술을 제조 현장에 실제로 적용하기 위한 기반이 되고 있다.



지난해 12월 24일 서울 중구 대한상공회의소에서 M.AX 참여기업 등 관계자 300여 명이 참석한 가운데 M.AX 얼라이언스 제1차 정기총회가 개최됐다.

## AI 규제 풀고 속도 택한 미국



미국이 인공지능 기술 패권 경쟁에서 ‘안전’보다 ‘속도’를 선택했다. 도널드 트럼프 대통령이 서명한 행정명령 ‘AI 국가 정책 프레임워크 보장’은 연방정부가 주<sup>State</sup>정부의 독자적인 AI 규제를 헌법 논리로 차단하겠다는 강력한 선언이다. AI 산업 전반에서 규제 장벽을 낮춰 기술개발과 시장 확산을 가속하겠다는 의지가 분명히 드러난다.

이번 행정명령의 핵심은 연방 우선권<sup>Federal Preemption</sup>이다. 백악관은 50개 주가 서로 다른 AI 규제를 적용할 경우 혁신이 질식할 수밖에 없다고 판단했다. 이에 따라 캘리포니아주의 AI 모델 안전성 테스트 의무화나 콜로라도주의 알고리즘 차별 방지법 등은 위헌 소송 대상이 될 가능성이 커졌다. 이를 실행하기 위해 미 법무부는 ‘AI 소송 태스크포스<sup>TF</sup>’를 신설했다. 주정부의 AI 규제가 연방 상업 권한을 침해하는지 감시하고, 필요할 경우 즉각 소송에 나서는 조직이다. 상무부 역시 독자 규제를 고수하는 주에 대해 초고속인터넷 인프라 지원금<sup>BEAD</sup>을 보류할 수 있도록 하며, 규제 철폐를 압박하는 실질적 수단까지 마련했다.

실리콘밸리는 즉각 환영했다. 벤처캐피탈과 빅테크 기업들은 ‘혁신의 족쇄가 풀렸다’며 AI 개발 속도가 크게 빨라질 것으로 기대하고 있다. 금융, 의료, 제조 등 전 산업에서 AI 도입 장벽이 낮아지면서 단기적인 생산성 확대도 예상된다. 정치적으로는 AI가 특정 이념이나 과도한 안전 프레임에 갇히지 않도록 하겠다는 트럼프식 기술관이 이번 조치에 반영됐다는 평가다. 반면 우려도 적지 않다. 연방 차원의 정교한 안전기준이 없는 상황에서 주정부 규제까지 무력화되면, 딥페이크 범죄나 알고리즘 차별 같은 부작용을 통제할 장치가 사라질 수 있다는



도널드 트럼프 미국 대통령은 지난해 12월 11일(현지시간) 미국의 각 주 정부의 인공지능<sup>AI</sup> 관련 규제를 차단하고 연방 정부 차원의 기준을 마련하기 위한 행정명령에 서명했다.

지적이다. 이는 강력한 시법<sup>AI Act</sup>을 시행 중인 유럽연합<sup>EU</sup>과는 정반대 행보다.

중국의 전략은 더욱 대비된다. 중국은 AI를 국가 안보와 사회 안정의 영역으로 보고, 사전 등록과 보안 심사 등 강한 통제를 유지하는 한편, 국가 주도로 산업 육성을 병행하고 있다. 미국이 시장 자율과 속도를 택했다면, 중국은 통제와 장기전을 선택한 셈이다. 트럼프 행정명령으로 시작된 미국의 AI 규제 실험은 이제 첫발을 뗐다. 이 선택이 혁신의 지름길이 될지, 아니면 새로운 혼란의 출발점이 될지는 아직 단정할 수 없다. 다만 분명한 것은 AI 규제가 이제 기술의 문제가 아니라 국가 전략의 문제가 되었다는 사실이다.



CJ제일제당, PHA 샘플.



# CJ 제일제당, 생분해성 바이오 소재 상용화 가속

글 구현화 환경 <ESG> 기자

CJ제일제당이 자체 발효 기술로 개발한 생분해성 바이오 소재 ‘PHA<sup>Polyhydroxyalkanoates</sup>’가 국내외 산업계 전반에 걸쳐 상용화되는 데 속도를 내고 있다.

CJ제일제당은 PHA를 적용한 ‘빨아쓰는 생분해 위생행주’, ‘생분해성 빨대’ 등을 국내외에서 선보였다. PHA는 퇴비화 가능해 탈<sup>脫</sup>플라스틱 트렌드에 부합하는 미래 신소재로 주목받고 있으며, 미세플라스틱이 남지 않는다.

‘빨아쓰는 생분해 위생행주’는 PHA·PLA·펄프를 혼합해 생분해성 소재로만 만든다. PHA를 위생용품에 적용해 상업화한 전 세계 첫 사례로, CJ제일제당과 유한킴벌리, 부직포

전문 기업 유진한일합섬 3사가 협력했다. 석유계 소재를 전혀 쓰지 않아 미세플라스틱 문제 등 환경 부담을 줄일 수 있다는 것이 가장 큰 장점이다.

이 제품은 국내 공인 시험기관을 거쳐 45일 만에 표준물질인 ‘셀룰로오스’ 대비 90% 이상 생분해되는 결과를 얻었으며(ISO 14855 기준 충족), 시중 마트 등에서 크리넥스 브랜드로 출시될 예정이다.

PHA를 적용한 ‘생분해성 빨대’도 올해 초 커피 프랜차이즈 폴바셋 일부 매장에서 시범 도입을 시작으로 국내 다수의 카페 프랜차이즈 매장에 도입될 예정이다. PHA 적용 빨대는 석유계 소재를 쓰지 않고도 기존 빨대와 유사한 사용감과 높은



세계 최초의 PHA 상용화 위생행주 원단.  
CJ제일제당은 PHA와 PLA, 펄프를 혼합해  
45일 만에 90% 이상 생분해되는 신소재  
부직포를 개발했다.

내구성을 구현한 것이 특징이다. 국내뿐 아니라 미국에서도 현지 빨대 공급업체와 협업해 다양한 현지 카페 프랜차이즈를 대상으로 PHA 빨대 도입을 늘려가고 있다.

지난해 11월에는 스웨덴 바이오 소재 컴파운딩 기업 BIQ머티리얼즈와 손잡고 스웨덴의 일부 축구장에 인조잔디용 충전재로 PHA를 적용했다. 유럽연합<sup>EU</sup>이 석유계 소재로 만든 충전재를 미세플라스틱이 발생하는 주요 제품으로 분류하면서 2031년부터 사용이 금지된다. 이에 따라 CJ제일제당과 BIQ머티리얼즈가 생분해성 충전재 수요에 선제적으로 대응하기 위해 나선 것이다. 이번 협업은 생활용품을 넘어 산업계 전반으로 PHA를 확대 적용했다는 점에서도 의미가 크다.

### 생분해 소재 전문 브랜드도 론칭

CJ제일제당은 2022년 생분해 소재 전문 브랜드 PHACT를 론칭한 뒤 다양한 제품에 PHA를 적용해왔다. 2022년 메이크업 브랜드 바닐라코의 클렌징밤 용기에 PHA를 적용해 선보였으며, 2024년에는 PHA를 적용한 비닐 포장재를 개발해 올리브영의 즉시 배송

서비스 ‘오늘드림’ 상품 포장에 도입했다.

또 칫솔대에 PHA와 PLA를 섞어 활용한 ‘러듀얼 칫솔’과 PHA를 활용한 ‘퇴비화 종이 코팅 기술’을 개발해 ‘햇반 컵반’ 포장재에 적용한 바 있다.

PHA는 미생물이 식물 유래 성분을 먹고 자연적으로 세포 안에 쌓는 고분자 물질로, 산업·가정 퇴비화 시설은 물론 토양과 해양에서 모두 분해되는 특성이 있다. 또한 PHA의 바이오가스화 실증 사업도 진행되고 있어, PHA를 활용한 새로운 자원순환 모델 구축 가능성도 높아졌다.

한편 CJ제일제당의 PHA는 국제기관으로부터 기술력을 인정받았다. 최근에는 미국 플라스틱산업협회로부터 ‘2025 바이오플라스틱 어워드 혁신상’을 수상하며 세계 최초로 양산한 PHA의 혁신성과 지속가능성을 인정받았다.

CJ제일제당 관계자는 “국내외 파트너사와 긴밀하게 협력해 PHA 상용화를 확대하고 있다”면서 “앞으로도 소비자 사용성은 물론 환경 부담 저감까지 고려한 생분해성 소재 솔루션을 지속적으로 선보일 것”이라고 밝혔다.



PHA 적용 빨대는 석유계 소재 없이도 기존 빨대와 유사한 사용감을 구현해 프랜차이즈 카페 등으로 공급이 확대될 예정이다.

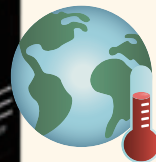


## 화제의 ESG 제품

### 동서식품 카누, 열대우림동맹 협력 인증받은 원두 스틱 출시

동서식품 커피 브랜드 카누가 신제품 '카누 싱글 오리진 콜롬비아 톨리마' 스틱과 원두를 출시했다. 신제품은 최근 높아진 기후 위기와 환경문제 해결에 동참하고 지속가능성에 대한 소비자의 관심에 부응하기 위해 열대우림동맹과 협력해 인증받은 고품질 원두를 사용했다.

카누 싱글 오리진은 대륙을 대표하는 주요 커피 산지에서 엄선한 지역 한정 원두를 최적화된 방법으로 로스팅해 원두 고유의 풍부한 맛과 향을 구현한 것이 특징이다. 카누 싱글 오리진 콜롬비아 톨리마는 안데스산맥 특유의 기후와 토양 조건을 갖춘 콜롬비아 톨리마 지역에서 재배한 원두만을 100% 사용했다. 신제품은 인스턴트 원두커피 스틱(60개입)과 원두(200g) 2가지 형태로 출시된다. 2023년 발매한 카누 바리스타 콜롬비아 톨리마 캡슐커피에 이번 신제품을 더해 카누 싱글 오리진 콜롬비아 톨리마 스틱, 캡슐, 원두 3종 라인업을 갖췄다.





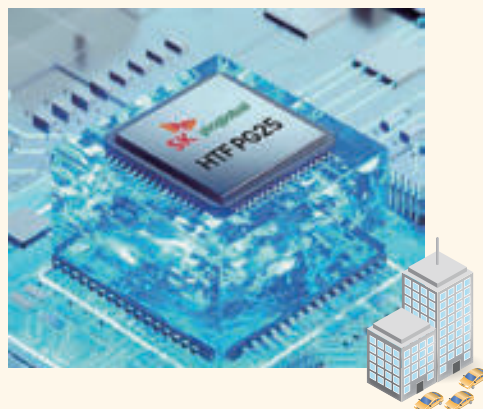


### 깨끗한나라, 100% 천연 펄프 백판지 '블랑크<sup>Blanq</sup>' 출시

깨끗한나라가 100% 천연 펄프<sup>All-pulp</sup>로 만든 프리미엄 백판지 브랜드 '블랑크<sup>Blanq</sup>'를 출시한다. 이번 출시를 통해 깨끗한나라는 PS<sup>Packaging Solution</sup> 사업부의 포트폴리오를 고급 인쇄 및 패키징 시장으로 확장하며 미래 성장 동력을 강화한다는 방침이다. 블랑크는 '자연의 순수함에 기술의 정교함을 더한 프리미엄 백판지'를 콘셉트로 100% 펄프 원료를 사용해 고백색·고평활 인쇄 품질과 균일한 표면 질감을 구현했다. 3겹<sup>3-Ply</sup> 다층 구조와 동일한 평량에서 두께감과 부피감을 높은 설계를 적용해 강도와 형태 유지력, 가공 효율을 향상했다. 이를 통해 같은 평량에서도 더 두껍고 견고한 질감을 구현해 원단 사용 효율을 개선하고, 생산성과 원가경쟁력을 확보했다. 고품질 패키징 솔루션을 통해 고부가가치 시장 수요를 창출해나갈 계획이다. 아울러 전 라인업이 국제적 산림관리 인증인 FSC 및 PEFC를 취득함으로써 자원순환과 환경보존을 함께 고려한 지속 가능한 소재로서 신뢰성을 확보했다.

### SK피아이씨글로벌, AI 데이터센터 전용 친환경 냉각액 출시

SKC의 화학 사업 투자사 SK피아이씨글로벌이 인공지능<sup>AI</sup> 데이터센터 전용 친환경 냉각액 'HTF<sup>Heat Transfer Fluid</sup> PG25'를 출시했다. HTF PG25는 서버 내부 그래픽처리장치<sup>GPU</sup>, 중앙처리장치<sup>CPU</sup> 등 고온 부품에 적용되는 '직접 액체 냉각<sup>DLC</sup>' 방식 제품으로 평가받는다. DLC 방식은 AI 데이터센터 냉각기술 중 하나로, 기존 공기 냉각 방식 대비 최대 10배 이상 성능이 높은 것으로 알려졌다. 엔비디아 등 글로벌 IT 기업이 차세대 데이터센터 표준으로 DLC 방식을 채택하면서 고밀도 서버 운영의 필수 기술로 주목받고 있다. HTF PG25는 글로벌 기술협력 업체인 오픈 컴퓨팅 프로젝트<sup>OCP</sup> 공급 자격을 취득했다. 또 미국식품의약국<sup>FDA</sup> 인증을 받은 PGUSP(프로필렌 글리콜 USP)를 원료로 사용해 인체 안전성과 생분해성을 확보했다. SK피아이씨글로벌은 제품 출시를 계기로 AI 데이터센터 냉각 시장을 본격적으로 공략할 방침이다.





# 그림과 원리로 읽는 건축학 수업

건축은 단순히 보기에 아름다운 건물이 아니라 인간의 삶과 사고방식, 그리고 오랜 역사에 걸쳐 축적된 공학적 산물이 결합된 문명의 결과물이다. 건축을 ‘건물을 짓는 기술’에서 ‘사람을 이해하는 경험’으로 확장시켜줄 다양한 콘텐츠를 소개한다.

글 유아영 과학 칼럼니스트, <평행 세계의 그대에게> 저자



## <빌트, 우리가 지어 올린 모든 것들의 과학>

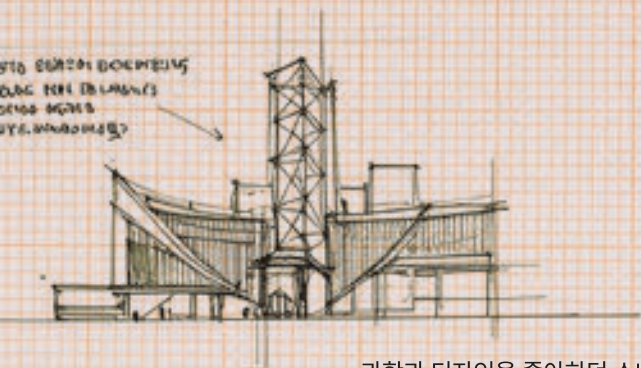
로마 아그라왈 지음 / 윤신영, 유아영 옮김 / 어크로스 펴냄

로마 아그라왈은 어느 날 불쑥, 대중에게 화려하게 등장했다. 첫 책 <빌트, 우리가 지어 올린 모든 것들의 과학>을 통해서였다. 대중 저술가가 드문 구조공학 분야에서, 미국과학진흥회<sup>AAAS</sup> 2019 ‘올해의 과학책’으로 선정될 정도로 흥미롭고 유익한 책을 지어낸 덕이다. 전문성과 대중성을 동시에 사로잡은 이 책은 그가 왜 오늘날 주목받는 구조공학자가 됐는지 분명히 보여준다.

### 오늘날 가장 주목받는 구조공학자

로마 아그라왈은 영국의 구조공학자로, 옥스퍼드대학교에서 물리학을 전공하고 런던 임페리얼 칼리지에서 구조공학 석사학위를 받았다.





과학과 디자인을 좋아하던 소녀는 이제 영미권을 대표하는 구조공학자가 되어, 서유럽에서 가장 높은 건물인 ‘더 샤드<sup>The Shard</sup>’를 비롯해 다리와 터널 등 우리가 사는 세계 곳곳을 만들어왔다.

2011년 구조공학자협회 ‘올해의 젊은 공학자상’, 2014년 ‘올해의 여성공학자상’, 2017년 영국왕립공학회가 가장 뛰어난 공학자에게 수여하는 ‘루크상’을 수상했고, 2018년에는 영국제국 훈장<sup>MBE</sup>을 받았다. 이 책으로 작가로서의 재능까지 입증했다.

책에는 그가 직접 설계에 참여한 생생한 현장 사례가 가득하다. 영국 런던의 랜드마크인 초고층빌딩 ‘더 샤드’가 완공되기 전, 건물 각도에 맞춰 살짝 기울어진 닭장 같은 화물용 승강기에 몸을 싣고 유리도 설치되지 않은 건물 외벽을 따라 69층까지 올라가 본 경험을 어디서 들 수 있겠는가. 그 극적인 체험을 출발점으로, 오랜 역사의 도르래와 크레인, 아치 구조 이야기가 이어진다. ‘그림과 원리로 읽는 건축학 수업’이라는 부제에 걸맞게 복잡한 수식 없이 평소 접하기 어려운 다양한 건축물의 구조공학적 원리를 소개한다.

### 도시를 수평으로 쪼개 본다

이 책이 특별한 또 다른 이유는 독특한 구성에 있다. 보통 이런 책은 건축의 연대순, 또는 유명 건축물 순으로 나열하는 구성이 많다. 도시를 수직선으로 쪼개 보는 느낌이라랄까.

로마 아그라알은 이런 구성 대신 도시를 수평으로

쪼개 본다. 건물에 영향을 미치는 건축자재와 요소로 분류해 이야기를 전개한다. 예를 들어 흙, 물, 벽돌, 바위, 금속으로 책의 챕터를 나누는 식이다. 이야기는 다양한 건축재료와 특성에서 시작해, 건축과 공학 분야에서 수많은 난제를 해결한 환상적인 방법과 그 주인공들의 일화까지 이어진다.

이를 통해 독자는 건물의 기초가 어떻게 세워졌는지, 대형 돔형 건물이나 초고층빌딩, 다리, 제방 등이 무게와 바람, 물, 지진, 화재를 어떻게 견디는지 그 원리를 이해할 수 있다. 건물을 이루는 재료와 구조의 역할, 그리고 그 가치를 일상 속에서 발견하는 경험을 할 수 있다.

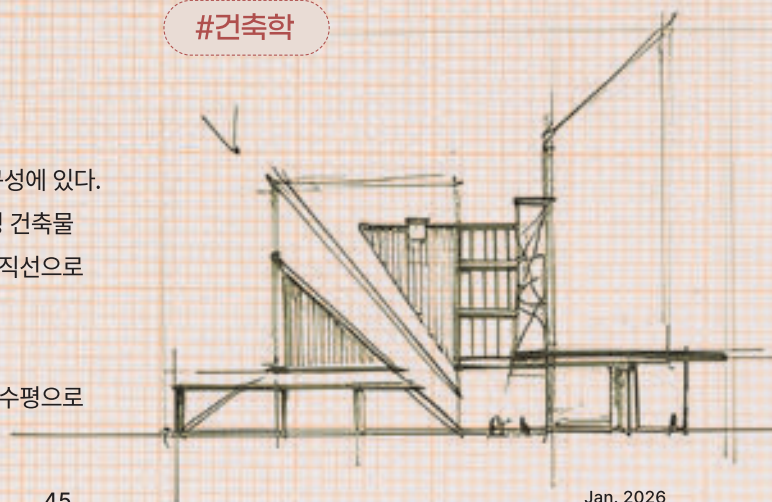
### 역사로부터 배운다

로마 아그라알은 책 전반에 걸쳐, 역사를 통해 뼈아픈 교훈을 얻은 덕에 지금의 안전한 건물과 도시가 이뤄졌다고 강조한다. “엔지니어는 사고에서 배운다. 이것은 기본 중의 기본이다. 끊임없이 개선하는 것, 다시 말해 더욱 좋고 강하며 안전한 건축물을 짓기 위해 노력하는 것이 엔지니어의 임무다.”(76쪽) 이렇듯 기반이 단단한 그이기에, “꿈을 꾀다면 그것을 만들 수 있다”는 포부를 품을 수 있었던 것이 아닐까. 이 말이 허언이 아닌 구체적인 건축물로 구현되었음을, 이 책에서 확인해볼 수 있다.

#더샤드

#구조공학

#건축학





## <세계 건축가 해부도감 >

오이 다카히로, 이치카와 코지, 요시모토 노리오, 와다 류스케 지음 / 노경아 옮김 / 더숲 펴냄

### 세계를 채색한 건축가들을 만나다

‘도감의 강국’ 일본에서 나온 ‘건축가’ 도감이다. 고대부터 현대까지 미켈란젤로, 가우디, 미스 반 데어 로에, 르 코르뷔지에, 프랭크 게리, 자하 하디드 등 총 64명의 건축가와 200개 넘는 건축물의 이야기를 한 권에 담았다.

더욱이 건축에 얽힌 역사를 통해 색다른 인문학 여행을 떠나게 된다. 삶과 도시의 풍경부터 시대의 흐름을 바꾼 건축가까지, 세계를 채색한 건축가들의 숨겨진 이야기를 만날 수 있다.

특히 실제 사진이 아닌 일러스트로 구성되어 건축물에 대한 이해를 한층 높인다. 저자가 말하고자 하는 관점, 건축물의 주요 특성이 일러스트를 통해 강조되기 때문이다. 다만 서구 건축가 위주의 구성은 아쉬운 점이다.

#건축가

#미켈란젤로

#가우디

#자하하디드

## <건축가의 공간 일기 >

조성익 지음 / 북스톤 펴냄

### 일상을 영감으로 바꾸는 인생 공간

세계 ‘최고’, ‘최대’ 말고, 내 일상 가까운 곳에 있는 ‘진짜’ 공간 이야기. 건축을 가르치는 교수이자 건축사무소를 운영하는 저자는 공간이 건네는 목소리를 들어보라고 이야기한다. 좋은 공간 속에 ‘나’를 두고, 공간의 목소리를 들으며, 공간에서 감정과 생각의 변화를 느껴보라는 것이 저자가 제안하는 ‘공간 감상’의 시작이다. 즉 공간을 나만의 관점에서 즐기는 법을 전한다.

거대한 스케일의 건축물과 도시가 나와는 상관없는 일처럼 느껴질 때 실은 그렇지 않다는 것을 일깨워주고, 한발 더 나아가 나와 공간의 ‘관계’를 탐색하게 도와주는 단비 같은 책이다.

#일상

#공간

#감상

#관계





## 유튜브 찾아볼까?



**[#이유있는건축] 건축 찐천재도 말잇못 거장 작품 서산부인과의 충격 비밀!**

### ▶ **한국을 설계한 건축가 김중업**

건축을 통해 역사, 문화, 경제, 예술, 과학 등 다양한 분야의 이야기를 풀어내는 토크쇼 <이유 있는 건축 : 공간 여행자>의 김중업 편이다. 김중업은 ‘한국을 설계한 건축가’로 불리며 20세기 한국 현대건축을 대표하는 인물이다. 1970년대 서울의 도시계획 정책을 강하게 비판한 일로 프랑스로 강제 추방당해 무려 8년 동안 돌아오지 못하는 등 고충을 겪기도 했다. 영상에서 그가 설계한 한국 대표 건축물과 더불어 그의 건축설계 철학을 만나볼 수 있다.

#서산부인과

#김중업

#김중업건축박물관



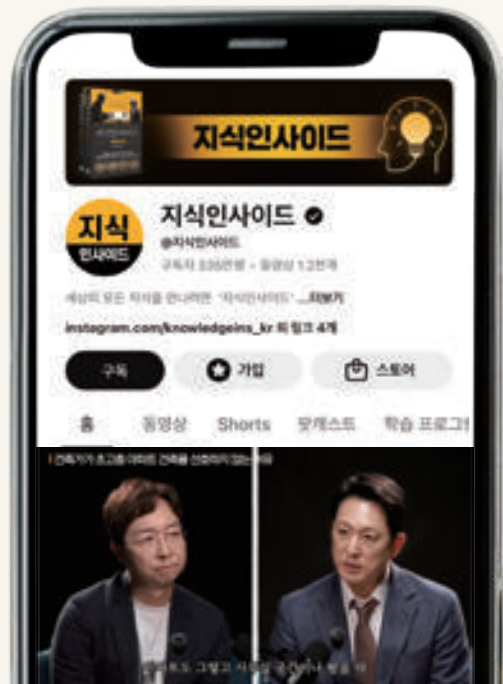
### 아파트 공간에 숨겨진 심리학

**“이런 집은 살지 마세요.” 건축가도 말리는 아파트 구조**  
한국 대표 건축가 유현준 교수가 출연해 한국의 대표 주거 양식인 아파트의 현재와 미래, 아파트가 우리에게 미치는 심리적 영향, 초고층아파트 건축의 문제, 로봇이 함께하는 미래 공간 등에 대해 이야기한다. 대다수 한국인이 살고 있는 아파트의 장단점을 건축가의 관점으로 듣다 보면, 이것이 단순히 ‘집’이라는 하드웨어 문제가 아니라 한국 전반의 권력구조와 시스템, 법 체계와 연결된 뿌리라는 것을 알 수 있다.

#유현준

#아파트공화국

#다양성







버지니아 데이터 센터





# 데이터센터의 전력량 폭증, ‘분산 에너지 시스템’이 답이다!

최근 인공지능<sup>AI</sup> 사용이 폭발적으로 늘어나면서 데이터를 저장하고 처리하는 데이터센터의 전력 소비량 또한 기하급수적으로 증가하고 있습니다. 지구촌 곳곳의 데이터센터는 전기를 안정적으로 공급받는 문제와 탄소 배출을 줄이는 문제를 동시에 해결해야 하는 과제에 직면해 있습니다. 그 방안으로 ‘분산 에너지 시스템’이 주목받고 있습니다. 데이터센터와 분산 에너지 시스템, 과연 어떻게 결합될 수 있는지 알아볼까요?

글 김형자 과학 칼럼니스트

## 데이터센터는 ‘전기 먹는 하마’

전 세계 소식이 실시간으로 공유되는 시대, 이제 인터넷은 없어서는 안 될 중요한 수단입니다. 현재 전 세계 인구의 65% 이상이 매일 24시간, 1년 365일 인터넷을 통해 정보를 접하는 동시에 어마어마한 데이터를 만들어냅니다. 특히 AI와 자율주행 같은 디지털 기술이 발전하면서 데이터 총량도 폭발적으로 증가하고 있습니다.

전 세계의 데이터 총량은 2016년 약 20ZB(제타바이트, 10의 21승 바이트)에서 2022년 80ZB로 증가했고, 2025년에는 175ZB로 2배 이상 증가했습니다. 이처럼 데이터 생성량이 확대되자 국내외 빅테크 기업들이 데이터센터 확보에 공을 들이고 있습니다.

데이터센터는 정보통신 기술<sup>ICT</sup> 서비스를 제공하는 데 필요한 컴퓨터 시스템과 통신 장비, 저장장치 등이 설치된 대형 시설을 말합니다. 마치 도서관에 책이 꽂혀 있듯, 반도체와 전자장치가 공장처럼 구축돼 있는 인터넷의 심장 같은 곳입니다. 웹사이트나 기업·정부 등이 사용하는 각종 데이터를 저장하고 처리하는 수천·수만 대의 서버(고성능 대형 컴퓨터)를 한곳에 모아 관리하는 공간이어서 ‘서버 호텔<sup>Server Hotel</sup>’이라고도 부릅니다.

세계 각국에 구축된 데이터센터는 2025년 11월 기준 약 1만2000개에 이릅니다. 국가별 현황은 미국이 5427개로 압도적으로 많은 데이터센터를 보유하고 있습니다. 이어 독일(529개), 영국(523개), 중국(449개), 캐나다(337개) 순입니다. 산업부에 따르면 국내의 데이터센터 수는 2024년 기준 150개입니다.

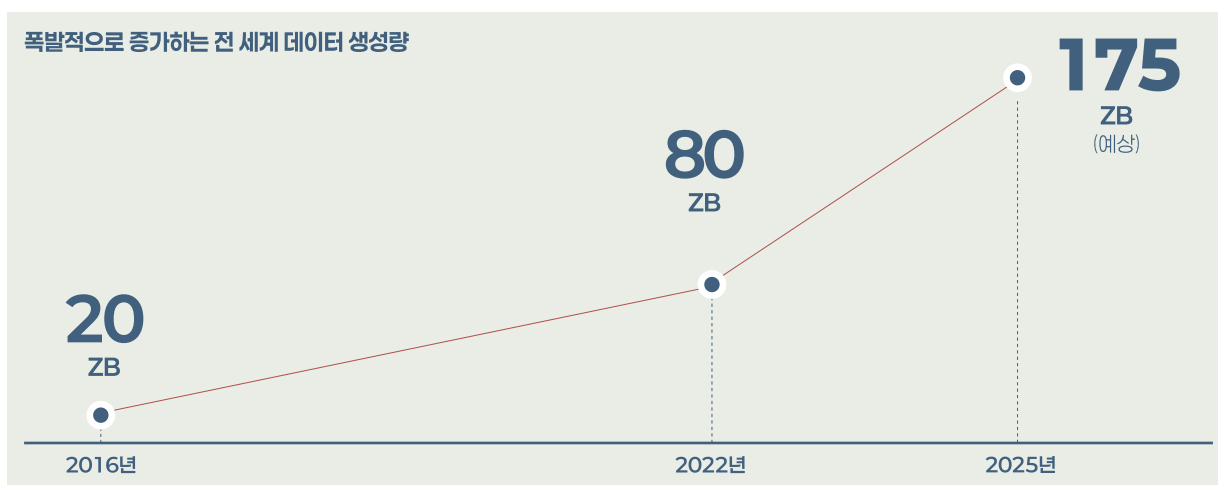
세계의 데이터센터들은 우리가 스마트폰이나 컴퓨터로 검색하거나 영상을 보는 순간에도 끊임없이 정보를 저장하고 처리합니다. 데이터 트래픽<sup>Data Traffic</sup>은 현재 급격히 늘어나는 상황입니다. 이에 따라 데이터 처리 용량 확보를 위한 데이터센터 증설이 계속될 전망입니다. 문제는 데이터센터 수가 늘어날수록 전기 사용이 더 많아진다는 점입니다. 흔히 데이터센터는 ‘전기 먹는 하마’로 불립니다. 서버 수만

대가 동시에 작동하다 보니 소비전력이 어마어마하게 많기 때문입니다.

## 서버 ‘냉각기술’이 핵심

국제에너지기구<sup>IEA</sup>에서 발표한 보고서를 보면, 2022년 전 세계 데이터센터에서 사용한 전력 소비량이 460테라와트시<sup>TWh</sup>나 됩니다. 지구 전체 전력 소비량의 약 2%에 해당하는 양입니다. 2026년에는 620~1050TWh까지 늘 것이라는 게 전문가들의 분석입니다. 이런 에너지 사용은 탄소중립을 목표로 하는 세계적 흐름에 큰 부담이 될 수 있습니다.

데이터센터는 또 작동 중에 섭씨 30°C가 넘는 열이 발생합니다. 이 열로 인해 주변 지역의 온도를 높이는 ‘열섬 현상’이 일어나기도 합니다. 데이터센터 서버는 온도와 습도에 민감한 정밀 전자 장비입니다. 따라서 부품이 과열로 손상되지 않게 하려면 온도를 20~25°C로 낮춰야 합니다. 이 냉각과정에서 데이터센터 전체 전력 사용량의 최대 50%가 사용됩니다. 열을 식히기 위해 대량의 물도 필요하죠.



결국 AI 시대에는 ‘데이터센터의 열을 얼마나 효율적으로 식히느냐’가 기술경쟁력의 핵심이 되는 셈입니다.

그래서 주요 빅테크 기업들은 ‘열 식히는 방식 찾기’에 고심 중입니다. 그동안 기업들이 데이터센터 열 식히기에 가장 많이 사용한 기술은 공랭식입니다. 공기를 통과시켜 기기에서 방출되는 열을 식히는 방식입니다. 하지만 이 방식은 에너지가 많이 사용되고, 환풍기가 돌아갈 때 소음이 크다는 게 단점으로 작용해 지금은 새로운 방식들이 도입되고 있습니다.

그 대표적인 대안이 액체 냉각입니다. 공기 대신 액체를 흘리거나 데이터센터에서 열을 내뿜는 하드웨어를 물속에 담가 열을 식히는 방식입니다. 액체는 열전달이 공기보다 높기 때문에 공랭식보다 20% 적은 에너지를 사용하면서도 최대 1000배까지 효율적인 냉각이 가능합니다. 미국 서버 제조업체 슈퍼마이크로컴퓨터가 액체 냉각 방식을 쓰는 대표적인 기업입니다.

#### 바닷속·우주에 데이터센터 건설, 탄소 배출 줄여

아예 바닷속이나 우주에 데이터센터를 짓는 방안도 추진되고 있습니다. 중국 기업 하이랜더는 바닷속에 100개 잠수함 데이터모듈을 배치하는 프로젝트를 진행 중입니다. 차가운 바닷물이 서버의 열을 금방 식혀줄 수 있다는 판단에서입니다. 규모는 축구장 13개(약 6만8000㎡)와 비슷합니다. 이 거대 센터의 첫 작업은 2023년 4월에 이뤄졌습니다. 하이난섬 인근 바닷속 35m 지점에 첫 번째 데이터모듈(저장장치)을

설치했고, 2025년 10월 24개의 데이터모듈이 설치되면서 1단계 건설이 완료돼 총 400~500대의 서버가 가동 중입니다.

하이난섬에서 진행된 시범 운영에서는 연간 1억2200만 킬로와트시<sup>kWh</sup>의 전력과 10만5000톤의 물을 절약할 수 있는 것으로 나타났습니다. 현재 중국은 2단계로 상하이 연안에 새로운 컴퓨팅 모듈을 배치하고 있습니다. 이 시스템은 해류를 이용한 냉각 방식으로, 기존 데이터센터 대비 냉각 에너지 사용을 약 90% 절감할 것으로 예상합니다.

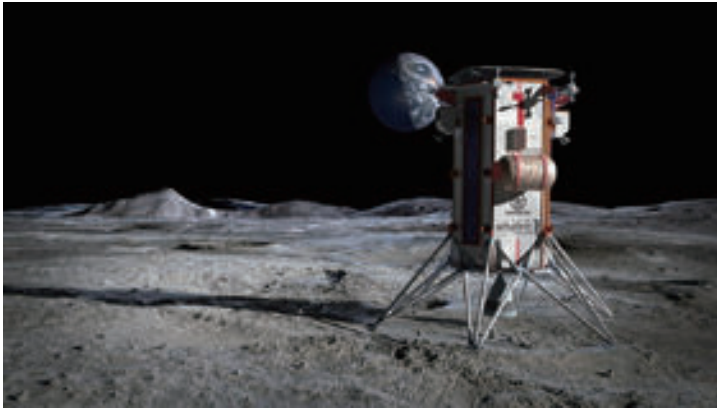
한편 2025년 3월에는 미국의 데이터센터 기업 ‘론스타 데이터 홀딩스’가 달 착륙선에 책 크기 정도의 소형 데이터센터를 실어 발사하는 데 성공했습니다. 이 실험의 목적은 우주 환경에서 데이터센터가 제대로 작동하는지, 시스템이 중단된 뒤에도 데이터를 복구할 수 있는지 테스트하는 것이었습니다. 결과는 성공입니다.

이 기업은 달 궤도에 소형 데이터센터를 구축할 예정입니다. 거대한 건물을 통째로 우주에 쏘아 올리는 방식이 아니라, 컴퓨터를 탑재한 위성 여러 개를 달 궤도에 발사한 다음 이를



중국 하이난섬 연안에 배치한 하이랜더의 해저 데이터모듈. 차가운 해수를 자연 냉각수로 활용해 냉각 효율을 극대화하고 전력 소모를 줄이는 차세대 친환경 모델이다.





미국의 룬스타 데이터 홀딩스가 추진 중인 달 표면 데이터센터 콘셉트. 태양에너지가 주전력원이며, 히트 파이프를 통해 열을 우주로 방출한다.

모듈 방식으로 서로 연결해 하나의 데이터센터처럼 작동하게 하는 구조입니다. 미국의 대표적인 우주 기업 스페이스X와 블루오리진을 비롯해 구글, 오픈시 등도 우주 데이터센터 구상 계획을 밝히고, 현재 건설을 위해 준비 중입니다.

우주 데이터센터는 태양광 발전으로 막대한 전력을 얻습니다. 우주에서는 태양에너지를 끊임 없이 공급받을 수 있어, 전력을 안정적으로 확보할 수 있습니다. 또 다른 특징은 냉각에 필요한 전력량이 많지 않다는 것입니다. 서버에서 발생하는 열은 데이터센터 위성 내부에 설치된 ‘히트 파이프<sup>Heat Pipe</sup>’ 시스템을 통해 영하 270°C의 우주로 방출됩니다. 위성이 수집해 모은 데이터는 전자기파의 일종인 전파를 이용해 전송합니다. 이 때문에 시설 유지에 사용되는 전기를 제외하면 전송에 필요한 전력량도 크지 않습니다.

### 데이터센터를 위한 맞춤형 ‘분산 에너지 시스템’

한편 우리 정부는 2029년까지 데이터센터가 732개까지 늘어날 것으로 전망합니다. 문제는 이 가운데 80%가 수도권에 집중될 것이라는 점입니다. 현재도 데이터센터의 70% 이상이 수도권에 집중되어 있습니다. 우리나라의 전력공급 방식은 지방에서 전기를 수도권으로 보내주는 중앙집중형입니다. 그렇기에 수도권의 전력 수요가 폭발적으로 증가하면 전력망 과부하와 지역 불균형이 심화될 수밖에 없습니다. 그래서 전력망 부담을 줄일 수 있는 대안으로 ‘분산 에너지 시스템’이 떠오르고 있습니다.

분산 에너지 시스템은 수요지, 즉 전기가 필요한 곳 인근에서 직접 에너지를 생산해 공급하는 방식을 말합니다. 소비자 근처에서 전기를

만들고, 보내고, 사용하고, 저장하는 일련의 과정에 필요한 모든 자원이 분산 에너지인 셈입니다.

‘분산 에너지법’에서 분산 에너지의 범위는 송전선로 건설을 최소화할 수 있는 40MW 이하의 모든 발전설비를 비롯해 500MW 이하의 집단에너지, 구역전기, 자가용 발전설비에서 생산하는 전기에너지로 규정합니다. 태양광·풍력 등의 재생에너지뿐 아니라 소형모듈원자로<sup>SMR</sup>, 수소발전, 에너지저장장치<sup>ESS</sup>, 연료전지 등 다양한 에너지원이 여기에 해당합니다. 즉 전력 계통을 안정적으로 운영하고, 지역 내의 에너지 생산·소비 활성화를 위한 일정 규모 이하의 발전설비를 의미합니다. 이런 분산 에너지 자원은 전반적으로 친환경적입니다.

현재의 전력공급 체계인 중앙집중형은 지방 해안가 등에 원자력·화력 등의 대규모 발전설비를 세워 전력을 생산하고, 이를 송배전선을 통해 전기가 필요한 지역에 공급하는 시스템입니다. 발전설비는 충남 서해안(당진·보령·태안)과 인천, 강원·울진, 부산·울산(고리·신고리) 등 4개 지역에 집중돼 있고, 이들 발전시설에서 전체 전력의 56%를 생산합니다.

하지만 이 방식은 국내 전기 사용량이 점점 늘면서 한계에 봉착한 상황입니다. AI 시대로 전기 사용량이 늘어난 만큼 송배전망을 새로 구축해야 하고, 수도권에 집중된 전력 수요를 맞추려면 결국 전기를 먼 거리로 이동시켜야 하는데, 이때 비용과 환경훼손 문제가 발생합니다.

특히 주목해야 할 점은 이렇게 먼 거리를 이동하는 과정에서 손실되는 전력량이 상당하다는 것입니다. 한국전력공사



통계에 따르면 2022년 기준 전국의 손실 전력량은 연평균 18만5510기가와트시<sup>GWh</sup>로, 이를 금액으로 계산하면 매년 1조6990억원을 허공에 날리는 셈입니다.

2022년 서울의 전력 소비량은 4만8789GWh에 달합니다. 이에 비해 서울에서 생산된 전력량은 4337GWh에 그쳐 전력 자립도가 약 8.9%에 불과합니다. 결국 다른 지역에서 전기를 받지 않으면 서울의 전력량을 충당할 수 없다는 얘기입니다. 경기도 역시 발전량보다 소비량이 훨씬 높습니다. 반면 수도권을 제외한, 원전이 있는 모든 지역은 소비량보다 발전량이 많습니다.

이러한 중앙집중형과 달리 분산 에너지 시스템은 수요가 발생하는 해당 지역에서 직접 에너지를 생산해 공급하는 방식이어서 송전 손실을 최소화할 수 있습니다. 또 탄소 배출을 줄이려면 태양광·풍력 등 재생에너지를 많이 사용해야 하는데, 재생에너지 발전소는 대부분 규모가 작고 곳곳에 분산돼 있어 생산된 전기를 인근에서 직접 소비하는 형태가 더 효과적입니다.

네이버의 두 번째 자체 데이터센터 '각 세종'. 수도권 과밀화를 해소하고 지역 내 에너지 생산과 소비를 연결하는 분산 에너지 시스템 실현의 모범 사례로 꼽힌다.



## 분산 에너지는 데이터센터·재생에너지 확대의 핵심

친환경적인 분산 에너지 시스템을 활용하면, 이미 전력망이 포화 상태인 수도권을 벗어난 지역에 데이터센터를 지을 수 있습니다. 또한 분산 에너지로 지정된 특화지역은 지역에서 생산한 전기를 전력 공급자인 한국전력공사를 거치지 않고 소비자에게 바로 판매 가능하고, 생산된 전기 중 남은 전력은 한전에 판매할 수도 있습니다.

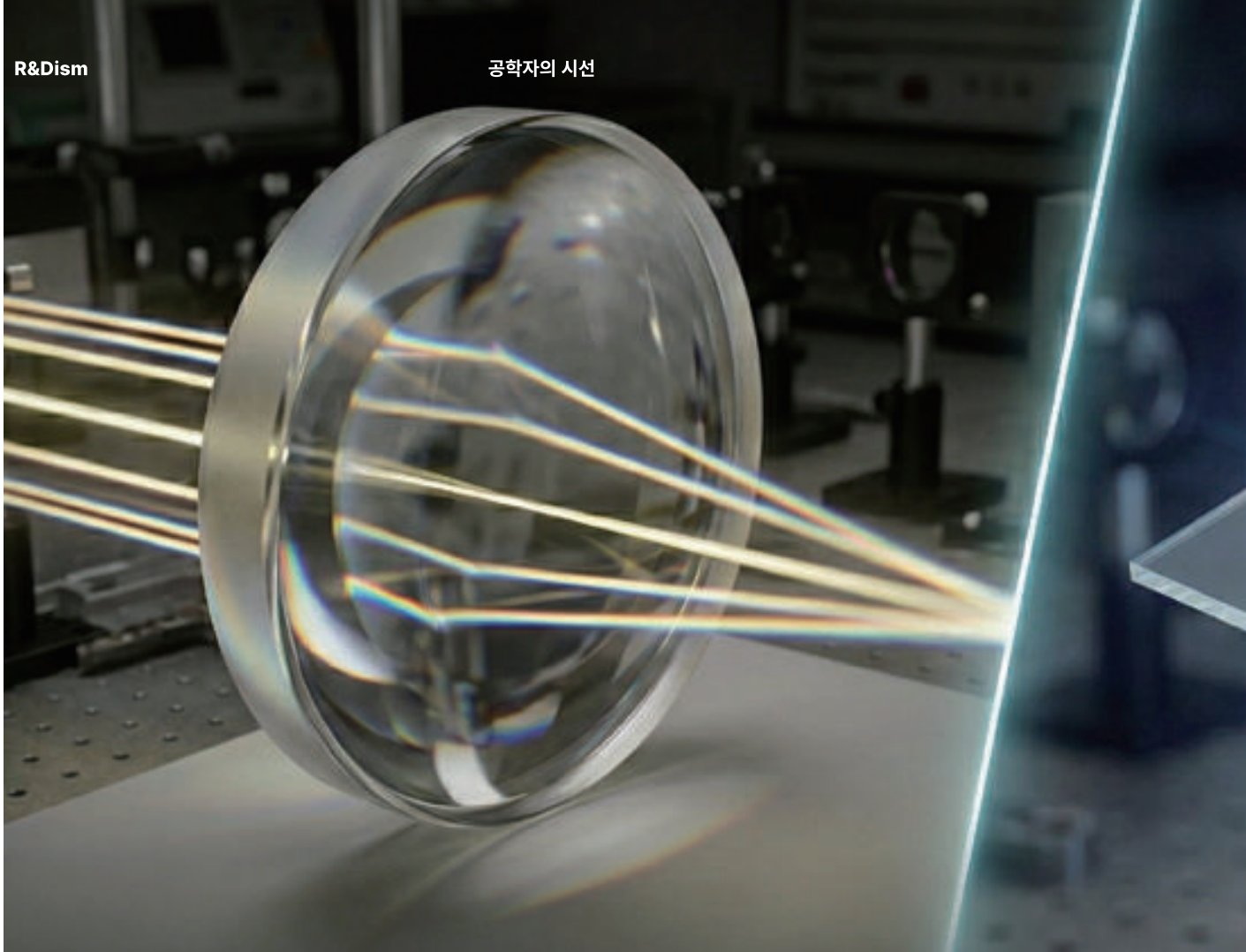
이러한 전략은 에너지 문제를 해결하는 데 그치지 않고 수도권의 부지 부족 문제까지 해결할 수 있는 방법입니다. 동시에 대규모 데이터센터가 안정적이고 저렴한 전력을 확보함으로써 국가의 AI 주권 확보, 탄소중립 가속화, 지역 균형발전이란 일석삼조<sup>一石三鳥</sup> 효과를 가져올 수 있습니다.

분산 에너지 시스템의 가장 큰 기대 효과는 온실가스 감축입니다. 발전 자원으로 신재생에너지를 주로 사용하는 데다, 수요지 근처에서 전력을 생산해 송배전으로 인한 전력 손실을 최소화해 '에너지 생산량 자체'를 줄일 수 있기 때문입니다. 데이터센터는 향후 고속 성장을 예고하고 있습니다. 그런 만큼 지금은 '그린 데이터센터'에 더욱 주목해야 할 때입니다.



김형자 과학 칼럼니스트

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



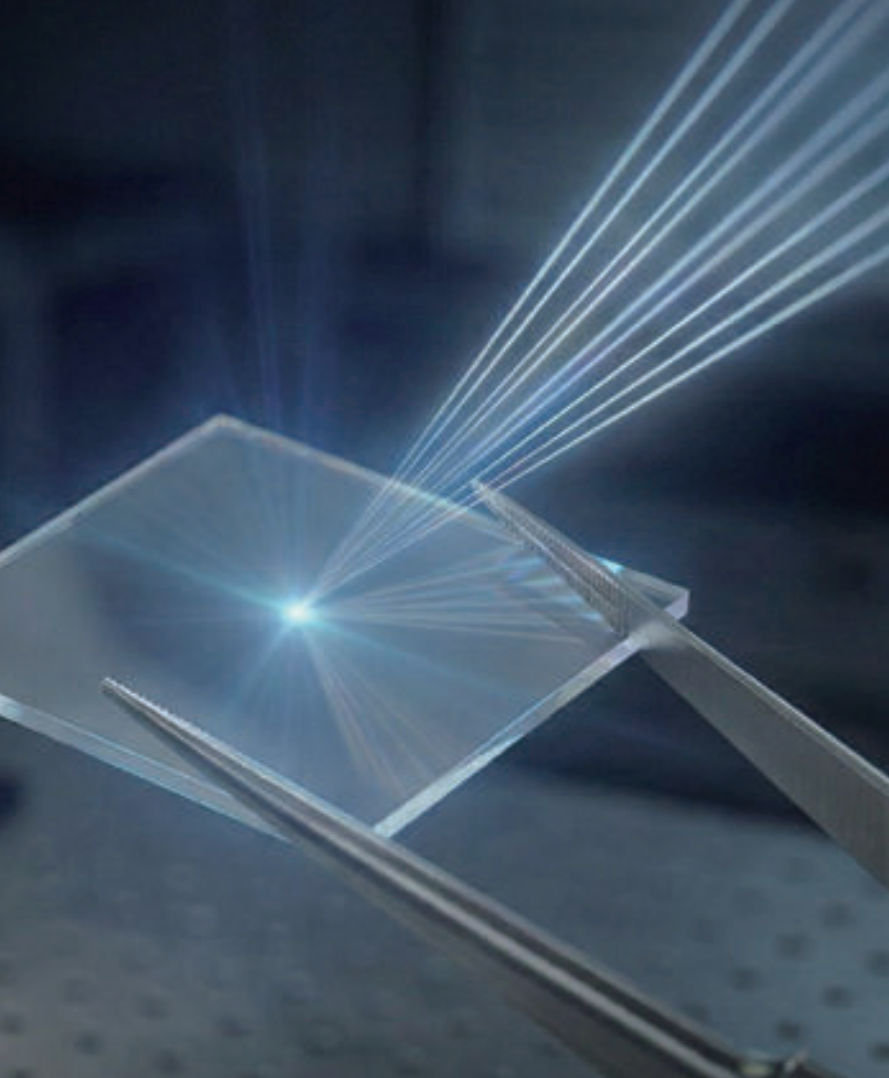
## 메타표면의 산업화 시대를 설계하다

노준석 포항공대 교수 연구팀은 투명망토부터 초박형 렌즈에 이르기까지, 빛의 경로와 특성을 제어하는 메타광학 기술을 선도해왔다. 특히 연구실 수준의 입증을 넘어 실제 산업 현장에 적용하기 위해, 연구팀은 나노임프린트 리소그래피를 기반으로 한 대면적·저비용 양산 공정 개발에 주력하고 있다. 이들은 메타표면을 누구나 안정적으로 생산할 수 있는 산업 부품으로 전환하여 차세대 광학 및 XR 산업의 핵심 플랫폼을 구축하고자 한다.

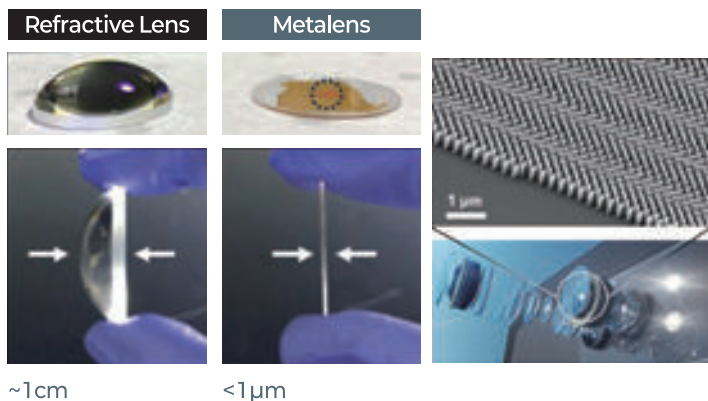
글 노준석 포항공대 기계공학과·화학공학과·전자전기공학과 교수

### 투명망토와 초박형 렌즈의 마법

본 연구팀은 빛의 전파 경로와 굴절 특성을 자유롭게 설계함으로써 물체를 보이지 않게 만드는 투명망토 개념부터 나노미터<sup>nm</sup> 수준의 두께로 고해상도 광학 성능을 구현하는 메타렌즈 기술에 이르기까지, 기존 광학의 한계를 뛰어넘는 다양한 메타광학 개념을 선도해왔다. 메타표면<sup>Metasurface</sup>이란 나노미터 크기의 인공 구조를 표면에 주기적으로 배열함으로써 빛의 위상, 진폭, 편광과 같은 광학적 자유도를 정밀하게 제어할 수 있는 초박형 평면 광학 소자다. 빛이 물질 내부를 길게 통과하며 굴절되는 기존 렌즈와 달리, 메타표면은 빛이 표면을 통과하는 순간 발생하는 국소적인 빛-물질 상호작용을



기존 굴절 렌즈(좌)와 메타렌즈(우)의 구조 비교. 두꺼운 굴절 렌즈와 달리, 메타렌즈는 표면에 배열된 나노미터 크기의 인공 구조물(메타아tom)을 통해 빛을 제어한다. 이 덕분에 머리카락보다 얇은 두께로도 고성능 광학 기능을 구현할 수 있다.



이용해 원하는 광학 기능을 구현한다. 이로 인해 메타표면은 수 마이크로미터 이하의 두께로도 집광, 영상 형성, 홀로그램 구현, 편광 변환 같은 복잡한 광학 기능을 수행할 수 있다.

이러한 특성 덕분에 메타표면은 기존 광학계의 부피와 무게를 획기적으로 줄일 수 있는 대안 기술로 주목받아왔다. 특히 메타렌즈, 메타홀로그램, 구조색, AR/VR 광학계, 고감도 센서 등 다양한 응용 분야에서 기존 광학 소자를 대체하거나, 기존 방식으로는 구현이 어려웠던 새로운 기능을 실험적으로 입증해왔다. 최근에는 반도체 공정과의 높은 호환성, 시스템 소형화 가능성 등을 바탕으로 차세대 광학 플랫폼 기술로 자리매김하고 있다.

현재 포항공대<sup>POSTECH</sup> 연구팀이 수행하고 있는 연구는 이러한 메타표면 기술을 연구실 수준의 데모를 넘어 실제 산업에 적용하기 위한 양산 기술 개발에 초점을 맞추고 있다. 메타표면은 이미 다양한 분야에서 뛰어난 성능이 입증되었지만, 실제 산업 현장으로 확산되기에는 여전히 큰 장벽이 존재한다. 가장 대표적인 한계는 대면적, 저비용, 고수율 생산이 어렵다는 점이다. 지금까지 메타표면 연구는 주로 전자빔 리소그래피<sup>EBL, Electron-beam Lithography</sup>에 의존해왔는데, 이는 정밀도는 높지만 처리 속도가 느리고 비용이 높아 대량생산에는 적합하지 않다.

① 전자빔 리소그래피 : 전자빔을 이용해 감광막 위에 나노미터 단위의 초미세 패턴을 그리는 공정 기술.



## 메타표면 양산을 위한 핵심 접근 전략

메타표면을 연구실 수준을 넘어 산업으로 확장하기 위해서는 설계 단계부터 제조 친화적인 구조와 공정을 고려하는 것이 필요하다. 본 연구팀은 이러한 문제의식을 갖고 메타표면의 광학 성능과 제조 가능성 사이의 균형을 핵심 연구 방향으로 설정하고 있다. 특히 연구팀은 나노임프린트 리소그래피<sup>②</sup> NIL, Nanoimprint Lithography<sup>②</sup>를 기반으로 한 메타표면 양산 기술에 주목하고 있다. NIL은 한 번 제작한 마스터 패턴을 반복적으로 복제할 수 있어, 웨이퍼 스케일의 롤투플레이트<sup>③</sup> Roll-to-plate 및 롤투롤<sup>④</sup> Roll-to-roll 공정으로 확장 가능하다는 장점이 있다. 이를 통해 기존 EBL 중심의 연구 방식에서 벗어나, 실제 산업에서 요구하는 대량생산 공정으로 메타표면을 전환하고자 한다. 또한 고굴절률 무기재료<sup>⑤</sup>에 국한되었던 기존 메타표면 소재의 한계를 극복하기 위해, 고굴절률 나노입자를 포함한 프린터블 레진<sup>⑥</sup> Nanoparticle-embedded Resin<sup>⑥</sup>, 그리고 원자층 증착<sup>⑦</sup> ALD, Atomic Layer Deposition<sup>⑦</sup>을 결합한 하이브리드 구조 등 다양한 소재 및 공정 조합을 연구하고 있다. 이러한 연구는 다수의 국내외 기업과의 공동연구 및 협업을 통해 실제 산업 공정 환경을 반영하며 진행되고 있다.

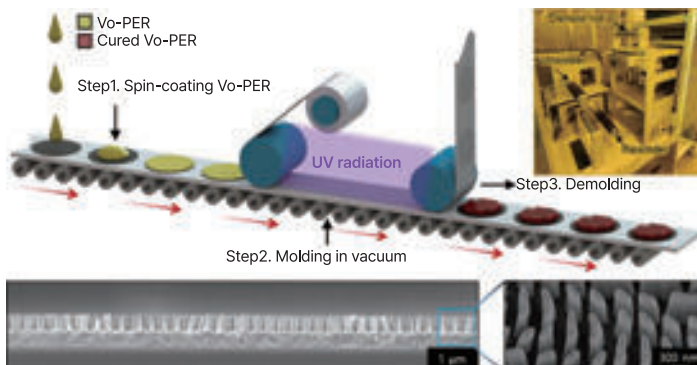
메타표면 산업화에서 중요한 또 다른 과제는 수율과 신뢰성이다. 나노구조가 수십억 개 반복되는 메타표면에서는 미세한 결함 하나가 전체 광학 성능에 영향을 줄 수 있다. 따라서 단순히 패턴을 만드는 것을 넘어 공정 변동성에 강인한 설계, 결함 허용도를 고려한 메타아톰 라이브러리<sup>⑧</sup> 구축, 반복 공정에서도 안정적인 성능을 유지하는 재료 개발이 필수적이다. 이러한 문제를 해결하기 위해

- ② 나노임프린트 리소그래피 : 나노 크기의 패턴이 새겨진 스탬프(몰드)를 도장 찍듯이 기판 위에 눌러 패턴을 전사하는 기술.
- ③ 고굴절률 무기재료 : 빛을 굴절시키는 능력이 뛰어난 규소<sup>Si</sup>나 이산화티타늄<sup>TiO<sub>2</sub></sup> 등의 소재. 메타표면의 광학 성능을 구현하는 데 필수적이지만, 재료 자체가 딱딱해 나노임프린트 같은 유연한 대량생산 공정에 적용하기에는 한계가 있다.
- ④ 고굴절률 나노입자를 포함한 프린터블 레진 : 가공하기 쉬운 액체 상태의 수지<sup>Resin</sup>에 고굴절률 나노입자를 섞어 만든 복합 소재. 액체처럼 흐르는 성질이 있어 도장 찍듯 찍어내는 나노임프린트 공정이 가능하면서도, 굳어진 뒤에는 무기재료로 버금가는 높은 광학 성능을 낼 수 있다.
- ⑤ 원자층 증착 : 원자 두께의 아주 얇은 막을 층층이 쌓아 입히는 공정.
- ⑥ 메타아톰 라이브러리 : 메타표면을 구성하는 기본 단위인 ‘메타아톰(나노 구조체)’의 다양한 모양과 크기, 그리고 그에 따른 광학적 특성 데이터를 모아둔 데이터베이스를 말한다.

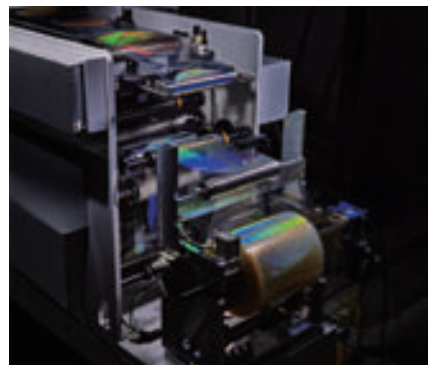
연구팀은 시뮬레이션 기반 설계와 실험 데이터를 연계해, 양산 환경에서도 재현 가능한 메타표면 설계 방법론을 구축하고 있다. 이는 메타표면을 ‘한 번 잘 만드는 소자’가 아니라, ‘항상 동일하게 만들어낼 수 있는 산업 부품’으로 전환하는 데 핵심적인 역할을 한다.

노준석 교수 연구실에서 수행하는 ‘대면적 메타표면 양산(스케일업)’ 연구 모습. 나노 패턴이 새겨진 스탬프를 도장 찍듯이 기판에 눌러 복제하는 방식이다. 기존 전자빔 공정<sup>EBL</sup> 대비 속도가 빠르고 비용이 저렴해, 웨이퍼 스케일의 대면적 양산이 가능하다.

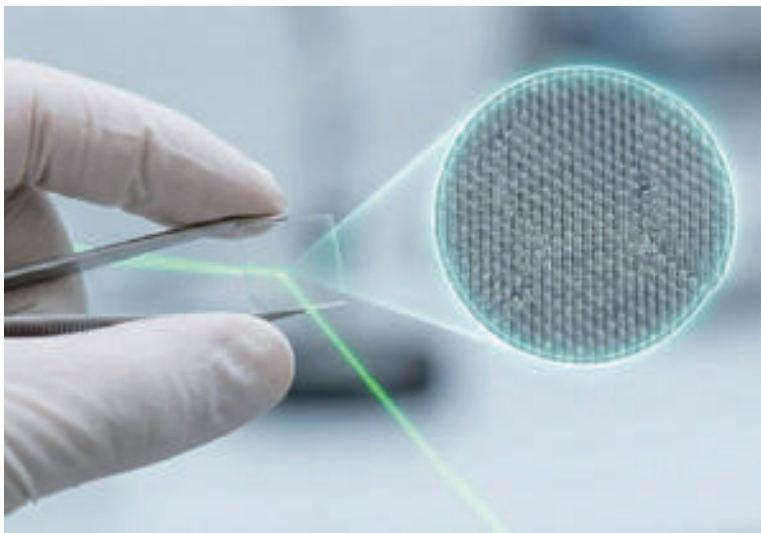
Roll-to-plate 공정



Roll-to-roll 공정







연구팀은 실험실 수준의 성과를 넘어, 실제 산업 현장에 적용 가능한 나노임프린트 기반의 대량생산 공정과 소재 기술을 개발하고 있다.

메타표면이 실제 제품으로 상용화되기 위해서는 대기업의 시스템 통합 능력뿐 아니라 중소·중견기업이 담당하는 요소기술의 역할이 매우 중요하다. 예를 들어 AR 글라스용 메타광학 시스템을 대기업이 개발 및 판매하기 위해서는 중소기업이 메타표면용 소재, 나노임프린트 공정, 몰드 제작, 후공정 패키징 등의 기술을 안정적으로 공급해야 한다. 모든 기술을 대기업이 내부에서 개발하기에는 현실적으로 어려움이 따르기 때문에, 대학에서 축적된 원천기술이 중소기업으로 이전되고, 다시 대기업 제품으로 연결되는 선순환 구조가 반드시 필요하다. 본 연구팀 역시 이러한 문제의식을 바탕으로, 논문 발표에 그치지 않고 기술이 실제 산업으로 이어질 수 있도록 기업과의 공동연구 및 기술이전을 적극적으로 추진하고 있다.

### 논문을 넘어 산업으로 이어지는 연구

학계에서는 종종 영향력 지수 높은 저널에 논문을 발표하는 것이 연구의 최종 목표인 듯 인식되기도 한다. 물론 이는 중요하지만, 메타표면 같은 차세대 플랫폼 기술에서는 논문 이후 단계가 더욱 중요하다. 실제 산업에서 요구하는 성능, 비용, 신뢰성 기준을 충족하지 못하면 아무리 우수한 연구라도 시장에서 사장되기 쉽다. 따라서 앞으로의 메타표면 연구는 학술적 성과와 함께 산업적 요구를 반영한 연구 방향 설정이 병행되어야 한다. 이를 위해서는 정부 차원의 장기적인 연구 지원, 산학연 협의체 운영, 실패를 감내할 수 있는 연구 환경 조성이 필수다.

나는 공학자로서, 그리고 교육자로서 메타표면 기술이 향후 대한민국의 핵심 광학, 반도체, XR 산업을 이끌 중요한 토대가 될 것이라 믿는다. 과거 대한민국이 반도체 공정 기술과 디스플레이 산업에서 장기간의 기초 연구와 공정 인프라 축적을 통해 세계적인 경쟁력을 확보했듯이, 메타표면 역시 장기적 관점에서 원천기술과 제조기술을 축적해나간다면 미래 광학 산업의 핵심 플랫폼으로 자리 잡을 가능성이 크다고 생각한다. 현재 메타표면 산업은 큰 매출을 창출하는 분야가 아니지만, 언젠가 시장이 본격적으로 열릴 때 그 중심에 설 수 있도록 연구자와 학생들이 사명감을 가지고 준비해야 할 시점이다.

연구실에서 밤낮없이 실험과 설계를 반복하는 학생들과 연구원들 역시 가까운 미래에 펼쳐질 광학 산업의 변화를 이끌 주역이라는 믿음으로 연구에 매진하고 있다. 메타표면 양산 기술은 이제 선택의 문제가 아니라, 국가 차원에서 전략적으로 육성해야 할 분야다. 필자는 앞으로도 연구와 교육을 통해, 메타표면 기술이 연구실을 넘어 산업 현장에서 실질적인 가치를 창출할 수 있도록 기여하고자 한다.



노준석 포항공대

기계공학과·화학공학과·전자전기공학과 교수

미국 UC버클리에서 기계공학 박사학위를 받았으며, 현재 포항공대 기계공학과, 화학공학과, 전자전기공학과 교수로 재직하고 있다. 메타물질과 나노광학 분야의 세계적인 권위자로, 차세대 광학 기술의 혁신을 이끌고 있다.

김홍인 한국지질자원연구원  
자원활용연구본부 자원순환연구센터 센터장



---

# 도시 광산에서 미래 자원을 캐다

제품은 만들어지고, 사용되고, 버려진다. 오랫동안 산업은 이 직선 구조에 익숙했다. 하지만 김홍인 센터장은 이 흐름이 원을 그리기 시작했다고 말한다. 제조 스크랩에서 사용 후 배터리까지 이어지는 자원회수 기술은 산업을 클로즈드 루프로 바꾸고 있다. 자원순환이 산업의 경쟁력이 되는 이유를 그에게서 들어본다.

글 박경희 사진 김기남

---

## 현재 센터에서 수행 중인 연구를 전반적으로 소개해주세요.

---

저는 한국지질자원연구원 자원활용연구본부 산하 자원순환연구센터 센터장을 맡고 있습니다. 과거에는 배터리 재활용 연구가 별도 조직으로 운영되었지만, 현재는 순환자원 개념으로 통합되어 자원순환연구센터에서 연구가 이뤄지고 있습니다.

센터 내에서 연구 주제가 나뉩니다. 다른 연구팀들은 전기·전자 폐기물에서 귀금속을 회수하는 연구를 주로 수행하고 있고, 저는 전기자동차 폐배터리로부터 니켈·코발트·망간<sup>NCM</sup> 같은 핵심 금속을 회수하는 기술을 중심으로 연구하고 있습니다. 배터리 제조공정에서 발생하는 스크랩부터, 향후 본격적으로 늘어날 사용 후 배터리까지 염두에 둔 순환 기술을 개발하는 것이 목표입니다.

## ‘도시의 광산’이라는 말에 담긴 의미는 무엇인가요?

---

‘도시의 광산’이라는 용어는 재활용 분야에서 10여 년 전부터 사용해왔습니다. 우리가 자원을 캐내는 곳은 자연이지만, 실제로 자원을 사용하는 공간은 도시입니다. 그리고 사용이 끝난 뒤 폐기물이 발생하는 곳도 역시 도시죠. 그렇다면 도시에서 발생하는 폐기물 속에 남아 있는 금속과 자원은 일종의 ‘광석’이라고 볼 수 있습니다. 자원이 부족한 우리나라가 재활용 기술에 적극적으로 투자해온 것도, 결국 이 도시 광산을 얼마나 잘 활용하느냐가 국가 경쟁력과 직결되기 때문이라고 생각합니다.

## 블랙매스란 무엇이며, 처음 마주했을 때 어떤 인상을 받으셨나요?

---

블랙매스<sup>Black Mass</sup>는 전기차 폐배터리를 파쇄·전처리하는 과정에서 나오는 검은색 분말 형태의 물질로, 니켈·코발트·망간·리튬 등 다양한 금속을 고농도로 함유하고 있습니다. 겉으로는 석탄가루처럼 보이지만, 실제로는 매우 가치 높은 금속자원입니다.

처음 블랙매스를 봤을 때는 다루기 까다로운 부산물로 느껴졌습니다. 새까맣고 정체를 알기 어려운 물질이었죠. 하지만 성분 분석을 해보니, 천연 광석보다 훨씬 농축된 금속이 들어 있다는 사실이 드러났습니다. 특히 니켈이나 코발트처럼 구리보다 훨씬 비싸고 국내에서 생산되지 않는 전략 금속이 고농도로 포함돼 있다는 점이 인상적이었습니다. 그때부터 블랙매스는 폐기물이 아니라, 미래 자원이라는 인식으로 바뀌었습니다.



## 습식제련, 용매추출 분야에 매력을 느끼게 된 계기가 있나요?

전공은 자원공학이었고, 당시 자원순환공학이라는 전공과목이 있었습니다. 이 분야의 핵심이 바로 재활용이었죠. 연구 초기부터 배터리나 폐촉매처럼 금속을 함유한 폐기물로부터 금속을 회수하는 연구를 꾸준히 해왔습니다.

습식제련, 특히 용매추출 기술은 pH 조건에 따라 금속이 물(수상)과 기름(유기상) 중 어디로 이동하는지가 달라집니다. 흥미로운 점은 이 과정이 색으로 드러난다는 것입니다. 예를 들어 코발트는 유기상으로 이동하면 파란색을 띠는데, 이른바 ‘코발트블루’죠. 색을 통해 금속이 제대로 분리됐는지 직관적으로 확인할 수 있습니다. 니켈과 코발트처럼 화학적 성질이 매우 비슷해 분리하기 어려운 금속을 조건 조절만으로

“이 분야는 제 연구 인생의 정체성이 됐습니다. 배터리 산업이 본격화되면서 제가 연구해온 니켈·코발트·망간 회수 기술이 산업과 바로 연결되기 시작했습니다. 자원문제를 기술로 해결하는 연구자가 되었다는 자각을 갖게 해준 분야라고 생각합니다.”



선택적으로 분리해내는 과정은 과학이면서 동시에 예술처럼 느껴졌습니다. 기계적인 공정이지만 살아 있는 생물을 다루는 듯한 감각도 있었고, 그 점이 제 성장과 잘 맞았습니다.

## 이 분야의 가장 큰 매력은 무엇이라고 생각하시나요?

무엇보다 개발한 기술이 바로 산업에 적용된다는 점입니다. 기존의 연구는 학문적으로는 의미가 크지만 산업과는 다소 거리가 있는 경우도 많았습니다. 반면 배터리 재활용 기술은 연구개발만 완성되면 곧바로 산업화로 이어질 수 있습니다. 실제로 산업계에서 어떤 기술을 원하는지가 명확하고, 그 요구가 연구 현장에 직접적으로 전달됩니다. 연구자로서 사회와 산업에 직접 연결돼 있다는 점이 큰 동기부여가 됩니다.

## 배터리 재활용 연구를 통해 연구자로서의 정체성에 어떤 의미를 갖게 되었나요?

결과적으로 이 분야는 제 연구 인생의 정체성이 됐습니다. 과거에는 심해 망간단괴<sup>①</sup>처럼 언제 상용화될지 알 수 없는 자원을 연구하기도 했지만, 배터리 산업이 본격화되면서 제가 연구해온 니켈·코발트·망간 회수 기술이 산업과 바로 연결되기 시작했습니다. 특정 기술을 연구해왔다고보다, 자원문제를 기술로 해결하는 연구자가 되었다는 자각을 갖게 해준 분야라고 생각합니다.

① 망간단괴 : 수심 4000~6000m 심해 해저에 자연적으로 형성된 둥근 돌 모양의 광물 덩어리.

## 김홍인 센터장은 누구

김홍인 센터장은 자원순환 및 재자원화 분야에서 오랜 현장 경험과 정책적 시야를 두루 갖춘 전문가로, 관련 연구기관과 산업 현장을 넘나들며 기술과 제도를 연결해온 연구자이자 기획자다. 폐자원·도시 광산·배터리 재활용을 중심으로 연구·사업 기획과 정책 연계를 수행해왔으며, 제조공정 스크랩에서 사용 후 배터리로 이어지는 자원회수 및 재활용 기술의 확장을 통해 순환 경제 모델을 구체화하는 데 주력해왔다. 특히 기술개발에 그치지 않고, 산업 현장 적용과 제도적 기반 마련을 함께 고려한 ‘클로즈드 루프 자원순환 체계’ 구축을 추진해왔다. 현재는 센터를 이끌며 연구 성과가 산업과 사회로 확산될 수 있도록 조정·기획 역할을 수행하는 한편, 자원 안보와 환경보호를 동시에 달성하는 지속 가능한 자원순환 전략을 모색하고 있다.

### 현재 한국의 배터리 재활용 기술 수준은 어떻게 보시나요?

현재 한국의 배터리 재활용 기술은 습식제련 기반 고순도 금속 회수 분야를 중심으로 세계적인 경쟁력을 확보한 수준입니다. 그러나 글로벌 시장에서는 중국이 배터리 재활용 시장 점유율이 70% 이상을 차지하는 반면, 한국의 비중은 20% 미만에 머물러 제조 분야 대비 재활용 산업의 시장 경쟁력이 낮다고 판단됩니다. 이러한 격차를 해소하기 위해서는 공정 효율과 친환경성을 동시에 높이는 배터리 재활용 기술 개발이 필수적이며, 공정 비용과 에너지 사용을 저감하는 고효율·저탄소 재활용 기술이 향후 경쟁력을 가질 수 있을 것입니다.

### 재활용 기술은 어떻게 진화해왔다고 보시나요?

배터리 재활용 기술은 크게 세 단계로 나눌 수 있습니다. 1세대는 경제성 높은 금속만 회수하는 단계, 2세대는 유가금속 전체를 회수하는 단계, 3세대는 폐수와 폐기물이 발생하지 않는 ‘웨이트스트 제로’ 친환경 기술입니다. 최근에는 니켈·코발트·망간을 각각 분리하지 않고 한 번에 회수해 배터리 제조공정으로 바로 연결하는 방식도 연구하고 있습니다. 공정 단계를 줄이는 것이 곧 친환경이자 경쟁력입니다.

### 연구 책임자가 되면서 가장 크게 달라진 점은 무엇인가요?

개별 연구 성과보다 사람과 연구 방향을 더 고민하게 됐습니다. 팀이 지속적으로 성장할 수 있는 구조를 만드는 것, 그리고 사회적으로 필요한 방향으로 연구를 이끄는 것이 제 역할이라고 생각하게 됐습니다.

### 청년 연구자들에게 꼭 전하고 싶은 메시지가 있다면요?

전공 지식도 중요하지만, 전체 사회와 산업의 흐름을 보는 시각이 더 중요하다고 생각합니다. 배터리 재활용도 한때 과열됐다가 지금은 잠시 주춤한 듯 보이지만, 5~10년 뒤에는 다시 필요한 산업입니다. 지금 당장 답이 나오지 않더라도, 현재 자리에서 성실하게 갈고닦은 경험은 언젠가 분명히 빛을 냅니다. 눈에 보이지 않는 가치와 가능성을 볼 수 있는 시각, 그것이 결국 다음 기회를 만들 수 있습니다.

### 이 연구가 우리 사회에 어떤 영향을 끼치길 바라시나요?

자원이 부족한 나라에서도 기술과 시스템을 통해 지속 가능한 산업구조를 만들 수 있다는 선례를 남기고 싶습니다. 제조공정에서 발생한 스크랩을 회수·재활용하는 기술이 사용 후 배터리까지 확장되면서, 원료 채굴에 의존하지 않고 자원이 다시 산업으로 돌아오는 ‘완전한 클로즈드 루프 자원순환 체계’를 구축하는 것, 그것이 앞으로 5~10년 안에 충분히 달성 가능한 목표라고



## <테크 포커스>의 든든한 서포터



# 똑\*소리단

## 똑 똑하게 소 통하고 리 뷰하는 <테크 포커스> 독자 단

똑소리단은 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 똑소리단의 12월호 리뷰를 확인해보세요!

### 김현영

읽기 쉬운 구성 + 깊이 있는 내용 균형이 마음에 듭니다. 인포그래픽, 키워드 요약, 정책 분석, 인터뷰 등 다양한 형식을 활용하고 있어, 전문인뿐 아니라 기술·산업 분야에 관심 있는 일반 독자에게도 접근성이 높은 것 같아요. 다만 깊이 있는 전문 분석 vs 폭넓은 스펙트럼 사이 균형에서 기술의 '최전선' 깊이보다는 넓은 스펙트럼에 초점이 맞춰져 있는 경우가 많아 조금 아쉽습니다. 그래서 기술 산업 분야의 전반적인 흐름을 빠르게 파악하고 싶을 때 읽으면 유용할 것 같습니다.

### 김현

스마트폰 카메라로 사진 찍을 때 손이 떨리거나 물체가 움직여도 선명하게 찍힙니다. 카메라 속의 작은 칩이 렌즈의 흔들림을 파악하고 보정해 움직임을 잡아내기 때문이라고 하는데요. 이 기술이 앞으로 더 발달한다면, 우리 눈으로는 포착할 수 없는 아주 미세한 떨림이나 작은 흠집까지 완벽하게 감지해내는 초고속 AI 감지 시스템을 만들 수 있지 않을까요? 평범한 카메라 기술이 우리의 안전이나 산업 효율을 혁신적으로 바꿔놓을 수 있을지 궁금합니다. 그렇다면 우리 주변에서 발생하는 사건·사고율을 낮추는 데 긍정적인 영향도 있지 않을까 기대해봅니다.

### 이수영

'스토리2' 기사에서 던지는 핵심 질문은 '한국은 피지컬 AI 산업에서 지속적으로 경쟁할 수 있는 구조를 만들고 있는가'입니다. 피지컬 AI는 현실 세계에서 작동하는 기술이기 때문에 소프트웨어만으로는 완성될 수 없으며, 반도체 하드웨어, 실험 환경, 투자와 사업 모델이 함께 구축되어야 합니다. 몇 가지 아쉬운 점도 있습니다만 한국이 기술 역량에 비해 이를 뒷받침할 환경이 충분하지 않다는 점을 설득력 있게 짚어냈다고 생각합니다.

### 박재완

'R&D 프로젝트' 기사에서, 건축물 화재 방호설비 설계를 위해 도면을 이해하고 법규를 해석하는 AI 기반 설계 플랫폼을 통해 복잡한 설계 도면을 해석하는 등 기술적 난제를 해결하는 것이 인상 깊었습니다. 이제는 AI가 전문가의 영역까지 확장됨을 실감했습니다. 그리고 토티어 카메라 반도체를 통해 전 세계 80억 인구의 인생을 정밀하게 담고 휴대폰이 전문 사진사의 역할을 할 수 있음을 보고, 이러한 기술이 고부가가치 산업이며 미래 성장 동력이 될 수 있음을 생각했습니다. 휴대폰에는 정말 많은 기술이 들어가는 것 같습니다.

### 조재현

2026년 사업계획서 작성 시기가 다가와 <테크 포커스>를 참고하며 계획을 수립하고 있습니다. 공장 이전과 자동화가 예정되어 있는데, 제조업 자율화 도입을 저해하는 장애물 중 'ROI 중심의 단기적 의사결정' 부분에 깊이 공감했습니다. 한정된 자원 속에서 최대 효과를 만들어내야 한다는 점이 늘 딜레마로 느껴집니다. 신중하고 올바른 의사결정으로 2026년에는 우리 회사도 자율 제조를 구축하고, 내실 있는 중견기업으로 한 단계 도약할 수 있기를 기대합니다.



## 신지연

시가 지적인 영역에만 머무르지 않고, 이제는 실제 현장에서 직접 작동하는 듯한 인상을 받았습니다. 제조업의 미래가 이처럼 생생하게 구현될 수 있음에 깊이 감탄했습니다. 덕분에 시가 공장을 더욱 지능적이고 효율적으로 변화시킬 미래가 한층 더 가까워졌다는 느낌을 받았습니다. 다만 이 분야의 중요성을 감안해 실제 현장에서 피지컬 시를 적용하며 겪은 흥미로운 에피소드나 예상치 못한 난관, 그리고 이를 극복한 과정 같은 생동감 있는 이야기가 더해진다면 훨씬 설득력 있게 다가올 것이라고 생각합니다.

## 김형우

‘키워드 산책’ 기사에서 아폴로 계획 이후 반세기 만에 인류를 다시 달로 보내는 아르테미스 프로젝트 이야기가 가장 관심 가는 내용이었습니다. 기존 아폴로 프로젝트가 달 착륙 자체에 목적이 있었다면, 아르테미스는 달에 머무를 수 있는 인프라 구축을 목표로 한다는 점에서 더욱 흥미롭게 다가옵니다. 책 소개와 함께 제시된 네 가지 키워드도 내용을 이해하는데 도움이 될 것 같네요.

## 전준규

‘테크 솔루션’ 기사에서 장애가 삶을 결정하지 않도록 하는 것이 재활공학의 본질이라는 표현이 가슴속에 각인되었습니다. 휴머노이드 돌봄 로봇, 휠체어 리프트 기술, 원격 VR 재활 최적화 기술 등 일상생활에서 사용자의 삶을 변화시키기 위한 유연성과 맞춤형을 갖춘 다양한 연구과제가 사용자의 일상생활을 도와주는 핵심이라 생각되었습니다. 재활공학의 연구 활성화를 통해 글로벌 경쟁력을 갖춘 산업으로 발전하길 기원해봅니다.

## 류창훈

‘R&D 프로젝트’ 기사에서, 중소기업이 모바일 카메라 구동칩 분야에서 오랜 기간 연구 끝에 글로벌 선도기업으로 우뚝 선 모습이 매우 감동적으로 다가왔습니다. 기술 성과를 과시하기보다는 일상에서 스마트폰 카메라의 역할과 개발 과정에서 겪은 어려운 점을 차분히 보여준 점이 좋았습니다. 다만 글로벌 경쟁환경 속에서 기술 유지를 위한 고민이나 향후 도전 과제도 심도 있게 다뤘다면 독자의 몰입도를 더 높일 수 있었겠다는 생각이 듭니다.

## 정일성

재활공학자 김종배 교수님께서 ‘미래 한국 재활공학 및 보조기기 산업에서 성장 기회’를 묻는 질문에 대한 답으로 ‘살던 곳에 오래 머물고자 하는 노인 수요에 대응하는 기술’을 언급하셨는데, 매우 공감합니다. 제 주변 노인 대부분도 자신의 노년을 그렇게 보내기를 기대하고 있습니다. 이와 관련한 돌봄·이동·재활 기술이 ‘삶의 질’을 유지하면서 인간으로서의 기능과 역할을 꾸준히 이어갈 수 있도록 돕는다면, 국가 복지의 궁극적인 목표가 달성되는 것 아닐까 생각합니다. 교수님의 연구와 소망 성취를 응원하겠습니다.

## 독자 퀴즈의 정답을 맞춰주세요!

퀴즈에 참여해주신 정답자 중 추첨을 통해 소정의 상품을 보내드립니다. 퀴즈 정답과 휴대폰 번호를 [grintjssu@hankyung.com](mailto:grintjssu@hankyung.com)으로 보내주세요.

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

20명 증정

퀴즈 정답자  
모바일 쿠키 교환권

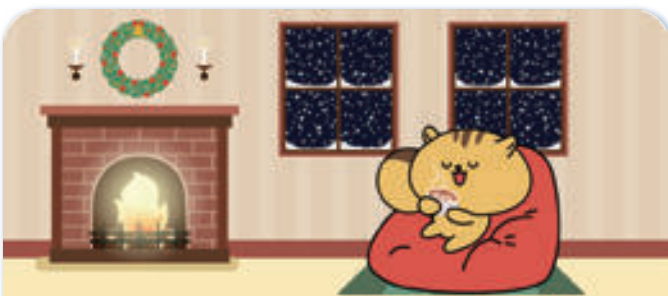


수도권 집중 현상을 해소하고 지역 주도의 균형발전을 이루기 위한 정부 지방시대 전략의 핵심 키워드다. 수도권 일극 체제에서 벗어나 전국을 수도권·중부권·호남권·대경권·동남권으로 분류한 ‘5대 초광역권’과 강원·전북·제주를 ‘3대 특별자치도’로 재편해 지역별 거점 성장을 도모하는 이른바 ○○○ 체제다. 기존의 중앙집권적 방식에서 벗어나 지역이 주도권을 갖는 다극 체제 시대를 열어갈 예정이다.





## 기상 상황 확인하기



## 야외활동 자제



## 따뜻한 장소 휴식



## 외출 시 방한용품 착용



## 수도관 동파예방



## 주변 이웃 안전살피기

# 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

