

KAIST, 질병 진단 시스템의 새로운 혁신을 이끌다

나노자임 종이 센서를 개발한
이진우 생명화학공학과 교수

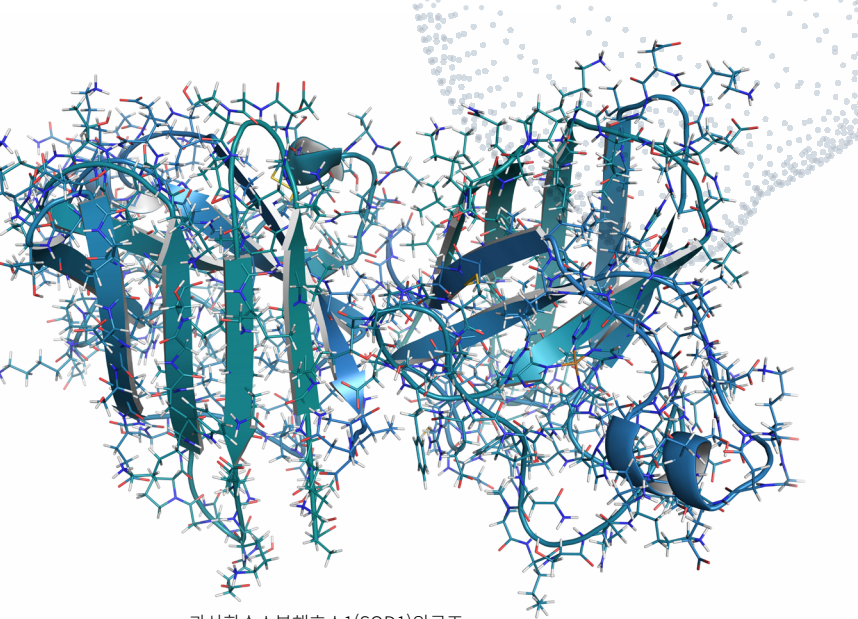
글 | 오혜진 동아에스앤씨 기자
사진 | 정은 STUDIO 51

COVER STORY | KAIST, 질병 진단 시스템의 새로운 혁신을 이끌다

KAISTian Webzine 2022 April

1 / 2

효소는 자연이 빚어낸 극도로 정교한 기계다. 수많은 아미노산이 복잡하게 얹혀 만들어내는 변화무쌍한 분자구조와 화학적 특성은 자연계의 어떤 물질과도 반응할 수 있게 한다. 기존에 존재하지 않던 물질도 진화에 충분한 시간만 주어진다면 어떻게든 반응할 수 있는 효소가 만들어진다. 38억 년을 끈질기게 이어 온 생명의 비밀이다. 이처럼 놀라운 효소의 능력을 산업에 활용할 수 있다면 화학공업에 혁명이 일어날 수도 있을 것이다.



과산화수소분해효소1(SOD1)의구조

효소는 화학적으로 다재다능하지만 산업적으로 활용하기 어려웠다. 주성분이 단백질이라 열과 산에 약하고 생체 내 복잡한 네트워크와의 상호작용이 필요하므로 효소만 분리해서 공정에 활용하는 데 제약이 많기 때문이다. 그러나 효소를 무기물 기반으로 만들어 환경 저항성을 높이면 어떨까? 사람의 피부로는 버티기 어려운 환경에 로봇을 투입하듯, 효소의 기능성은 십분 활용하면서도 단점은 보완할 수 있을 것이다.

효소의 장점을 가지면서 단점까지 극복한 ‘나노자임’

최근 주목받는 ‘나노자임’은 무기물질로 합성된 효소라고 할 수 있다. 생명공학 기술의 발전으로 다양

한 분야에서 효소를 이용해 물질을 검출하거나 질병을 진단·치료하고, 유용한 물질을 생산하고 있다. 그러나 효소는 생물체에서 발현 및 정제과정을 거쳐 생산돼 가격이 비싸고, 단백질이기 때문에 산도 및 온도 등 반응 조건에 따라 활성이 크게 달라진다는 단점이 있다. 나노자임은 바로 이러한 단점을 해결한다.

나노자임은 단백질로 이루어진 효소와 달리 금속산화물이나 금, 플래티늄 등의 금속 등의 무기물질로 합성된 효소 모방 물질이다. 효소에 비해 산도 및 온도 등 외부 환경에 안정적인 활성을 보이며, 대량으로 합성할 수 있기 때문에 가격적 측면에서도 뛰어나 단백질 효소를 대체할 수 있는 새로운 인공효소로 각광받고 있다.

“나노자임은 무기촉매입니다. 그래서 언제 어디에서나 활성을 잃지 않지요. 이러한 특징은 질병 진단이나 검출 분야에서

매우 유리합니다.”

최근 나노자임의 한계점을 극복하는 연구성과를 낸 이진우 KAIST 생명화학공학과 교수는 나노자임이 의료 분야, 특히 진단에 유용하게 활용될 수 있다고 강조했다. 혈액 한 방울로 혈당, 콜레스테롤, 알츠하이머 등 여러가지 질병을 동시에 검출할 수 있는 시스템도 가능하다고 한다.

“나노자임을 이용한 진단기술의 장점은 코로나19 자가진단 키트를 생각해보시면 됩니다. 현재 사용하는 자가진단키트는 민감도가 떨어져서 감염자인데도 음성으로 결과가 나올 때가 많아요. 생체 물질을 사용하다 보니 외부 환경에 영향을 크게 받아서 민감도가 충분하지 않기 때문입니다. 반면 나노자임을 사용하면 자가진단키트로도 정확한 진단이 가능하지요. 만약 추후 새로운 감염병이 나타났을 때 나노자임으로 진단키트를 만든다면 결과를 즉시 확인할 수 있으면서도 유전자 검사에 버금가는 정확도를 얻을 수 있을 것입니다.”

나노자임을 질병 진단에 사용할 수 있는 이유는 대부분의 나노자임이 ‘과산화효소’나 ‘산화효소’처럼 산화-환원 반응의 촉매로 기능하기 때문이다. 특히 과산화효소는 과산화수소가 있으면 기질을 산화시켜 푸른색을 띠게 만들기 때문에 과산화수소가 있다는 것을 눈으로 쉽게 알아볼 수 있게 한다. 이 반

응을 이용하면 산화 과정에서 과산화수소를 배출하는 아세틸콜린, 포도당 등 다양한 물질들의 산화 효소와 함께 사용하면 표적 물질을 검출할 수 있다.

그런데 기존의 과산화효소 모방 나노자임은 산성에서만 활성을 지녔다. 아세틸콜린, 포도당 등을 산화시키는 대부분의 산화 효소는 중성에서 최적 활성을 갖기 때문에 과산화효소 모방 나노자임을 사용하면 최적 활성이 아닌 지점에서 반응이 일어나 표적 물질의 미세한 검출을 하기 어렵고, pH를 조절하는 버퍼 용액을 변경해야 하는 번거로움이 있었다. 이렇게 되면 바이오 센서로 활용하기도 어렵다. 그래서 중성 상태에서도 과산화효소의 활성을 가지면서도 표적 물질의 산화 효소를 담을 수 있는 나노자임의 개발이 필요했다.

이진우 교수 연구팀은 가천대학교 바이오키나학과 김문일 교수 연구팀, POSTECH 화학공학과 한정우 교수 연구팀과 함

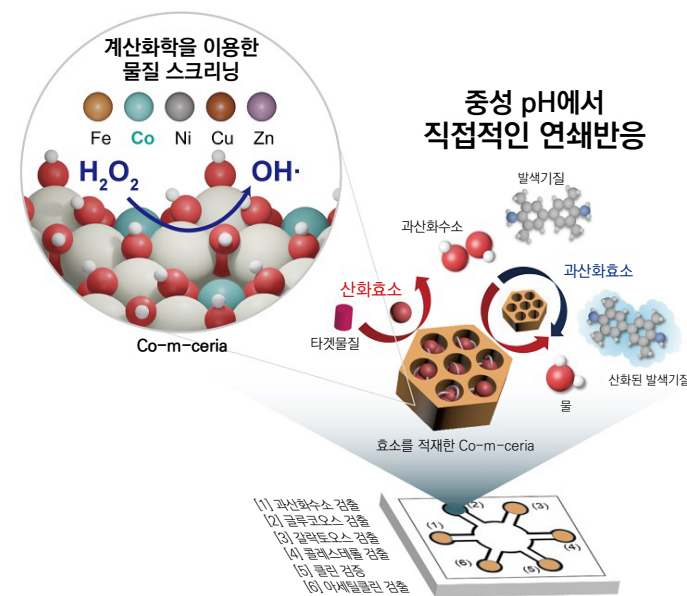
께 새로운 나노자임을 합성해서 6개의 표적 물질을 동시에 검출 가능한 종이 센서를 개발해 국제학술지 ‘어드밴스드 펑셔널 머터리얼즈(Advanced Functional Materials)’ 2월호에 발표했다. 연구팀이 개발한 나노자임은 질병 진단 시스템에 혁신을 불러올 것으로 기대된다.

코발트 원소를 도핑해 중성에서 최적 활성을 가지는 나노자임 합성

이 교수 연구팀은 이러한 나노자임을 개발하기 위해 기존에 과산화효소 활성이 있던 산화 세륨 나노입자

에 어떠한 원소를 도핑해야 중성에서도 과산화효소 활성이 유지될지 스크리닝을 진행했다. 계산 결과, 코발트 원소가 최적 물질임을 알아냈다.

연구팀은 코발트 원소를 도핑하고, 17nm의 큰 기공을 지니는 메조 다공성 구조의 산화 세륨을 합성했다. 보통 메조 다공성 나노물질들은 2~3nm의 작은 크기의 기공을 지니는데, 연구팀은 열처리 과정에서 변화를 줘 큰 기공을 지니도록 합성해서 이 기공에 산화 효소를 적재할 수 있게 만들었다. 간단히 말하면 수많은 효소를 각각의 주머니에 보관해서 효소 반응이 빠르게 일어나게 하는 장치인 셈이다. 합성된 나노자임은



pH 6의 중성에서 최적 활성을 지녀 pH의 변화 없이도 산화 효소와 연쇄 반응을 일으킬 수 있었다. 또 메조 다공성 산화 세륨은 60℃의 고온에서도 안정적이고, 60일이 넘는 시간 동안 안정적으로 작동했다.

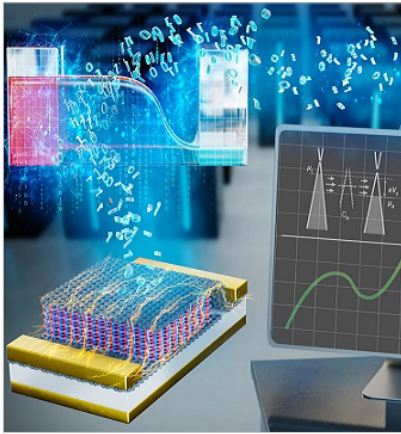
이어 연구팀은 개발한 나노자임에 중요한 질병 진단물질인 포도당, 아세틸콜린, 콜린, 갈락토오스, 콜레스테롤의 산화 효소를 담아, 과산화수소를 포함한 6개 물질을 동시에 검출 가능한 종이 센서를 개발했다. 이 종이 센서는 20분 만에 6개 물질을 빠르게 검출했으며, 물질 하나만을 검출할 수 있는 기존 센서들보다 더 좋은 성능을 보였다.

이 교수는 나노자임이 진단의료의 미래를 크게 바꿀 것으로 기대한다. 아직 신생 분야지만 기존의 효소를 대체할 수 있어서 잠재력이 크다는 것이다. 특히 간편하고 빠르면서도 정확한 진단이 가능해지므로 질병 진단에 소요되는 비용과 시간을 크게 줄일 수 있다.

이 교수는 나노자임의 무궁한 가능성을 강조하며 관련 분야에서 세계를 선도할 수 있도록 연구를 거듭하겠다고 강조했다.

“앞으로 진단뿐 아니라 치료에도 나노자임을 활용할 수 있을 것입니다. 세계적으로암 나노자임으로 암을 치료하려는 연구가 활발해요. 우리 연구실도 의약품과 나노자임을 다공성 물질에 함께 넣어 암세포만을 선택적으로 제거할 수 있는 연구를 계획하고 있습니다.”

KAISTian



+ 그래핀 기반 2차원 반도체 소자 시뮬레이션의 양자 도약 달성

KAIST 전기및전자공학부 김용훈 교수 연구팀이 자체적으로 개발한 양자 수송 이론을 통해 세계 최초로 그래핀 전극 간 전자의 터널링 현상으로 작동하는 2차원 터널링 트랜지스터의 제1 원리 시뮬레이션을 수행하는 데 성공했다. 반도체 연구 개발에서 소자의 미세화에 따라 원자 수준에서 전류의 흐름을 이해하고 제어하는 것이 핵심적 요소가 되고 있는 상황에서 낸 세계 최초의 쾌거다.

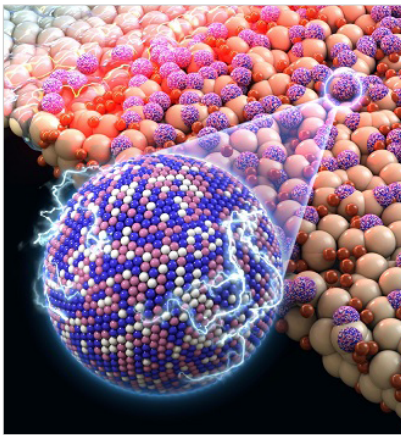
>> 더보기



+ 합성생물학 기반 차세대 미생물 대사 조절 밸브 개발

KAIST 생명과학과 조병관 교수, 한국생명공학연구원 이승구 박사, 바이오융합연구소 조수형 교수, UCSD 생명공학과의 최동희 박사, 버나드 팔슨 교수 국제 공동연구팀이 대장균에 존재하는 1,600여 개의 전사종결부위를 대량으로 해독 및 발굴하고, 이를 기반으로 고부가가치 바이오화합물 생산을 위한 미생물 대사 회로 설계를 가능케 하는 합성생물학 기반 기술을 개발했다.

>> 더보기



+ 강한 빛을 쏘아 나노 촉매 제조해 황 기반 가스 검출센서 구현 성공

KAIST 신소재공학부 김일두 교수 연구팀과 전기및전자공학부 최성욱 교수 연구팀이 공동연구를 통해 강한 빛을 금속산화물 나노 시트에 짧게 조사해, 0.02초 만에 다성분계 금속 합금 나노입자 촉매를 합성하고, 이를 극미량의 황 기반 생체지표 가스를 감지할 수 있는 가스 센서 플랫폼에 성공적으로 적용했다. 이 플랫폼은 날숨에 포함된 미량의 생체지표 가스를 감지해 특정 질병을 실시간 모니터링할 수 있다.

>> 더보기

+ 두뇌 신경 조율 활동을 모방한 저전력 인공지능 하드웨어 핵심 기술 개발

KAIST 신소재공학부 김경민 교수 연구팀이 두뇌에서 일어나는 신경 조율 활동을 구현한 인공지능용 하드웨어와 관련 알고리즘의 개발에 성공했다. 두뇌에서는 학습하는 과정에서 실시간으로 신경망의 연결도를 변경해 필요에 따라 기억을 저장하거나 불러내는데, 이러한 신경 조율 기능을 하드웨어에서 직접 구현하는 새로운 방식의 인공 지능 학습 방식을 제시한 것이다.

>> 더보기



+ 이준구 교수 랩 연구팀, QHack 2022 오픈 해커톤 사이언스 챌린지 우승

KAIST 전기및전자공학부 이준구 교수 연구실 류주영, 이종락, Eyuel Elala 석사과정 학생으로 이뤄진 AI양자컴퓨팅 ITRC 양자소프트웨어 연구팀이 QHack 2022 오픈 해커톤 사이언스 챌린지에서 1등상을 수상했다. QHack 2022 Open Hackathon은 미국 Xanadu 사에서 주최하여, 총 100여 개 국가에서 250여 명이 참가한 세계 최대 규모의 양자소프트웨어 해커톤 행사다.

>> 더보기



+ 이현주 교수, IEEE MEMS 2025 학술대회장 선임

KAIST 전기및전자공학부 이현주 석좌교수가 2025년 개최예정인 제38회 IEEE MEMS 국제 학술대회의 학술대회장(General Chair)에 선임됐다. IEEE MEMS 학술대회는 MEMS 분야에서 최고의 권위를 인정받는 국제컨퍼런스로, MEMS 기술로 제작되는 각종 마이크로 센서 및 액추에이터에 관한 모든 연구를 다루는 핵심 학술대회이다.

>> 더보기



+ 이익항(리캉 리, Lik-Hang Lee) 교수, 메타버스 산학협동 공개강좌 개설

KAIST 산업및시스템공학과 이익항(리캉 리, Lik-Hang Lee) 교수가 2022 봄 학기부터 메타버스 산학협동 공개강좌를 진행한다. 홍콩 생산력촉진국(Hong Kong Productivity Council, 이하 HKPC)과의 파트너십에 바탕을 둔 '전문가를 위한 메타버스 강좌'는 가상환경과 가상-물리적 혼합환경에 대한 수요가 급증하는 시대적 요구에 부응해 세계적인 메타버스 인재를 양성하기 위해 개설됐다.

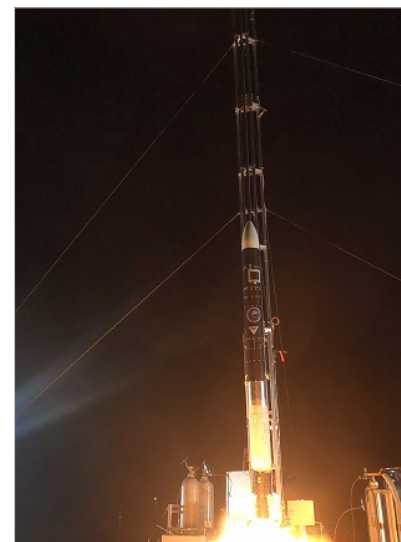
>> 더보기



+ 디지털인문사회과학부 출범 및 대학원 설립

KAIST가 디지털인문사회과학부를 설립하고 6일 오후 4시 KAIST 대전 본원에서 기념식을 개최했다. KAIST는 인문학·사회과학과 과학·공학 간의 융합연구 및 양방향 교육 협력의 필요성을 인지하고 지난해부터 디지털인문사회과학부 설립을 추진해왔다. 인문학·사회과학에 데이터사이언스, 인공지능 등 새롭게 부상하는 과학기술 융합 학문을 접목하는 연구와 교육을 선도하기 위해서다.

>> 더보기



+ 50주년 기념로켓 프로젝트 'Perigee Blue Whale 0.1' 성료

KAIST가 로켓 스타트업 페리지에어로스페이스와 공동 추진하는 「초소형 우주발사체 선행 프로젝트」를 3월 24일 제주도에서의 3차 발사를 마지막으로 성공적으로 종료했다. 항공우주공학과 재학생인 신동윤 대표가 설립한 스타트업 페리지에어로스페이스는 초소형 우주발사체 개발을 목표로 하고 있다. 최종 목표인 BW 1.0은 50kg의 페이로드를 지구저궤도에 실어나를 수 있도록 설계했다.

>> 더보기



+ 2022 대한민국 인적자원개발 대상 대학 부문 '종합대상' 수상

KAIST가 한국HRD협회 주관으로 서울 삼성동 코엑스 컨퍼런스룸에서 열린 '2022 대한민국 인적자원개발 대상'에서 대학 부문 '종합대상(Best HRD Award)'을 수상했다. 대한민국 인적자원개발 대상은 한국HRD협회가 1995년에 제정한 것으로 올해로 28년의 전통을 이어 오고 있다. 교육문화 진흥과 인적자원개발의 발전 및 저변확대에 이바지한 기관을 매년 선정하여 시상하는 국내 HRD 분야 최고의 상이다.

>> 더보기