

Research

Vol 2. Nov. 2021

KAIST Research Magazine

글로벌 특이점 연구

파킨슨병 치료의 변곡점,
분자광유전학

도약 연구

깊고 깊은 심연의
세계를 재다(測), 광빔



CONTENTS

KAIST Research Magazine
Nov. 2021
Vol. 02

발행처

카이스트 연구기획센터

발행인

이광형

편집인

조광현

기획·주관

연구기획센터

취재

카이스트 신문

김신엽 학생기자, 김서경 학생기자
박유진 학생기자, 방민서 학생기자
윤아리영 학생기자

재구성

권현숙

디자인·제작

에스와이커뮤니케이션즈
T. 042-544-7288

사진

Puto
workroomputo@gmail.com

발행일

2021년 11월 20일

Research Highlights

- 04 **파킨슨병 치료의 변곡점,
분자광유전학**
생명과학과 허원도 교수
- 10 **깊고 깊은
심연의 세계를 재다(測), 광빔**
기계공학과 김영진 교수
- 14 **진시황의 꿈,
회춘의 '근원'을 찾아서**
바이오및뇌공학과 조광현 교수
- 20 **세상을 움직이는 제5의 힘,
마찰력**
물리학과 / 나노과학기술대학원 김용현 교수
- 24 **코로나 진단, 시간과의 싸움의 묘안
나노플라즈모닉 칩**
바이오및뇌공학과 정기훈 교수

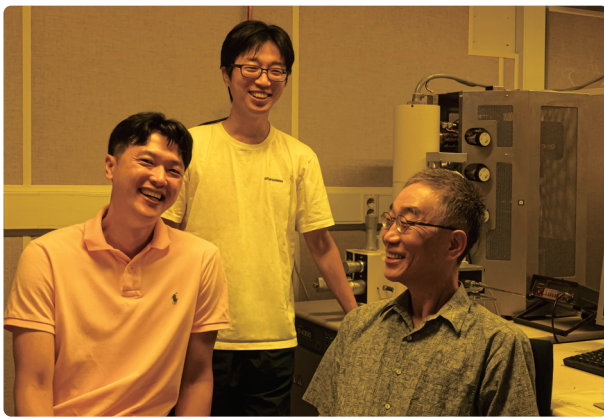


핑퐁 Talk!

- 28 **코로나 바이러스 진단의 신세계,
홍부 X-레이와 인공지능의 만남**
바이오및뇌공학과 예종철 교수

협력연구 _ 가치+같이

- 34 **같이에 가치를 더하다 -
나노포토닉스의 세 연구자**
물리학과 이용희 명예교수, 서민교 교수, 이한석 교수
- 38 **효율적인 안전성
아연·브롬 레독스 흐름 전지**
생명화학공학과 김희탁 교수



Young Scientist

- 42 **스스로 풀어내는 교통 제어 시스템,
인공지능 교통경찰**
석박사모험연구 - 건설및환경공학과 유화평, 윤진원
산업및시스템공학과 안규리
- 44 **기계학습, 양자역학 이론에 적용할 수 있을까?**
석박사모험연구 - 전기및전자공학부 이릉규, 노민중
원자력및양자공학과 권태진, 이서영
- 48 **2021 겨울/봄학기 URP 프로그램**
URP - 전기및전자공학부 김예원
물리학과 정희윤
물리학과 황재용

Research Partner

- 52 **'공유'를 넘어 '공생'으로
과학자들의 파트너, 중앙분석센터**



글로벌 특이점연구

파킨슨병 치료의 변곡점, 분자광유전학

생명과학과 허원도 교수

생명과학과 김대수 교수

생명과학과 이승희 교수

전기및전자공학부 정재웅 교수





일기 같은 것을 쓰고 있는데 손이 떨려서,
정서(正書)를 해 주지 않겠느냐.



1947년, 자원봉사를 나온 학생에게 나혜석이 부탁했던 말이다. '입을 벌린 채 덜덜 떠는 할머니'로 묘사된 그녀를 보며, 오늘날 그녀를 고통스럽게 했던 병환이 파킨슨병이 아닐까 추측하기도 한다. 과학 기술이 발전하면서 치료 기술 또한 발전을 거듭했고 인류가 누릴 수 있는 삶의 여정 역시 길어지고 있다. 인류의 진보를 놀리기라도 하듯 새롭게 찾아온 질병, 퇴행성 뇌 질환... 명확한 치료법도 없는 채 지금도 고통 받는 수많은 사람을 위한 해법은 무엇일까.

퇴행성 뇌 질환 치료를 목표로

나혜석(1896~1948)처럼 얼굴의 떨림이나 마비, 서동(운동느림), 자세 불안정뿐 아니라 우울증, 치매까지도 동반하는 무서운 뇌 질환이 바로 파킨슨병이다. 정확한 원인은 아직 규명되지 않았지만 뇌 흑질(substantia nigra)의 뉴런이 손상되면서 도파민 생성에 문제가 생긴 것으로 알려져 있다.

이러한 파킨슨병 등 퇴행성 뇌 질환은 약물 치료가 대부분인 현실에서 일시적인 치료를 넘어 반영구적이고 근본적인 치료에 대한 논의가 계속되고 있다. 그러자면 분자·세포적 관점에서 신경 세포 기능을 알아야하고(허원도 교수), 신경 회로망의 기작에 대한 이해가 필요하며(이승희 교수), 동물행동을 정밀 분석하는 연구가 뒤따라야 할 것이다(김대수 교수). 아울러 뇌에 디바이스를 이식하고 치료하기 위한 광자극 기술 개발(정재웅 교수)이 어우러져야 뇌 기능 규명과 뇌 질환 이해, 치료를 위한 시스템을 구축할 수 있게 된다.

광유전학, 뇌를 제어하는 리모컨

1953년은 DNA 이중 나선 구조가 밝혀진 해다. 제임스 왓슨(James Dewey Watson, 1928~), 모리스 윌킨스(Maurice Hugh Frederick Wilkins, 1916~2004), 프란시스 크릭(Francis Crick, 1916~2004) 이렇게 세 과학자가 발표한 논문을 통해서다. 이 가운데 프란시스 크릭은 뇌 과학의 아버지로 불린다. 그는 '뇌 과학 연구의 특이점을 넘기 위해서는 신경 신호보다 빠른 조절 기술이 필요하고, 그것은 빛'이라 주장했다. 이후 2005년 스탠퍼드 대학의 칼 다이스러로스(Karl Deisseroth, 1971~) 교수 연구팀은 신경 세포를 빛으로 빠르게 ON/OFF 조절하는 광유전학 기술을 소개하며 크릭의 주장을 뒷받침했다.

초기의 광유전학은 녹조류에서 발견된 채널로토티신(ChR, Channelrhodopsin)에서 시작되었다. 녹조류가 가진 채널로토티신은 460nm 파장의 푸른빛을 받으면 나트륨 이온과 칼륨 이온 등 양이온을 통과시키는 채널이라 할 수 있다. 그래서 채널

1) 광유전학(optogenetics) 빛(opto)과 유전 공학(genetics)의 합성어로, 빛으로 생체 조직 세포들을 조절하는 생물학적 기술이다. 유전적으로 신경 세포를 조작해 빛에 반응하는 이온 채널을 발현시키는 것이 대표적인 사례다.



광유전학이

신경의 활성화 여부에만

집중해왔다면, 분자광유전학은

세포 내 단백질 분자 하나하나에

집중하는 식이다.



로톱신을 발현시킨 신경 세포에 빛을 쬐이면 신경 세포가 활성화된다.

이후 광유전학 연구는 바이러스에 특정 유전자를 넣으면 쥐의 뇌에서는 이 신호에 맞춰 단백질이 발현된다. 이때 광섬유를 뇌에 이식한 쥐에게 자극을 주고 반응을 살펴보는 방식으로 진행된다. 유전자 조작 기술을 사용하기 때문에 신경 세포 수준에서 조절할 수 있고, 빠르게 자극을 가하거나 없앨 수 있다. 빛의 파장을 달리하여 다양한 회로를 작동해 볼 수 있다는 장점도 있다. 광범위하게 자극을 주고 반응을 봐야 했던 과거와 달리, 채널로톱신의 발견은 반응 속도를 수 밀리초 단위로 세밀하게 분석할 수 있다는 획기적인 혁명을 불러왔다.

KAIST의 독자적인 기술, 분자광유전학

초기 광유전학 기술은 세포 수준에서 유전자를 조절해야 하는 까다로운 과정이었다. 신경 세포를 활성화하거나 억제하는 ON/OFF 조절 수준에 그쳐, 신경이나 시냅스 구조를 조절하거나 재구성하는 데에는 한계가 있었다.

2008년 KAIST에 허원도 교수가 분자광유전학 기술을 도입하면서 판도는 달라지기 시작했다. 그동안 광유전학이 신경의 활성화 여부에만 집중해왔다면, 분자광유전학은 세포 내 단백질 분자 하나하나에 집중하는 식이다.

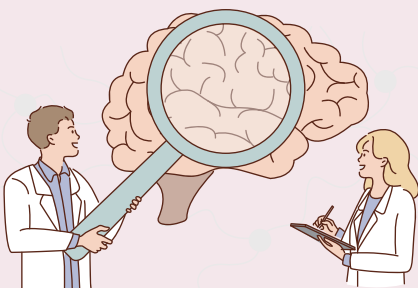
스트레스를 비롯한 갖가지 외부 신호 분자를 세포가 받아들일 때부터 세포 분열, 신경 시냅스 형성 등 세포는 약 5,000여 가지의 신호 전달 단백질 분자를 거치게 된다. 이렇게 ON/OFF로 표현된 현상에는 다양한 기작들이 포함되어 있다. 단백질 분자 규모에서 신호를 조절한다면 더 다양한 세포와 그들이 갖는 다양한 기능을 조절할 수 있게 된다.

이들테면 빛으로 칼슘 이온의 유입과 잔류 시간을 조절하면 세포들의 기능을 원격으로 조정할 수 있다. 2015년 허 교수가 발표한 ‘칼슘 이온 활성화 기술 (OptoSTIM1)’이 그것인데, 이 기술로 칼슘 농도를 높였더니 생쥐의 기억력이 2배 가량 향상된 결과를 보여 주었다. 아울러 뇌에 기억을 기록하는 데에도 성공해 신경 세포의 기본적인 활성화 기술로 활용되고 있다.

‘유추’를 넘어 실험 연구로, 뇌 연구의 특이점에 도전하다

수많은 연구 분야 가운데 특히나 뇌 분야는 어렵기로 손에 꼽힌다. 신경과 시냅스를 인위적으로 조절할 수 없으니, 오롯이 보이는 현상들로 ‘유추’해야 하는 학문이라는 점이 이유였다. 길어진 수명, 수많은 스트레스 요인 등 뇌 질환이 늘고 있는 현실에 비해, 치료는 증상 완화 수준에 머물러 있다. 신경 손상과 정보 처리 이상 과정을 복구하는 치료법 개발이 절실한 상황인데도 말이다.

연구팀이 뇌 연구에 접근하는 방식은 크게 네 가지다. 먼저 허원도 교수는 다양





한 단백질을 모니터링하고, 세포 내 단백질과 세포 기능을 빛으로 실시간 제어하는 연구를 진행하고 있다.

다음 이승희 교수는 피질 신경망의 정보 처리 기능을 생체 내 시냅스 수준에서 규명하고 있다. 처음으로 피질 신경망 연구에 광유전학을 도입하면서 생쥐의 생체 내 신경 신호 측정과 이미지화하는 기술을 보유하고 있다. 현재는 외부 자극에 대한 뇌의 정보 처리 과정과 의미 있는 기억으로 저장되는 신경망을 이해하는 연구로 나아가고 있다.

한편 김대수 교수는 광유전학 기술을 도입, 파킨슨병과 각종 퇴행성 뇌 질환 치료에 활용하는 연구를 하고 있다. 뇌-컴퓨터 접속 기술과

동물 행동에 대한 인공 지능 분석 시스템을 개발해 분자광유전학 기술을 개체 행동 수준에서 검증할 수 있게 되었다.

단백질을 발현하고 이미지화하는 작업 이상으로 뉴럴 디바이스(neural device) 개발 역시 분자광유전학 분야에서 중요한 기술이다. 정재웅 교수는 동물의 뇌에서 광유전학 및 신경약물학적 신경 세포 제어를 위한 이식용 무선 디바이스를 개발하고 있다. 전 세계적으로 뇌 기능 연구와 뇌 질환 치료를 위한 다기능 뉴럴 인터페이스 툴과 이식용 무선 디바이스가 중요해지고 있지만, 지금까지 개발된 예는 대부분 개념적 시연에 그치고 있다.

하지만 각양각색의 뇌에 어울리는 맞춤형 뉴

럴 인터페이스 톨을 제시할 수 있도록 모듈화된 뉴럴 인터페이스를 설계하고 있다. 정형화되어 있으면 통합이 손쉬워진다. 뇌 속에 디바이스를 이식해 무선으로 다양한 광 자극과 전기 생리 현상을 모니터링하고, 나아가 정교한 폐쇄 루프(closed-loop) 신경 제어를 가능하게 하는 기술 개발을 목표로 하고 있다.

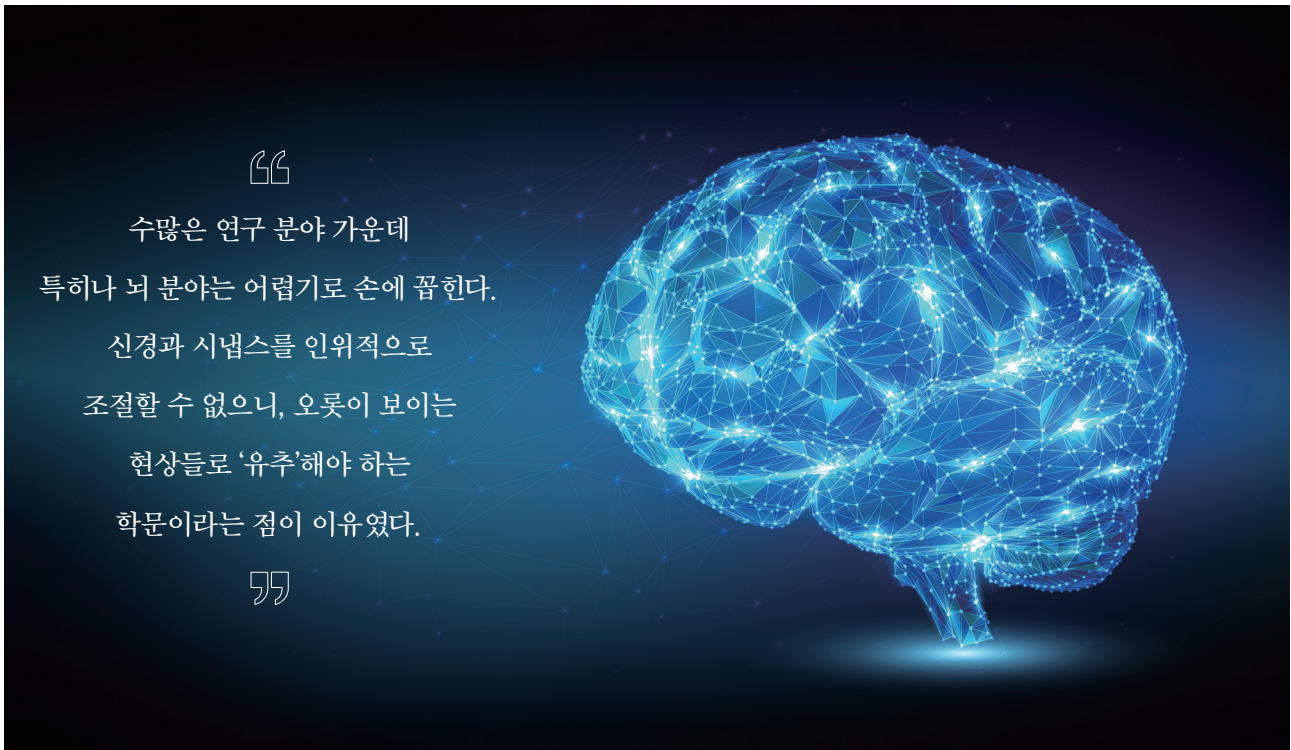
파킨슨병 치료에 한발 다가간다

처음 연구를 시작했을 때만 해도 신경 세포의 활성을 분자 단위로 이끌어 내고, 시냅스 수준에서 관찰하는 데 있었다. 그렇게 되면 실시간으로 감각 기억과 인지 기억 등이 기록되는 위치와 과정을 시각화할 수 있을 것으로 생각했다. 아직은 한 개체에서 벌어지는 시냅스의 변화와 새로 형성되는 시냅스를 실시간으로 이미지화한 예는 없다. 만약 실시간으로 시냅스 센서로 모두 시각 이미지로 만들어낼

수 있다면, 학습과 기억을 비롯한 뇌 기능의 메커니즘을 규명할 수 있을 뿐 아니라 뇌 질환을 이해하는 데에도 한 걸음 다가갈 수 있게 된다.

연구팀은 신경 세포를 배양해 시냅스 센서로 시냅스를 형성하거나 제거하도록 유도하였다. 이때 분자 활성 센서를 특정 신경 세포에 분자광유전학 단백질과 함께 발현시킬 수 있는 다양한 종류의 바이러스를 제작하고 있다. 세포 수준에서 칼슘 신호 변화를 측정해 신경 활성 패턴을 실시간으로 모니터링할 수 있다. 나아가 세포 수준에서도 신호 변화를 알 수 있는 상황이다.

파킨슨병은 흑질 내 도파민 신경세포가 제 역할을 하지 못해 발병하는 병이기 때문에, 파킨슨병 치료에 한 발짝 다가가고 있다고 볼 수 있다. 최종적으로 뇌 질환 치료를 위한 디바이스를 뇌에 이식하기 위한 것이다. 이를 위해 연구진은 광유전학적 조절과 유체 약물 조절을 모두 가능하게 하는 멀티스케일 뉴럴 인터페이스 디바이스를 개발하고 있다.



수많은 연구 분야 가운데
특히나 뇌 분야는 어렵기로 손에 꼽힌다.
신경과 시냅스를 인위적으로
조절할 수 없으니, 오롯이 보이는
현상들로 ‘유추’해야 하는
학문이라는 점이 이유였다.





자신의 뜻대로 살아가는 것만큼

가치 있는 삶은 없지 않을까.

KAIST에서 진행하고 있는 뇌 질환 연구는
그런 의미에서 큰 변곡점이라 할 수 있다.



난치성 뇌 질환 치료의 새로운 패러다임

연구진은 특이점 연구를 두 단계로 나누었다. 2022년까지 진행되는 1단계는 분자광유전학 기술을 이용하여 동물의 기억, 인지, 행동의 변화를 분석하고 뇌 질환의 원인이 되는 분자의 발현 및 활성과 행동 간의 연관성을 실시간으로 분석하는 과정으로 이루어진다. 이 과정에서 세계 최초 시냅스 광단백질 센서를 활용하여 생쥐 뇌의 신경망 원리를 밝혀낼 계획이다. 또한 분자광유전학 기술을 활용하여 자연지능의 작동원리를 분자 수준에서 이해하고 뇌 기능을 향상시키는 새로운 패러다임을 제시하려 한다.

이후 2027년까지 이어질 2단계에서는 세계 최고의 민감성을 가진 분자광유전학 기술과 무선 제어 광유전학 시스템을 연동하여 신경 세포와 회로 활성화를 통해 뇌 질환 치료 기술을 개발할 예정이다. 분자와 세포, 신경 회로 타겟을 활용하여 시스템 신경과학 분야, 분자 센서 기술, 분자광유전학 기술을 적용한다면 기억 연구와 난치성 뇌 질환 치료의 새로운 패러다임을 제공할 것으로 보인다.

인류의 인간다운 삶을 위하여

1948년 나혜석은 53세의 짧은 생을 마감했다. 세상의 외면 속에서 죽는 순간까지도 글을 쓰며 예술혼을 불태웠지만, 정작 그녀의 발목을 잡은 것은 세상의 질타가 아닌 그녀의 병이었다.

세상의 갑론을박은 논외로 하고 자신의 뜻대로 살아가는 것만큼 가치 있는 삶은 없지 않을까. KAIST에서 진행하고 있는 뇌 질환 연구는 그런 의미에서 큰 변곡점이라 할 수 있다. 인간다운 삶,

풍요로운 삶, 주체적인 삶을 위한 발걸음은 인간애(人間愛)에서 시작되는 듯하다.



도약 연구

깊고 깊은 심연의 세계를 재다[測], 광빔

기계공학과 김영진 교수



물질을 쪼개고 쪼개면, 결국에 남는 물질은 무엇일까? 물질의 근원에 대한 탐구는 기원전부터 있었다. ‘물질을 이루는 가장 작은 입자’를 찾기 위한 여정은 탈레스, 데모크리토스, 돌턴, 보어 등 수많은 학자의 노력을 거치면서 1926년 드디어 그 실체를 드러냈다. 그리고 인류의 미시 세계를 측정하는 기술이 더욱 정밀해져 원자를 이루는 원자핵, 중성자, 양성자 등을 찾아내기에 이른다. 그러면서 다시금 의문이 들게 한 논제, 과연 물질의 근원은 무엇일까? 0.1나노미터에 지나지 않는 작은 원자를 측정하는 지금, 인류의 미시 세계로 나가는 측정 기술은 어디까지 와 있을까?

난쟁이보다 더 작은 난쟁이, 피코미터

1 나노미터는 1 미터의 10억 분의 1에 지나지 않는 작은 크기다. 오죽했으면 라틴어로 난쟁이를 뜻하는 ‘나누스(nanus)’에서 그 이름이 유래했을까. 60조 개의 세포로 이루어진 우리 신체를 생각해보자. 세포 1개는 약 수십 마이크로미터이고, 그 안에 들어 있는 핵이 1~5마이크로미터, 염색체의 크기가 1 마이크로미터, DNA의 폭이 2 나노미터다. 이처럼 작디작은 세계가 바로 나노미터다. 그런데 이보다 더 작은 세상도 측정할 수 있을까?

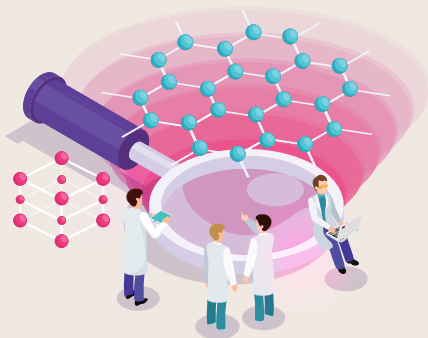
기계공학과 김영진 교수팀의 관심사는 ‘길이 측정’에 있다고 해도 과언이 아니다. 그것도 눈에 보이는 거시 세계가 아니라 존재 자체도 의심스러운 극소의 미시 세계, 피코미터 단위의 세계를 재는 일이다. 1m의 1조 분의 1 길이가 피코미터니, 나노미터보다 1,000배는 더 작은 세계다.

그가 이렇게 미시 세계를 파고드는 이유는 ‘인류는 얼마나 작은 규모의 동적 거동을 얼마나 빠른 속도로 측정하고, 제어할 수 있는가?’ 하는 문제의식에서다. 인류의 삶에 기여할 수 있는 궁극의 문제를 풀기 위하여 그동안에는 나노미터 단위까지 측정·제어해왔다면 이제는 피코미터 단위, 곧 원자보다 작은 세계로 들어간 셈이다.

정밀한 미시 세계로의 접근

이처럼 매우 정밀한 기술에 도전하려면 초고속 시간 규모에서 극한의 측정을 확보할 수 있는 분해능이 필수적이다. 진공 상태일 것 등 필요한 환경 요소가 여럿 있는 데다 그러한 환경에서 측정할 수 있는 샘플 역시 매우 제한적이었다. 그래서 생각한 것이 ‘펨토초 레이저 광빔(femtosecond optical comb, 이하 광빔)’이다.

‘빛살처럼 여러 주파수를 보유한 빛이라는 뜻’의 광빔. 광빔은 펄스 레이저를 이용한다. 빛은 연속적으로 존재하는 것이 아니라 ‘있다’와 ‘없다’를 반복하는 레이저다. 그 가운데 펨토초 레이저는 시간 폭이 10^{-15} 초로 단위가 아주 작다. 펄스 레이저의 시간 폭이 이렇게 좁아지면 푸리에 변환¹⁾(Fourier transform)을 시켰을 때 파장 영



1) 푸리에 변환. 시간에 대한 함수를 주파수 성분으로 분해한 것이다. 파장이나 신호는 특정 파장들의 합이므로 시간과 주파수를 알면 이들을 분석할 수 있게 된다.



‘빛살처럼 여러 주파수를 보유한 빛이라는 뜻’의 광빔.

광빔은 펄스 레이저를 이용한다.

빛은 연속적으로 존재하는 것이 아니라 ‘있다’와 ‘없다’를 반복하는 레이저다.



역에서도 등 간격을 이루게 된다. 또한 주파수 영역에서는 넓은 파장에 걸쳐 여러 모드가 존재해 수십만에 이르는 파장을 형성하게 된다. 각 파장은 일반적인 레이저보다 훨씬 좁고 시간 주파수 표준으로 안정화하기가 쉽다. 그동안의 제약에서 벗어날 수 있게 할 중요한 기술인 것이다.

업그레이드를 위한 도약, 플라즈모닉 EOT 현상

김 교수팀이 도약 연구의 주제로 삼은 연구는 플라즈모닉 EOT 현상이다. ‘extra ordinary transmission’의 줄임말로, 금속 판의 파장보다 작은 구멍으로 특정 파장의 빛이 다른 파장의 빛에 비해 훨씬 잘 통과하는 현상을 말한다. 고전 역학에서는 구멍보다 크기가 작은 파장의 빛은 통과하지 못한다. 하지만 실제로는 구멍의 크기가 작아질수록 투과율 역시 계속 떨어질 뿐이지 여전히 투과는 계속되고 있다. 만약 금속판에 구멍을 여러 개 뚫는다면 특정 파장은 2만 배까지 투과도가 올라갈 수 있다. 이를 ‘플라즈모닉 공명 현상(plasmonic resonance)’이라 한다. 광빔을 이용하면, Transmission 정보에 추가하여, 광주파수와 위상 정보를 세밀하게 분석할 수 있어 보다 민감한 측정이 필요한 상황에 유용하다.

광빔의 특성, 광빔의 장점이란?

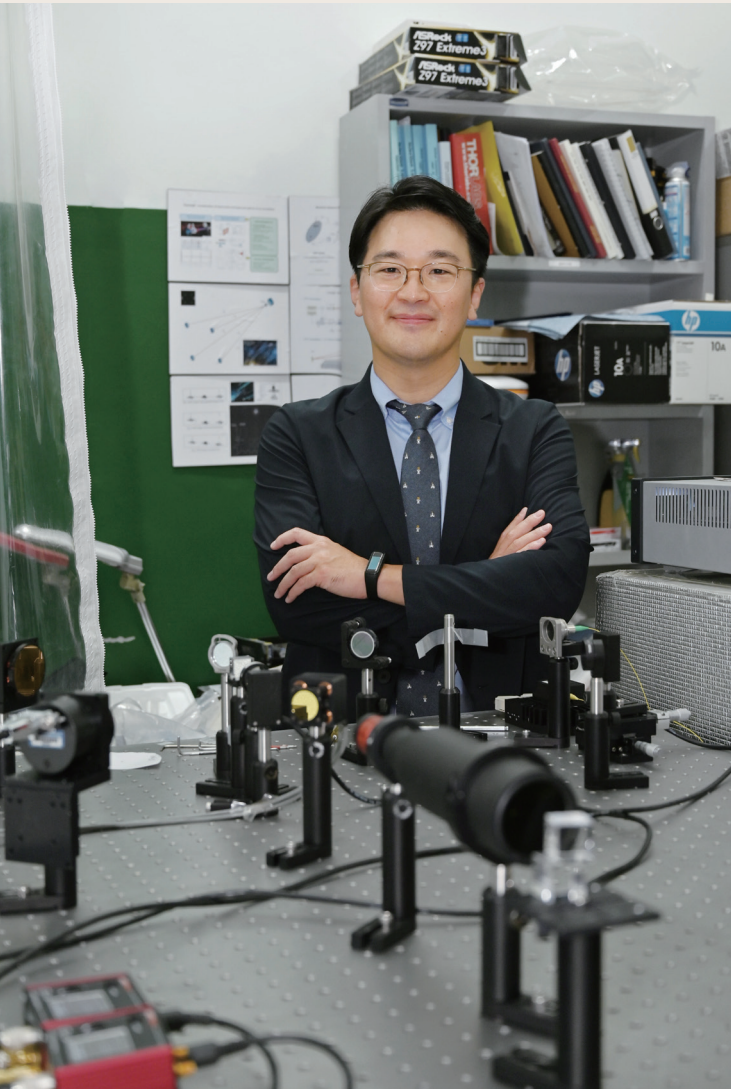
그렇다면 광빔을 보다 미세한 영역에서 사용하게 되면 어떤 장점이 있을까? 빛이 금속과 유기체의 얇은 경계면에 모이게 되

면서 빛과 물질 간의 상호 작용이 더욱 강하게 나타나게 된다. 원자보다 작은 크기의 변위에서도 빛과 물질 간의 상호 작용이 강하게 일어나면서, 훨씬 미세한 변화의 측정이 가능해진다. 이러한 플라즈모닉 현상에 광빔을 적용하게 되면, 광빔은 기존 광원보다 훨씬 선폭이 좁고 안정적이라 광주파수와 광 위상 정보를 알아낼 수 있다는 장점이 있다.

그렇다면 광빔이 투과한 후에도 입력했을 때와 같은 우수한 특성을 가지고 있는지를 알아봐야만 한다. 광자는 입력면에서는 표면 플라즈몬(surface plasmon)으로 변환되고, 다시 출력될 때는 표면 플라즈몬에서 광자로 모두 두 번의 변환 과정을 거치기 때문에 특성의 변화를 확인하는 일이 매우 중요하다.

우리가 일상에서 보는 레이저는 파장이 하나다. 그래서 빛을 유리에 통과시켰을 때 같은 빛이라고 느끼는 것이다. 그러나 펄스폭의 좁은 펄스 레이저에서는 이야기가 달라진다. 좁은 공간에 에너지가 모이면서 높은 출력을 내게 되니, 결과적으로 입력된 빛과 출력된 빛의 파장뿐 아니라 성질이 달라질 수 있다. 하지만 연구 결과에 따르면 본래의 특성을 그대로 성공적으로 유지하고 있음을 확인할 수 있었다.

그뿐 아니라 표면 플라즈몬에 온도를 달리하여 물리적인 변화가 어떠한지에 관한 연구가 진행되고 있다. 온도를 변화시키면 열팽창과 수축 과정에서 구멍의 크기도 변한다. 주기가 바뀌면 플라즈몬 공명 현상은 좌우가 바뀌고 여기에서 측정했을 때 2 피코미터 정도의 분해능을 얻을 수 있었다.



작은 세상으로 들어가는
일이 왜 중요할까?

인류가 밝힌 물질 속 심연의 세계,
피코미터...

피코미터의 세계가 설명할
미래사회는 어떤 모습일까?



피코미터가 안내하는 미래 기술

이처럼 작은 세상으로 들어가는 일이 왜 중요할까? 김 교수는 이 기술이 차세대 EUV 반도체 장비의 생산/측정을 위한 핵심기술로 자리잡을 것을 기대하고 있다. 더욱 미세한 선폴이 요구되면서, 필요한 반도체 장비의 측정/제어의 범위도 참여화되고 있다. 이러한 초미세 측정/제어를 실현하기 위한, 선도 원천기술로 광빔 기반 플라즈모닉 위상측정기술이 활용될 것으로 예측한다.

더불어, 코로나바이러스와 같은 호흡기 바이러스가 유행했을 때, PCR 기반의 분자 유전학적 검출법을 대신할 것이라고 내다보고 있다. 호흡기 환자의 체액을 채취하여 광빔 위상 분광을 하게 되면 다양한 유해 요소를 빠르게 찾아낼 수 있다는 것이다.

인공위성에서도 발전된 미래를 점쳐볼 수 있다. 시간 동기화(클릭 신호에 맞추어 여러 개의 기기가 제어되거나 자료가 전송되는 일)가 중요한 인공위성은 원자 주파수에 기반한 원자시계(atomic clock)를 가지고 있다. 원자시계의 정밀성을 높이면서 플라즈몬 공명을 이용한 소형화의 가능성을 내포하고 있다.

물질의 근원을 밝히는 인류의 행보

기원전 400년 탈레스는 물질의 근원을 물이라고 이야기했다. 2,300여 년의 시간이 흐르는 동안 물질의 근원은 나노미터 규모의 원자 세계까지 밝혀졌다. 그리고 이후 100여 년이 흐르는 동안 인류는 다시금 그보다 더 작은 세계 속으로 파고들고 있다. 인류가 밝힌 물질 속 심연의 세계, 피코미터... 피코미터의 세계가 설명할 미래사회는 어떤 모습일까? 이 문제를 풀려는 시도는 이미 시작되었다.



진시황의 꿈, 회춘의 ‘근원’을 찾아서

바이오및뇌공학과 조광현 교수



1953년은 왓슨과 크릭이 DNA의 이중 나선 구조를 밝혀낸 해다. 128줄에 지나지 않는 이들의 짧은 논문은 이후 생물학의 발전에 가속도를 붙이는 계기가 되었다. 이후 자동차로 치면 ‘부품’에 해당하는 세포 내 분자 구성 요소들이 하나둘 모습을 드러내면서 하나의 시스템으로 작동하는 세포 작용 기작에 대한 연구가 대두되었다. 바로 ‘시스템생물학’이라는 융합 학문을 통해서...

21세기의 새로운 조합, 시스템생물학

그동안 생명 현상을 탐구하는 많은 노력에도 불구하고 대부분은 현상의 단면만을 관찰하는 형태가 주류를 이루었다. 하지만 실제 생명은 역동적이고, 변화무쌍한 다양한 구성 요소 간 상호 작용의 결과물이라 할 수 있다. 이러한 생명 현상의 근원을 밝히려는 연구가 주목을 받기 시작하면서 생물학 외에도 전산학, 수학, 물리학뿐 아니라 제어 공학 등 다양한 학문이 어우러지게 되었다. 생명체를 하나의 체계로 간주해 관찰되는 수많은 생명 현상을 밝히기 위하여 생물학과 공학을 융합시킨 학문이 바로

시스템생물학(Systems Biology)이다.

70여 년을 자랑하는 분자 생물학에 비하면 시스템생물학은 1968년 처음 그 용어가 등장하면서 세상에 알려졌다. 물론 이전에도 비슷한 개념을 제시한 과학자들은 있었다. 다만 최근 들어 측정 기술이 발달하면서 정량적이고 정밀한 생명 현상의 측정이 가능해졌고, 관련 데이터들이 축적되면서 시스템생물학이 새롭게 각광받게 되었다. 그동안 생물학과 공학은 별개의 학문으로 받아들였다면, 요즘에는 시대의 변화에 따라 수학이나 공학 등 다른 영역에서도 생명 현상의 수수께끼를 푸는 데에 관심을 가





생명체를 하나의 체계로
간주해 관찰되는
수많은 생명 현상을
밝히기 위하여 생물학과 공학을
융합시킨 학문이 바로
시스템생물학(Systems Biology)이다.



지게 된 것도 한 원인이다.

조광현 교수는 초반에는 '생명 현상을 수학적으로 모델링할 수 있는 방법은 없을가?' 라는 문제의식에서 시스템생물학을 시작했다. 수학적으로 정량화한 모델이 만들어지면 생명 현상의 원리를 분석할 수 있고 나아가 생명체를 제어하는 일도 가능해진다. 실제로 분자 수준에서 생명 현상을 제어하면서 환자 맞춤형 정밀 의학이 가능해지고 있다. 신약 개발이나 이미 개발된 약물이 새로운 질환에 효능이 있는지 밝히는 약물 재창출 등이 그 예다. 암세포나 노화 세포를 젊고 건강한 세포로 되돌리려는 연구 역시 이러한 맥락에서 생명 현상을 조절하는 연구라 할 수 있다.

발상의 전환, 항암 치료의 패러다임을 바꾸다

조 교수는 그의 연구 범위를 암과 노화로 삼고 있다. 우리 몸을 구성하는 세포 내 분자 간의 조절 작용 체계는 매우 복잡한데다 역동적이다. 분자마다 고유의 역할이 있지만 동시에 다른 분자들과 끊임없이 상호작용하면서 복잡한 조절 작용을 하고 있다. 다시 말해 외부 자극 등 다양한 요인으로 일부 분자가 변하게 되면 복잡하게 연결된 다른 분자들이 연쇄적으로 변해 결과적으로 외부 자극에 대한 반응이 일어나게 되는 것이다.

여러 요인으로 일부 정상 세포에 유전자 돌연변이가 일어나고, 이것이 축적되어 임계점을 넘으면 정상 세포는 암세포로 바뀌게 된다. 같은 맥락에서 젊은 세포도 점차 유전자가 손상되고 축적되면서 노화 세포로 변하게 되는 것이다.

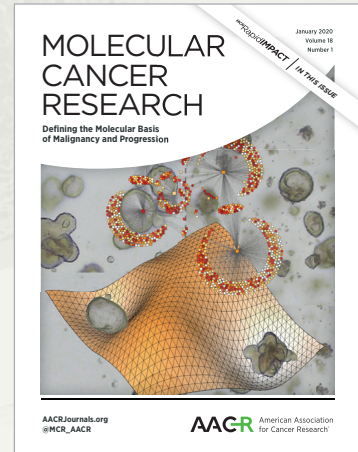
암세포와 노화 세포는 자연 상태에서 저절로 원래의 정상 세포로 돌아가지 않는다. 곧 돌 다 비가역적 현상이라, 일단 돌연변이된 암세포는 정상 세포로 돌아갈 수 없다는 것이 지금까지의 통념이다. 그렇다 보니 수많은 항암 치료가 암세포를 사멸시키는 방향으로 진행됐다.

하지만 여기에는 치명적인 문제를 남기고 있다. 암세포를 죽이다 보면 피치 못하게 정상 세포까지도 일부는 죽게 된다. 이것이 항암 치료의 부작용이다. 그렇다고 암세포만 조심스레 죽이는 방향으로 치료하게 되면 일부 살아남은 암세포가 약물내성에 내성을 가지면서 결국에는 암의 재발 우려를 남기게 된다.





세포가 유전자 돌연변이로 망가져 있더라도
 기능적인 여지(redundancy)가 남아 있어
 우회적인 경로로 망가진 기능을 대체하면
 정상 세포에 가깝게 회복될 수 있을지도 모른다.



다시 젊어지는 세포로의 귀환

조 교수는 암세포를 죽이는 것이 아니라 정상 세포로 바꾸거나 유사한 상태로 성질을 바꿀 수 있다면 완전히 신개념의 항암 치료 기술을 개발할 수 있으리라고 생각했다. 노화도 마찬가지다. 2018년에 출생한 아이들의 기대 수명은 82.7년에 이른다. 하지만 유병 기간을 제외한 건강 수명은 64.4년으로, 생애 마지막 18년간은 질병과 싸우며 보내야 한다는 이야기가 된다.

이는 우리 몸의 전반적인 세포 노화와 관련된 문제다. 노화 세포는 사이토카인(cytokine)이라는 염증 유발 물질을 분비한다. 각종 노인성 질환이나 암 발생에 영향을 미치는 물질이다. 우리가 개개의 질병을 다루는 대신, 질병의 원인인 노화 세포를 젊은 세포로 되돌릴 수 있다면 기대 수명은 곧, 건강 수명이 될 것이다.

세포가 유전자 돌연변이로 망가져 있더라도 기능적인 여

지(redundancy)가 남아 있어 우회적인 경로로 망가진 기능을 대체하면 정상 세포에 가깝게 회복될 수 있을지도 모른다. 지난 2020년 1월, 조 교수는 대장암 세포를 정상 대장 세포로 리프로그래밍(reprogramming)할 수 있다는 사실을 밝혀 미국암연구협회(AACR, American Association for Cancer Research)의 저널 <분자암연구(Molecular Cancer Research)>에 발표했다. 같은 해 11월에는 인간의 노화된 진피 섬유아세포의 분자를 조절하면 젊은 세포로 역 노화가 일어남을 알리기도 했다(<미국국립과학원회보(PNAS)>). 현재는 유방암이나 폐암의 암세포도 정상 세포로 되돌릴 수 있는지에 관한 연구를 진행하고 있다.

생명 현상의 ‘공통 원리’

암은 발생하는 조직에 따라 종류가 다르게 분화한다. 노화도 세포별로 진행되는 까닭에 기작이 다르다. 그러므로 일부



진화의 관점에서 인류가
암세포나 노화 세포를
젊은 세포로 되돌리도록
진화할 수 있는지도
조 교수가 답을 찾고 있는
궁극의 질문 중 하나이다.



암세포와 노화된 세포를 젊고 건강한 세포로 되돌릴 수 있다는 그의 연구는 ‘어떻게’라는 질문을 동반하게 한다. 만약 조 교수의 예상대로 정상 세포로 되돌리는 암세포 공통의 분자 스위치가 있다면 스위치의 조절만으로 암세포를 정상 세포로 리프로그래밍하는 것도 가능해진다. 또한 진화의 관점에서 인류가 암세포나 노화 세포를 젊은 세포로 되돌리도록 진화할 수 있는지도 조 교수가 답을 찾고 있는 궁극의 질문 중 하나이다.

이처럼 조 교수의 연구는 발상의 전환에서 시작되었다. 암세포를 사멸하는 항암 치료의 원리에 대해 근본적인 질문을 가지고 ‘암세포를 정상적인 세포로 되돌리는 치료’는 항암 치료에 따른 여러 부작용을 획기적으로 줄일 수 있지 않겠느냐는 사고로 발전했다. 새로운 패러다임의 항암 치료 기술을 개발할 수 있을 것이라는 발상의 전환에서 세포 노화와 암화를 가역화하는 독보적인 연구를 시작할 수 있었다.

연구라는 ‘항해’에는 용기가 필요

조 교수는 연구를 미지의 세계를 향해 나아가는 ‘항해’에 비유했다. 미지의 세계를 향한 모험은 어렵고, 실패할 가능성도 분명 있다. 그럼에도 이 과정에서 우리가 던지는 수많은 과학적 질문이 우리의 지식을 넓힐 것이다. 우리 학생들도 과감하게 미지의 세계로 나가는 용기를 가지기를... 그가 젊은 과학도들에게 당부하는 말이다.

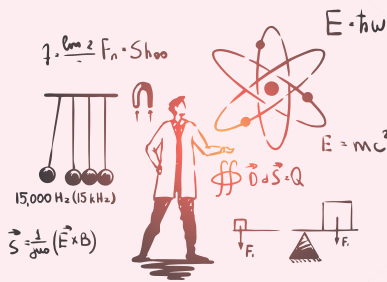


SYSTEMS BIOLOGY



세상을 움직이는 제5의 힘, 마찰력

물리학과 / 나노과학기술대학원 김용현 교수



물리학에서 세상을 설명하는 힘을 네 가지로 압축하고 있다. 중력, 약한 핵력인 약력, 강력, 전자기력이 그것인데, 이를 ‘4대 기본 힘’ 혹은 ‘기본 상호작용’이라 부른다. 여기에 포함되지는 않지만 이에 못지않게 중요한 힘이 있으니 바로 마찰력이다. 물체와 물체가 접촉해 있는 상황에서 나타나는 힘으로 그동안 전자기력의 일종으로 이해되어 오면서 큰 이목을 끌지 못했다.

KAIST 물리학과/나노과학기술대학원의 김용현 교수는, ‘마찰력이야말로 물리학의 핵심 중에 핵심인데, 세상은 마찰력의 진면목을 몰라준다.’고 이야기한다. 과연 마찰력이란 무엇일까? 김 교수의 연구를 통해 마찰력의 진면목을 알아보자.

마찰력, 힘의 근간을 더하다

우리가 걸을 수 있는 이유는 무엇일까? 아무 생각 없이 걷고 있겠지만, 발바닥과 지면 사이의 마찰, 곧 전자기력에서 발생하는 마찰력 때문이다. 이처럼 마찰력은 실생활 가까이에서 늘 겪는 힘인데도 불구하고, 물리학의 4대 기본 힘에는 빠져 있는 상태다. 이는 우리가 마찰력을 전자기력의 일부로만 받아들인 탓에 마

찰력에 대해 제대로 이해하지 못하고 있다고 김 교수는 지적한다. 그러면서 마찰력이 전자기력 외에 중력과 핵력 등 다른 영역에서도 발생하는 점에 주목한다. 마찰력을 전자기력의 일부가 아닌 기본 4대 힘에 늘 따라붙는 공통 요소라는 관점에서 접근할 것을 제안한다. 마찰력에 ‘제5원소’라는 타이틀을 주고, 마찰력에 대해 질문해 보자는 새로운 패러다임을 제시한 것이다.



마찰력, 양자역학으로 다가서다

김 교수의 주 전공은 양자물성이론이다. 양자역학이란 원자나 분자처럼 미시적인 물질세계를 설명하는 현대 물리학의 기본 이론이다. 양자역학 이전의 고전 물리학은 일상생활에서 느끼는 거시적 물질세계를 설명했다면, 양자역학은 미시 세계를 근간으로 고전 물리학에서 설명하지 못한 현상들을 이해할 수 있게 했다.

이처럼 양자역학은 세상을 이해하는 도구라고 해도 과언이 아니다. 1920년 확립된 이래로 지난 100여 년간 발전을 거듭해왔다. 최근에는 컴퓨팅 기술과 근사법(approximation method, 수학적으로나 이론적으로는 정확한 방법은 아니지만, 실용적인 범위에서 합리적인 해석 결과를



나타내는 해석 방법)을 토대로 물리적으로 설명할 수 없는 문제들을 풀려는 시도까지 계속되고 있다. 양자역학은 시스템의 총 에너지를 다루기 때문에, 기후 변화나 에너지의 효율적 사용에 관한 문제까지도 양자역학으로 접근이 가능하다.

양자역학이 발전하면서 물질의 고유한 성질인 물성을 설명할 수 있게 된 것이다. 특히나 원자 단위의 나노 스케일에서는 양자적인 특성이 더욱 뚜렷하게 나타난다. 때문에 나노 스케일에서 물성을 이해하려면 반드시 양자역학적인 접근이 필요하다. 김 교수의 전공 양자물성이론은 바로 미시 세계의 물성을 탐구하는 것이라 하겠다.

미시 세계의 마찰력, 그래핀이 밝히다

‘꿈의 나노 물질’이라는 타이틀을 달고 세상에 나온 그래핀(graphene)…. 탄소 원자들이 육각형의 벌집 모양으로 연결된 평면 구조의 고분자 탄소 동소체인 그래핀은 지난 2004년 영국 맨체스터 대학교의 안드레 가임(Andre Konstantinovich Geim, 1958~)과 콘스탄틴 노보셀로프(Konstantin Novoselov, 1974~)가 찾아내 세상에 알려졌다. 연필에 주로 사용되는 흑연에 스퀴치 테이프를 0.2nm에 지나지 않는 한 층을 뽑아 낸 것이 바로 그래핀이다.

김 교수는 마찰력을 연구하면서 그래핀에 주목했다. 거시 세계와 마찬가지로 미시 세계에서도 실험이 복잡하거나 변인이 다양하면 실험 결과를 분석하고 이해하는데 어려움이 따른다. 그래핀은 2차원 평면 구조인데다 표면이 깨끗해 마찰력을 분석하기에 알맞은 물질이다. 그래핀 표면에 마찰을 가하면 그래핀이 수직으로 휘어



지금은 그래핀을 넘어 칼코젠(chalcogen) 등
 물성 연구 대상을 확장해 나가고 있다.
 마찰력과 열전 효과 관계를 규명해 마찰 전기의 근원을
 밝히고자 하는 연구는 계속되고 있다.



지는 물성 때문에 에너지가 사라진다.

김 교수는 그래핀 표면에 온도차를 나타내는 금속 탐침을 접촉시켜 온도 차에 의해 회로에 전류가 흐르는 열전 효과를 밝혀냈다. 열전 효과가 나노나 원자 수준에서도 발생할 수 있음을 알아낸 것이다. 나노나 원자 차원에서 전압 차를 분석할 수 있다면 물성이나 전자 구름의 모양, 원자의 이미지 등을 추정할 수 있게 된다는 의미이기도 하다.

지금은 그래핀을 넘어 칼코젠(chalcogen) 등 물성 연구 대상을 확장해 나가고 있다. 마찰력과 열전 효과 관계를 규명해 마찰 전기의 근원을 밝히고자 하는 연구는 계속되고 있다.

‘장기적인 도전’을 장려하는 사회 분위기가 마련되기를

무엇이든 첫술에 배부를 수 없는 일이다. 빠르게 진행되고 끝나는 일이 있는가 하면 실패를 거듭하면서 시간을 두고 지켜봐야 하는 일도 있다. KAIST에서 진행하고 있는 ‘KC30 사업’이 바로 기초 과학의 토대를 이루는 지대한 시험이 아닐까 한다.

김 교수는 KC30 사업이 오래 이어졌으면 하는 바람을 드러냈다. KAIST를 넘어 우리나라가 발전하기 위해서는 단기적인 문제 해결에 치우치기보다는 장기적인 안목으로 꾸준한 발전을 모색할 필요가 있다는 것이다. 단기간의 실적에 치우치는 문화 속에서는 연구자들 역시 장기 프로젝트를 기피할 수밖에 없는 일이다. 조금 더 멀리 볼 수 있는 시각과 함께 지원 프로그램이 마련되기를 그는 기원하고 있었다.



코로나 진단, 시간과의 싸움의 묘안 나노플라즈모닉 칩

바이오및뇌공학과 정기훈 교수



지난 2020년 12월, 우리나라는 코로나19의 급격한 확산을 막기 위한 분주한 움직임에 나섰다. 역학적 연관성과 관련이 없더라도 누구든 무료로 코로나 진단 검사를 받을 수 있도록 임시 선별 검사소를 운영하기 시작한 것이다. 익명으로도 검사를 받을 수 있게 되면서 검사량은 급격히 늘었고, 빠르고 정확한 바이러스 검사 기술이 그 어느 때보다 절실하다.

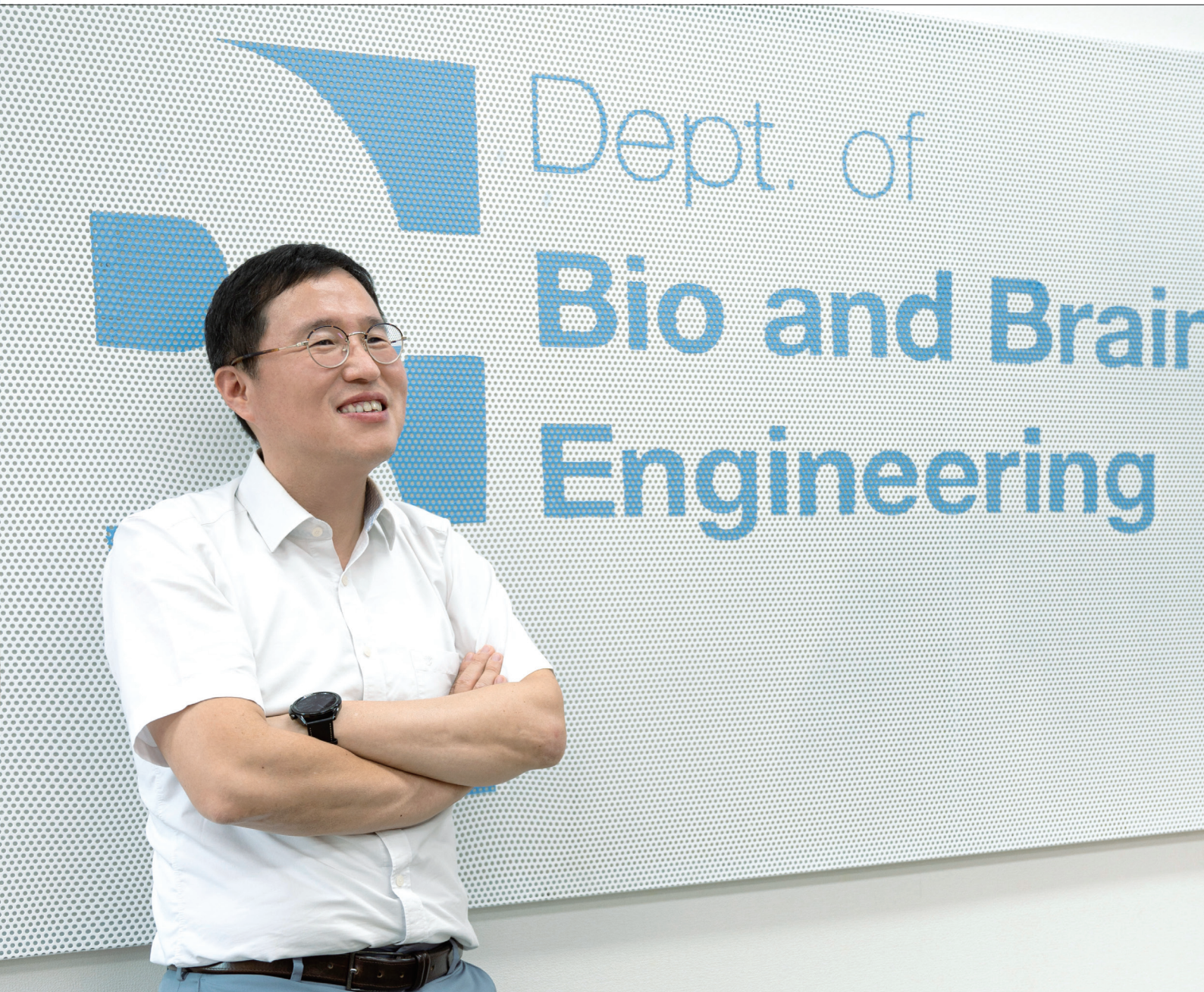
코로나19 진단 검사의 3인방

코로나19 바이러스 진단 검사에는 크게 RT-PCR 검사, 항원 검사, 항체 검사가 대표적이다. RT-PCR, 일명 역전사 중합 효소 연쇄 반응(Reverse Transcription Polymerase Chain Reaction) 검사는 타액이나 비인두(코 안쪽에 있는 공간으로 호흡하는 동안 공기가 흐를 수 있는 통로)에서 채취한 세포에서 유전자를 증폭시켜 진단하는 방식이다. 반면 항원 검사가 코로나19 바이러스 고유의 단백질이 있는지를 살펴보는 방법이라면, 항체 검사는 항원·항체 반응을 이용해 혈액 속의 코로나19 바이러스를 감지하는 쪽이라 하겠다.

이 가운데 가장 널리 쓰는 방법은 RT-PCR이다. 코로나19 바이러

스는 RNA 기반의 바이러스라 먼저 RNA를 DNA로 바꾸어 RT-PCR을 진행한다. 한 사이클마다 DNA 수가 2배씩 늘어나 검체 수가 많아 보니 정확도가 높은 편이다.

이처럼 RT-PCR은 가장 널리 쓰이는 검사 방법이지만, 대형 장비를 갖춘 기관에 검사 샘플을 보내어 진단해야 하므로 시간이 오래 걸린다. 게다가 DNA 수를 늘리는 과정에 온도를 높이고 내리는 과정이 더해지면서 실시간 현장 대응을 어렵게 한다. 최근 편의점에서 구입할 수 있는 코로나19 자가 검사 키트는 항원 검사 방식으로 짧은 시간 내 진단이 가능하다는 장점이 있지만 민감도(감염 환자를 얼마나 잘 찾는지 나타낸 수치)가 떨어진다.



“

나노플라즈모닉 칩을 이용한 PCR은
진단 속도를 높이면서 코로나 진단 검사의 시간을
5분으로 단축시켰다.

”



나노플라즈모닉 칩을 이용한
진단 검사는 장치를
소형화할 수 있고,
기기 제작 비용도 낮출 수 있다.

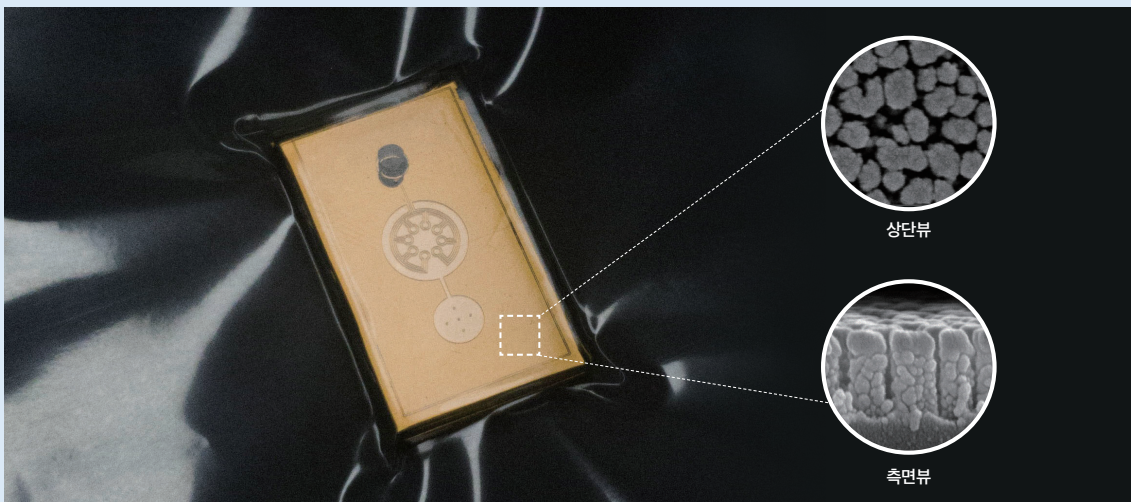


나노플라즈모닉 PCR, 언제 어디서나 OK!

PCR 과정을 자세히 보면 DNA를 증폭하는 과정에 온도 조절이 중요한 요소로 작용한다. 정기훈 교수가 나노플라즈모닉(Nanoplasmonic, Nano-structures for Plasmonic)에 주목한 이유다. 나노플라즈모닉은 빛을 금속 표면에 쏘면 금속 표면과 유전체의 경계에서 빛과 전자가 반응하면서 빛을 흡수하고 열을 방출한다.

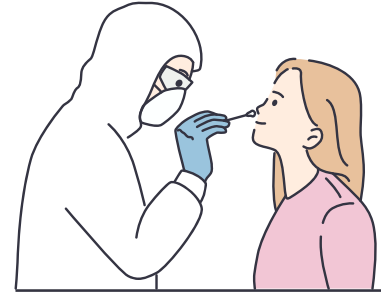
나노플라즈모닉은 금을 단 유리 기둥이 빼곡히 꽂혀 있는 형태다. 머리카락 한 가닥의 1,000분의 1 정도인 100nm의 작은 유리 기둥 위에 금을 달면 기둥 윗면에는 큰 나노 섬이, 옆면에는 작은 나노 섬이 분포한 '플라즈모닉 나노 기둥 어레이(plasmonic nanopillar array)'가 형성된다.

금속 박막에 빛을 쬐이면 금속 박막과 유전체의 경계면에 있는 전자들이 한꺼번에 진동하는 현상을 보이는데, 이를 표면 플라즈몬 공명(SPR, Surface plasmon resonance)이라 한다. 금속 박막 외에도 금속 나노 구조체에 외부에서 입사되는 특정 파장의 빛으로 나노 입자 표면의 전자를 들뜨게 할 수 있다. 이때 진동이 발생, 전기 쌍극자 특성을 나타내고 들뜬 상태의 전자들이 금속 원자들과 충돌해 특정 주파수대의 빛을 흡수해 열에너지로 전환하는 광열 효과(Photothermal effect)를 일으킨다.



진공포장된 나노플라즈모닉 PCR용 칩

“
 ‘손안의 실험실’이라는
 ‘랩온어칩(Lap-on-a-chip)’의 세계로
 코로나 진단 기술이 입문할 날이
 머지않아 보인다.
 ”

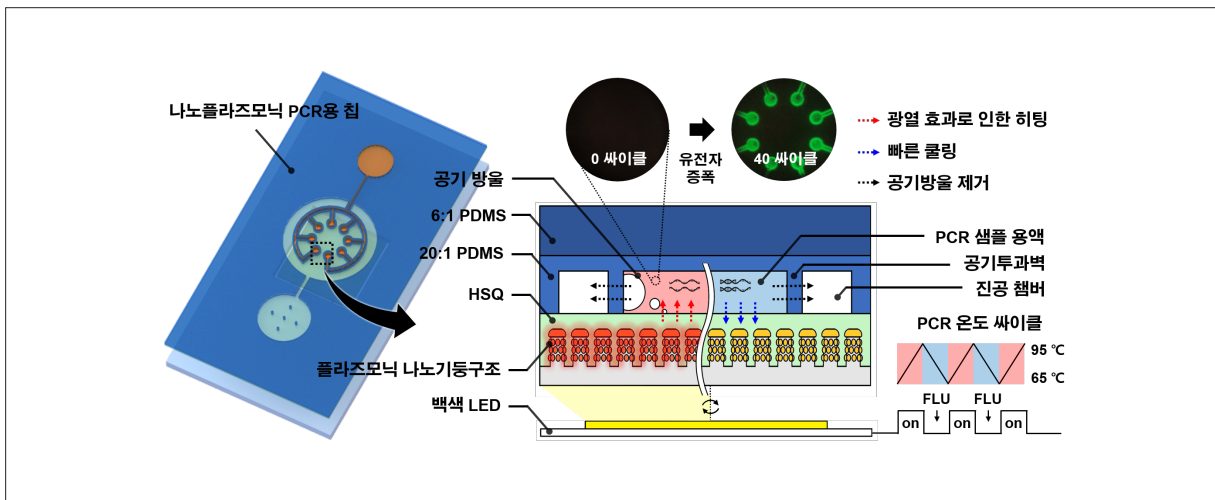


정 교수가 연구에 사용한 나노플라즈모닉 기동 어레이의 금 나노 섬은 빛의 파장보다 작다. 일반적으로 금 나노 섬은 크기와 간격에 따라 흡수하는 가시광선 영역의 파장이 매우 다양하다. 해당 나노 구조는 가시광선 전 영역에서 높은 빛 흡수율을 나타내 일단 빛을 받으면 빠르게 열을 방출하게 된다. 또한 수많은 나노 기둥이 구조물을 이루는 까닭에 표면적이 넓어 열이 빠져나갈 수 있는 면적 또한 커져 냉각 속도가 빨라진다. 덕분에 PCR에 나노 플라즈모닉 기술을 사용하면 기존의 열 순환기보다 10분의 1로 시간을 단축할 수 있게 되는 것이다.

속도를 넘어 가성비를 높인다

나노플라즈모닉 칩을 이용한 PCR은 진단 속도를 높이면서 1시간 걸리던 코로나 진단 검사의 시간을 5분으로 단축시켰다. 온도 제어 장치를 소형화할 수 있을 뿐 아니라 기기 제작 비용 역시 낮출 수 있다는 점은 결코 포기할 수 없는 매력이기도 하다.

KAIST에서는 산업체, 나노융합기술원과 함께 시제품 개발 및 식약처 인허가 절차를 준비하고 있다. ‘손안의 실험실’이라는 ‘랩온어칩(Lap-on-a-chip)’의 세계로 코로나 진단 기술이 입문할 날이 머지않아 보인다.



코로나 바이러스 진단의 신세계, 흉부 X-레이와 인공지능의 만남

바이오및뇌공학과 예종철 교수



지난해에 이어 올해도 사회적·과학적 화두를 꼽으라 하면 코로나-19가 아닐까 싶다. 전 세계를 휩쓴 코로나 팬데믹은 전 세계가 코로나 치료제와 백신 개발에 뛰어들게 했다. 하나둘 모습을 드러낸 백신 덕분에 ‘위드 코로나 시대’로 나아가는 일도 그리 머지않아 보인다.

그러나 예종철 교수는 치료 못지않게 코로나 바이러스의 확산을 막을 진단 기술이 중요하다고 이야기한다. 그가 주목한 기술이 바로 바이오이미징(Bioimaging)과 흉부 X-레이이다. 바이오이미징이란, 한 마디로 세포에서 일어나는 현상을 영상으로 나타내는 작업이라 할 수 있다. 이와 더불어 흉부 X-레이 연구를 병행하고 있는데, 코로나바이러스 감염 환자들의 높은 폐 병변 때문이다. 예 교수는 폐렴 진단에 사용되는 흉부 X-레이로 코로나바이러스를 진단할 수 있지 않을까 라는 질문을 던졌다.

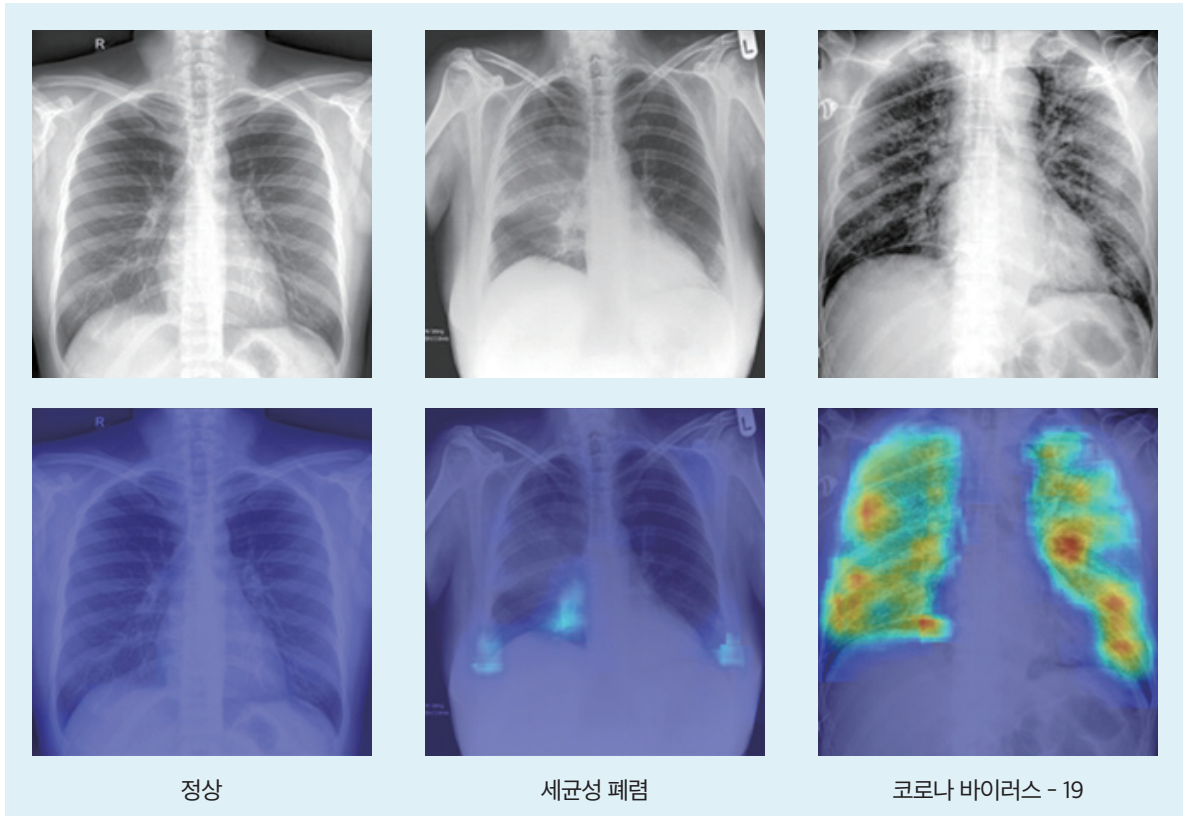
Q. 예종철 교수님, 코로나바이러스 진단 기술에 관심을 기울인 이유는 무엇인가요?

A. 지금까지 전 세계가 코로나바이러스 진단에 사용하는 기술은 역전사 중합효소 연쇄 반응(RT-PCR, Reverse Transcription Polymerase Chain Reaction)이라는 기술입니다. 줄여서 RT-PCR이라 부르는데, 바이러스의 특성상, 몸속에 침투한 바이러스의 양이 소량이라 바이러스의 유전 정보인 RNA를 DNA로 변환해 중합 효소로 증폭시켜 검출하는 방식입니다. 이러한 RT-PCR 검사는 코로나바이러스 감염 여부를 정확하게 확인할 수 있지만, 현재 사용되고 있는 방법으로는 많은 시간이 소요되고 있습니다.

그나마 PCR 기기가 있는 곳이라면 큰 문제가 아닐지 모르지만, 그렇지 않은 나라가 의외로 많습니다. 바이러스 진단부터 녹록한 일이 아닐 수도 있다는 이야기가 됩니다. 그래서 생각한 것이 X-레이였어요. 거의 모든 병원에 있는 X-레이 장비로 흉부 단순 방사선 촬영(CXR, 흉부 X-레이)을 할 수 있다면 코로나바이러스 감염 여부를 쉽고 빠르게 판단할 수 있겠다 싶었죠.

Q. 인공지능 흉부 X-레이 진단과 이전의 코로나바이러스 진단법의 차이점은 무엇인가요?

A. 가장 큰 차이라면 흉부 X-레이 진단 기술이 바이오이미징 정보를 사용한다는 부분일 거예요. 제가 주목한 것은 코로나바이러스에 감염된 환자 중 상당수가 폐 병변이 나타난다는 겁니다. 요즘 세대는 잘 모를 수도 있지만, 예전에 폐병 환자를 진단할 때 X-레이 사진을 보고 판단했어요. 그러니 인공지능으로 코로나바이러스 환자들의



정상

세균성 폐렴

코로나 바이러스 - 19



인공지능 흉부 X-레이
진단 기술은 93%의
정확도를 나타내고 있습니다.



폐 병변 사진을 학습시켜 찾게 하면 쉽게 진단할 수 있어요. 컴퓨터 단층 촬영(CT, Computed Tomography)으로 바이오이미징 기술을 적용해 볼까도 생각해 봤어요. 진단의 정확성이 높아서였어요. 하지만 흉부 X-레이 검사와 비교하면 시간이 더 걸리고 바이러스로 인해 장비가 오염 될 가능성이 남아있었습니다. 그에 비해 흉부 X-레이 검사는 정확성은 다소 떨어질지 모르지만, 최근 빠르게 늘어나는 감염자 수를 고려하면 신속하고 저렴한 비용으로 감염자를 찾아낼 수 있다는 점은 큰 매력 아닐 수 없습니다.

Q. 진단의 정확성은 얼마나 되나요?

A. 현재 인공지능 흉부 X-레이 진단 기술은 93%의 정확도를 나타내고 있습니다. 일부 코로나바이러스 감염 환자 중 폐 손상이 없는 점을 고려하면 꽤 높은 점수예요.

하지만 정확성을 더 높이기 위해 바이러스 감염 정도를 나타내는 ‘중증도’를 단계별로 나누고, 그에 따른 폐 손상 위치 정보를 모으고 있습니



인공지능 흉부 X-레이 기술 개발은
RT-PCR과 같은 코로나바이러스 진단장비가
부족한 국가들을 위한 대응책으로
시작했습니다.



다. 이를테면 폐를 좌·우, 상·중·하로 나누어 염증이 있는 부분의 위치와 면적 등에 따라 중증도를 구분해 모두 6단계로 구분하고 있습니다.

Q. 진단의 핵심은 정확도일 텐데요. 정확도를 높이는 과정에서 어떤 어려움이 있었을까요?

A. 사실 처음에는 지금처럼 정확도가 높지 않았어요. 합성곱 신경망(CNN, convolutional neural network)이라는 기술로 인공지능을 학습 시켰습니다. 코로나 환자가 아닌데 환자로 인식하기도 하고, 학습되지 않은 흉부 X-레이 사진들에는 편향된 진단을 내리기도 하더라고요.

이 문제를 해결하기 위해 인공지능 학습 기술을 바꿔야겠다고 생각했습니다. 그래서 찾아낸 것이 자연어 처리에 주로 사용되는 'Transformer' 로, 인공지능 챗봇(Chatbot) 서비스 등에 사용되는 기술입니다. 본래 챗봇은 문자나 음성으로 대화하는 기능의 컴퓨터 프로그램이에요. 자연어 처리 기술을 사용했다는 점이 의아할 수 있는데요. 자연어 처리 기술이 영상의학과 의사들의 진단법과 비슷해요. 의사가 '폐의 양쪽 아래쪽에 염증이 있으니 코로나바이러스 감염'이라고 판단하는 것처럼, 폐의 영역에 따른 특성을 단어로 간주해 특성 간의 관계를 파악해 진단하

는 거예요. 챗봇 기술을 도입하면서 흉부 X-레이의 코로나바이러스 진단의 정확도는 93%에 이를 수 있었습니다.

Q. 병원과의 협업이 무엇보다 중요할 텐데...

A. 처음 코로나바이러스가 유행할 무렵에는 감염자 수가 많지 않아 감염자의 흉부 X-레이 사진 역시 매우 적었습니다. 기본적으로 자료가 많아야 정보로 모을 수 있는데 애당초 힘든 싸움에 뛰어난 거죠.

이 문제를 해결하기 위해 크게 세 가지 방법으로 접근했습니다. 가장 먼저 자료수집을 위해 서울아산병원, 충남대학교 병원, 경북대학교 병원, 영남대학교 병원 이렇게 4개 병원과 연구 협약을 맺었어요. 연령대별, 감염 경과에 따른 코로나 감염 환자의 흉부 X-레이 정보를 모을 수 있었습니다.

그 다음으로 병원마다 다른 X-레이 장비와 촬영 자세 등을 조사하는 일이었어요. 환경적 요소를 제외한 흉부 X-레이 정보를 모으기 위하여 인공지능 학습에서 일반화(Generalization) 방법을 사용했어요. 일종의 '통계'이고 '평균'화하는 작업이에요. 이 과정에는 전처리(Preprocessing) 기술을 써야 하죠. 그 기술을 자체적으로 개발했습니다.

마지막으로 필요한 것은 코로나 환자와 아닌 사람을 구분할



인공지능 자연어 처리 기술이 흉부 X-레이와 만나면서
코로나바이러스 진단의 속도를 업그레이드 시켰다.

의외의 만남이라는 신선한 ‘충격’이 새로운 가능성을 열어 놓은 것이다.



수 있어야 하겠죠. 그래서 코로나바이러스 감염 환자뿐 아니라 폐렴이나 기타 폐 이상 소견을 가진 환자들의 흉부 X-레이 데이터를 인공지능 학습에 추가했습니다. 몇십 년의 데이터가 모이면서 폐의 부분별로 나타나는 질환의 특성을 찾을 수 있었고, 결국 진단의 정확성을 높일 수 있었습니다.

Q. 앞으로의 계획은 무엇인가요?

A. 처음 인공지능 흉부 X-레이 기술을 개발할 때는 RT-PCR 등 코로나바이러스를 진단할 수 있는 장비가 부족한 나라들에 대한 대응책으로 접근했습니다. 인도네시아나 인도와 같은 나라에서는 아직 의료 시설이 잘 갖추어지지 않았어요. 그래도 X-레이 시설은 갖추고 있거든요. 있는 걸 활용하는 방안이 최선이라 생각했습니다.

나아가 이 기술은 결핵 환자 진단에도 활용될 거예요. 인도네시아 등에서는 아직 결핵으로 사망하는 예가 많아요. 인공지능 흉부 X-레이를 사용하면 X-레이 사진 하나로 결핵 진단도 빠르게 이루어지니 의사가 없는 환경에서도 병이 악화하거나 전염

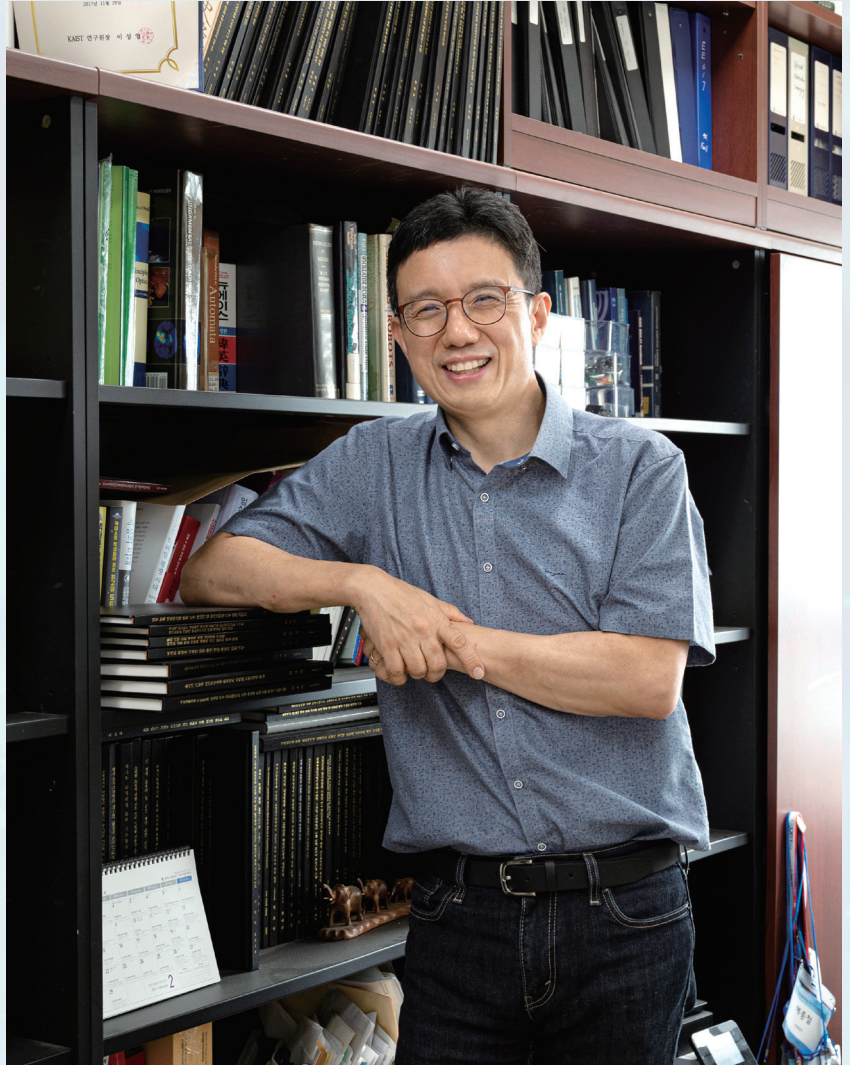
되는 경우를 막을 수 있을 겁니다.

좀 더 발전한다면 폐 관련 질환은 흉부 X-레이 진단법이 적용될 수 있으리라 봅니다. 자연어 처리 기술을 바탕으로 한 인공지능이 폐 각 부위에서 나타나는 특성을 학습하여 연결 고리를 찾을 거예요. 연결 고리를 분석하면 질환마다의 특성이 나타나기 때문입니다. 결국 흉부 X-레이 결과에서 여러 폐 질환을 밝혀낼 수 있습니다.

헬스케어의 블루칩, 인공지능

그동안 인공지능 기술은 자율주행 자동차, 알파고 등 전자제품, 서비스 산업에서 빛을 발해 왔다. 예종철 교수는 인공지능 기술을 헬스케어(Health Care) 분야로 확장했다. ‘프로메디우스(주)’라는 스타트업과 코로나바이러스 진단법 상용화에 나섰고, 서울아산병원에서는 임상 시험에 들어간 상태다. 서울대학교, 디알텍(DRTech)과 함께 인공지능 영상 진단이 가능한 차세대 X-레이 시스템을 개발하고 있다.

예 교수는 앞으로는 환자의 생체 정보를 기반으로 진단에



필요한 정보를 추출해 인공지능 진료 기구를 만들어 낼 수 있을 것으로 전망했다. 그뿐만 아니라 방대한 양의 유전체 정보를 가공·추출하는 기술, 골 나이 진단 기술도 가능할 것이라 한다. 더불어 '마음의 병'이라 불리는 정신 질환 분야에서도 환자의 증상을 바탕으로 인공지능이 진단할 날이 머지않았다고 예견했다.

조금만 생각을 바꾸면 보이는 세상은 무궁무진하다. 인공지능 자연어 처리 기술이 흉부 X-레이와 만나면서 코로나바이러스 진단의 속도를 업그레이드 시켰다. 의외의 만남이라는 신선한 '충격'이 새로운 가능성을 열어 놓은 것이다.



같이에 가치를 더하다 - 나노포토닉스의 세 연구자

물리학과 이용희 명예교수
물리학과 서민교 교수
물리학과 이한석 교수



KAIST는 지난 2018년부터 세대를 뛰어넘는, 지속 가능한 연구 혁신을 위해 ‘초세대 협업연구실’을 운영하고 있다. 학문적 업적이 뛰어난 교수의 연구 업적과 노하우 등 학문적 유산이 소실되지 않도록 후배 교수들이 선배 교수의 연구 업적을 계승해 더욱 발전시킬 수 있도록 지원하는 제도다.

나노포토닉스 분야의 교육과 연구를 위해 모이다

‘나노포토닉스 초세대 협업연구실’은 광 결정 레이저 분야의 세계적 권위자인 물리학과 이용희 명예교수가 책임 교수를 맡고, 젊은 교수인 이한석 교수와 서민교 교수가 함께 연구를 수행하고 있다.

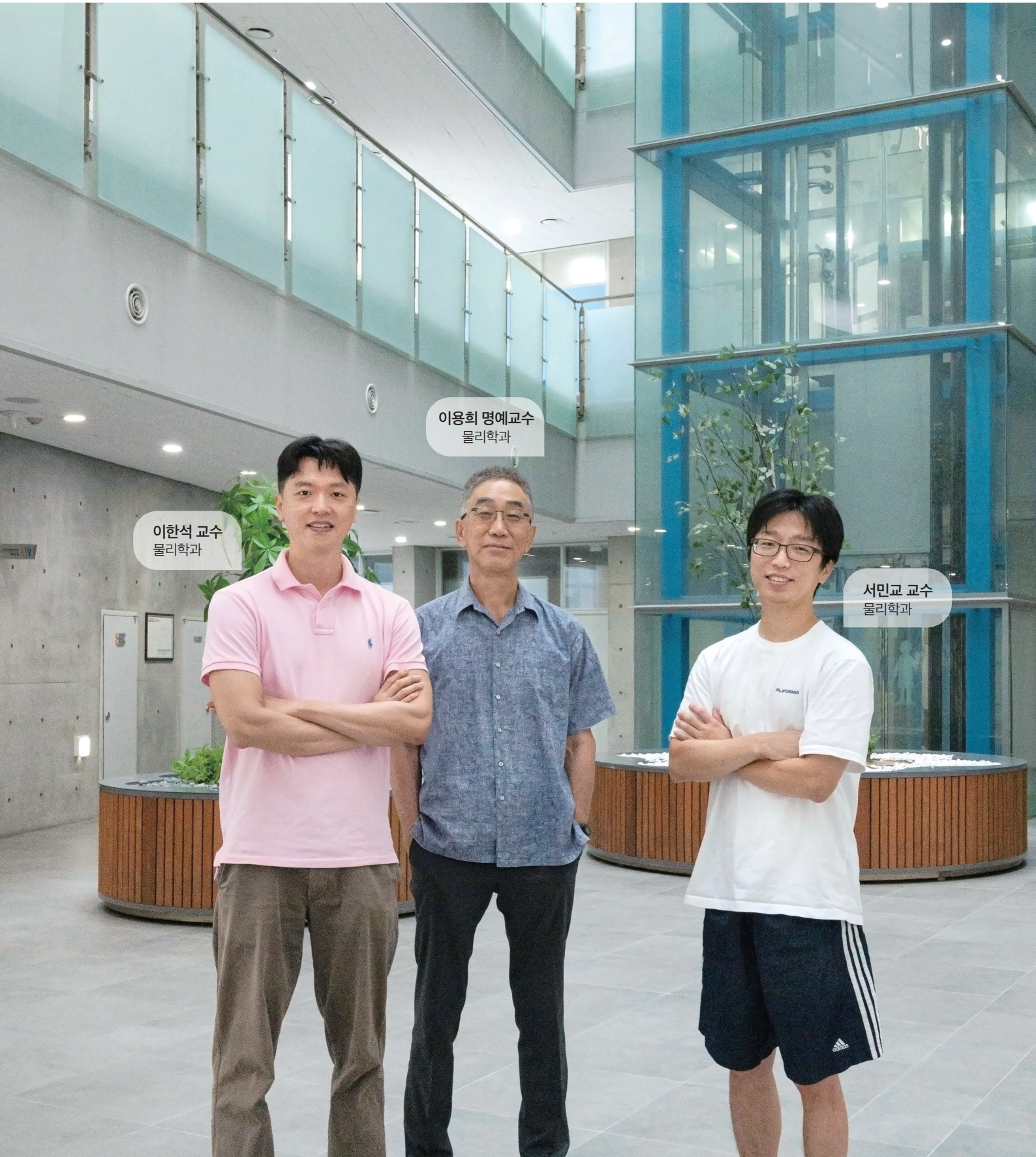
물리학이라는 공통분모 아래에 모여 있지만, 이들 세 교수의 연구 분야는 조금씩 차이를 보인다. 이용희 명예교수가 나노광학(nanophotonics)을 연구하며 토대를 이루고 있고, 그 안에서 세부적으로 서민교 교수는 빛과 물질의 상호작용을, 이한석 교수는 광공진기에서의 광학적 현상을 주로 연구하고 있다.

책임 교수와 신진 교수의 만남, 수평적이고 수직적인 협력 관계가 형성되면서 연구의 효율성을 높일 수 있었다. 먼저 책임 교수가 비전을 제시하며 연구 방향의 큰 그림을 그리면, 신진 교수들은 아이디어를 첨가해 책임 교수의 업적에 ‘가치’를 더하며 발전하고 있다. 나아가 조금씩 색깔을

달리하는 세 교수의 색을 합쳐 ‘미래 비선형 광전자 소자¹⁾ 및 양자광학 소자 개발’을 목표로 하고 있다. 광학 마이크로와 나노 공진기를 기반으로 매우 작은 공간에 빛을 가두고 물질과 상호작용 시킴으로써, 빛을 제어하는 새롭고 효과적인 방식을 제안하고, 더 나아가 빛과 물질의 상호 작용 및 그 한계를 밝히는 연구에 나서고 있다. 이를 통해 양자 통신에서 생물 물리에 이르기까지 다방면에서 활용할 수 있는 핵심 플랫폼을 개발할 수 있을 것으로 기대하고 있다.

나노포토닉스란?

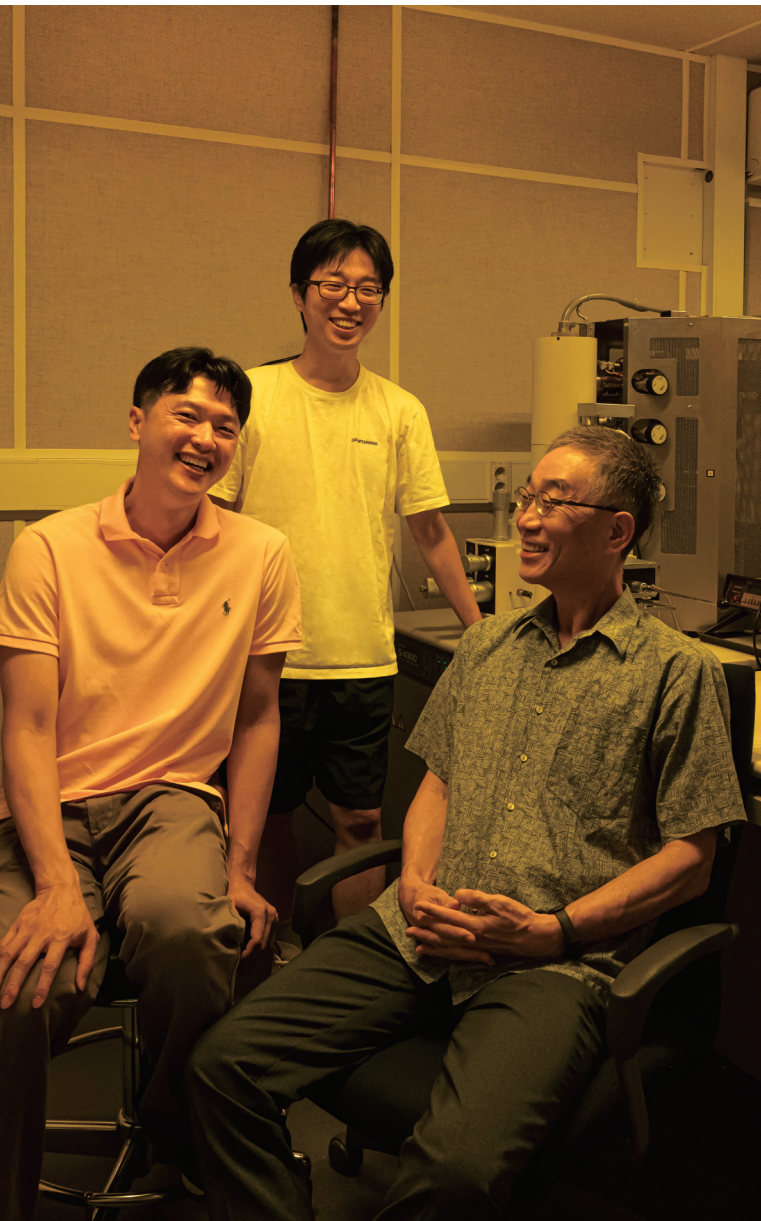
나노포토닉스(Nanophotonics)는 나노 기술과 광자 기술이 합쳐진 새로운 분야다. 전기가 아닌 빛으로 신호를 주고받는 광 집적회로의 핵심 기술로, 양자 통신, 양자 정보 처리에 활용될 수 있을 것으로 전망된다. 이 분야의 핵심 기술은 빛을 작은 공간에 얼마나 오랫동안 가두어 둘 수 있는지와 밀접한 관련이 있다. 작은 공간에 빛이 오래 머물 수 있다면, 빛의 세기가 커지면서 물질과 강한 상호작용을 하



이한석 교수
물리학과

이용희 명예교수
물리학과

서민교 교수
물리학과



게 된다. 아울러 비선형 현상이나 양자광학적 현상들을 발현 및 증대시킬 수 있다.

한편 공진기는 에너지나 파동을 담아 두는 장치다. 소리굽쇠로 소리를, 광공진기(optical resonator)는 빛을 담아둔다. 빛을 얼마나 잘, 그리고 얼마나 오래 가둘 수 있는지가 관건이다. 이를 수치화하여 비교하는데 부피(V, volume) 당 큐인자(Q, quality factor, 진동기나 공진기의 감쇠 정도를 나타내는 무차원 매개 변수), 곧 Q/V를 척도로 설명한다. Q/V값이 클수록 빛을 강하게 가두어 물질과 상호작용할 수 있게 하는 공진기가 되는 셈이니, 연구의 핵심은 Q/V가 큰 값을 갖는 쪽으로 진행된다.

작은 퍼즐들로 큰 그림을 맞춰 가듯이

그동안 이용희 교수는 광자를 얼마나 작은 공간에 가둘 수 있는지에 집중하여 빛의 파장 정도의 작은 공진기를 만드는데 애써왔다. 그 결과 빛 파장의 절반 정도 주기로 규칙적으로 배열된 구조를 이용해 광 결정(photonic crystal)이라는 유전체 물질로 초소형 광공진기를 만들었다.

이러한 광 결정은 특정 주파수 대역의 빛을 가두게 되는데, 이 주파수 대역을 광 밴드 갭(photonic band gap)이라 한다. 광밴드는 일정한 구조 내에서 빛이 존재할 수 있는 상태를 나타내며, 에너지 밴드의 개념으로 쉽게 이해할 수 있다. 에너지 밴드는 특정 구조가 형성되면 그 구조 내에 입자나 파동이 존재할 수 있는 상태의 해에 해당한다고 생각할 수 있다. 밴드 갭은 이러한 해가 존재하지 않는 구간이다. 곧 광 결정으로 일정한 공간을 둘러싸면 광 밴드 갭에 해당하는 주파수를 가지는 빛은 다른 곳으로 빠져나가지 못하고 갇히게 된다.

서민교 교수는 다양한 광학 공진기를 기반으로 빛과 물질의 상호작용을 연구하고, 양자광학 소자로 응용하기 위한 연구를 진행하고 있다. 비선형 매질로 이루어진 광학 공진기부터 유전체가 아닌 금속 나노 구



나노포토닉스(Nanophotonics)는

나노 기술과 광자 기술이 합쳐진 새로운 분야다.

전기가 아닌 빛으로 신호를 주고받는 광 집적회로의 핵심 기술로,

양자 통신, 양자 정보 처리에 활용될 수 있을 것으로 전망된다.



조에 기반을 둔 플라즈모닉(Plasmonic) 공진기, 메타물질(meta material) 기반 공진기에 이르기까지 광범위한 연구를 진행하고 있다. 광 결정은 매질이 빛 파장의 절반 정도의 주기로 배열되어 있지만, 메타물질은 이보다 훨씬 작은 빛 파장의 10분의 1 정도 규모로 매질을 배열한 것이다. 이때 빛의 전파와 굴절 현상이 복잡해지면서 기존의 자연계 매질 하나로만으로는 구현하기 어려운 광학적 성질을 만들어 낼 수 있다.

한편 이한석 교수는 ‘ultra-high-Q resonator’라는 공진기를 연구한다. 일반적으로 광학 공진기(optical resonator)는 크기(V)가 클수록 큐인자(Q)도 함께 커지는 경향이 있다. 앞의 두 교수와는 반대로, 이 교수는 V를 줄이는 방향이 아닌, Q를 늘리는 쪽으로 연구해왔다. 빛을 담을 수 있는 시간을 늘릴 수 있도록 난반사가 일어나지 않게 소자의 표면을 매끄럽게 만들고, 빛이 물질에 흡수되지 않도록 불순물을 극도로 적게 하는 것이 과제다. 이러한 과정을 통해 현재 만들 수 있는 공진기의 Q/V를 비교해보면, V를 최소화하는 연구로 얻은 값과 유사하다.

경험적으로 Q/V값은 $10^6 \times (\frac{\lambda}{n})^3$ (lambda는 빛의 파장, n은 물질의 굴절률) 부근에서 한계가 나타난다. 다만, 이 한계는 실험적·경험적이니 이론적 한계는 아니며, 이를 넘기 위한 연구들이 꾸준히 진행되고 있다.

KAIST, 광학 분야 연구 중심점이 되도록

이처럼 나노포토닉스 초세대 협업연구실은 아이디어를 공유하는 일에서 출발했다. 그러나 여기에 머물지 않고 학

부생들과 대학원생들의 학습 지원, 나아가 해외 연구자들과의 협업도 발 빠르게 진행하고 있다. 코로나바이러스로 몸살을 앓고 있는 시국에 대면 만남은 어렵지만, 온라인 세미나나 워크숍으로 그 간극을 매우고 있다.

‘빛’이라는 화두가 이들 세 과학자를 이어주었지만, 이들은 광학이라는 학문이 물리학을 넘어 여러 분야에서 유용하게 활용되리라 기대하고 있다. 후배 과학자들, 다방면의 과학자들이 좀 더 수월하게 연구할 수 있도록 홈페이지(<https://www.qntc.kaist.ac.kr/>)를 개설해 누구나 의견 교류를 할 수 있는 장(Seminars & events)을 마련해 두었고, 실험 장비를 공유할 수 있는 예약 시스템(Online reservation)을 구축해 개방해 두었다. 빛을 가두기 위해 기를 쓰는 이들이지만 학문적 지식은 널리 퍼뜨리려는 이들의 사고, ‘열린 사고’의 가능성을 열어 놓고 있었다.

1) 비선형 광전자 소자(Nonlinear opto-electronic device) 고출력 레이저나 공진기에 집속된 빔처럼 강한 빛에 의해 매질에 비선형 분극이 발생해 빛의 파장이 2배 또는 그 이상으로 바뀌거나 위상이 바뀌는 현상을 비선형현상이라고 하며, 이를 활용해 빛을 효과적으로 생성 및 제어하는 초소형 광학소자를 비선형 광전자 소자라고 한다. 현재 광통신의 전송로에서 일부 실용화되어 있다. 통신 분야에서 주로 활용되는 파장 변환, 증폭 등의 기능이 향후에는 광 논리 스위치, 광 메모리 등 미래 광소자 구현에 적용 가능하다. 이렇게 되면 시간적 고속성, 공간적 단열 처리 등의 특성을 살린 초고속 대용량 코히런트 통신뿐 아니라 꿈의 컴퓨터라 할 수 있는 광컴퓨터의 실현이 가능해진다.

효율적인 안전성 아연·브롬 레독스 흐름 전지

생명화학공학과 김희탁 교수



고갈될 염려도 없고, 환경오염이라는 말썽도 없는 에너지 하면 떠오르는 것은? 태양광이나 풍력 등 신재생 에너지가 아닐까 한다. 하지만 이들 에너지는 빛이 있는 낮 동안, 혹은 바람이 부는 때에만 생겨나고 그 시간이 지나고 나면 사라지는 휘발성이 높다는 특성 또한 갖고 있다. 다시 말해 효율적인 에너지 생산을 위해서는 필요할 때 찾아 쓸 수 있는 저장 시스템의 개발이 과학자에게 주어진 과제인 셈이다.

신재생 에너지 산업의 기폭제, ESS

신재생 에너지의 가장 큰 특징이라면 만들어지자마자 쓰지 않으면 사라진다는 점이다. 태양이 없는 밤에도, 바람이 불지 않은 날에도 에너지를 쓰고 싶다면, 저장해 두었다 꺼내 쓰는 방법이 최선일 듯하다.

바로 에너지 저장 시스템(ESS, Energy storage systems)이 그 역할을 하고 있다. ESS는 에너지 저장과 적기 공급 외에도, 에너지 출력, 주파수 조정, 출력 안정화, 피크 전력 저감, 남은 전력 판매 등에도 활용되고 있다. 이 때문에 신재생 에너지 산업이 발전할수록 ESS 수요 또한 급증할 수밖에 없다.

그러니 탄소 포인트제가 현실로 다가오는 요즘, 전 세계는 신성장 산업으로 ESS를 육성하고 있다. 특히 우리나라는 정부의 지원 정책에 힘입어 지난 2017년부터 국내 ESS 시장은 급격히 확대되었고, 2018년에는 세계 시장의 1/3을 차지할 정도로 급성장했다.

그러나 그 이면에는 뼈아픈 아픔도 뒤따르고 있다. 2017년 8월 이후 리튬·이온 전지 기반의 ESS의 발화 사고가 잦았던 것이다. 안전성 문제가 불거지면서 안전 강화 대책 등을 요구하는 목소리가 뒤를 이었다. 전 세계 ESS 시장 규모

는 2018년 11.6GWh에서 16GWh로 성장하는 사이, 우리나라 시장은 5.6GWh에서 3.7GWh로 뒷걸음쳤다.

또한 ESS의 높은 가격도 문제다. ESS 시스템은 kWh당 700달러를 넘기고 있어 사업성이 낮은 편이다. 대용량 전지의 안전성, 그리고 높은 가격으로 우리나라 에너지 산업이 흔들리는 모습은 김희탁 교수에게는 연구의 방향을 잡는 계기로 작용했다.

‘물’을 품은 레독스 흐름 전지, 안정성을 높인다

리튬·이온 전지는 일명 충전지로 불리는 ‘2차 전지’에 비해 에너지 밀도가 높고 동작 속도가 빨라 전기 자동차, 전자 기기 등 우리 삶 곳곳에서 널리 사용되고 있다. 그러나 리튬·이온 전지는 발화성 소재인 유기 화합물 계열의 전해액을 사용하고 있어 애초에 발화 가능성을 내포하고 있다.

이에 반해 레독스 흐름 전지¹⁾는 수계 전해질을 전해액으로 사용한다. 물을 주성분으로 하는 전해질을 사용해 유기계 전해액에 비해 발화 가능성이 낮아 안정성이 높은 편이다. 또한 레독스 흐름 전지의 활성 물질²⁾은 발화성이 낮은 액체에 녹아 있어 에너지 저장의 안정성을 확보할 수 있었다.



아연·브롬 레독스 흐름 전지, 가성비와 안전성을 잡다

현재 레독스 흐름 전지는 바나듐 산화·환원 흐름 축전지(VRFB, Vanadium Redox Flow Battery), 리튬 이온 전지(LIB, Li-Ion), 나트륨·황 전지(Nas Battery), 납축 전지(Lead Acid, Battery), 아연·브롬 레독스 흐름 전지(Zn-Br RFB) 등이 꼽히고 있다.

이처럼 다양한 레독스 흐름 전지 가운데 아연·브롬 레독스 전지를 선택한 이유는 무엇일까? 김 교수는 ‘Chemical cost’로 설명했다. ‘Chemical cost’는 1kWh의 에너지를 저장하는데 소요되는 활성 물질의 가격을 뜻한다. 아연과 브롬은 전지 활성 물질 중 나트륨과 황을 제외하면 Chemical cost가 가장 낮다. 리튬·이온 전지가 50~100달러인데 반해, 아연과 브롬은 10달러 아래라 원재료의 경쟁력도 높은 편이다. 전해액의 안정성이 뛰어나다 보니 사용 온도 범위가 넓다. 게다가 전해질 용액 내 아연·브롬의 농도가 높아 에너지 생성 밀도를 끌어올려 시스템의 부피를 줄일 수 있다는 점 역시 큰 매력으로 작용했다.

또한 기존의 레독스 전지는 전지 외부에 전해액 저장 탱크와 전해액을 순환시키는 펌핑 시스템을 필요로 한다. 이러한 보조 기관들은 비용을 증가시킬 뿐 아니라 구동 과정이 복잡해질 수밖에 없었다. 김 교수는 전지 내부에 활성 물질을 넣는 방안을 강구하면서 저장 탱크와 펌핑 시스템을 제거할 수 있었다. 결과적으로 전지의 가격이 낮아졌고, 에너지 밀도가 향상되면서 효율성이 높아진 것이다.

기술적 한계, 나무가 아닌 숲을 보는 시선에서 답을 찾다

연구 과정에서 어려웠던 점은 무엇이었을까? 김 교수

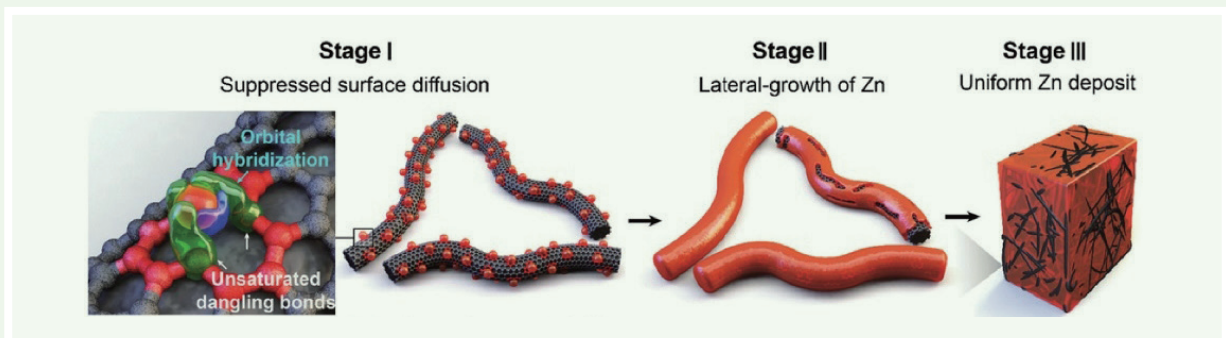
는 크게 세 가지를 들었다. 먼저 전해액에 녹아 있는 활성 물질이 반대 극으로 이동하는 과정에서 교차(crossover)로 인한 자가 방전을 꼽았다. 그 다음으로 충전과 방전이 반복되는 과정에서 아연 이온이 금속으로 석출되는 전착(electrodeposition), 역반응으로 인한 용출(dissolution)의 가역성을 확보할 수 있는가 하는 문제였다. 마지막으로 물 분해 과정에서 발생하는 산소와 수소 기체를 어떻게 막을 것인지였다.

김 교수는 이들 문제를 해결하기 위해 소재뿐 아니라 전지 구조 설계 부분까지 감안해 해결책을 모색할 계획이다. 이를테면 애초에 기체 발생을 막기 어렵다면 발생된 기체를 전지에서 없애고, 줄어든 전해질을 스스로 충전(filling)할 수 있는 구조를 만드는 식이다. 이 외에도 전극이나 멤브레인(membrane)의 성능을 높이는 방안 등 다각적인 시도는 계속되고 있다.

전지 산업, 다변화로 시대의 요구에 답하다

김 교수가 연구한 아연·브롬 전지는 리튬·이온 전지에 비해 에너지 밀도가 낮다. 전자기기나 전기자동차처럼 에너지 밀도가 높아야만 하는 산업에서는 경쟁력이 떨어진다는 이야기다. 부피와 무게에 대한 제약이 그리 크지 않고 안정성과 가격이 중요한 요소로 간주되는 분야에서는 아연·브롬 전지가 더 적합할 수 있다. 다시 말해 사용되는 환경과 요구 사항 등에 맞추어 전지산업도 다변화에 나서야 한다는 것이 김 교수의 생각이다.

하지만 공통적으로 전지 산업은 단순한 구조, 높은 수명과 효율성을 갖춘 제품이 매력적으로 다가올 것이라며 그는 100W급 시제품에서 1kW급으로 전지의 성능을 높일 예정이다. 나아가 미래 산업에 맞춰 전기자동차나 전자기기용





김상욱 교수
신소재공학과

이재우 교수
생명화학공학과

이진우 교수
생명화학공학과

고동연 교수
생명화학공학과

강지형 교수
신소재공학과

김희탁 교수
생명화학공학과

전지는 부피 당 에너지 밀도가 높은 리튬 금속 전극 기반 전지를, 무인항공기용 전지로는 무게당 에너지 밀도가 높은 리튬 황 전지와 안전성 확보가 중요한 ESS용 전지는 수계 전지를 각각 발전시켜 나갈 계획이라고 한다.

공동 연구, 업그레이드의 출발점

김 교수는 그간의 성과는 혼자만의 노력에서 벗어난 것이 아니라고 강조한다. KAIST, GIST, UNIST, DGIST 이렇게 4대 과기원의 공동 작품이라는 것이다. “과학기술 대학이라는 공통분모가 있어서 인지 함께하는 교수님들과 통하는 부분이 참 많다.”며 공동 연구의 가치를 이야기했다.

비록 온라인상이긴 하지만 토론에서 시작된 여러 회의를 거치면서 문제 해결의 실마리를 찾기도 했고, 자극을 받거나 새로운 아이디어를 얻기도 했다. 다만 대용량 전지 설계나 제작 경험을 가진 연구자가 적어 개발한 기술

을 구현하는 과정에서 일어날 수 있는 시행착오를 줄이는 방안은 여전히 찾고 있다고 덧붙였다.

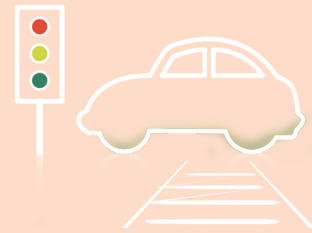
김 교수는 과기원 공동 과제에 참여하는 학생들이 교류를 통한 협력 연구의 중요성을 깨닫고 함께 경험을 공유하며 시야를 넓힐 수 있었으면 하는 바람을 드러냈다. 코로나 팬데믹이 끝나는 날, 직접 만나 서로의 기술을 배우고 이해하는 시간을 고대한다며 인터뷰를 마무리했다.

1) 레독스 흐름 전지(Redox Flow Battery)_ 환원(Reduction), 산화(Oxidation), 흐름(Flow)이란 단어가 합쳐진 말이다. 레독스란 전극에서 발생하는 산화·환원(redox) 반응을 통해 전해액에 전기 에너지를 장시간 저장할 수 있다. 흐름(flow)이란 펌프를 이용해 전해액을 전기 화학 반응이 일어나는 스택(stack, 전체 시스템의 출력은 스택의 크기와 개수에 의해 결정)에 흘려주는 시스템을 의미한다.

2) 활성 물질(active material)_ 축전기에서 반응에 참여하는 물질로, 전기 에너지를 화학 에너지로 변환해 축적하고 화학 에너지를 전기 에너지로 바꾸어 방출한다.

석박사모험연구 ①

스스로 풀어내는 교통 제어 시스템, 인공지능 교통경찰



국가 전체적으로 교통 혼잡으로 인한 사회적 손실이 59조 6000억원에 달하는 것으로 나타났다. 교통 정체 문제 해결을 위해 도로 건설이나 통행 요금제 등 다양한 방법들이 제시되었지만, 여전히 해결해야 하는 문제로 남아있다. 건설및 환경공학과와 윤진원 박사와 유화평 박사과정 그리고 산업및시스템공학과 안규리 박사과정은 비용-효율적인 해법으로 ‘교통 신호 제어 최적화’에 집중했다. 그리고 이 연구팀은 인공지능 기술을 접목한 ‘똑똑한 교통 신호’를 제안한다.

교통 정체, 현대 도시에서 해결해야 할 중요한 문제

한국교통연구원에 따르면, 교통 정체로 인한 사회적 비용은 조사를 시작한 1994년부터 꾸준히 증가하였고 그 비용은 2017년 기준 약 59조 6000억원으로 우리나라 GDP의 약 3.4% 수준에 이르렀다. UN에 따르면 더욱 심각한 것은 인구 1,000만명 이상의 메가시티(megacity)가 2018년 33개에서 2030년 43개로 증가할 것으로 예상되어, 이러한 교통 혼잡 문제는 더욱 심화될 것으로 예상된다. 이는 점이다.

똑똑한 인공지능 교통경찰

현재 전 세계적으로 사용되고 있는 교통 신호 제어 방식은 1990년대 개발된 적응형 신호 제어 기법(ATSC, Adaptive Traffic Signal Control)이다. 도로에 매설된 검지기로부터 수집된 데이터를 기반으로 통계를 낸다. 이 방식은 안정적으로 교통 신호 제어 방안을 제공한다는 장점이 있지만, 교통 패턴이 달라지거나 갑작스레 교통량이 증가할 때는 효과가 떨어진다는 단점이 있다.

이러한 이유로 국내외 여러 도시에서 교통 빅 데이터를 구축하고 있다. 교차로마다 카메라를 설치하고 수집된 영상 분석에 딥 러닝¹⁾ 기술을 도입해 양질의 교통 빅 데이터를 확보했다. 하지만 신호 제어 모델 개발에는 여전히 난항을 거듭하고 있다.

빅 데이터와 딥 러닝의 만남

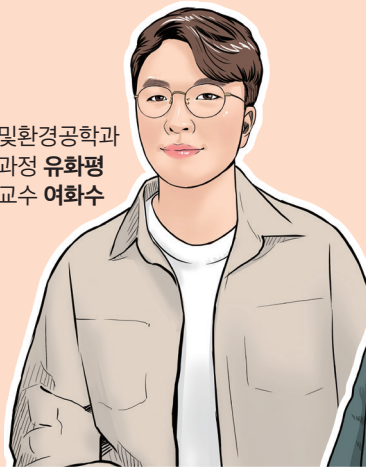
문제해결을 위해 연구팀이 제시한 방법은, 하나의 학습된 모델로 낮과 밤, 주중과 주말 등 다양한 교통 환경에 대응할 수 있는 다중 교차로 신호 제어 장치를 개발하는 것이다. 교통경찰이 현장에서 수동으로 교통 신호기를 제어하는 모습에서 아이디어를 얻었다. 교통경찰은 교차로 별 신호 주기마다 통과 차량 수가 최대가 되도록 녹색 신호를 부여한다. 이웃한 교차로와 연동되도록 다음 교차로의 근무자와 현재 통과하는 차량 수와 전략을 공유한다.

먼저 카메라, 루프 검지기 등을 이용해 실제 관찰 가능한 교통 데이터를 강화학습의 변수로 설정했다. 각 도로 신호 앞에 대기한 차량 수, 평균 속도, 유입·유출량으로 교통 상태를 표시했다. 그리고 한 신호 주기 동안 통과한 차량 수를 강화학습의 보상 변수로 삼았다. 또한 각 교차로에 있는 녹색 신호 시간을 제어 변수로 설정, 각 도로에 적절한 녹색 신호 시간을 분배하는 정책을 학습하고자 했다.

다중 교차로 간의 연동 문제를 해결하기 위해, 교통 상태를 나타내는 특성과 신호 제어의 관계를 고려해 교통 네트워크를 노드(node)와 에지(edge)로 구성된 그래프로 표현 후, 메시지 전



산업및시스템공학과
박사과정 안규리
지도교수 박진규



건설및환경공학과
박사과정 유화평
지도교수 여화수



건설및환경공학과
박사 윤진원
지도교수 여화수

“

이 연구는 MPGNN을 통해 다중 교차로 간 협력적인 신호 체계를 구축하고, 그래프 표현을 통해 네트워크의 교통 상태를 더 일반화된 공간에서 표현함으로써 경험하지 않은 교통 상태에도 대응할 수 있는 전이성 높은 모델을 개발했다는 데 의미를 둘 수 있다.

”

달 그래프 신경망(Message Passing Graph Neural Network, MPGNN)으로 처리했다. 처리한 정보를 통해 교차로마다 적합한 녹색 신호 시간을 분배했다. 최종적으로 각 신호기마다 정보를 공유하여, 마치 교통경찰이 정보를 주고받듯이 상호 협력적인 신호 솔루션을 찾는 연동 정책을 학습시켰다.

이렇게 제안된 신호 제어 시스템의 효과는 어떨까? 제안된 알고리즘이 차량 정체를 얼마나 빠르고 효과적으로 해소할 수 있는지를 검증해 보았다. 결과는 긍정적이었다. 처음에 예상하지 못했던 패턴의 정체 상황도 해소할 수 있었다.

이 연구는 MPGNN을 통해 다중 교차로 간 협력적인 신호 체계를 구축하고, 그래프 표현을 통해 네트워크의 교통 상태를 더 일반화된 공간에서 표현함으로써 경험하지 않은 교통 상태에도 대응할 수 있는 전이성 높은 모델을 개발했다는 데 의미를 둘 수 있다.

공동연구의 노하우? 충분한 대화

서로 다른 배경지식과 쓰는 용어가 다른 두 연구팀의 공동연구는 서로를 이해하는 과정에서부터 시작해야 했다. 경험을 공유하고 충분한 대화가 없었다면 극복하기 어려웠을 듯하다. 윤진원 박사는 졸업 후 산업계에서 이번 연구에서 개발한 인공지능 교통 신호 제어 시스템을 현실화하는 작업을 진행하고 있다. 남은 연구팀은 안정적으로 작동하고 더 확장된 시스템을 만들기 위한 학술적인 연구를 지속하고 있다. 교통 신호에 적용할 모델을 찾는 과정이었지만 이때 경험한 노하우는 널리 확장될 수 있을 것으로 보인다.

1) 딥 러닝(deep learning). 인간의 두뇌가 수많은 데이터 속에서 패턴을 찾아 사물을 구분하는 정보 처리 방식을 모방해 컴퓨터가 사물을 분별하도록 개발된 기계학습 기술. 딥 러닝 기술을 적용하면 사람이 모든 판단 기준을 제시해 주지 않아도 컴퓨터 스스로 인지·추론·판단할 수 있게 된다. 음성이나 이미지, 사진 분석 등에 널리 활용되고 있다.

석박사모험연구 ②

기계학습, 양자역학 이론에 적용할 수 있을까?

양자역학과 기계학습... 어찌 보면 뜬금없는 조합처럼 보인다. 일반적으로 ‘원자, 분자 등 미시적인 물질세계를 설명하는 현대 물리학의 기본 이론’으로 설명되는 양자역학과, 인공지능의 한 분야인 기계학습이 어우러졌으니 그럴 만도 하다.

하지만 ‘유레카’는 의외의 장소에 터질 때도 있다. 새로운 시도를 위해 전 기및전자공학부 이룡규·노민종 박사과정과 원자력및양자공학과 권태진·이서영 박사과정이 새로운 조합을 시도했다. 이유는 ‘양자역학 제1원리 계산에 기계학습 알고리즘을 적용’을 위해서...



기계학습, 미시 세계로 들어가다

김용훈 교수가 이끄는 연구팀은 ‘나노 광 및 에너지 소자’를 연구하고 있다. 반면 조승룡 교수 연구팀은 의료 영상 및 산업 영상을 분석하고 있다. 다양한 영상을 다루다 보니 기계학습(Machine Learning, 사람이 학습하듯 컴퓨터에 데이터를 주어 학습하게 해 새로운 지식을 창출함)을 이용한 연구도 함께하고 있다.

기계학습을 위해서는 대량의 데이터가 밑바탕이 되어야 한다. 현재 국가슈퍼컴퓨팅센터(KISTI)에서는 많은 계산 자원량이 밀도범함수 이론을 기반으로 한 제1계산 연구에 활용되고 있다. 만약 기계학습으로 초기 전자밀도를 예측하여 자체-일관장 방법의 루프를 단축해 계산의 속도를 높일 수 있다면, 계산량 및 경제적 자원을 효과적으로 줄이며 국가 경쟁력에 이바지할 수 있을 것으로 기대한다.

양자역학적 물질 시뮬레이션, 제1 원리 계산법

먼저 제1 원리 계산 방법(first-principles calculation method)이 무엇인지 살펴보자. 물리 법칙과 상수, 입자에 대한 기본적인 정보만으로 물질의 물리·화학적 성질을 알아내는 것이다. 쉽게 말해 눈에 보이는 실험을 거친 데이터 없이 한 번도 본 적 없는 물질의 모든 특성을 알아내는 것이다. 이론적으로만 보면 미시 세계의 양성자, 중성자, 전자의 수와 위치만 알면 그 속에서 벌어지는 모든 정보를 알 수 있다는 이야기다. 슈뢰딩거 방정식을 거치면 말이다.

이론과 달리 실제로는 전자와 원자는 수없이 많고 이들 간의 상호작용도 일어나고 있고, 퍼텐셜 에너지의 변화도 고려해야 하는 등, 수학적으로 보면 이들 모두를 담아 완벽하게 풀어내기란 사실상 불가능하다. 따라서 일부의 움직임만 제한하거나 혹은 몇몇 입자는 정지해 있다는 가정 아래 계산한다.

전기및전자공학부
박사과정 이릉규
지도교수 김용훈



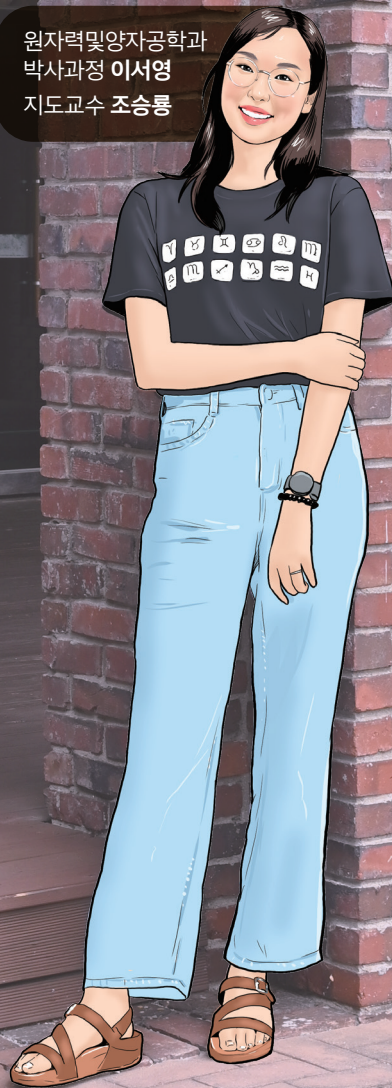
원자력및양자공학과
박사과정 권태진
지도교수 조승룡



전기및전자공학부
박사과정 노민중
지도교수 김용훈



원자력및양자공학과
박사과정 이서영
지도교수 조승룡



“

기계학습은 제1 원리 계산 분야에서 접근하지 못했던 이론상의 미지 영역을 발굴할 수 있게 했습니다.

반대로 제1 원리 계산 방법은 정립된 이론적 토대에서 물리적으로 의미 있고 편향되지 않은

학습 데이터를 무한히 생성할 수 있을 것입니다.

모험에서 시작된 연구이지만,

서로 다른 두 분야의 융합 연구는 연구의 가치를 증폭시켜 주었다.

”

제1 원리의 계산 방법에는 밀도 범함수 이론(DFT, Density Functional Theory), 하트리-폭 이론(HF, Hartree-Fock Theory) 등이 꼽힌다. 그 가운데 밀도 범함수 이론은 원자의 바닥 상태 총에너지, 전자의 밴드 구조, 전자 준위 등을 제시한다. 더 나아가 이 데이터로부터 다양한 이차적인 물리량들을 계산할 수 있다. 이를테면 원자 위치에 따른 총에너지에서 힘을 계산할 수 있어 기본적으로 분자 동역학 시뮬레이션이 가능하다. 그래서 제1 원리 계산은 다양한 예측을 가능하게 하고 시뮬레이션을 제공한다. 모든 결과가 파라미터 없이 제1 원리에서 직접 제공된다는 점은 단순히 실험을 해석·이해하는 것을 넘어 예측과 디자인에 까지 이르는 새로운 물성 연구의 패러다임이 되고 있다.

기계학습, 시간과 노력을 줄이다

오늘날 인공지능과 기계학습은 과학기술 영역을 넘어 사회 전반에 큰 영향을 미치고 있다. 수많은 경우의 수를 모두 직접 검사해 보는 대신 인간의 학습 과정처럼 ‘추상화’ 작업을 통해 정보를 뽑아낸다.

연구진이 밀도 범함수 이론을 선택한 이유도 소모적인 계산을 줄이려는 시도였다. 밀도 범함수 이론 계산에서는, 물질을 구성하는 원자들이 서로 영향을 주지 않고 독립적으로 존재한다고 가정한 밀도행렬을 초기 조건으로 계산한다. 하지만 실제 원자

사이에는 전기 음성도 차이에 따라 전자 전이가 나타난다. 따라서 초기 조건이란 애초에 정확하지 않다. 만약 초기 조건을 기계 학습으로 최대한 가깝게 예측할 수 있다면 반복 계산을 줄일 수 있게 된다.

이전에도 기계학습을 도입한 시도들이 있었다. 주로 물리·화학 특성에 대한 자료를 기반으로 새로운 재료 조성, 구조 및 물성을 탐색하는 정보학적 활용에 초점이 맞추어져 있었다. 데이터베이스에 의존하고 있어 데이터베이스에서 벗어난 원소 조합이나 구조를 갖는 물성에 대해서는 예측값이 떨어진다라는 치명적인 단점이 있었다. 본 연구에서는 제1 원리 계산법과 양자역학 계산 자체에 기계학습을 적용했다.

DFT에 기계학습을 적용하기 위한 노력

앞에서도 이야기했지만, 기계학습을 적용하려면 기본적으로 데이터가 많아야 한다. 규격화된 형식을 갖춘 계산식이 만들어져야 변수들을 뽑아내기 좋은 법이다. 그래서 다양한 형식의 원자 구조를 받을 수 있고, 각각 같은 조건의 계산식을 적용할 수 있는 ‘NanoCore’라는 계산 플랫폼을 제작했다. 기계학습에 필요한 정보들은 데이터베이스로 관리하는 프로그램을 적용하기 위해 JSON 파일과 같은 규격화된 형식으로 저장이 된다.

연구를 진행하는데 또 다른 어려움이 있었다. 기존 연구 방향은 합성곱 신경망(CNN, convolutional neural network) 모델을 이용하여 밀도행렬을 예측하는 것이었다. 밀도행렬에 대한 학습은 최적화가 지속됨에 따라 감소하는 학습 오차를 얻어 성공적인 학습 결과를 예상했다. 그러나 예측된 밀도행렬을 밀도 범함수 이론 계산의 초기 조건으로 이용했을 때 유의미한 계산 가속화를 만들어내지 못했다.

두 연구실은 많은 논의 끝에 밀도행렬의 구조가 기계학습 및 계산 가속화 적용에 적합하지 않다는 결론을 내리고, 전자 밀도라는 새로운 학습 목표를 설정했다. 조승룡 교수 연구팀은 과거 연구 경험을 바탕으로 전자 밀도 학습에 최적화된 'U-Net' 기반의 기계학습 모델을 고안했다. 그 결과 새로운 'U-Net' 모델을 적용했을 때 전자 밀도에 대해 의미 있는 학습 결과를 얻을 수 있었다. 또한 예측된 전자 밀도를 밀도 범함수 이론 계산의 초기 조건으로 이용했을 경우 반복 계산의 루프를 약 33% 단축할 수 있었으며, 예측된 전자 밀도를 통해 전체 에너지를 계산했을 때 최종적으로 수렴된 에너지와 0.026% 수준의 상대 오차가 나타나는 것을 보였다.

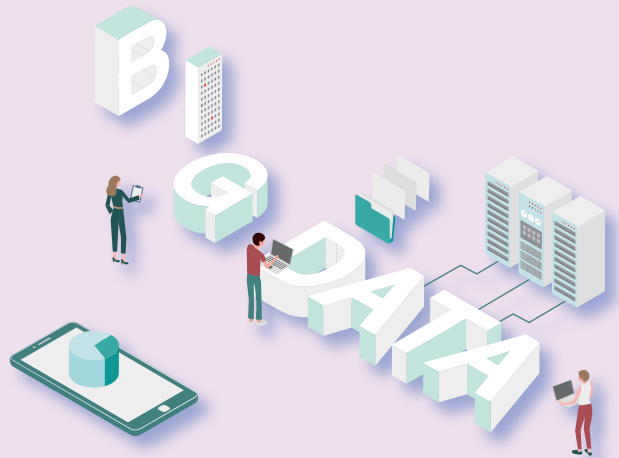
같기도 하고 아니 같기도 한

나노 소자와 영상, 두 연구실의 연구 분야는 달라도 너무 달랐다. 김용훈 교수 연구팀은 용어에 대한 이해에서부터 난관을 겪었다. “이처럼 많은 양의 데이터를 한 번에 수행했던 경험이 없어, 대용량 계산 데이터를 얻고 처리하는 데 힘들었습니다.”

조승룡 교수 연구팀도 힘들었던 시간으로 기억하고 있었다. “그동안의 양자역학적 지식으로는 받아들이기 힘든 부분이 많았습니다. 양자역학에 적합한 기계학습 방법을 구상하기가 그리 녹록지 않았거든요.”라며 그간의 힘들었던 여정을 이야기했다.

기계학습과 제1 원리 계산 방법은 최적화를 모색하기 위한 탐구법이라는 점에서 보면 유사해 보이지만 두 분야가 문제를 대하는 철학은 차이를 보인다. 제1 원리 계산 방법이 오직 물리 법칙 이론만으로 결과를 이끌어 낸다면, 기계학습은 경험적 데이터들이 기준이 되어 최적의 모델을 도출해 내고 있다.

하지만 두 분야가 상보적 관계가 되리라는 점에서는 생각을 같이하고 있었다. “기계학습은 제1 원리 계산 분야에서 접근하지 못했던 이론상의 미지 영역을 발굴할 수 있게 했습니다. 반대로 제1 원리 계산 방법은 정립된 이론적 토대에서 물리적으로 의미 있고 편향되지 않은 학습 데이터를 무한히 생성할 수 있을 것입니다.” 모험에서 시작된 연구이지만, 서로 다른 두 분야의 융합 연구는 연구의 가치를 증폭시켜 주었다.



2021 겨울/봄학기 URP 프로그램 최우수상 수상자를 소개합니다.

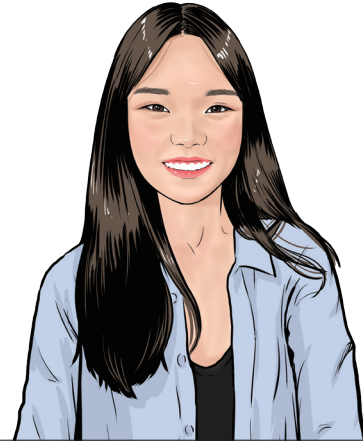
URP(Undergraduate Research Participation) 프로그램은
학부생들의 창의적이고 능동적인 연구 활동을 지원하는 프로그램입니다.



모두에게 만족스러운 기술을 만들겠습니다.

사용자 환경에서 모델의 성능을 예측함으로써 모바일 센싱 기술이 모든 사용자에서 최고의 성능을 보일 수 있는 시스템을 구현하고자 연구하였습니다.

전기및전자공학부 학사과정 김예원
지도교수 전기및전자공학부 이성주

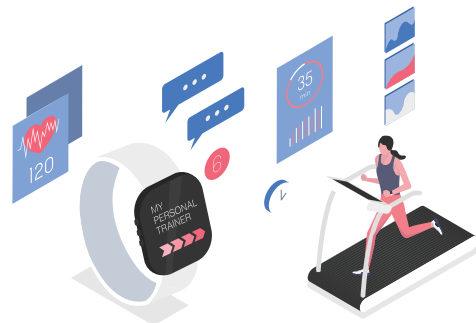


모바일 기기와 인공지능 기술의 발전으로 현대인은 더욱 더 편리한 삶을 누리고 있습니다. 특히 스마트폰이나 스마트 워치에 탑재된 센서를 이용하는 모바일 센싱 (mobile sensing) 기술은, 사람들이 모바일 기기만으로 자신의 운동량을 확인하고 심장병을 예방하는 등 다양한 헬스케어 서비스를 누릴 수 있도록 합니다. 하지만 아직 널리 사용될 수 있을 정도로 발전하지는 못했는데, 그 이유는 각 사용자의 고유한 행동 방식과 서로 다른 모바일 기종 때문에 발생하는 센서 값의 차이로 인해 새로운 사용자에서 센싱 모델이 심각한 성능 저하를 일으키기 때문입니다. 저는 이러한 모바일 센싱 기술이 실생활에서 최고의 성능을 보일 수 있도록, 사용자마다 다른 환경에서 센싱 모델의 성능을 예측하고 그에 따라 모델을 업데이트 할 수 있는 시스템을 연구했습니다.

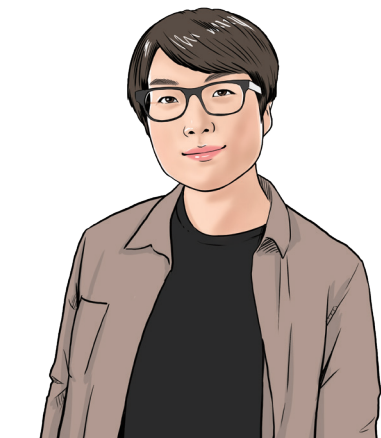
연구자가 되는 것이 장래희망이라면, 대학원에 발을 들이기 전에 연구가 무엇인지 탐구하려는 노력이 필요하다고 생각했습니다. URP 프로그램은 연구가 무엇인지 직접 느끼고 싶었던 저에게 주어진 최적의 기회였습니다. 많은 지원을 바탕으로, 저는 지도 교수님과 조교님의 값진 조언을 받으며 하고 싶은 실험을 마음껏 시도해볼 수 있었습니다. 결과를 통해 원인을 분석하고, 계획을 수정하여 다시 시도해보는 일련의 과정을 통해 저는 연구자로서 한 단계 성장할 수 있었습니다. 이러한 노력이 2021 겨울/봄학기 URP 프로그램 최우수상 수상이라는 좋은 결과로까지 이어져 뿌듯한 마음이 큼니다.

연구자로서 저의 목표는 스마트 기기를 통해 모두에게 잘 작동하는 헬스케어 서비스를 만드는 것입니다. 스마트 워치 같은 웨어러블(wearable) 기기가 감지할 수 있는 생체 신호는 매우 다양합니다. 건강 이상을 미리 감지하거나 생활에 편리한 개인화 서비스를 제공하는 것과 같이 생체 정보의 활용 가능성은 무궁무진합니다. 모바일 센싱의 개인화를 통해 거동이 불편한 노인과 장애인 등 다양한 사용자들이 높은 성능의 모바일 서비스를 누릴 수 있는 사회를 만들고 싶습니다.

연구가 무엇인지 직접 진행해볼 수 있는 기회를 마련해 준 URP 프로그램과, 언제나 조언과 격려를 아끼지 않으며 지원해주신 이성주 교수님과 조교님께 무한한 감사를 드립니다. 본 경험을 통해 연구자로서의 첫 걸음을 떼는 데에 성공했다고 생각합니다. 또한 이를 바탕으로 더 발전된 기술, 더 나은 세상을 만드는 연구를 하고자 노력할 것입니다. 연구에 조금이라도 흥미가 있는 학부생이라면 주저하지 말고 URP 프로그램에 도전해볼 것을 추천드립니다.



조금씩 진전하여 훌륭한 연구자로 성장하도록 노력하겠습니다.



제 URP 연구주제는, 핵융합로에서 바깥과 직접 열교환을 하는 부분의 압력을 측정하는 압력계의 알고리즘 개발에 관한 것이었습니다.

물리학과 학사과정 정희운
지도교수 원자력및양자공학과 김영철

제 URP 연구주제는, 핵융합로에서 바깥과 직접 열교환을 하는 부분의 압력을 측정하는 압력계의 알고리즘 개발에 관한 것이었습니다. 이 부분의 압력은 플라즈마 운전에 중요한 영향을 끼치는 요소 중 하나인 만큼, 상당히 중요한 연구였습니다.

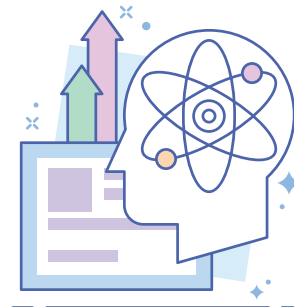
처음 이 연구를 맡게 되고 URP 프로그램에 지원했을 때, “학부생인 내가 이런 중요한 연구를 맡아도 되나?” 라는 생각을 했던 기억이 납니다. 이에 대한 의문은 지금도 가끔씩 들긴 하지만, 동시에 이런 책임이 주어졌기에 연구에 진지하게 임할 수 있었습니다.

연구를 진행하는 동안에는 제가 생각지도 못했던 장애물에 부딪히는 일이 상당히 많았습니다. 주문한 부품이 제때 오지 않거나, 필요한 프로그램이 설치가 안되어 쓸데없는 시간을 낭비하는 일은 이제 익숙해질 정도입니다. 하지만 이런 과정들 또한 연구의 일부분이라는 점을 URP 프로그램을 통해 배우게 되었고, 동시에 이런 사소하지만 연구과정에서 일어나는 다양한 문제의 해결 방안을 모색하는 능력이 성장했다는 것을 느낍니다.

사소한 문제 외에도 연구를 잘 수행하기 위해서는 늘 많은 생각과 질문이 저를 따라다녔습니다. 특히 주제 특성상 제가

작업한 장치는 어떠한 값을 내보내게 됩니다. 그 때 그 값을 어디까지, 어떻게 신뢰할 수 있을까? 하는 질문이 항상 따라다녔고, 교수님께 많은 질문을 드렸습니다. 데이터를 가공할 때 이 부분에 집중했던 때문인지 연구에서 좋은 실험결과로 이어졌을 뿐만 아니라, 정보를 전보다 더 비판적으로 받아들일 수 있게 되었습니다. 아마도 이러한 작은 결과들이 모여 URP 프로그램에서 좋은 연구성과를 얻을 수 있지 않았나 싶습니다.

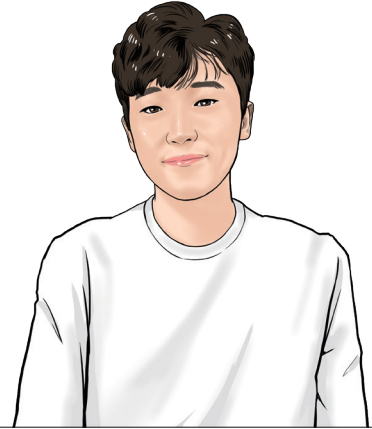
URP 프로그램이 끝난 지금, 제가 느낀 가장 큰 깨달음은, 한 사람 몫의 연구자가 되기에는 아직 갈 길이 멀다는 사실입니다. 제가 맡은 주제는 현재도 진행 중이며 아직도 넘어야 할 산이 많고, 이 일을 전부 끝내도 그저 하나의 작업이 끝날 뿐이기 때문입니다. 그럼에도 저는 조금씩 진전하고 있고 URP 프로그램을 통해서 많은 것을 배웠습니다. 앞으로도 노력하여 더 좋은 성과를 내고 언젠가 한 사람 몫을 훌륭하게 하는 연구자가 될 수 있도록 노력하겠습니다.



URP 프로그램에서 수행한 연구를 기반으로 양자컴퓨터를 개발하는 데 기여하고 싶습니다.

리드버그 중성 원자 배열 상에서 최대독립집합 문제
(Maximum Independent Set problem)를 모든 그래프에 대해
효율적으로 풀 수 있도록 하는 연구를 진행하였습니다.

물리학과 학사과정 **황재용**
지도교수 물리학과 **안재욱**



저는 URP 프로그램을 통해 양자컴퓨팅이 가능한 시스템 중 하나인 리드버그 중성 원자 배열 상에서 최대독립집합 문제 (Maximum Independent Set problem)를 모든 그래프에 대해 효율적으로 풀 수 있도록 하는 연구를 진행하였습니다. 리드버그 원자의 특성상 임의의 비평면 그래프에 대해 양자컴퓨팅하기엔 어려운 점이 있었으나 이를 새로 개발한 원자 배열 구조 'Rydberg Quantum Tree-Wire'를 사용하여 해결하였습니다.

양자컴퓨터 개발에 관심이 있었던 저는 처음 개별연구를 위한 연구실을 정할 때 양자컴퓨팅을 전문적으로 연구하는 랩을 찾을 수 없어 당황했던 기억이 납니다. 두번째로 당황했던 때는 그 후 'Rydberg qubit' 시스템을 공부해보고자 들어간 원자 물리연구실의 랩미팅 때 대학원생들과 교수님이 나누는 대화를 단 하나도 이해하지 못했을 때였습니다. 수업만을 통해 이해했던 이론적인 내용과 실제 연구실에서 얻을 수 있는 경험적 지식에는 큰 차이가 있었습니다.

비어 있는 상태에서 어느 정도 연구성과를 내기까지 열심히 노력하고 생각했습니다. 연구실에서 쓰는 '언어'를 이해하기까지 한 학기가 소요되었고, 그 후에 지원한 URP 프로그램에서 새로운 연구 주제를 찾아 발전시켜 결국 URP 최종 발표회에서 좋은 결과를 낼 수 있었습니다. 저의 수많은 질문으로 힘드

셨겠지만, 연구 수행 중에 함께 지식적으로 깊이 있는 토론을 할 수 있었던 대학원생 선배님들의 도움과 안재욱 교수님의 지도 덕분에 가능했다고 생각하며 큰 감사함을 느끼고 있습니다. 또한, 개별연구 및 URP 프로그램으로 학부생이 연구를 할 수 있는 기회를 제공해 준 학교에 감사합니다.

몇 십년 후의 미래에는 크기나 배열 등의 컴퓨터의 물리적 한계 때문에 소프트웨어의 발전 속도를 하드웨어가 따라가지 못하는 현상이 발생할 것입니다. 계산량이 많은 컴퓨팅 문제를 해결하기 위해선 결국 양자컴퓨팅 등의 새로운 시도로 패러다임을 바꾸는 노력이 필요하다고 생각합니다. URP 프로그램에서의 연구를 기반으로 나중에는 리드버그 원자 시스템에서, 또는 다른 물리 시스템 상에서 양자컴퓨터를 개발하는 데 성공하여 첨단과학기술로 더욱 편리하고 발전된 사회를 만드는 데 기여하고 싶습니다.

“

**계산량이 많은 컴퓨팅 문제를 해결하기 위해선
결국 양자컴퓨팅 등의 새로운 시도로 패러다임을
바꾸는 노력이 필요하다고 생각합니다.**

”

Research Partner

‘공유’를 넘어 ‘공생’으로

과학자들의 파트너, 중앙분석센터

중앙분석센터



책임기술원 우미자

센터장 배형빈

기술원 김지연

책임기술원 김병국

분석난제협업 프로그램 연구팀

‘공유 주방’이라는 신개념의 창업 아이템이 조금씩 우리 사회 속으로 파고들고 있다. 외식 산업 시장은 계속해서 성장하고 있지만 신규 창업 대비 폐업률이 90%에 육박하고 있는 요즘, 소자본으로 창업이 가능한 신 창업 시장이다. 배달을 전문으로 하는 업체 간에 시간대를 달리하여 주방을 공유하면서 창업 비용을 10분의 1로 줄일 수 있게 했다. 사용자는 적은 비용으로 주방 및 다양한 집기를 활용할 수 있는 데다 비싼 임대료 때문에 감히 엄두도 내지 못했던 도심에 진입할 수 있다.

이처럼 사회적 ‘공유’의 개념이 과학 기술계에서는 어떻게 받아들여지고 있을까? 한두 푼 하는 것도 아닌데다 간헐적으로 사용하는 것이라면 싼돈 갖추기 어려운 게 실험 장비가 아닐까 한다. 게다가 실험한 데이터를 분석해 주며 아이디어를 공유할 수 있는 환경... 연구자라면 누구나 꿈꾸어왔을 ‘과학자들의 파트너’를 찾아가 보자.



Q. 중앙분석센터가 무엇인가요? 탄생 배경과 하는 일에 대해 궁금합니다.

A. KAIST 중앙분석센터는 ‘KAIST Analysis Center for Research Advancement’의 머리글자를 따와 ‘카라(KARA)’라고 부릅니다. 한마디로 최첨단 고가 장비를 연구자들 간에 공유할 수 있는 환경이라 할 수 있습니다. 효율적인 장비 활용, 효율적인 연구환경 조성, 효율적인 연구성과 창출 등 연구자들을 위한 갖가지 배려를 하고 있습니다.

1991년 학사연구지원단으로 출범해 2013년 ‘중앙분석센터’ 건물이 건설되면서 우리 기관의 이름도 그에 걸맞게 바뀌었습니다. 공동연구 장비 확충을 비롯한 인프라 구축, 분석 전문가를 통한 첨단 연구지원과 체계적인 교육을 하고 있다고 보시면 됩니다.

과학기술 장비가 상당히 고가입니다. 한번 쓰고 버릴 그런 물건이 아니에요. 효율적으로 활용하는 방안에서 ‘공유’의 개

념을 생각했습니다. 게다가 장비가 있다 하더라도 사용할 줄 모르면 무용지물인데, 그게 그리 쉽게 배울 수 있는 것도 아닙니다. 장비마다 전문인력이 필요하죠. 데이터를 얻고 분석할 수 있는 전문가의 도움도 필요합니다. KARA Academy 운영을 통해 기초부터 심화, 응용에 이르는 맞춤형교육도 준비하고 있습니다. 연구 인력을 위한 A부터 Z까지 준비하고 있다고 보시면 됩니다.

Q. 연구 공유 개념은 다른 기관에도 있을 텐데요. KARA만의 특징은 무엇일까요?

A. 한 가지만 꼽으라면 ‘분석 지향(Analysis orientation)’이라는 점입니다. KARA는 연구자의 니즈(needs)를 파악하고 그에 맞는 해법(solution)을 제시합니다. 연구자가 필요한 장비와 기술이 있어서 이곳을 찾더라도 연구자가 제시하는 방법보다 더 효율적인 방법이 있을 때도 있습니다. 그럴 땐 제안하면서

의견을 조율해야겠죠.

그래서 우리 KARA는 장비를 구축하면서 핵심 가치를 네 가지로 설정했습니다. 'Leading Edge', 'Total Solution', 'Open Access', 'Integrated Support'가 그것입니다. 또한 폭넓은 전문 지식을 갖춘 전문인력이 분석 업무를 맡고 있습니다. 그 외에도 분석 환경이 잘 갖추어져 있어요. 장비 간의 간섭이나 진동, 자기장, 소음 등 분석에 영향을 미칠 법한 외부 환경 요소를 최대한 차단하고 있어요. 효율성을 넘어 경제성도 널리 인정받고 있어서인지 국내외 여러 학교나 연구소들의 벤치마킹 대상이 되고 있습니다.

Q. 자랑할 만한 장비 좀 소개해 주세요.

A. KARA에는 두 종류의 투과전자현미경이 있습니다. 구면수차보정 투과전자현미경(Double Cs corrected TEM)과 초저온투과전자현미경(Cryo FE-TEM)이에요. 먼저 구면수차보정 투과전자현미경은 sub-nm 스케일에서 원자를 직접 관찰

할 수 있는 분해능을 가지고 있어요. 원자배열을 직접 관찰하면서 재료의 구조 분석이 가능하고 원자의 정성, 정량 분석도 가능합니다. 또한 뛰어난 분해능으로 많은 연구가 이루어지고 있는 단원자(Single Atom) 촉매의 이미지도 관찰할 수 있습니다. 초저온 투과전자현미경은 단백질과 같은 BIO 시료를 초저온으로 냉동시킨 후, 고해상도 이미지를 측정할 수 있는 장비입니다. 일전에 알데하이드-알코올 탈수소효소의 구조를 밝히는데 사용되었습니다.

초저온 접속 이온빔(Cryo-FIB) 도 자랑할 만한 장비예요. 초저온상태로 세포를 얼려 원하는 부분을 가공하여 본 센터에 설치된 초저온 투과전자현미경과 연계하여 분석할 수 있는 장비입니다. 자연 상태에 가장 가깝게 고해상도로 생물이나 재료의 미세구조를 분석할 수 있게 도와 주는 대표적인 전처리 장비죠. 구조생물학, 신약 개발, 전염병 연구 등에 없어서는 안 될 장비예요.



Double Cs corrected TEM

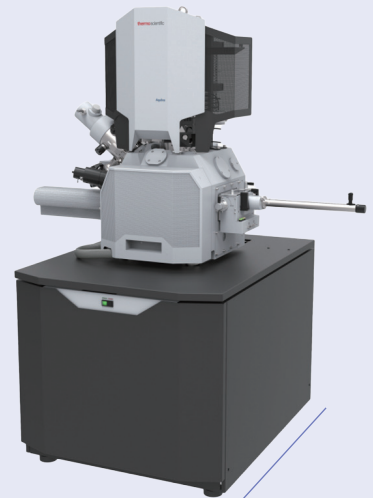


Cryo Field Emission TEM

중앙분석센터에는 두 종류의 투과전자현미경(Transmission Electron Microscope, TEM)이 있는데, 각각 구면수차보정 투과전자현미경과 초저온투과전자현미경이다. 구면수차보정 투과전자현미경은 원자를 sub-nm 스케일의 초고분해능으로 관찰할 수 있게 해주며, 초저온 투과전자현미경은 BIO시료 등을 초저온 냉동시킨 후 고해상도 이미지, 전자회절 등을 제공한다.



KARA는 대학 구성원 모두에게,
더불어 학교나 연구소, 기업 등 누구에게나
문을 열어 두고 있다.
‘과학’과 ‘기술’이라는 주제는
상품으로 출시되기 전까지는
대중과 거리감이 있는 대상들이다.
그 연결의 매개체, 그 중심에 KARA가 있다.



Cryo-Focused Ion Beam System
(Cryo-FIB)

Q. 분석 난제 협업 프로그램은 무엇인가요?

A. 분석의 한계 극복을 위한 협업 프로그램이라고 해야 할 듯 합니다. 측정 분석에 어려움을 겪는 연구에 대해 밀착 지원하며 연구실과 KARA 간의 협업 시스템을 구축하는 것입니다. 또한 우리의 분석 기술 노하우를 연구실과 산업계와 공유하여 우리 대학뿐만 아니라 국가 산업기술 연구에도 기여하려는 목표를 가지고 있습니다.

올해 처음 이 프로그램을 시작하였고, 분석 방법 개발을 통해 산업현장에서 요구되는 분석 기술 표준화도 가능할 것으로 생각합니다. 소통 창구가 확대되면서 분석 지원 방법도 다양해질 겁니다. 그러다 보면 기술을 축적할 수 있을 것이고 극복하기 어려웠던 난제들도 조금씩 실마리를 찾을 겁니다.

최첨단 분석 기기를 갖추고 있고 분석 노하우가 축적된다 보면 국제적으로 경쟁력 있는 전문 분석 센터로 도약할 수 있습니다. 협업 시스템을 구축하고 분석 기술 난제 해결 협력 체계를 구축하는 것도 최우선은 연구자들을 위한 것이지만, 기관 차원에서는 분석 경쟁력도 높일 수 있으리라 기대합니다.

KARA는 대학 구성원 모두에게, 더불어 학교나 연구소, 기업 등 누구에게나 문을 열어 두고 있다. 열린 공간, 열린 사고를 지향하는 KARA... 인터넷이 세계를 연결하기 시작하면서 연결의 네트워크는 치밀하게 곳곳으로 파고들었다. 원하면 얼마든지 정보를 찾을 수 있는 시대로 나아갔지만 아직 그 손길이 미치지 못한 곳도 상당하다.

‘과학’과 ‘기술’이라는 주제는 상품으로 출시되기 전까지는 대중과 거리감이 있는 대상들이다. 그러다 보니 정보의 공유나 기술의 공유가 제한적일 수밖에 없다. 그 연결의 매개체, 그 중심에 KARA가 있다.



한국을 빛낸 50년, 인류를 빛낼 100년

4차 산업혁명 시대를 주도하는 핵심기술 DNA(Data • Network • AI)와 바이오메디컬 분야의 혁신적인 연구성과 및 가치창출을 기반으로 과학기술 뉴딜사업의 성공적인 수행을 통해 포스트 코로나시대의 국가경제발전에 기여하며 인류의 행복과 번영을 위해 정성을 다하겠습니다.

