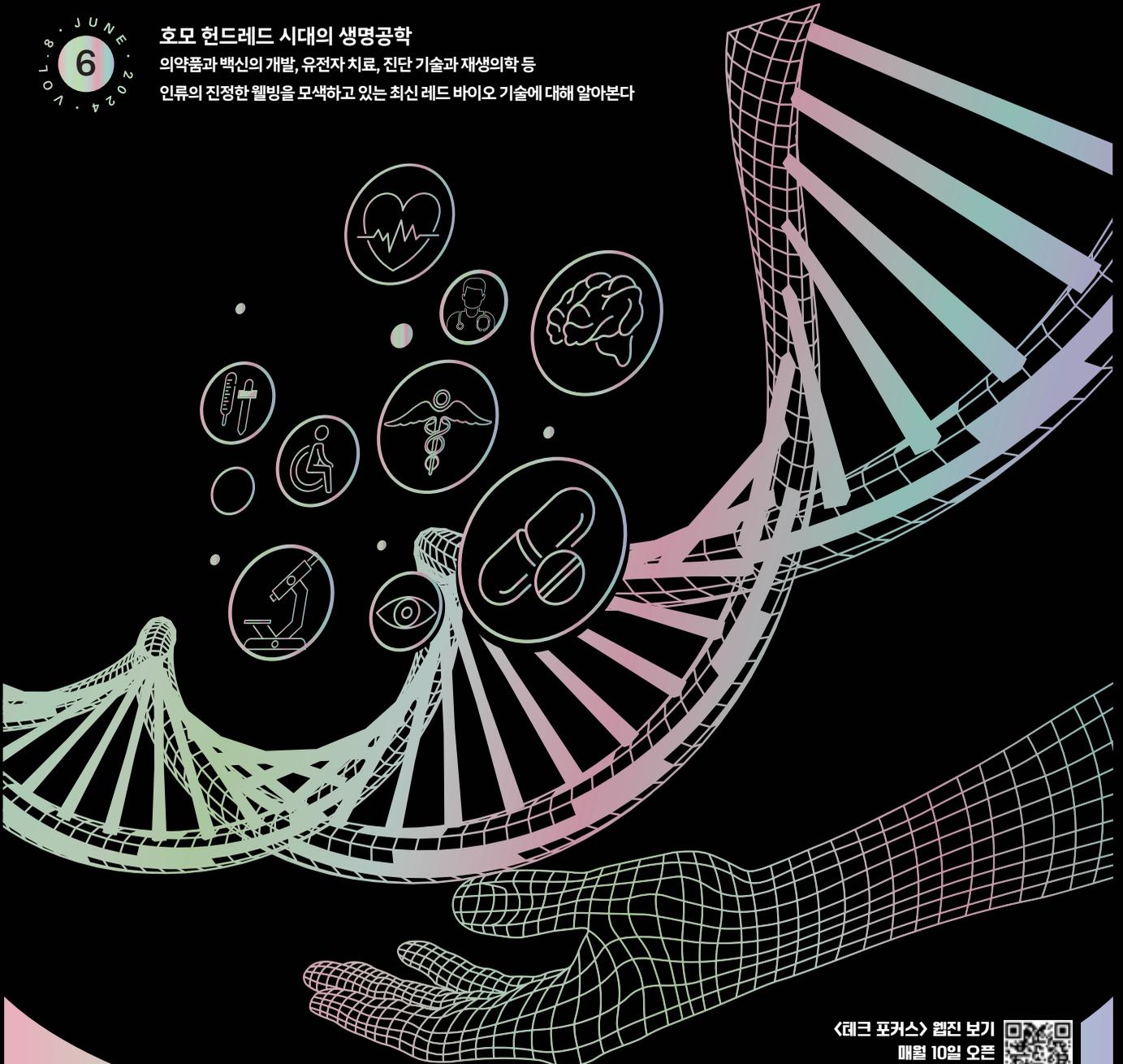


TECH FOCUS

JUNE 2024
6
VOL. 8

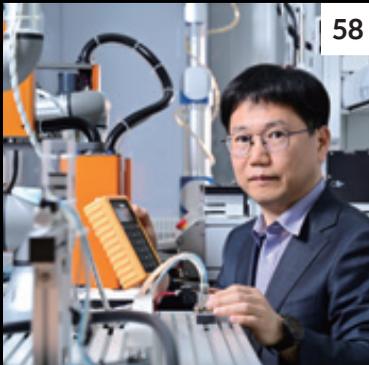
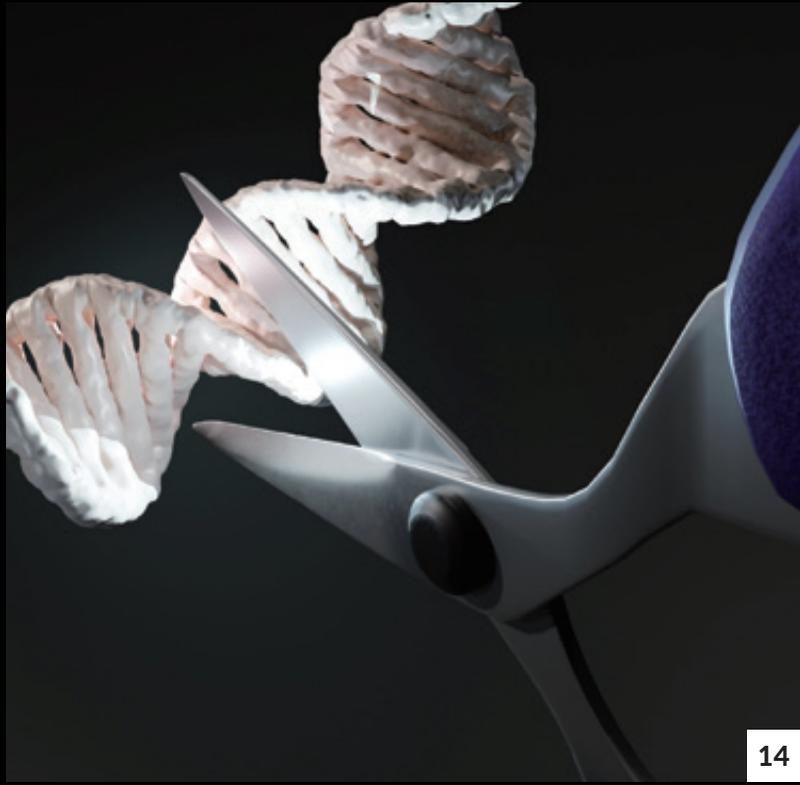
호모 헨드레드 시대의 생명공학
의약품과 백신의 개발, 유전자 치료, 진단 기술과 재생의학 등
인류의 진정한 웰빙을 모색하고 있는 최신 레드 바이오 기술에 대해 알아본다



〈테크 포커스〉 웹진 보기
매월 10일 오픈



레드 바이오, 생명의 비밀을 풀다



등록일자 2013년 8월 24일 발행일 2024년 6월 5일 발행인 한국산업기술기획평가원 원장 전윤중 발행처 한국산업기술기획평가원, 한국산업기술진흥원, 한국에너지기술평가원, 한국공학한림원 주소 대구광역시 동구 첨단로8길 32(신서동) 한국산업기술기획평가원 후원 산업통상자원부 편집 및 제작 한국경제매거진(주)(02-360-4816) 인쇄 ㈜타타티피에스(031-945-1080) 문의 한국산업기술기획평가원(053-718-8567) 잡지등록 대구동, 라00026

본지에 게재된 모든 기사의 저작권은 한국산업기술기획평가원이 보유하며, 발행인의 사전 허가 없이 기사와 사진의 무단 전재, 복사를 금합니다.

Focus Story

02

Intro

All About 레드 바이오

04

History

질병을 넘어선 인류
근대 이후 혁신 의학 기술

08

Trend

바이오헬스케어의 시대가 온다
왜 바이오헬스케어인가

14

Issue

불가능을 가능으로,
DNA 편집해 난치병 극복한다
크리스퍼 유전자가위 기술

20

Interview

생명의 시간을 거꾸로 돌리는 '역노화' 시대 온다
조광현 KAIST 바이오및뇌공학과 교수

Changing Tomorrow

26

Challenge

디자인으로 로봇의 활용성과 편의성 높인다
(주)레인보우로보틱스

Global Focus

30

Issue

AI 자율제조 통해 생산 공정 혁신한다

Global Tech

32

Info

한눈에 보는 의료로봇 산업

34

Trend

내 몸속에 로봇이? 마이크로 의료로봇의 세계

New Tech

38

올해의 산업혁신기술상

(주)에코전력

국내 태양광산업 신시장 진출과 활로 개척 이끈다

42

R&D 프로젝트

서울대학교산학협력단

배양육, 인류 식량문제의 대안 기술로 성장하다

ESG Tech Trend

46

ESG & Tech

인공 나뭇잎이 만드는 청정에너지
광합성 원리 이용한 청정 수소 생산 기술

50

ESG Issue

글로벌 기술격차를 유지하는 방법 'ESG'

Tech & Story

54

테크 알쓸신잡

제네릭과 바이오시밀러, 복제약의 세계

58

잡 인사이드

황우현 동양미래대학교 로봇자동화공학부 자동화공학과 교수
SI와 로봇자동화의 시대를 이끌어갈, 자동화엔지니어

Review & News

62

톡소리단 리뷰

64

Notice

독자 퀴즈



All About

레드 바이오

1

바이오산업

의료 및 헬스케어 분야에 적용되는 생명공학. 인간의 건강과 관련된 연구와 기술 개발을 중심으로 한다.



레드 바이오

Red

ex.

의약품 개발(바이오 의약품, 신약), 유전자 치료(유전자 편집 기술, 맞춤형 치료), 재생의학(줄기세포 연구, 조직 공학) 등

농업과 환경 분야에 적용되는 생명공학. 지속가능한 농업과 환경보호를 목표로 한다.



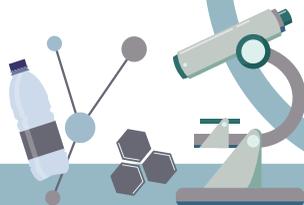
그린 바이오

Green

ex.

유전자 변형 작물 GMO (병충해 저항성, 수확량 증가), 바이오 농약(환경친화적 농약), 식품 기술(기능성 식품, 프로바이오틱스), 생물 복원(환경 정화) 등

산업 공정에서 적용되는 생명공학. 공정의 효율을 높이고, 환경 친화적인 산업을 구축하는 데 주력한다.



화이트 바이오

White

ex.

산업용 효소 및 미생물, 바이오 연료(바이오 에탄올 및 디젤), 바이오 플라스틱(생분해성), 바이오화학(친환경 화학물질) 등

2

레드 바이오 시장 규모 및 성장 전망

글로벌

2023년 기준

2024~2032년



3865억 달러
한화 약 523조 원



주요 기업



한국

2023년 기준

5조 3268억 원



주요 기업



분야별 규모



자료: Expert Market Research, Analystview Market Insights, 한국바이오협회, Mordor Intelligence, Grand View Research

글로벌 투자 규모



미국

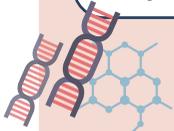
560억 달러
(약 75조 원, 2022~2023년)



유럽

430억 달러
(약 53조 원, 2022년)

주요 투자 분야



유전자 치료, 암 치료

자료: Mordor Intelligence, EY US

레드 바이오 R&D 현황

3



2조 2138억 원

2024년 국내 정부 11개 부처가 바이오헬스 R&D에 투자하는 예산. 국가 전체 주요 R&D 예산의 10% 수준이다.

국내 바이오헬스 R&D 투자 분야



자료: 제2차 바이오헬스혁신위원회

산업혁명 이전 전 세계 인구는 10억 명이 채 되지 않았다는 것이 정설이다. 그리고 2024년, 인간은 81억 명이 되었다. 비교적 짧은 기간 내 빠른 속도로 인류가 증가한 데는 의학의 발전이 중요한 역할을 했다. 무병장수를 원하는 인류의 꿈을 현실로 만들어준 주요 의학 기술을 살펴보자.

흔히 근대 이후의 시기를 ‘과학 시대’라고 부른다. 이는 과학이 현대인의 전유물이어서가 아니다. 전근대 시대에도 과학은 있었고, 연구되고 활용되었다. 그럼에도 불구하고 근대가 중요한 이유는 이 시기에 들어서야 비로소 대중이 세상은 과학적 원리로 움직인다고 생각하게 되었기 때문이다. 그전까지 대부분의 사람들은 신이나 악마 등 검증 불가능한 초월적 존재가 세상을 좌우한다고 생각했던 것이다. 사고의 전환은 의학에도 큰 영향을 미쳤다. 중세에만 해도 사람들은 질병의 원인이 미생물일 것이라고는 생각하지 못했다. 아니, 그 이전에 미생물의 존재 자체를 알지 못했다. 흑사병이 냄새로 퍼진다고 생각해 좋은 냄새가 나는 향료를 몸에 지니면 흑사병을 막을 수 있다고 생각했다. 광견병이 걸린 개에게 물리면 치료를 한답시고 상처를 뜨거운 쇠로 지졌다. 이런 비과학적인 예방 및 치료 방법이 효과가 있을 리 만무했다.

질병을 넘어선 인류 근대 이후 혁신 의학 기술



천연두 예방 백신으로 우두를 접종하는 제너

근대 이후 과학적인 사고방식이 자리 잡으면서 인류는 질병의 원인을 제대로 탐구하기 시작했다. 이에 따라 인류의 건강 상태와 평균수명은 비약적으로 증진됐다. 한 가지 예를 들어보자. 전근대 시대의 신생아 중 50~70%는 생물학적 결혼 가능 연령이 되기 전에 죽었다. 때문에 백일, 돌, 환갑 등의 통과례성 잔치를 성대하게 치렀다. 하지만 요즘 현대인의 생애주기는 달라졌다. 이제 환갑은 장수 축에도 들지 못한다.

✚ 1796년, 현대적 백신의 등장

약화된 병원균을 환자에게 주입해 면역력을 확보하는 백신은 현대적 예방의학의 상징이다. 사실 인류는 오래전부터 백신의 존재를 경험적으로 알고 있었다. 현대적인 백신이 등장하기 전 전근대에도 천연두 환자의 물건을 사용한다거나, 천연두 환자의

고름을 접종받는 등 약화된 천연두 바이러스를 노출시켜 예방하는 민간요법인 ‘종두법’이 존재했다. 물론 당대인은 천연두 바이러스의 존재는 몰랐지만 말이다. 이 방법은 나름의 효과가 있었다. 그러나 면역 효과를 전혀 얻지 못하거나, 아직 팔팔한 천연두 바이러스에 감염되어 목숨이 위험해지는 등의 부작용도 있었다.

1796년 영국의 에드워드 제너는 소젖을 짜는 일꾼들이 소에게서 우두를 옮겼다가 나오면 천연두에 걸리지 않는 점을 발견했다. 그는 우두 환자의 고름으로 천연두 백신을 만들어 이를 정원사의 아들에게 접종했고, 이후 천연두 환자의 고름을 그 아이에게 접종함으로써 예방 효능을 입증했다(요즘 같으면 연구 윤리에 심각하게 위배되는 행동이다). 이를 필두로 급속히 퍼져나간 백신은 천연두를 자연 상태에서 사실상 멸종시켰고, 국민에게 백신을 보급하여 주요 전염병을 퇴치하는 능력은

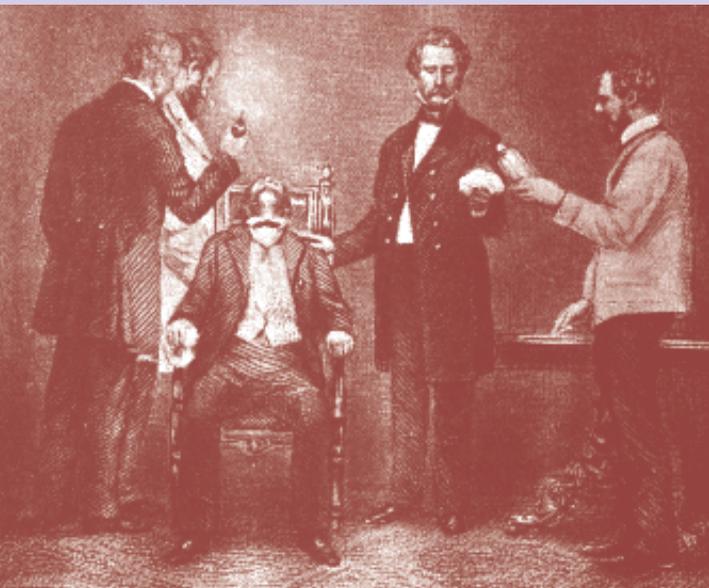
근대국가의 상징처럼 여겨지게 되었다. 지난 코로나19 바이러스를 이겨내는 데도 백신이 큰 역할을 했다.

백신 분야의 신기술 중에는 mRNA(메신저 RNA) 백신이 있다. mRNA는 인체에 단백질을 만드는 법을 알려주는 유전 물질로 인체 세포에 병원체의 스파이크 단백질을 만드는 법을 알려준다. 이후 mRNA 백신을 접종받은 인체가 진짜 병원체에 노출되면, 그것을 인식하고 퇴치 방법을 구사할 수 있다.

✦ 1846년, 마취제의 탄생

오늘날엔 당연하게 행해지는 마취. 마취 방법 역시 기원전 4000년부터 다양하게 연구되었으나 근대적인 기준에서 제대로 된 것은 하나도 없다. 근대 이전까지 수술은 최후의 수단으로 분류됐다. 일부 환자의 경우, 수술을 거부하고 차라리 죽겠다고 할 지경이었다. 그러던 중 1846년, 미국의 치과의사 윌리엄 T. G. 모튼이 에테르^①를 사용해 환자의 전신마취에 성공, 근대적인 마취 방법을 개척하기에 이른다. 이후 오래 지나지 않아 더욱 효과가 빠르게 나타나는 마취제인 클로로포름^{Chloroform}이 등장해 널리 보급된다. 두 마취제로 수술이 늘어나는 한편, 환자가 영원히 마취에서 깨어나지 못하는(즉, 사망하는) 부작용 사례도 많아졌다. 이에 더욱 안전한 마취제 개발이 빠르게 진행되었다. 오늘날 수많은 환자가 수술을 통해 생명을 구하는 것도 안전한 마취제가 없었다면 불가능했을 것이다.

① 에테르: 에틸에테르. 화학식은 $C_2H_5OC_2H_5$ 이다. 무색이며 휘발성이 높고 특유의 강한 냄새가 있으며 불이 잘 붙는다. 19세기 중반에는 수술 마취제로 쓰이며 의학 수술에서 환자의 고통을 줄이는 혁신적인 역할을 하게 된다. 이후 보다 안전하고 효율적인 마취제가 개발되며 마취제로서의 사용은 줄게 됐다.



✦ 1861년, 질병의 원인이 밝혀지다

매균설^{Germ Theory}이란 질병의 원인이 세균, 즉 미생물 때문이라는 이론이다. 지금이야 당연한 소리라고 하겠지만, 앞서 언급했던 전근대인은 이를 몰랐다. 전근대인은 질병의 자연발생설을 추종했다. 질병이 접촉이나 공기를 통해 전파되는 것이 아니라, 무^無로부터 출현한다고 믿었던 것이다.

자연발생설은 1861년에 등장한 매균설과 함께 사라졌다. 프랑스의 미생물학자인 루이 파스퇴르가 간단한 실험을 통해 질병을 일으키는 것이 미생물임을 입증한다. 그는 설탕과 효모의 배양액을 가열살균한 다음, 이를 플라스크 내에 밀봉했다. 외부와

◦ 에테르를 사용해 환자를 마취한 모튼(오른쪽에서 두 번째)

접촉이 없게끔 밀봉된 이 배양액 내에서는 어떤 부패나 발효 등도 관찰되지 않았다. 공기 중에 존재하는 미생물이 작용하지 않았기 때문이다. 이 간단한 실험은 매균설을 입증함과 동시에 의학계에 큰 전환점을 제공했다. 이로써 질병의 치료와 통제 및 예방법이 완전히 바뀌었기 때문이다. 당시 엄청난 수의 사람을 죽이던 흑사병, 이질, 티푸스 등의 전염병을 다스리는 데도 큰 도움이 되었음은 물론이다.

✦ 1895년, 의료영상기술로 몸속을 살펴보다

의료영상기술^{Medical Imaging Technology}은 인체를 절개하지 않고 그 내부를 보여주는 기술이다. X선, 초음파, CT 등이 대표적이다. 그중 제일 먼저 개발된 X선은 1895년 독일의 물리학자 빌헬름 콘라트 뢰트겐이 우연히 발견했다. 그는 검은 종지로 밀봉한 유리 음극선관^②에 전류를 흘리는 실험을 하다가, 음극선에서 기존에 알지 못하던 광선이 종이를 뚫고 나오는 것을 발견했다. 그리고 물질에 따라 광선의 투과력이 다르다는 것, 투과 상태를 사진으로 기록할 수도 있다는 것을 알았다. 이 신비의 광선이 바로 X선이다. X선은 인체 내부의 상태를 보여주는 마법의 광선으로, 순식간에 의료계의 각광을 받았다. 그 좋은 사례로, 1896년 영국

② 유리 음극선관: 크룩스 튜브 또는 크룩스 음극선관으로 불린다. 19세기 말, 영국 물리학자 윌리엄 크룩스가 발명한 실험 장비다. 높은 전압을 사용해 진공상태에서 전자를 발생시키고, 이 전자(음극선)가 유리 튜브 안에서 여러 물리적 현상을 일으키는 것을 관찰할 수 있게 해준다.

글래스고의 병원 내 세계 최초의 방사선과가 생겼다.

고주파 음파를 쏘아 디지털 영상을 만들어내는 초음파 영상기술은 그로부터 한참 후인 1955년부터 의료용으로 쓰이기 시작했다. 태아의 상태 검진이나 환자의 골반 및 복강 상태 검진 등의 효과를 혁신적으로 높였다. 1967년에는 X선과 컴퓨터를 결합한 컴퓨터단층촬영^{CT, Computed Tomography} 스캐너가 발명되었다. 현대 의료의 필수품이라 할 수 있는 CT 스캐너로 인류는 여러 가지 질병을 조기에 발견할 수 있게 되었다.

1973년에는 미국의 화학자 폴 라우터버가 MRI^{Magnetic Resonance Imaging}(자기공명영상)를 개발해낸다. MRI의 원리는 자석으로 구성된 장치에서 인체에 고주파를 쏘아 신체 부위에 있는 수소원자핵을 공명시켜 각 조직에서 나오는 신호의 차이를 디지털 정보로 변환해 영상화하는 것이다. 암, 뇌 및 척수 손상, 심장 및 신장 질환 등 방치하면 매우 치명적인 질환을 조기에 정확히 잡아낼 수 있는 기술이다.

✦ 1928년, 역사를 바꾼 항생제의 출현

1928년 영국의 알렉산더 플레밍이 세균의 세포벽을 파괴해 죽이는 항생제 페니실린을 우연한 기회에 발견한 이후, 세균성 질병과의 전쟁 방식은 일변했다. 이후 미국이 페니실린의 대량 생산에 성공한 것도, 추축국을 상대로 한 제2차 세계대전에서 연합군이 승리하는 데도 크게 기여했다. 그러나 페니실린을 필두로 한 항생제에는 부작용도 있었다. 항생제에 견딜 수 없게끔 진화한 슈퍼박테리아가 등장한 것이다. 현재 의학계는 이 슈퍼박테리아의 퇴치법을 찾는 데 골몰하고 있다.

✦ 1960년부터 1970년대까지의 의학적 발견들

천연두, 인플루엔자, 간염, AIDS, 에볼라, 광견병 등 바이러스가 일으키는 중대 질병이 많다. 바이러스는 박테리아와 구조가 달라 기존 항생제로 잡을 수 없다. 바이러스의



뢴트겐이 촬영한 첫 X선 사진 중 하나인 사람의 손 사진. X선은 최초의 의료영상 기술이었다.



항생제를
최초로 발명한
알렉산더
플레밍

유전물질은 보호단백질로 싸여 있으며, 그 상태에서 인간 세포 속에 숨어 번식한다. 때문에 인간 세포를 파괴하지 않고 바이러스를 잡기는 매우 어렵다. 항바이러스 의약품은 항생제보다 훨씬 늦은 1960년대에 나왔다. 항바이러스 의약품은 바이러스의 번식을 막거나, 인간의 면역체계를 자극해 바이러스를 공격하는 방식으로 작동한다.

인간의 몸을 이루는 다양한 세포가 가지각색의 빵이라면, 줄기세포는 그 모든 것의 원료인 밀가루 반죽과도 같다. 1970년대 의학계는 줄기세포가 지닌 이 엄청난 가능성에 주목했다. 줄기세포로는 어떠한 인간 세포도 만들 수 있으니 말이다. 이후 줄기세포 연구는 크게 발전했고, 현재는 골수 이식을 하지 않고도 줄기세포 요법으로 백혈병 등 혈액 장애를 치료할 수 있다. 줄기세포로 척수 부상, 알츠하이머병, 파킨슨병, 뇌졸중을 치료하는 방법도 연구 중이다.

면역 치료는 환자의 면역계를 자극해 질병을 치료하는 방식이다. 면역 치료의 원조는 미국의 의사 윌리엄 B. 콜리다. 그는 1890년대 암 환자의 종양에 비활성화된 박테리아를 투여해 암을 치료하는 실험을 했다. 그러나 면역

치료가 크게 발전한 것은 항체 요법이 등장한 1970년대부터다. 1991년에는 면역 치료법을 적용한 암 백신이 나왔고, 이 제품은 2010년 FDA 승인을 받았다. 최근 면역 치료는 암 치료 방법 중 가장 큰 잠재력이 있는 요법으로 각광받고 있다.

✚ 21세기, 의료 기술에 찾아온 4차산업혁명

4차산업혁명은 의학에도 큰 영향을 주고 있다. 의료기관을 방문하기 어려운 환경에서도 환자에게 양질의 의료 서비스를 제공할 수 있다. 원격 진료와 맞춤형 처방, 환자의 상태를 수시로 확인하고 대응하는 등의 서비스를 제공할 수 있다. 로봇으로 환자를 치료하고 수술하고 돌보고 이동시키는 직접적이고 물리적인 서비스를 할 수도 있다. 특히 로봇은 24시간 작동이 가능하다는 점에서 상시 도움이 필요한 환자를 보살피는 데 큰 도움이 될 것이다.

이러한 의료 기술의 발전이 어디까지 이어질까? 영화 <엘리시움>에도 나오듯 암을 순식간에 고치는 요법도 등장할 수 있을 것이다. 인류는 언제나 신기술 개발에 도전해 막연한 미래를 현실로 실현시켜왔다. 21세기에 펼쳐질 첨단 의학 기술을 기대해보자.



4차산업혁명은 의학계에도 침투하고 있다. 일본의 간병 로봇 ‘로베어’



이동훈 과학 칼럼니스트 <월간 항공> 기자, <파플러사이언스> 외신 기자 역임. 현재 과학/인문/국방 관련 저술 및 번역가. <과학이 말하는 윤리>, <화성 탐사>, <미래의 전쟁>, <위대한 파리>, <오퍼레이션 페이퍼클립> 등의 과학 서적을 번역했다.

약 또는 의약품이라는 단어를 들을 때 떠올리는 이미지 대부분은 알약이다. 혹자는 주사제를 떠올렸을지도 모른다. 평소 의약품에 관심이 있는 이라면 피부에 바르는 연고나 붙이는 패치를 생각할 수도 있다. 알약, 연고, 그리고 대부분의 주사제는 합성의약품이다. 공장에서 화학 '합성' 과정을 거쳐 만들어진다. 그렇다면 바이오의약품이란 무엇일까? 이 역시 '의약품'으로 합성의약품과는 조금 다른 종류의 약이라는 뜻일 터. 바이오의약품은 살아 있는 생명체에서 추출했거나 생명체를 활용해 생산한 의약품을 가리킨다.

바이오의약품의 시대가 온다

왜 바이오의약품인가

왜 바이오의약품인가?

2022년에 전 세계 바이오의약품 시장은 이미 4777억 달러, 즉 660조 원을 넘어섰다. 실제로 2023년 전 세계에서 제일 많이 팔렸던 의약품 10개 중 7개가 바이오의약품이었다. 그뿐만 아니라 생명공학 기술 발전의 속도가 빨라지면서 앞으로 새로운 작용기전을 갖는 혁신적인 바이오의약품이 더 많이 개발될 게 분명하다. 지금까지 합성의약품 분야에서는 한국이 주목할 만한 성과를 내지 못했다. 하지만 바이오의약품 분야는 이제 막 발아했기 때문에 후발국인 한국도 충분히 겨루어볼 만하다. 비록 정통 바이오의약품은 아니더라도 바이오시밀러에서 한국의 바이오 제약기업이 전 세계 시장을 주도한다는 사실도 이런 기대를 뒷받침한다.

그뿐만 아니라 바이오의약품은 근간이 되는 생물학과 질병의 병태생리를 잘 이해할수록 더 쉽게 개발이 가능하다. 한국의 의과학계는 최근 몇 년 동안 전 세계가 부러워할 만큼 빠르게 발전했다. 바이오의약품을 개발하는 데 필요한 과학 역량과 리더십을 확보했다는 뜻이다. 한국에서 섬유, 자동차, 반도체, 스마트폰을 이룰 미래산업이 바로 바이오의약품이라고 기대하는 게 이 때문이다. 그래서 바이오의약품이 한국에 중요하다. 우리 모두가 바이오의약품 개발에 관심을 갖고 지켜보며 응원해야 할 이유다.

바이오의약품과 합성의약품의 차이

합성의약품은 크기가 작다. 구조도 비교적 간단하다. 화학합성을 통해 만들기 때문에 원료가 같다면 항상 동일한

약이 만들어진다. 온도와 습도가 아주 높지만 았다면 보관도 큰 문제가 없다. 대부분의 합성의약품은 먹는 방식으로 투여한다. 이에 반해 바이오의약품은 매우 크다. 구조도 복잡하다. 살아

2023년 글로벌 판매량 TOP 10 의약품

바이오의약품

7
종

- 팼브롤리주맙: 면역항암제
- 토지나메란: COVID-19 백신
- 아달리무맙: 염증성 질환 치료제
- 애플리버셉트: 황반변성 치료제
- 듀필루맙: 염증성 질환 치료제
- 우스테키누맙: 판상 건성 및 크론병 치료제
- 다라투무맙: 다발성 골수종 치료제

합성의약품

3
종

- 세마글루타이드: 제2형 당뇨병 및 비만 치료제
- 아픽사만: 항응고제
- 빅테그라비르: HIV 감염 치료에 사용

자료: Nature

있는 생명체를 이용해 생산하기 때문에 만든다기보다 ‘키운다’고 표현하는 것이 적절하다. 같은 원료를 쓰더라도 생산 공정이 달라지면 최종 결과물이 같다는 보장을 할 수 없다. 열과 빛에 민감하기 때문에 보관 조건도 매우 까다로워 냉장 또는 냉동이 필수다. 먹는 방식으로는 우리 몸 안에 보낼 수 없다. 그래서 99%의 바이오의약품은 정맥이나 근육 또는 피하로 주사해야 한다.

코로나19로 익숙해진 mRNA 백신

바이오의약품이라는 말을 처음 들은 사람도 있겠지만 사실 바이오의약품은 의료 현장에서 오래전부터 사용됐다. 피를 많이 흘린 환자에게 주는 농축적혈구, 피가 잘 멎지 않는 환자에게 주는 신선냉동혈장, 그리고 예방접종에 사용하는 백신이 다 바이오의약품이다. 이처럼 우리 곁에 오랜 기간 존재했던 바이오의약품이 갑자기 각광받는 이유는 뭘까? 생명공학 기술이 급격히 발전해 한 해가 멀다 하고 새로운 종류의 바이오의약품이 속속 시장에 나오기 때문이다.

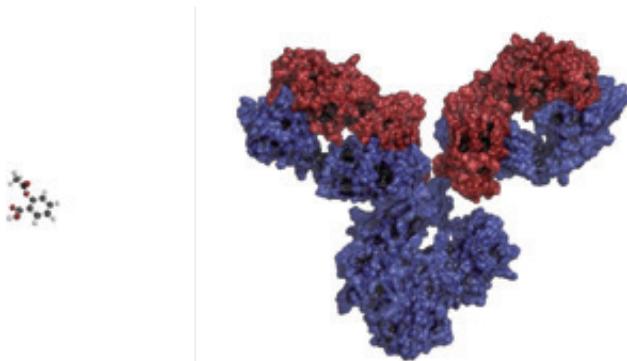
대표적인 예가 코로나19 팬데믹 중에 유명해진 mRNA

백신이다. 물론 백신은 오래된 바이오의약품 중 하나다. 1796년 영국의 에드워드 제너는 우두에 걸린 사람의 체액을 접종하면 천연두에 걸리지 않거나 걸리더라도 약하게 앓는다는 사실을 알아냈다. 제너의 발견 이후 독성을 약화한 바이러어나 병원균을 접종해 전염병을 예방하려는 시도가 다양한 백신 개발로 이어졌다.

이처럼 백신은 감염을 일으키는 세균이나 바이러스 같은 미생물을 약화하거나 면역반응을 일으키는 미생물의 일부분을 분리한 것이다. 이들을 주입하면 우리 몸에서는 미생물에 저항하거나 미생물의 기능을 약화하는 항체가 만들어진다. 하지만 이런 방식으로 개발된 구시대의 백신은 일종의 ‘블랙박스’였다. 백신에 정확히 어떤 물질이 포함되어 있는지 알지 못했으며 백신을 접종했을 때 어떤 종류의 항체가 만들어져 감염을 예방하는지도 몰랐다.

코로나19 바이러스는 표면에 돌기처럼 솟은 스파이크 단백질을 이용해 우리 몸 안에 들어온다. 따라서 스파이크 단백질에 붙어 작동을 억제하는 항체를 우리 몸이 만들어내면 코로나19 바이러스의 감염을 예방하거나 적어도 질병의 경과를 단축할 수 있다.

합성의약품과 바이오의약품의 크기 및 구조 비교



합성의약품(아스피린) 180달톤	바이오의약품 150,000달톤
----------------------	---------------------

바이오의약품의 활성물질은 합성의약품보다 훨씬 크고 복잡하다. 근대 의약품의 시대를 연 대표적인 합성의약품 아스피린의 분자량은 약 180달톤이다. 그러나 대표적 바이오의약품 중 하나인 인플릭시맙의 분자량은 거의 150,000달톤에 달한다.

자료: 필자 제공

만일 옛날 방식으로 백신을 만든다면 코로나19 바이러스를 죽이거나 거의 죽인 상태로 몸 안에 집어넣었을 것이다. 하지만 mRNA 백신은 구시대의 백신과 완전히 다른 방식으로 작동한다. 요컨대 mRNA 백신은 스파이크 단백질을 만드는 유전물질이다. 주입된 mRNA는 우리 몸 안에서 스파이크 단백질을 만들고 여기에 결합하는 항체가 순차적으로 생성된다. 즉 코로나19 바이러스를 주입하지 않아도 감염을 막는 데 필요한 항체를 만들어낼 수 있게 되는 셈이다. mRNA 백신을 성공적으로 개발할 수 있던 이유는 과학자들이

코로나19 바이러스에서 정확하게 어떤 부분이 감염을 일으키는지를 알아냈기 때문이다. 정보 공유도 큰 역할을 했다. 실제로 코로나19 바이러스를 분리한 지 며칠이 안 돼 스파이크 단백질을 만들어내는 유전자 코드를 확인할 수 있었고 이 정보는 인터넷을 통해 전 세계의 과학자에게 공유됐다. 빙고! 이제 남은 것은 알려진 유전자 코드에 따라 mRNA를 만드는 일이다.

mRNA 백신이 이전 백신보다 좋은 이유는 한둘이 아니다. 우선 mRNA 백신은 살아 있는 바이러스를 조작하지 않기 때문에 생산 과정에서나 이후에 감염될 위험이 전혀 없다. mRNA를 구성하는 유전자 염기서열은 비록 생명 정보이지만 그 자체는 비교적 간단한 화학합성으로 만들 수 있다. 더군다나 제조 기간도 짧아 단기간에 대량으로 생산하는 게 가능하다.

물론 문제도 있다. 가장 큰 단점은 mRNA가 불안정한 물질이기 때문에 보관은 물론 운송 과정이 까다롭다. 즉 mRNA 백신은 냉장 또는 냉동 기능을 갖춘 물류체계가 필요하고 이를 콜드체인이라고 부른다.

바이오헬스케어 시대를 앞당긴 다양한 생명공학 기술들

mRNA 백신 기술 이외에도 바이오헬스케어 시대를 연 중요한 생명공학 기술이 더 있다. 우선 '유전자재조합' 기술을 살펴보자.

1) 세포의 기능을 바꾸는 유전자재조합 기술

특정한 단백질을 만드는 유전 정보를 유전자^{gene}라고 부른다. 유전자재조합 기술은 바로 이 유전자를 세포 안에 존재하는 유전체^{genome}에 끼워 넣는 기술을 말한다.

코로나19 바이러스를 예방하거나 치료하기 위한 연구가 세계 곳곳에서 동시다발적으로 진행되었다.

사진은 충북 제천시 바이오밸리의 엔지캠생명과학 중앙연구소로, 코로나19 치료제 개발을 위한 연구가 활발히 이루어진 바 있다.



유전자재조합 기술을 활용하면 세포가 새로운 기능을 하도록 만들 수 있다. 예를 들어 인간의 인슐린 유전자를 박테리아나 돼지, 소의 유전자 속에 삽입하면 유전자가 새롭게 자리 잡은 세포에서 사람의 인슐린을 만들기 시작한다. 만들어진 인슐린을 세포에서 추출하면 되기에 유전자재조합 기술로 일종의 인슐린 공장 역할을 하는 새로운 세포가 얻어진 셈이다. 현재 가장 흔한 바이오의약품은 인슐린과 같은 단백질이 중심 성분이다. 따라서 유전자재조합 기술이야말로 바이오의약품 시대를 연 핵심 기술이라 할 만하다.

2) 세포증식을 통해 항체를 만드는 하이브리도마 기술

하이브리도마^{Hybridoma} 기술도 바이오의약품 분야에서 매우 중요한 역할을 했다. 하이브리도마 기술은 특정 항체를 지속적으로 생산할 수 있는 세포 집합을 만드는 기술이다. 특정 항원에 반응해 항체를 생산하는 세포와 종양세포를 융합해 하이브리도마를 생성한다. 현재 전 세계에서 가장 많이 팔리는 바이오의약품 대부분은 항체의약품이다. 그러나 유전자재조합 기술로 항체를 생산하기란 쉽지 않다.

항체를 생산하는 면역세포는 유전자재조합 기술에 사용하는 대장균이나 효모처럼 활발히 증식하는 세포가 아니기 때문이다. 따라서 유전자재조합 기술만으로는 충분한 양의 단백질을 생산하기 어렵다.

낮은 생산수율의 문제는 하이브리도마 기술로 해결했다. 하이브리도마 기술을 사용하면 두 종류의 세포를 융합해 잡종세포를 만들 수 있다. 예를 들어 ‘항체 공장’ 세포를 얻기 위해 항체를 생산하는 비만세포와 암세포를 융합한다. 이렇게 만들어진 잡종세포는 비만세포에서 항체를 생산하는 능력을 물려받고 암세포에서는 무한히 증식하는 특성을 얻는다. 결국 하이브리도마 기술을 통해 항체 생산에 적절한 세포주를 얻게 됐다.

바이오의약품 미래 선도하는 세포치료제와 유전자치료제

세포치료제와 유전자치료제는 단백질이 주성분인 대다수 바이오의약품과는 생산이나 개발 과정이 크게 다르다. 그럼에도



“인공지능이나 유전자 분석 맞춤형료가 아니라 왜 바이오의약품인가 하고 묻는다면, 바이오의약품은 지금 담당 실제 환자 치료에 빈번히 사용되는 중요한 치료법이기 때문이다.”

— <바이오의약품 시대가 온다> 中



인천 송도에 위치한 삼성바이오로직스 3공장에서 연구를 진행 중인 연구원들. 삼성바이오로직스를 포함해 셀트리온, SK바이오팜, 한미약품, 녹십자, 유한양행 등의 기업들이 바이오의약품 개발에 힘쓰고 있다.

불구하고 세포치료제와 유전자치료제는 생물학적 원천에서 비롯됐기 때문에 바이오의약품에 속한다. 특히 최근에 세포치료제와 유전자치료제의 임상 효과가 입증되면서 차세대, 즉 바이오의약품의 미래를 선도할 혁신 의약품으로 큰 기대를 받고 있다. 또한 질환의 근본적인 치료가 가능해 희귀난치병이나 치명도가 높은 질환에서 세포치료제와 유전자치료제의 중요성이 커지고 있다.

예를 들어, 척수성 근위축증 치료제인 졸겐스마는 병을 일으키는 망가진 유전자를 대신해 기능할 수

있는 대체 유전자를 넣어줌으로써 치료 효과를 발휘하는 정통 유전자치료제인데 단 1회 투여로 완치가 가능하다. 세포치료제와 유전자치료제 같은 혁신 바이오의약품의 미래가 얼마나 밝은지 잘 보여주는 예다.

다만 이러한 세포치료제와 유전자치료제는 매우 비싸다. 졸겐스마의 경우 한국에서는 약가가 20억 원에 달한다. 다행히 건강보험의 급여 대상이 돼 환자 부담은 600만 원으로 대폭 줄었지만 여전히 바이오의약품의 높은 가격은 해결해야 할 숙제다.



이형기 서울대학교 분자의학및바이오제약학과 교수 서울대학교병원 임상약리학과 교수를 겸직하며 신약개발, 임상약리학, 맞춤형물요법, 규제과학, 인공지능, 빅데이터가 주요 연구 분야다.

2023년 11월 16일, 영국 보건 당국이 ‘카스게비^{Casgevy}’라는 신약을 승인했다. 적어도 의생명과학에서는 역사적인 사건이라 하겠다. ‘크리스퍼 유전자가위’가 치료제로 처음 데뷔하는 순간이자, ‘낮적혈구병’이라는 유전 질환을 치료할 길이 열렸으니 말이다. 낮적혈구병은 이름대로 적혈구를 낮처럼 구부러뜨리는 질병이다. 이렇게 변형된 적혈구는 원반 모양인 정상 적혈구보다 기능이 현저히 떨어져서 환자는 악성 빈혈로 고통받곤 한다. 유전병이다 보니 낮적혈구병을 완전히 고치려면 유전자를 교정해야만 하는데, 이것은 ‘미션 임파서블’ 수준의 어려운 과제였다. 카스게비는 어떻게 불가능을 가능하게 할까?

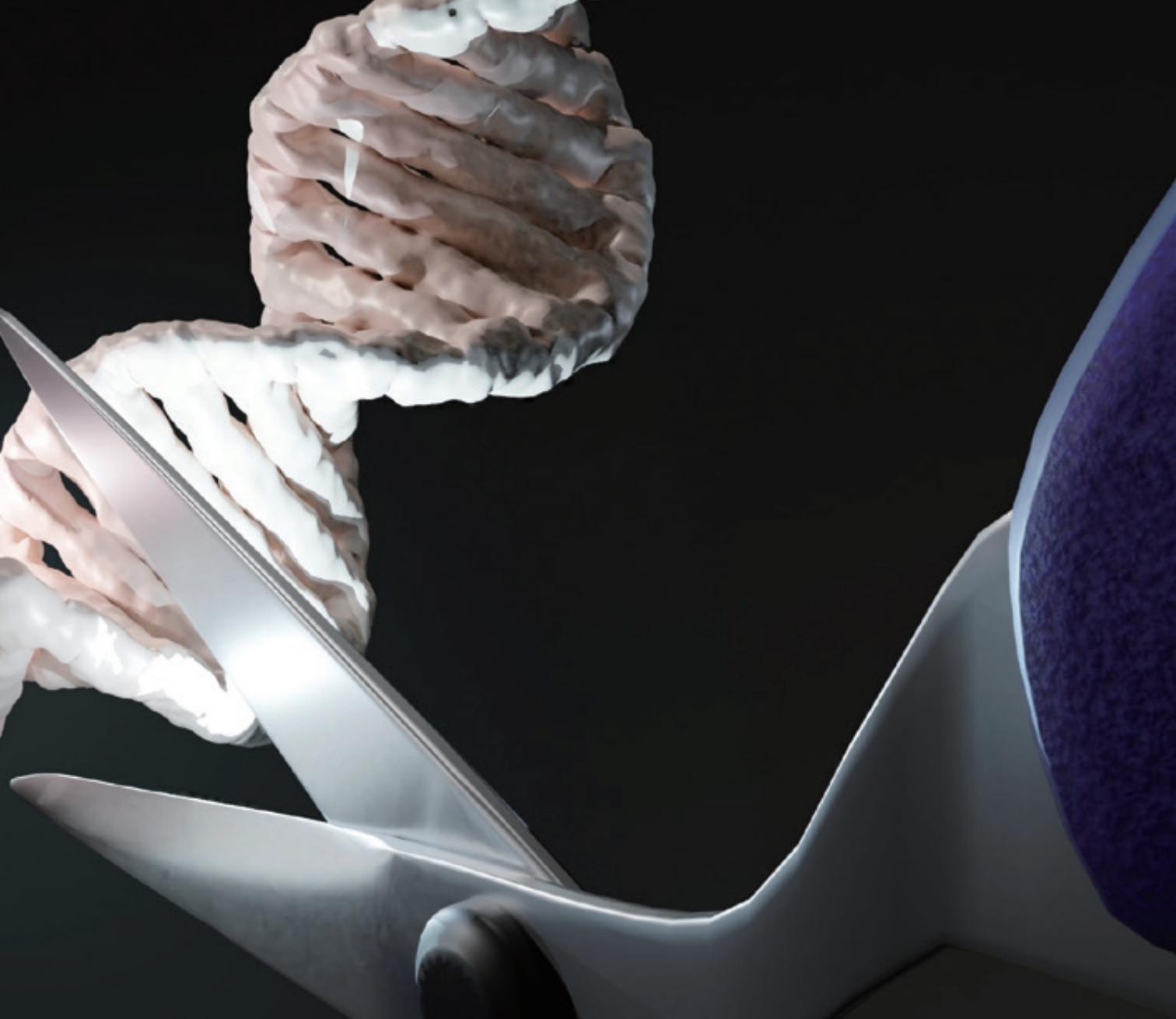
불가능을 가능으로, DNA 편집해 난치병 극복한다

크리스퍼 유전자가위 기술

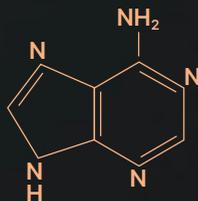
! 크리스퍼란 무엇인가

유전자를 이루는 물질인 DNA는 A(아데닌), G(구아닌), C(사이토신), T(티민) 이렇게 로마자 알파벳 네 개로 쓰인 기다란 문장이라고 할 수 있다. 이 DNA 알파벳을 전문용어로 ‘염기’라고 부른다. 1987년 일본 연구진이 대장균의 DNA에서 처음으로 회문 구조를 발견했다. 회문이란 ‘다시 합창합시다’ 또는 ‘PULL UP IF I PULL UP’처럼 앞으로 읽으나 뒤로 읽으나 뜻과 모양이 같은 문장을 말한다. 이후 여러 세균의 DNA 염기 순서를 낱알이 읽어내면서 많은 세균에 다양한 회문이 존재하는 것으로 드러났다. 때로는 이런 회문에 세균 바이러스 DNA의 일부가 붙어 있기도 했다.

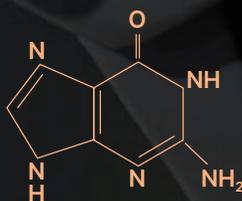




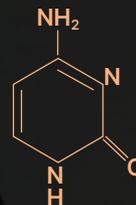
A(아데닌)



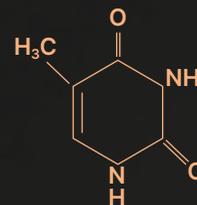
G(구아닌)



C(사이토신)



T(티민)



“크리스퍼 캐스9 기술은 생명과학의 새로운 시대를 열었다.
이를 통해 암과 유전 질환의 치료에 큰 진전을 이룰 수 있을 것으로 예상된다.”

- 제니퍼 다우드나의 노벨화학상 수상 소감 중

거의 모든 세균의 DNA 여기저기에서 회문이 발견되었지만, 그 기능에 대해서는 전혀 모르는 상태였다. 심지어 부르는 이름도 연구진마다 제각각이었고 2002년에 와서야 크리스퍼라는 이름으로 통일되었다. 크리스퍼는 영어 단어 6개, ‘Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats’에서 머리글자를 따서 만든 줄임말이다. 전체 이름을 우리말로 옮기면 ‘일정한 간격을 두고 분포하는 짧은 회문의 반복’이라는 뜻이다.

지구상 모든 생물은 바이러스 감염을 피할 수 없다. 2007년, 덴마크의 한 요구르트 회사 연구진이 요구르트를 만드는 젖산균(유산균)을 키우다 특이한 현상을 발견했다. 일부 젖산균이 특정 바이러스에 내성이 있는 것처럼 보였다. 이 젖산균의 DNA를 분석했더니, 크리스퍼 사이에 바로 그 바이러스 DNA의 일부가 들어 있었다. 그로부터 15년 뒤 2012년에 두 여성 과학자가 크리스퍼의 작동 원리를 규명해내는 데 성공했다. 2020년 노벨화학상을 받은 제니퍼 다우드나와 에마누엘 샤르팡티에가 그 주인공이다.



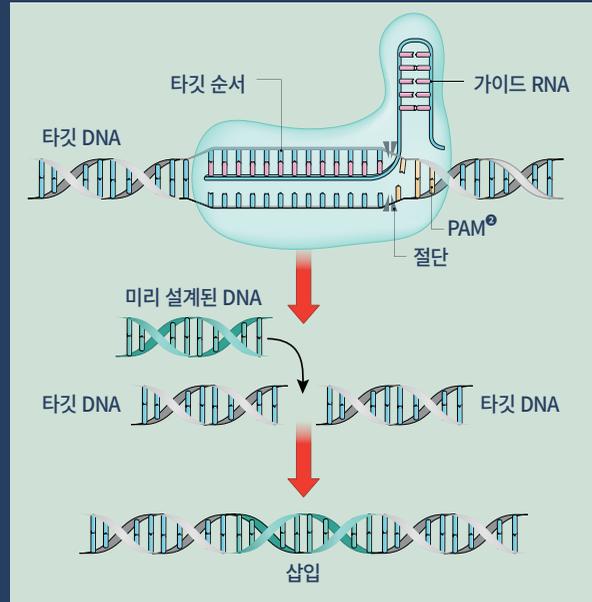
크리스퍼 유전자가위 기술을 개발한 공로로 2020년 노벨화학상을 수상한 제니퍼 다우드나(Jennifer Doudna, 왼쪽)와 에마누엘 샤르팡티에(Emmanuelle Charpentier, 오른쪽)

세균은 침입한 바이러스의 DNA를 조각내고 그 일부를 크리스퍼 사이에 보관한다. 만약 같은 바이러스가 다시 들어오면 크리스퍼에 끼워둔 DNA를 그대로 읽어 RNA^①를 만들어낸다. 이 RNA는 재침입한 바이러스 DNA의 일치하는 부분에 결합하는데, 이때 바이러스 DNA를 자를 수 있는

① RNA: 리보핵산(Ribonucleic acid)의 약자. 생명체의 유전 정보와 관련된 중요한 분자 중 하나다. 유전자 발현과 단백질 합성 과정에서 핵심적인 역할을 맡는다.

단백질이 함께 가서 붙는다. 이렇게 가위와 같은 역할을 하는 단백질을 ‘캐스9(Cas9)’이라고 한다.

크리스퍼 유전자 가위 기술의 작동 개념도



② PAM: 특정 DNA 서열을 인식하고 절단하는 데 필수적인 역할을 하는 짧은 DNA 서열. 목표 DNA를 정확하게 식별하고 결합할 수 있도록 돕는다.

! 1세대 유전자가위 기술 ‘아연-손가락 핵산분해효소’

크리스퍼 유전자가위를 ‘3세대 유전자가위’라고 한다. 앞선 1, 2세대 유전자가위가 있다는 말이다. 1996년 2월, 유명한 국제 학술지인 <미국국립과학원회보>에 ‘하이브리드 제한효소: 포크 원 결합 아연 손가락’이라는 제목의 논문이 발표되었다. 세균이 침입한 바이러스 DNA를 파괴한 효소를 지니고 있다는 사실은 일찍이 1960년대에 이미 발견되었다. 이를 ‘제한효소’라고 부르는데, 여기에는 세균이 자기 DNA는 건드리지 않고 침입한 바이러스 DNA에만 제한적으로 작용한다는 뜻이 담겨 있다. 제한효소는 매우 다양한데, 인식해서 자르는 DNA 염기 순서가 다 제각각이다.

아연 손가락은 DNA 염기 3개를 선택적으로 인식해서 결합하는 작은 단백질이다. 아연 손가락은 마치 ‘엄지 척’ 모양으로 DNA에 결합하는데, 이때 아연 이온이 손가락 마디를 구부리듯

손가락에 비유한 아연 손가락 단백질 구조

Cys: 시스테인, 아미노산의 일종
His: 히스티딘, 아미노산의 일종



단백질이 적절히 접히게 도와준다. 한편 ‘포크 원^{Fork I}’은 여느 제한효소와 달리 DNA를 인지하는 부위와 가위 역할을 하는 부위가 따로 나뉘어 있다. 따라서 DNA를 자르는 기능을 하는 부분만 떼어서 아연 손가락에 붙이면 원하는 곳을 자를 수 있는 하이브리드 효소가 완성된다. 이게 바로 1세대 유전자가위인 ‘아연-손가락 핵산분해효소’이다.

! 테일 단백질을 이용한 2세대 기술 ‘탈렌’

2세대 유전자가위 탈렌은 1세대 유전자가위에서 DNA 결합 단백질인 아연 손가락을 ‘테일^{TALE}’이라는 단백질로 바꾼 것이다. DNA 염기 3개를 인지하는 아연 손가락과 달리 테일은 염기 1개만을 인지하기에 그만큼 제조 비용과 시간이 줄어들고,

표적을 더 자유롭게 선택할 수 있다는 장점이 있다. 다만 테일 단백질은 상대적으로 크기가 커서 세포 안으로 전달하기가 그만큼 어렵다는 게 아쉽다. 탈렌 유전자가위는 2009년에 처음 만들어졌고, 2010년부터 본격적으로 유전자 편집에 활용되기 시작했다.

! 1, 2세대 보완한 3세대 크리스퍼 유전자가위 기술

크리스퍼 유전자가위가 앞서 개발된 유전자가위들과 비교해 가장 다른 점은 유전자 편집에 RNA를 이용한다는 점이다. 인식하고 결합하는 단백질이 작은 RNA로 대체됨으로써, 아연 손가락이나 테일 단백질을 맞춤형으로 만들 때마다 매번 거쳐야 하는 복잡한 공정이 대폭 간소화되었다. 그 덕분에 기술력을 보유한 소수 연구자만 재현할 수 있었던 유전자가위 기술이 널리 사용되기 시작했다.

! 크리스퍼 유전자가위의 현재와 미래

카스케비 승인으로 크리스퍼 유전자가위 기술은 입증된 셈이지만, 현재는 DNA 염기를 정확하게 바꾸거나 추가해



유전정보를 교체하는 데에는 한계가 있다. DNA는 2개의 가닥이 꼬박기처럼 꼬여 있는 구조로 만들어져 있다.

크리스퍼 유전자가위는 DNA 두 가닥을 모두 잘라 편집한 다음, 세포 자체의 복구 시스템을 이용하여 마무리 연결을 한다. 이 때문에 절단 부위에서 의도치 않은 DNA가 들어가거나 없어지는 문제가 일어나곤 한다. 이를 극복하기 위해 차세대 기술개발 연구가 활발하게 진행 중인데, 그 가운데 하나가 ‘프라임 편집^{Prime editing}’ 기술이다.

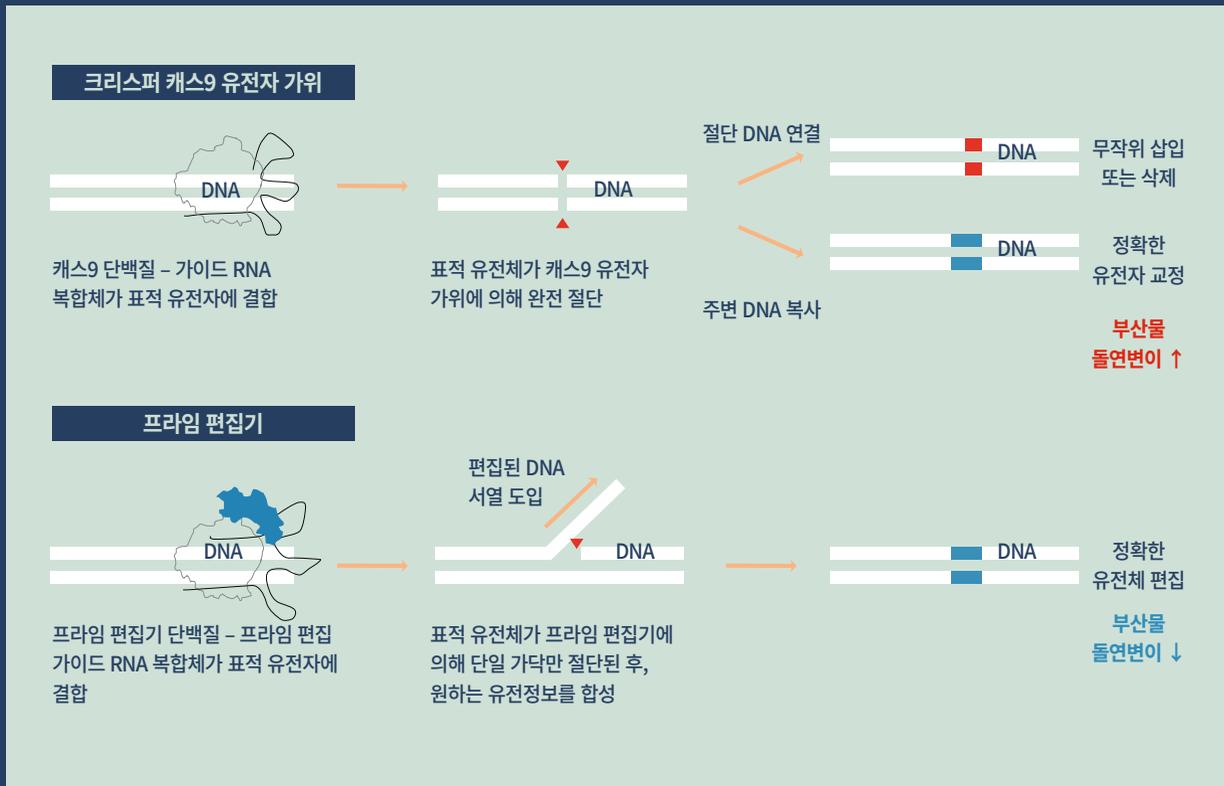
프라임 편집 기술의 핵심은 DNA를 두 가닥이 아니라 한 가닥만 자르도록 캐스9 효소를 변형했다. DNA를 한 가닥만 잘라내므로 그만큼 안전하고 원하는 유전정보를 정확히 넣을 수 있다는 점에서 크게 발전한 기술로 인정받고 있다. 이전 기술과 비교해 설계와 교정 방법이 좀 더 복잡하다는 단점이 있다. 이렇듯 정밀하고 안전한 크리스퍼 유전자가위 개발을 위한 연구는 현재진행형이다.

! 유전자 편집의 기준과 범위

크리스퍼 유전자가위 기술을 적용할 대상과 범위가 늘어나면서 이를 둘러싼 논쟁도 그만큼 치열해지고 있다. 위에서 번갈아 사용한 유전자 ‘편집’ 또는 ‘교정’이라는 표현은 영어 ‘gene editing’을 우리말로 옮긴 것이다. 크리스퍼 유전자가위 연구자들은 보통 ‘교정’이라는 단어를 선호하는 경향이 있다. 교정의 사전적 의미가 ‘잘못된 글자나 글귀 따위를 바르게 고침’이니까, 유전자 교정이 좀 더 긍정적으로 들려서 그런 듯하다.

교정을 하려면 옳고 그름을 판단할 기준이 있어야 한다. 그러려면 먼저 무엇이 옳은지 그른지 질문하고 답을 구해야 한다. 다시 말해 심도 있는 소통을 통해 다양한 의견을 수렴하고 합의를 끌어내야 한다. 아마도 크리스퍼 유전자가위 기술을 유전병을 비롯한 난치병을 치료하거나 예방 목적으로 사용하는 데에는 모두 동의할 것이다. 문제는 좀 더 들어가면 어디까지가 치료와 예방이고 어디부터가 신체 능력 강화인지 경계가 흐려지고 만다는 점이다.

크리스퍼 캐스9 유전자가위와 차세대 유전자가위인 프라임 편집기의 유전자 교정 비교



크리스퍼 캐스9 기술과
관련된 RNA 수정을
시각적으로 표현한 이미지.
RNA의 정밀한 조작은
유전자 편집의 성공에
중요한 역할을 한다.



이제 인류는 모든 생명체의 유전자를 원하는 대로 편집할 수 있는 능력을 보유한 만큼 이를 안전하고 올바르게 사용하기 위한 기준을 세우는 일이 시급해졌다. 유전자는 자기들끼리는 물론이고 생명시스템 안팎을 오가는 다양한 신호와 얽혀 네트워크를 이룬다. 따라서 나무가 아닌 숲을 봐야만 그 기능을 제대로 평가할 수 있다. 그러나 단순히 개별 기능을 아는 수준에서 유전자를 쫓고 나뭇잎이라는 이분법적 잣대로 평가하는 건 매우 위험할 수 있다. 생명을 음악에 비유한다면, 지금 우리는 악보에 쓰인 음표를 읽어 멜로디만 알 뿐이다. 아직 화음과 리듬이 어우러진 완전한 곡을 연주하지는 못하는 상태다. 덧붙여 우리 인간에게 생명체의 유전자를 마음대로 편집할 권리가 있는지도 깊이 생각해봐야 한다.

생물학을 뜻하는 영어 단어 'Biology'는 각각 '생명'과 '학문'을 의미하는 고대 그리스어 '비오스^{Bios}'와 '로고스^{Logos}'가 합쳐진 말이다. 그런데 비오스에는 전혀 다른 두 가지 의미가 담겨 있다고 한다. 강세를 앞에 두면 '활', 뒤에 두면 '생명'을 뜻한다.

그래서 고대 그리스 철학자 헤라클레이토스는 “활이 생명을 뜻하지만, 하는 일은 죽음이다”라는 말을 남기기도 했다. 생물의 변형과 복제를 넘어 설계와 제조까지 시도하는 현대 생물학에서 내 눈에는 비오스의 두 얼굴이 얼핏얼핏 보인다.

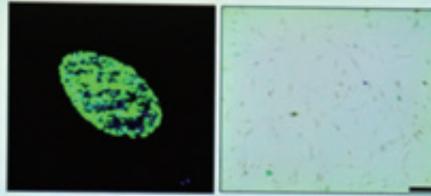
생물학은 21세기에 들어서 더욱 빠르게 발전하고 있다. 미생물과 동식물은 물론이고 심지어 인간마저 변형시키는 경지에 이르렀다. 생물학은 영향력이 커질수록 미래를 올바르게 이끌 지혜가 절실했다. 어떻게 해야 그런 지혜를 기를 수 있을까? 아무래도 과학에만 머물러서는 힘들 듯하다. 현재 생물학이 느끼는 한계를 넘어서려면 다른 학문, 특히 인문학·예술과 만나 대화해야 한다고 생각한다. 그러면 생각의 깊이가 넓어져 다양한 아이디어를 떠올릴 수 있을 것으로 기대한다. 바다처럼 넓고 깊어야만 큰 배를 띄울 수 있듯이, 현재의 영향력과 미래 잠재성에 비추어볼 때, 생물학은 인문학·예술과 만날 준비가 이미 되었으며 또한 만나야만 한다.



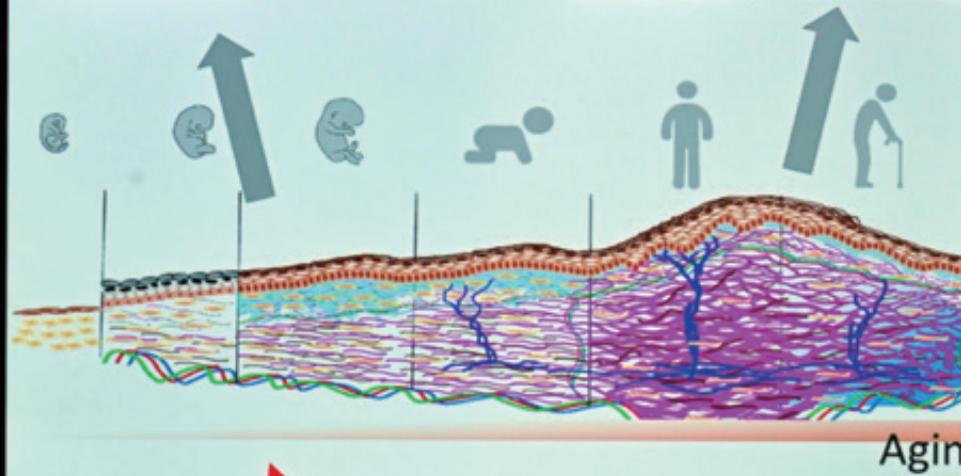
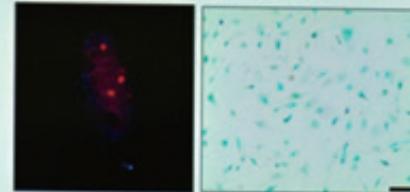
김응빈 연세대학교 시스템생물학과 교수 미생물을 공부하며 인문예술학자와 융합 연구도 수행하고 있다. <오늘은 유전자가위>를 비롯해서 여러 책을 썼고, 유튜브 채널 '김응빈의 응생물학'을 통해 흥미진진한 생물 이야기를 들려주고 있다.

Reverse-Aging of fibroblasts

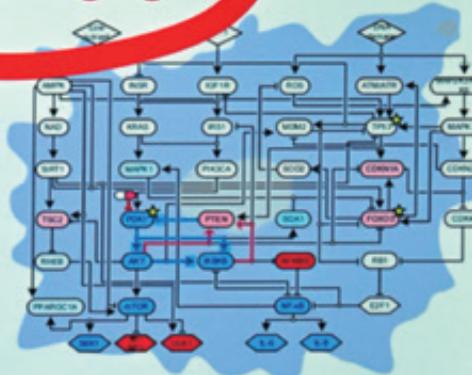
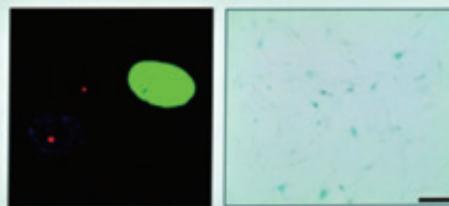
Young fibroblast



Aged fibroblast



Reverse-aged fibroblast



S. An et al., *PNAS* (2020)

Laboratory for Systems Biology
and Bio-Inspired Engineering, KAIST

KAIST 바이오메디컬연구원 연구실



Prof. Kwang-Hyun Cho, PI
ckh@kaist.ac.kr
042-350-4325 (Office)
042-350-4365/5365 (Lab)
Homepage : <http://sbie.kaist.ac.kr>

늙지 않는 상태로 사는 삶은 가능할까.
 생명공학 및 바이오 분야에서 세포 노화를
 늦추는 ‘항노화’를 넘어 노화를 되돌리는
 ‘역노화’ 연구가 활발히 이뤄지고 있다.
 역노화 기술은 지난해 한국생명공학연구원^{KIRBB}
 이 발표한 ‘10대 바이오 유망 기술’ 중 하나로
 선정돼 관심이 집중되기도 했다.
 역노화 연구가 노화로 발생하는 질병을
 예방하고, 노화 연구의 새 지평을 여는 열쇠가
 될 수 있을지 조광현 KAIST 바이오및
 뇌공학과 교수를 만나 들어봤다.

word 김광균 photo 김기남

생명의 시간을 거꾸로 돌리는 ‘역노화’ 시대 온다

Q. 교수님께서 세계 최초로 인체 세포의 노화를 되돌릴 수 있는 원천기술을 개발해 주목받으셨는데요. 연구 결과의 성과와 의미를 어떻게 평가하시나요?

인간의 진피 섬유아세포가 노화되는 과정에서 세포 내 단백질의 변화를 측정하고 측정된 데이터를 기반으로 세포가 노화되는 과정에 핵심적으로 작용하는 분자를 추출한 뒤 분자들이 어떻게 상호작용하는지에 대한 수학 모델을 만들었습니다. 이를 약 8개월간 시뮬레이션 분석을 통해 노화 과정을 모사해내고 노화 과정을 역전시킬 수 있는 분자 타겟이 무엇인지 추적했습니다. 그 결과 ‘PDK1’이라는 분자를 발견했는데 이 분자를 억제하면 노화된 진피 섬유아세포를 젊고 건강한 세포로 되돌려 활발하게 세포 분열을 하면서 피부 조직상에서도 진피층이 두터워집니다. 그리고 콜라겐 합성이 늘어나면서 늙고 주름진 피부 조직 세포층을 젊고 건강하게 되돌린다는 흥미로운 발견을 하게 됐죠.

Q. 항노화(안티에이징)를 넘어 역노화(리버스에이징)의 시대를 맞게 될 것이라는 전망이 힘을 얻고 있습니다. 역노화의 개념은 무엇이며, 항노화를 넘어서는 새로운 개념이 등장한 배경은 무엇인지 궁금합니다.

항노화는 노화를 최대한 지연시키기 위한 전략을 연구하는 것이고요. 역노화는 노화된 상태를 보다 적극적으로 젊고 건강한 세포 상태로 되돌리는 방법을 연구하는 것으로 개념적으로 분명히 다릅니다. 항노화는 그동안 많은 연구가 이뤄졌음에도 불구하고 그다지 큰 진전을 보지 못했습니다. 한편으로 장수와 관련지어 비과학적인 영역으로 인식되기도 했고요. 하지만 현대 생명과학이 발전하면서 항노화 연구를 포함해 노화 연구 전체가 생명과학의 핵심 화두로 떠올랐습니다. 그러나 그동안 많은 노화 연구가 이뤄졌음에도 불구하고 여전히 노화의 원인이 무엇인지 완전히 규명되지 않았습니다. 우리는 경험적으로 모든 생명체가 노화되고 죽음을 맞이한다는 사실을 알기에 노화를 필연적인 것으로 받아들이지만 과학적으로 확실히 규명된 것은 아닙니다. 그런 상황에서 저희 연구팀이 인간의 진피 섬유아세포를 역노화한 연구 결과를 처음으로 내놓은 것이고요. 최근 들어 단일 세포 수준에서 세포 내 여러 분자의 변화를 측정하는, 소위 단일 세포 오믹스^① 측정 기술이 발전을 거듭하고 있습니다. 앞으로도 보다 진보한 역노화 연구 성과가 나오리라 기대하고 있습니다.

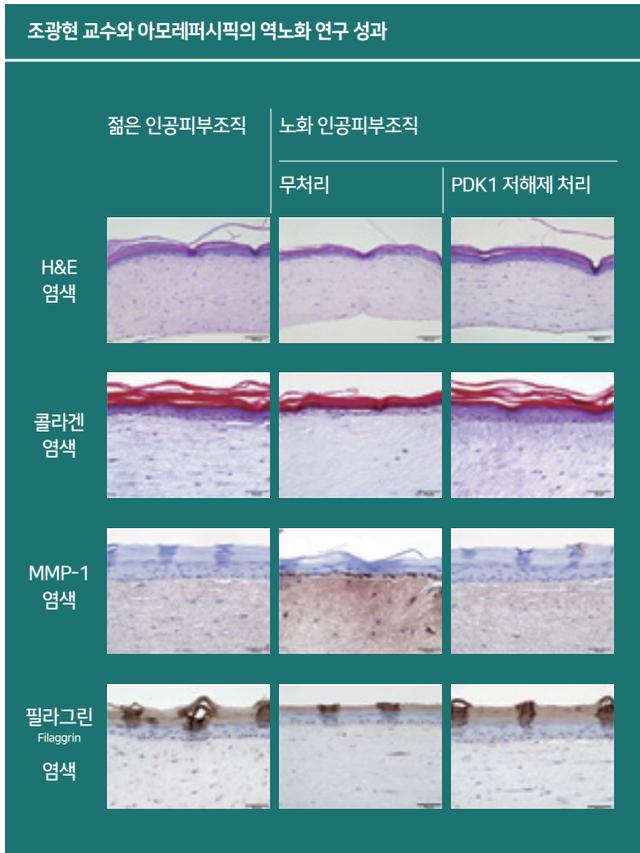
① 오믹스^{Omic}: 생명과학 분야에서 대용량 분석 결과로 나오는 분자나 세포 등의 집합체 전부를 의미

Q. 세계적으로 역노화 기술 연구가 활발히 이뤄지고 있는데요. 역노화를 가능케 하는 여러 기술이 있는데 주로 어떤 기술이 각광받고 있나요?

최근 들어 역노화 연구에 관심이 집중되고 있는 추세로, 이제 기초연구 수준을 넘어 산업화 문턱에 와 있다고 봅니다. 항노화 및 역노화 연구는 크게 세 가지 측면에서 살펴볼 수 있습니다. 첫 번째는 우리 몸의 노화된 세포를 제거하는 기술 연구, ‘세놀리틱스^{Senolytics}’ 방식입니다. 세놀리틱스는 노화된 세포를 제거해 노화를 지연시키는 약물인데 상처 회복이나 조직 재생 과정에서 일어나는 일시적인 노화 현상과 관련된 세포까지 공격할 수 있어 큰 부작용이 우려됩니다. 두 번째는 ‘세노모ρφ릭스^{Senomorphics}’ 방식인데요. 이는 노화 세포를 직접 제거하는 것이 아니라 노화 세포가 내뿜는 염증성 사이토카인^②을 분비하지 못하도록 억제하고자 개발된 약물입니다. 그러나 이 역시 마찬가지로 부작용이 있습니다. 이와 달리 부작용의 우려가 적고 가장 이상적인 방법이라 할 수 있는 것이 역노화 기술입니다. 최근 하버드대의 데이비드 싱클레어 교수 연구팀은 쥐의 망막 시신경세포에 ‘야마나카 인자’라는 유전자 조절인자를 일시적으로 주입하면 역노화가 일어난다는 것을 발견했으나 암발생 가능성이 있어서 사람에게 직접 적용하기는 어려운 방식입니다. 이를 비롯해 현재 역노화 연구가 활발히 이뤄지고 있으며, 우리가 잘 알고 있는 글로벌 IT기업들도 역노화에 지대한 관심을 갖고 투자하고 있는 상황입니다.

Q. 역노화 원천기술은 아모레퍼시픽 기술연구원과 공동 연구한 성과라는 점에서도 의미가 있는 것 같습니다. 산업계와의 연구 협력을 통해 실질적으로 어떤 시너지를 창출할 수 있다고 보시나요?

큰 시너지가 있었죠. 이미 알려진 대로 연구팀은 인간의 진피 섬유아세포를 젊은 세포로 되돌리는 원천기술을



^② 염증성 사이토카인: 염증반응을 촉진하는 신호전달분자로, 면역세포뿐만 아니라 노화세포에서도 분비된다.



역노화 연구는 건강수명을 늘리는 데 목표를 둡니다. 인생의 후반부를 더 젊고 활력 있는 상태로 지내면 우리 사회의 많은 문제가 해결될 것이라고 생각합니다.

개발했고, 이를 아모레퍼시픽에 기술이전했습니다. 저희는 역노화 연구 자체에만 큰 관심을 갖고 있었지만 아모레퍼시픽 측은 자체적으로 보유한 천연물 라이브러리를 바탕으로 PDK1을 억제할 수 있는 후보 물질, 즉 실제 화장품에 넣을 수 있는 성분을 빠르게 찾아냈습니다. 이후 임상시험을 거쳐 기능성 화장품을 개발할 수 있었습니다. 연구부터 기술 이전, 관련 상품 출시까지 불과 3년 만에 이뤄낸 굉장히 모범적인 사례라 할 수 있습니다.

Q. 역노화 기술 연구와 관련하여 기업들과 진행 중인 다른 프로젝트가 있다면 소개 부탁드립니다.

아모레퍼시픽과 공동 연구한 산업화 사례에서는 피부 진피 섬유아세포를 활용했는데요. 현재 진피 섬유아세포뿐 아니라 다른 조직의 섬유아세포를 활용해 노화 과정에 대한

실험을 수행 중이며, 단일 세포 오믹스 데이터 측정을 통해 보다 정밀한 컴퓨터 모델을 만들어가고 있습니다. 안전하게 역노화를 지속적으로 유도할 수 있는 타겟을 발굴하기 위해 노력 중인 셈입니다. 우리가 건강을 위해 영양제를 복용하듯이 안전한 역노화 약물을 개발해 일정 연령 이상이 되면 이를 섭취해 암을 비롯한 여러 노인성 질환의 발병을 최대한 늦추고 건강수명을 늘릴 수 있도록 하는 것이 궁극적인 목표입니다.

Q. 항노화와 더불어 역노화 기술 산업의 성장은 인류의 삶에 어떤 변화를 가져오게 될까요?

역노화 연구는 절대수명을 연장하는 것이 아니라 건강수명을 늘리는 데 목표를 둡니다. 일반적으로 노후라 하면 삶을 정리하며 인생의 후반부를 맞이하는 시간으로 인식되지만 앞으로 우리가 좀 더 젊고 활력 있는 상태를 오래 유지할 수

있게 된다면 그런 개념도 바뀌지 않을까 싶습니다. 현재 인구 감소와 더불어 고령화로 인한 일손 부족 등 우리 사회가 당면한 사회문제를 해소하는 데에도 기여할 수 있으리라고 봅니다.

Q. 앞으로 역노화 기술이 어떤 방향으로 발전할 것으로 전망하시나요?

아모레퍼시픽과의 성공적인 산업화 사례처럼 기초연구의 벽을 넘어 빠르게 산업화의 길로 나아갈 거라고 생각합니다. 물론 그 과정에서 여러 부작용이 발생할 가능성도 있습니다만 끊임없이 다양한 도전과 연구가 이뤄질 거라고 봅니다. 역노화에 대한 인간의 원초적인 욕구가 크고 현재 잠재력이 매우 큰 시장이기 때문에 많은 국가와 기업들이 역노화에 관심을 기울이는 것은 너무나 자연스러운 현상입니다.

Q. 정부는 첨단바이오 강국 도약을 위한 ‘첨단바이오

이니셔티브’를 추진하며 역노화 기술개발 지원을 계획하고 있습니다. 우리나라가 역노화 기술 경쟁력을 확보하려면 어떤 정책 지원이 필요하다고 보시나요?

기초과학 등의 큰 범주에서 보면 우리나라는 선진국에 비해 후발주자에 속합니다. 그럼에도 불구하고 선진국조차 이뤄내지 못한 역노화 기술을 우리가 먼저 개발해낼 수 있었던 요인은 시스템생물학이라는 새로운 융합 학문과 기술 덕분이라 할 수 있습니다. 전통적인 생물학 실험을 넘어 수학 모델링, 컴퓨터 시뮬레이션, 제어공학 등의 기술이 융합된 시스템생물학 연구를 통해 성과를 낼 수 있었죠. 역노화 기술은 순수 생명과학 분야로만 접근한다면 투자 대비 빠른 성과를 기대하기 어렵습니다. 이처럼 앞으로 역노화 기술 연구에 대한 투자 지원이 융합연구 중심으로 이뤄진다면 보다 효과적으로 시장을 선점할 수 있지 않을까 싶습니다. 단순하게 기초연구 투자 측면에서 접근하기보다 좀 더 과감하게 융합기술에 투자함으로써 산업계와 윈윈할 수 있는 방향으로 정책 지원이 이뤄져야 한다고 봅니다.



조광현 교수는 역노화, 암기억화 등 비가역적 생명 현상을 되돌릴 수 있는 생체 제어 기술과 환자 맞춤형 항암치료 시뮬레이션 분석 플랫폼을 개발하는 등의 성과로 2023년 정부가 선정한 ‘한국과학상·공학상’의 수상자로 선정된 바 있다.

산업의 내일을 읽고 기업의 오늘을 이끽니다.



한국산업기술기획평가원
유튜브 채널



2023년 올해의 산업기술혁신상 수상기술 소개 ③



도프

사고, 암치료 등으로 신경조직이 손상되어 운동기능의 이상뿐만 아니라 이로 인한 우울감으로 어려움을 겪는 많은 사람들이 있습니다. 신경이식에 필요한 신경도관은 대부분 수입에 의존해 왔는데, 더 저렴하고 안전한 신경도관 기술을 개발한 '주식회사 도프'의 신용우 대표님은 만나보았습니다. 지금 바로 영상에서 확인해 보세요!



2023년 올해의 산업기술혁신상 수상기술 소개 ④



(주)트리엔

반도체를 생산하기 위해서는, 특수 장비들이 필수적입니다. 그중에서도 국내 시장의 95% 이상 일본산으로 활용되어 왔던 CO₂ 레이저 드릴링 장비를 더욱 고도화하여 국산화한 '(주)트리엔'의 이춘무 대표님을 인터뷰했습니다. 영상으로 만나보세요!



직관적 디자인 적용한 협동로봇 RB 시리즈 제작

(주)레인보우로보틱스

디자인으로 로봇의 활용성과 편의성 높다

산업현장에서 로봇이 사용된 이래 로봇 분야는 기계공학자들의 전문 영역으로 인식됐다. 하지만 안내 로봇, 서빙 로봇, 청소 로봇 등 일상 곳곳에서 로봇이 등장하면서 ‘어떻게 하면 로봇을 더 친근하게 느낄 수 있도록 할 것인가’라는 질문이 생겨났다. 이는 자연스럽게 디자인에 대한 수요로 이어졌다. (주)레인보우로보틱스는 이에 대한 답을 얻기 위해 세계적인 디자인 회사와 협업해왔다.

word 김규성 photo 김기남





(주)레인보우로보틱스 이정호 대표와
협동로봇 개발 연구진들.
왼쪽부터 이정호, 오은수, 이효준,
이준우, 최병관

사람과 가장 가까운, 디자인 중요도 높은 협동로봇

우리에게 익숙한 로봇은 거대한 기계 팔이 물건을 나르거나 자동차 부품을 제작하는 등의 모습일 것이다. 이러한 로봇은 대부분 산업용 로봇으로, 공장 등에서 제조 공정 자동화에 중점을 두고 사람이 필요 없는 제조 환경을 구축하고자 도입한다. 반면 협동로봇은 사람과 같은 작업 공간에 공존하며, 사람이 하기에 다소 위험하거나 신체적으로 부담이 되는 작업을 대신 수행함으로써 작업 효율성을 높여주는 로봇이다.

일반적으로 산업용 로봇은 작업 시 주위에 누군가 다가와도 멈추는 기능이 없기에, 로봇 팔 길이보다 1.5배 이상의 넓은 공간을 확보해야 하며 펜스를 치는 등의 안전대책이 필요하다. 반면 협동로봇은 인간과 협동하는 파트너 개념이기에 예상치 못한 충돌 등의 위험을 회피할 수 있는 안전성을 중요시한다. 또한 협동로봇은 산업용 로봇에 비해 저렴하고 조작 방법이 쉬우며 이동이 가능한 특징을 지니고 있다. 현재 물류 분야에서 무거운 물건을 작업자와 함께 분류하거나, 의료 분야에서 물리치료를 돕는 등 다양한 쓰임새를 자랑한다. 이처럼 협동로봇의 활용도가 늘어나고 소비자에게 노출되는 경우가 많아지면서 디자인의 중요성도 부각되었다. (주)레인보우로보틱스의 협동로봇이 시장에서 인기를 끄는 것 역시 심미적으로 완성도 높은 디자인을 갖추었기 때문이다.

글로벌 파트너사와의 협업으로 디자인 프로세스 확립

로봇 디자인의 중요성을 일찍이 깨달은 (주)레인보우로보틱스지만 실제 디자인 회사와 협업하는 과정은 쉽지 않았다. 디자인 혁신을 수행할 만한 능력을 갖춘 디자인 업체 중 몇몇은 로봇 제작 회사와 일한다는 것에

생소함을 느껴 거절하기도 했고, 가용할 수 있는 범위를 초과하는 금액을 요구했기 때문이다. 이에 이정호 대표는 2018년 산업통상자원부의 사업인 ‘선진 디자인 프로세스 도입 및 협동로봇의 활용성 및 편의성 증대를 위한 디자인 개발’ 연구과제에 지원했고, 그 결과 세계적인 디자인 회사 탠저린 리미티드와 사업에 참여할 수 있었다. 이 대표는 “탠저린 리미티드와 함께하면서 아이팟 등 애플의 유명 제품을 디자인한 디자이너가 로봇을 디자인하는 기회를 얻게 됐다”며 “디자인 업체와 협업하는 게 쉽지 않았지만 산업부 프로그램을 통해 선진 디자인 회사의 프로세스를 체득하고 우리 회사에 내재화시키는 경험을 얻었다”고 성과를 자부했다.

해당 과제를 시작한 첫해에는 로봇의 시제품 개발과 가공에 집중하여 모터 제어기, 운영체제, 프레임워크, 각종 센서, 인터페이스 보드 등을 개발했고, 디자인 프로세스를 본격적으로 도입한 것은 개발 2년 차부터였다. 개발진은 데스크 리서치를 통해 경쟁사 제품, 사용 환경, 사용자, 사용 자세 등 백그라운드 정보를 수집한 뒤 기존 제품과 차별화되는

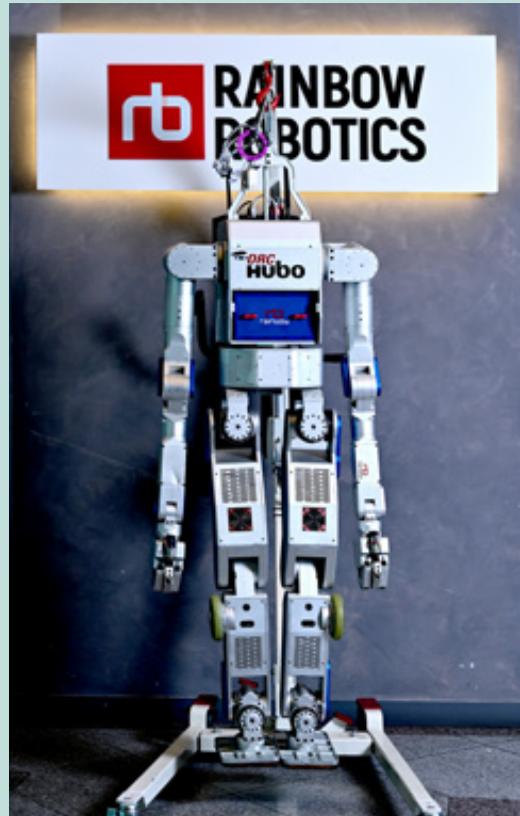
아이디어를 모색하고 개선 방향을 선정했다. 구체화한 디자인을 바탕으로 3D 모델링을 시작했고, 최종 시안으로 3D 프린팅 제품을 제작하여 테스트를 진행했다.

사업 3년 차에는 탠저린 리미티드사로부터 도입한 디자인 프로세스를 내재화해 자체적으로 협동로봇을 개발하는 수준에 도달했다. 디자인 개발진은 ①제품 리서치 및 제품 기획 ②콘셉트 아이디어 스케치 및 디자인 선정 ③기구 설계·3D 모델링 및 렌더링 ④1차 샘플 시제품 제작 ⑤1:1 Working 시제품 제작 등의 과정을 거쳐 RB5-850, RB3-1200, RB10-1300 등의 RB 시리즈 3종의 로봇을 개발하는 데 성공했다.

치킨 조리부터 드릴링까지, 다재다능한 협동로봇

RB 시리즈는 6축 다관절 협동로봇으로 모든 제품이 안전인증 및 자율안전확인신고^{KCS}를 획득했다. 충돌감지 시스템, 중력보상장치, 정교한 모터 제어 시스템을 탑재했으며, 협동로봇 최초 공압내장형 옵션(케이블 내장) 적용도 가능하다.

현재는 무인 카페, 핸드드립, 단체 급식 등 다양한 분야에서 활용되고 있으며, 지난해 말에는 푸드테크 기업 옛눅하다와 RB-N 시리즈 협동로봇 공급계약을 맺고 바른치킨, 자담치킨 등 국내 유명 치킨 프랜차이즈 100여 개 매장에 제품을 공급했다. 또한, 지난 3월에는 한국항공우주산업^{KAI}의 한국형 차세대 전투기 KF-21의 동체 구조물 제작에 협동로봇을 투입했고, 드릴링 자동화 시스템을 구축하는 등 방산 분야로까지 진출했다. 제조 현장 내 협동로봇 드릴링 시스템 적용은 세계 최초의 기록으로 3년여 간의 연구개발을 통해 전투기 외관 부품 출가공 자동화 시스템을 완성한 것으로 전해졌다. 마지막으로 이정호 대표는 “디자인은 제품의 외형적인 부분만을 결정하는



것이 아니라 기능적으로 봤을 때도 사용 방법을 작업자에게 직관적으로 제공할 수 있다”며 “작업자가 로봇에 대한 지식이 전무하더라도 쉽게 사용할 수 있는 디자인과 인터페이스를 만들어나갈 계획이다”라고 앞으로의 계획을 밝혔다.

2024 새로운 로봇 공개 앞둔 (주)레인보우로보틱스



(주)레인보우로보틱스가 설립된 2011년은 전 세계적으로 휴머노이드 로봇에 대한 연구가 활발히 진행되던 시점이다. 당시 시장을 주도하던 국가는 일본, 유럽, 미국 등이었는데 한국에서는 KAIST 휴머노이드 로봇 연구센터에서 개발한 ‘휴보^{HUBO}’가 전 세계적으로 인정받았다. KAIST는 국내 시장에 로봇 플랫폼을 판매하고 공유해 기술 발전을 도모했고, 이를 위해 (주)레인보우로보틱스를 설립했다. (주)레인보우로보틱스는 2024년 이동 기능에 주안점을 둔 로봇 공개를 앞두고 있으며 2족/4족 보행 로봇을 선보일 계획이다. 또, 올가을에는 AGV^{Automated Guided Vehicle}(무인 운송 차량)를 비롯해 환경 인식 센서 역시 개발해 종합 로봇 회사로 발전해 나간다는 포부다. 사람과 가장 가까운 곳에서 만나는 로봇이 협동로봇이기에 그 매력에 무한하다고 이야기하는 (주)레인보우로보틱스의 앞날이 기대되는 시점이다.

<https://www.rainbow-robotics.com>

과업을 시작하며 협동로봇의 어떤 부분에서 혁신이 필요했는지?

개발 초창기에는 디자인 혁신이 급선무였다. 당시 협동로봇이 향후 서비스업에서 각광받을 것으로 예상했는데, 소비자가 처음 로봇을 만났을 때 친근감을 느끼는 게 중요하다고 생각했기 때문이다. 사람들에게 친근한 이미지를 줄 수 있는 디자인 요소가 반영되어야만 했다. 가령 치킨을 튀기는 로봇이 있다고 할 때, 이를 사용하는 사람은 로봇 전문가가 아닌 주방에서 요리하는 사람이고, 그 로봇을 보고 치킨을 구매하는 소비자도 일반인이다. 그래서 대중이 로봇에게 친근함을 느낄 수 있도록 디자인 혁신이 필요했다.

기술 개발 과정에서 어떤 난관이 있었으며 이를 극복한 방법은 무엇인가?

디자인 분야와 협업해본 경험이 없다면 상호 간의 관점을 이해하고 합의점을 찾아내는 과정이 상당히 어렵고 지난했다. 당시 내부적으로 디자인 과정을 이해하는 공학자는 거의 없었는데 기능 위주의 설계를 최우선으로 생각했기 때문이다. 반면 디자인을 주도하는 그룹에서는 로봇을 사용하는 작업자 중심의 사고 역시 중요하다고 주장했다. 이렇듯 서로의 관점을 이해하고 합의점을 찾아가는 과정이 힘들었지만, 노력



끝에 각자의 주장을 이해하게 됐고 서로의 관점에서 해결 방안을 도출해나가는 진정한 협업을 이룰 수 있었다. 각자의 결과물을 공유해 올바른 방향으로 협의하고 문제를 해결하는 데 성공한 점은 회사 내부적으로도 큰 자산이 됐다.

최근 로봇 분야에 관심을 갖는 이들이 많아졌다. 선배로서 도움이 될 만한 이야기를 해준다면?

로봇 분야의 경우 기계공학과 출신이 다수를 차지하고 있다. 물론 전자공학이나 컴퓨터 사이언스를 공부하고 이 분야에 뛰어들어 이들도 많다. 디자인 측면에서는 당연하게도 산업 디자인, 제품 디자인 등을 전공한 이들이 주축이 되어 제품 개발을 진행하고 있는 편이다. 대학 진학을 앞두고 있거나 취업을 준비하는 학생들이라면 나와 전혀 다른 분야를 공부하고

다른 삶의 영역을 경험해온 사람들과 협업하는 경험을 쌓아보길 추천한다.

향후 (주)레인보우로보틱스의 계획과 목표는 무엇인가?

협동로봇과 같은 특정한 형태의 로봇을 제작하는 것을 넘어서 모든 형태를 아우를 수 있는 종합 로봇 회사가 되는 것을 목표로 매진하고 있다.

나와 다른 분야를 공부하고
다른 삶을 경험해온 사람들과 협업하는
경험을 쌓아보길

디자인적 혁신 프로세스 확립 성공해

향후 종합 로봇 회사로 진화할 것

“AI는 미래의 경제적 풍요를 이끄는 가장 강력한 힘이다.”

‘챗GPT의 아버지’로 불리는 샘 올트먼 오픈AI 최고경영자^{CEO}의 말이다. 지난 2022년 말 챗GPT가 대중에게 처음으로 공개된 후 인류는 AI 시대가 훌쩍 다가왔음을 부정할 수 없게 됐다. 이젠 AI가 웬만한 데이터는 자동으로 처리할 뿐만 아니라 이미지나 동영상을 만들어주고 작곡도 한다. 올해 CES의 키워드로 ‘AI’가 꼽혔을 만큼 전 세계가 AI에 주목하는 가운데, 전문가들은 AI가 산업의 양태를 바꿀 게임체인저가 될 것으로 전망하고 있다. 이제 생성형 AI를 다루는 능력을 키우지 못한 나라는 개별 산업 경쟁력뿐 아니라 국가 자체의 경쟁력도 잃어버릴 수 있는 것이다.

word 이승기 <한국경제신문> 기자

AI 자율제조 통해 생산 공정 혁신한다



AI 기술이 첨단산업의 게임체인저가 되며 우리 정부와 기업 역시 AI를 통한 산업 육성에 힘쓰고 있다. 사진은 지난 5월 8일에 진행된 ‘AI시대 신산업정책 위원회 출범식’에서 모두 발언 중인 산업통상자원부 안덕근 장관(왼쪽)과 2023년 11월에 열린 ‘삼성 개발자 콘퍼런스 코리아’에서 AI 선행 연구 기술을 발표중인 삼성전자 이주형 상무.

민간이 주도해 AI 정책 제언한다

우리 정부도 이 같은 문제의식을 갖고 지난 5월 8일 ‘AI시대의 신산업정책’ 위원회를 출범시켰다. 출범식에는 안덕근 산업통상자원부 장관과 반도체 신화를 이룩한 김기남 공학한림원 회장(전 삼성전자 사장)을 비롯해 150여 명의 전문가들이 참석했다. 정부는 이 위원회에서의 논의 결과를 토대로 향후 AI를 산업에 접목할 수 있는 정책을 구상하겠다는 계획이다. 앞으로 6개월 동안 국내 AI 분야 산학연 전문가 200여 명이 참여해 기탄없이 정책 제언을 담아낼 예정이다.

먼저 위원회에서는 민간 전문가가 주도해 작업반을 구성해 총론을 그린다. 작업반은 △미래 AI기술 △미래 산업 모습 △표준 △정책 제언 등 크게 네 가지 분야에 대한 분석을 내용을 예정이다. 예를 들어 위원회는 먼저 자동차 분야의 현재 기술 동향을 살펴본 뒤, 자동차산업의 미래 청사진을 그린다. 이후 이를 통해 향후 어떤 기술이 표준이 되어야 할지

도출해내고, 정부에 이를 위해선 어떤 정책이 필요할지 제안하는 형태다. 위원회는 자동차뿐 아니라 조선, 가전, 철강, 물류 등 다양한 산업의 미래 계획을 구상할 예정이다. 이렇게 분석한 자료는 10월 중 ‘시산업정책위원회’를 개최해 발표한다.

총론을 그린 뒤엔 각론으로 넘어간다.

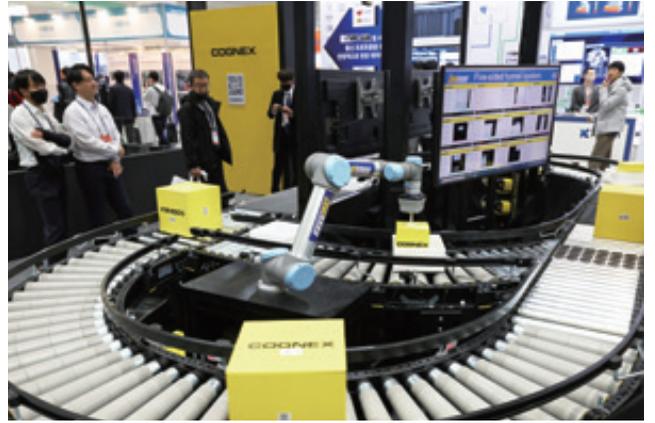
업종별 소관국이 주도해 6대 분야별 AI 전략 시리즈를 발표한다. 반도체 분야의 경우 차세대지능형반도체사업이 중심이 되어 첨단 패키지, 온디바이스-AI 등 AI 반도체 육성 전략을 마련한다. 또 에너지 분야의 경우 에너지공단이 중심이 되어 스마트전력망, 안전관리 등 AI 활용 산업 육성 전략을 짚는다. 이 밖에 자율제조·연구개발·디자인·유통 등에 대해서도 전략 시리즈를 발표한다. 전략 시리즈는 월 1건 발표될 계획이며, 자율제조에 대해서는 지난 5월 8일 발표했다.

이후 정부는 이 같은 연구 결과를 현실에 접목하기 위해 ‘산업 인공지능 활용 지원에 관한 법률안’을 마련할 계획이다. 현재 과학기술정보통신부가 AI 기본법을 추진하고 있지만 국회에 계류 중이다. 산업부는 과거부의 AI가 규제 중심이라는 점을 감안해 진흥 측면에서의 법안이 필요하다고 판단하고 있다. 산업부는 위원회의 연구를 토대로 하반기 공청회를 개최하는 등 절차를 밟아 국회 발의를 추진할 계획이다.

첫 분야별 AI 전략 시리즈

‘AI 자율제조 전략 1.0’의 내용은?

앞서 위원회는 출범식과 동시에 ‘AI 시대의 신산업정책’ 6대 분야의 첫 번째 과제인 ‘AI 자율제조 전략 1.0’을 발표했다. AI 자율제조란 ‘AI를 기반으로 로봇·장비 등을 제조 공정에 결합시켜 생산의 고도화와 자율화를 구현하는



AI가 발달함에 따라 스마트공장 및 자동화 기술 또한 혁신적으로 성장하고 있다.

미래 제조 환경’을 말한다. 인구구조 변화, 탄소중립, 생산성 저하 등 제조업을 둘러싼 난제들을 해결할 핵심 수단으로 주목받고 있다.

AI 자율제조 전략 1.0은 AI 자율제조 도입을 확산시키고 핵심 역량을 확보, 생태계를 진흥시키는 데 방점이 찍혀 있다. 이를 위해 정부는 올해에만 1000억 원 이상의 예산을 투입할 예정이다. 산업부는 해당 대책을 통해 2030년 AI 자율제조확산율을 30% 이상(현재 9% 수준), 제조 생산성을 20% 이상 높이는 것을 목표로 하고 있다. 아직 기초 단계에 머물러 있는 제조업의 지능화 수준을 고도화 단계까지 끌어올린다는 계획이다.

산업부는 상세 공정 분석을 통해 AI 적용 가능성과 효과성 등을 면밀히 검토한 후 해당 프로젝트에 소프트웨어(SW)·로봇·시스템 구축 등을 지원한다. 올해는 지자체 공모를 통해 10개 사업을 우선 선정해 연말까지 100억 원의 예산을 지원할 계획이다. 사업 선정 시 지역 특화산업 등 지자체 수요도 적극 반영할 예정이다. 이 밖에 AI 자율제조 3대 공통 핵심인 △산업 AI △장비 및 로봇 △통합솔루션 개발 등을 위해 3000억 원 규모의 예산타당성을 추진하고, AI 자율제조 친화형 산업 생태계 조성 지원 차원에서 1만3000명의 전문 인력과 250개 이상의 전문기업을 육성할 계획이다.

이 같은 ‘AI 자율제조 전략 1.0’은 민·관·연 공동 추진 기구로 ‘AI 자율제조 얼라이언스’를 상반기 중 구성해 운영할 계획이다. 정부, 연구소, 협·단체, 업종별 주요 기업들이 참여해, AI 자율제조의 확산, 연구개발^{R&D} 등 협력사업, 산업 데이터 공유·활용, 법·제도 개선 등 AI 자율제조 관련 실질적인 컨트롤타워 역할을 수행하며, 각 부처와의 협업도 강화할 예정이다.

한눈에 보는

의료로봇 산업

의료로봇은?

다양한 의료 절차 및 치료에 사용되는 로봇 시스템이다. 사용 목적에 따라 수술용 로봇, 재활 로봇, 진단 및 모니터 로봇, 약물 전달 로봇 등으로 구분하고, 크기와 구조에 따라 일반 의료로봇과 마이크로 의료로봇으로 나눈다.

① 대형 수술용 로봇

외과 수술에 사용되는 큰 로봇으로, 정밀한 수술을 수행하여 회복시간을 단축시키고 합병증을 줄이는 데 중점을 둔다.

② 재활 로봇

재활 치료를 돕는 로봇으로, 환자의 운동 능력을 향상시키고 기능 회복을 촉진한다.



③ 진단 및 모니터링 로봇

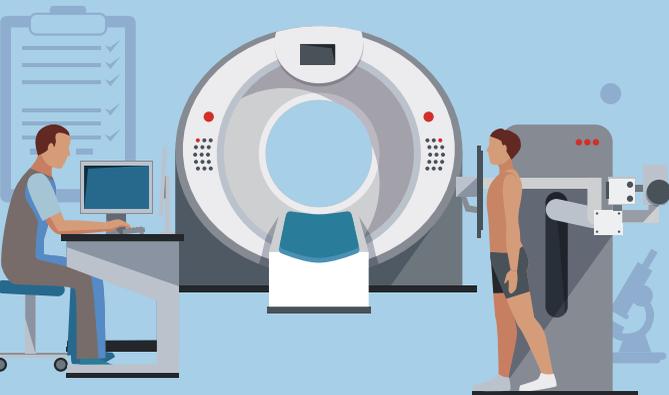
실시간으로 환자의 상태를 모니터링하고 진단하여 조기 치료를 가능하게 한다.

④ 약물 전달 로봇

특정 위치에 정확하게 약물을 전달하여 치료 효율성을 극대화한다.

⑤ 마이크로 의료로봇

극소형으로 주로 혈관이나 신체 내부의 좁은 공간을 통해 이동하며 진단 및 치료를 수행한다.



글로벌 의료로봇 시장

2023년 시장 규모

155억6000만 달러(약 21조 원)

2032년 시장 예측

946억7000만 달러(약 129조 원)

2023년 의료로봇 R&D 규모

34억2000만 달러(약 4조 원)

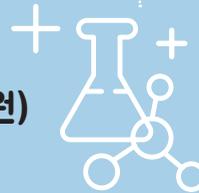
연평균 성장률:

2024년~2032년까지

22.2%

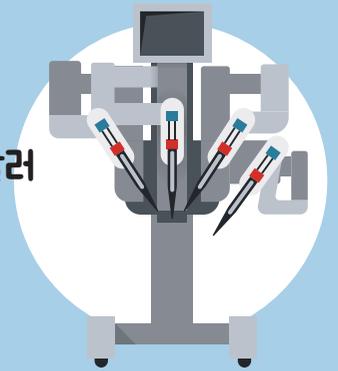


자료: Expert Market Research



글로벌 1위 분야는?

수술용 로봇 **87억8000만** 달러
(약 12조 원)



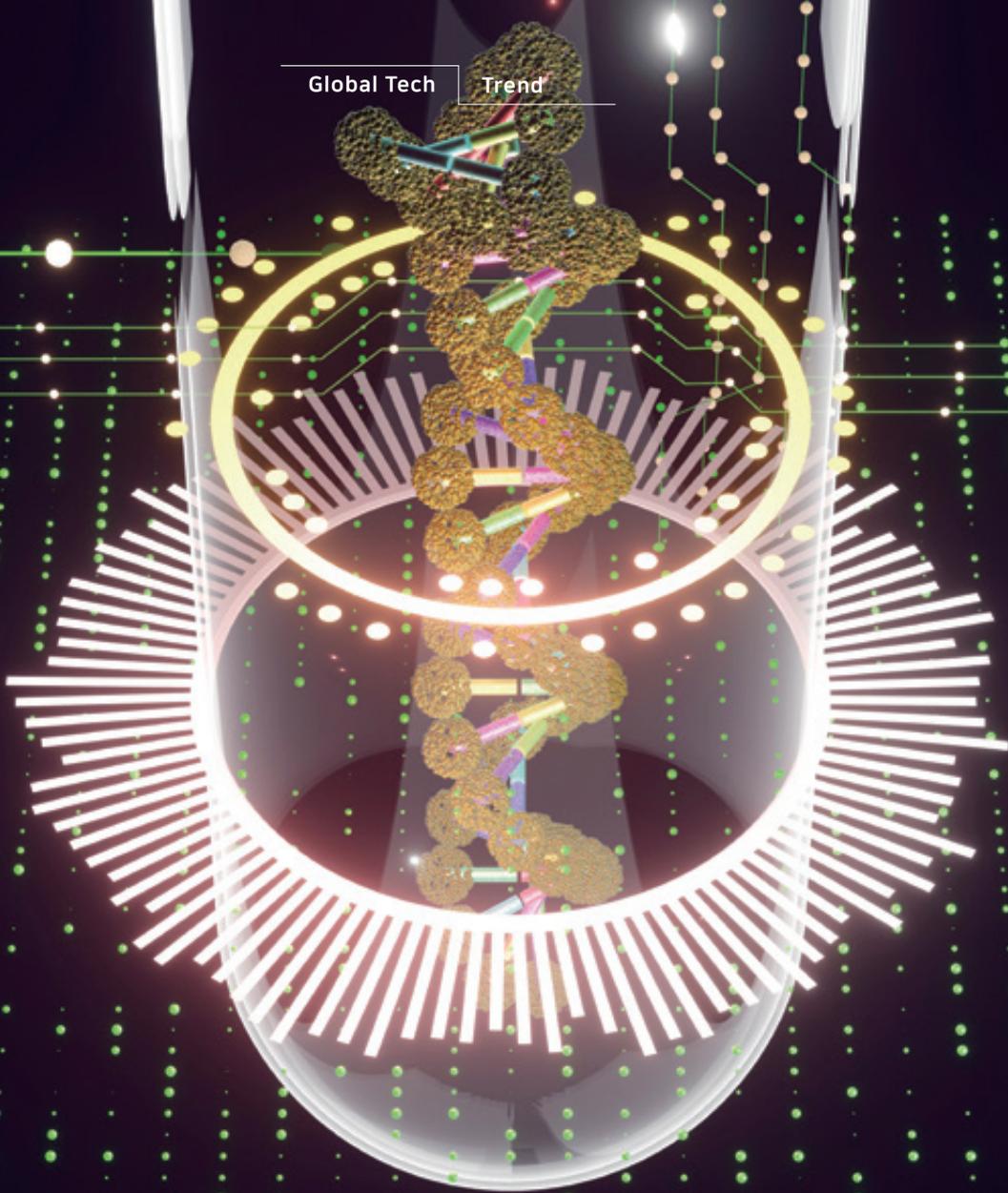
2023년 전 세계에 설치된
다빈치 수술 시스템 수 **8606**대

자료: Expert Market Research, Intuitive Solutions

수술용 로봇 vs. 마이크로 의료로봇

	수술용 로봇	마이크로 의료로봇
크기	크고 복잡함	매우 작음(나노미터~마이크로미터)
목적	정밀한 외과 수술, 최소 침습 수술	진단, 모니터링, 약물 전달, 미세 수술
예시	다빈치 로봇 수술 시스템, 마코 로봇 시스템	캡슐 내시경, 혈전 제거 로봇, 약물 전달 로봇
장점	높은 정확도, 최소 침습, 빠른 회복	비침습적 접근, 정확한 약물 전달, 조기 진단 가능





내 몸속에 로봇이? 마이크로 의료로봇의 세계

마이크로 의료로봇 선도 국가, 대한민국

마이크로 의료로봇이란 1mm 미만의 크기로 인식, 판단, 동작, 이동 또는 통신 기능에 인공적인 기술이 추가되어 능동성을 가지고 인체 내부를 돌아다니며 질병을 진단·치료하는 로봇을 뜻한다. 캡슐내시경, 대장내시경, 박테리아 나노로봇 등의 초소형 의료기기 또는 카테터로봇, 조항바늘로봇 등 관련 기술이 포함된 보건의료기술로 정의할 수 있다.

마이크로 의료로봇은 일반적으로 첨단 로봇이나 기반 기술 개발 단계로 보고 있으나, 이미 20년 전부터 세계 각국에서 개발되고 있던 기술이다. 한국도 마찬가지다. 특히 마이크로 의료로봇은 한국이 세계적인 선두그룹에 올라 있다. 일반 의료로봇과는 다른 상황이다. 이는 지난 수십 년간 국내 공학자들이 쉬지 않고 노력한 덕분이며, 정부의 거시적인 지원이 있었기 때문이기도 하다.

2019년 우리나라는 기존의 산발적인 개별 기술 개발을 넘어 지금까지의 마이크로 의료로봇 연구개발 성과와 기술을 체계적으로 분석해 보다 구체적인 개발계획을 수립하고 실용화 사업을 시작했다.

마이크로 의료로봇을 구성하는 4요소

기본적으로 마이크로 의료로봇은 4가지 공통 기반 모듈의 조합으로 구성된다. 이는 인체 내에서 로봇의 움직임을 담당하는 ‘구동 모듈’, 마이크로미터에서 나노미터 크기로 인체 내 목표 지점까지 약물, 면역세포 및 줄기세포 등의 치료제를 전달하는 ‘캐리어 모듈’, 밀리미터에서 센티미터 크기로 진단하거나 치료하는 ‘진단·치료 모듈’, 마지막으로 치료 중인 로봇의 위치를 추적하는 ‘인식·시각화 모듈’ 등이다. 그리고 이 4가지 모듈이 하나의 통합시스템이 되면 이를 의료기기로 본다.

국내 전문연구진은 각 모듈은 물론 고형암과 순환기용, 소화기용 등 총 3종의 통합시스템을 개발 완료했다.

국내외 마이크로 의료로봇 기술 동향

현재 국내외의 다양한 기관 및 대학 등에서 마이크로 의료로봇을 개발하고 있다. 국내 대표적인 연구기관으로는 한국마이크로 의료로봇연구원을 포함해 전남대학교, 부경대학교, 나노입자연구단, (주)인트로메딕, 대구경북과학기술원^{DGIST} 등이 있다. 해외에선 미국의 매사추세츠공과대학교, 존스홉킨스대학교, 일본의 나고야대학교, 리츠메이칸대학교, 이스라엘의 마이크로봇 메디칼, 스위스 취리히 연방공과대학교, 독일 막스플랑크협회 등에서 주목할 만한 성과를 냈다.

국내 마이크로 의료로봇 기술들

명칭	기술 내용	개발 기관
캡슐내시경	수입에 의존하던 캡슐내시경 시장에서 국산화율 80% 이상으로 끌어올림	(주)인트로메딕
박테리오토	세계 최초 생체기반 나노의료로봇	전남대학교
대식세포 마이크로로봇	대식세포의 구동 제어가 가능하여 고형암을 추적·치료하는 마이크로로봇	
섬모 마이크로로봇	3D 레이저공정/정밀금속 코팅 이용, 초속 340마이크로미터	대구경북과학기술원
다기능 대장내시경	그래핀과 은나노와이어를 합성, 산화이리듐 전기화학 증착	나노입자연구단
혈관이동로봇	자체 추진기로 미세 혈관 자유이동 및 노폐물 제거 개념	부경대학교
능동형 캡슐내시경	의사가 체외에서 무선조종을 통해 위와 장 등에서 이동시키며 병 진단	한국마이크로 의료로봇연구원
줄기세포 마이크로로봇	줄기세포 마이크로로봇을 무릎 연골 손상 부위에 정밀하게 부착	
3세대 캡슐내시경	생검, Tattooing, 약물 주입 기능으로 기존 내시경 대체	
나노로봇 플랫폼	전반적인 나노의료로봇 모델 제시	

개발 중인 마이크로 의료로봇

현재 한국마이크로의료로봇연구원이 개발 중인 마이크로 의료로봇 가운데 상용화에 한 발짝 다가선 기술은 6가지다.

영상 기반 캡슐내시경을 움직이며 정밀한 진단을 가능하게 하는 ‘영상진단 로봇형 캡슐내시경’, 종양 일부가 혈액이나 림프관으로 떨어져 순환을 막는 종양색전을 진단하는 ‘간암 종양색전시술 마이크로로봇’, 부정맥을 진단하고 치료하는 ‘심박조율진단시술 마이크로로봇’, 관상동맥 내 카테터 자율 내비게이션 시술을 위한 ‘자기조향 카테터로봇’, 관절 연골의 손상 부위에 줄기세포를 전달하는 ‘관절연골 재생 위한 줄기세포 구동 마이크로로봇’, 그리고 고형암 부위에 항암제를 전달하는 ‘정밀약물표적 및 방출용 나노로봇’ 등이다. 기술마다 상용화를 위한 단계에는 일부 차이가 있으나 대부분 임상시험이나 시제품 제작 단계까지 이르렀다.

그뿐만 아니다. 관련 기관 및 연구팀이 함께 연구개발을 진행하는 협업 과제도 유의미한 성과를 내고 있다. 그중 하나가 임무 수행을 마치면 스스로 녹아 없어지는 의료로봇이다. 해당 기술은 본 연구원과 조선대학교, 전남대학교가 공동으로 진행한 연구에서 개발됐으며 지난 4월 국제 학술지인 <어드밴스드 펑셔널 머티리얼즈>에 공개되기도 했다.

세계 최고 마이크로 의료로봇 개발 시스템

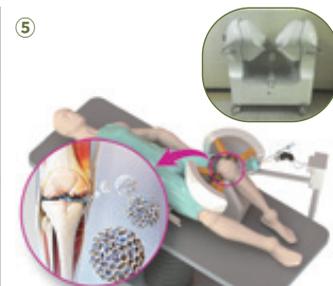
앞서 언급했지만 마이크로 의료로봇은 한국이 충분한 경쟁력을 가진 분야로 다양한 발명특허를 보유하고 있다.

한국마이크로의료로봇연구원이 개발 중인 기술들

명칭	기술 내용	상용화 진행 단계
① 영상진단 로봇형 캡슐내시경	- 영상기반 캡슐내시경 구동 및 정밀 진단 - 3차원 영상정합기반 위장관 위치 인식 - Si형 이상병변 유무선별 및 소견판독 보조	동물실험 완료
② 간암 종양색전 시술 마이크로로봇	간암 종양색전을 위해 색전 입자를 능동정밀 전달할 수 있는 마이크로 의료로봇	시제품 제작 단계
③ 심박조율진단 시술 마이크로로봇	서맥성 부정맥 진단 및 치료를 위한 기기로서, 무선 심박동기를 원하는 위치에 신속 정확하게 전달하고 무선 데이터 통신/무선 전력전송을 통한 환자 맞춤형 치료 제공	동물실험 진행 중
④ 자기조향 카테터 로봇	- 관상동맥 내 카테터 자율 내비게이션 기술 - CA 급성심근경색, Stent 시술	시제품 제작 단계
⑤ 관절연골 재생 위한 줄기세포 구동 마이크로로봇	관절연골 손상 부위에 줄기세포를 정밀 전달할 수 있는 마이크로 의료로봇	임상 준비 중
⑥ 정밀약물표적 및 방출용 나노로봇	고형암 부위에 항암제 능동전달 및 환부에서 선택적 약물 방출이 가능한 나노로봇	시제품 제작 단계



중양색전시술 로봇



무릎연골시술 로봇



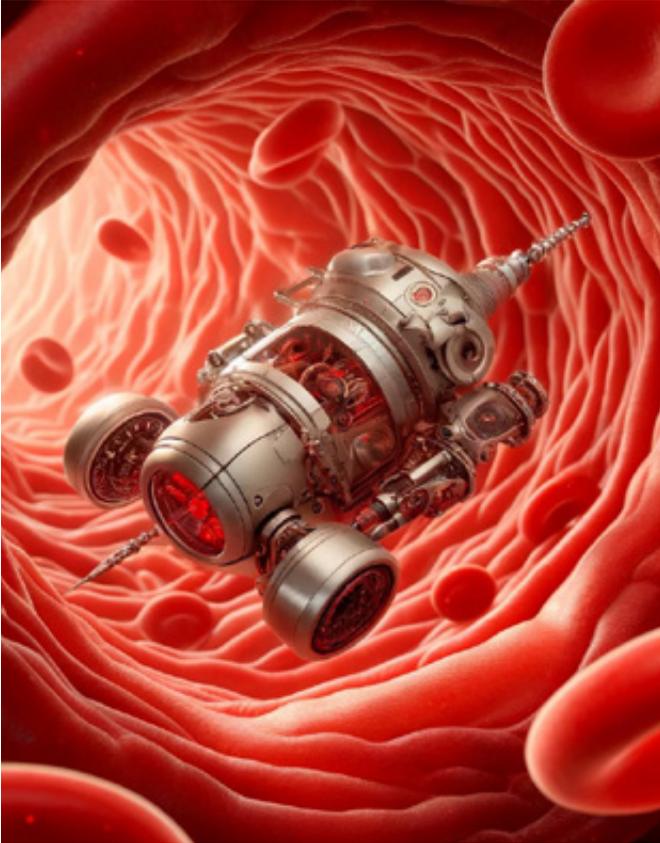
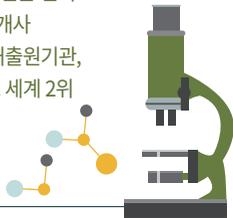
자기조향 카테터로봇

그중에서도 한국마이크로의료로봇연구원은 현재 본 분야에서 세계 최대 특허출원기관으로 이름을 올리고 있다.

로봇 기술을 산업화, 상용화하기 위해서는 많은 노력이 필요하다. 특히 인체에 작용하고, 생명과 직결되는 의료 분야는 훨씬 난관이 많다. 공학자들은 항상 세계 최초의 기술을 고민하지만, 세계 최초의 의료기기는 안정성이 확보되지 않았다는 한계가 존재한다. 따라서 공학자들은 인체에 위험이 되지 않는다는 충분한 근거를 마련해야 한다. 성능 평가와 동물실험, 그리고 인체실험에서 안정성과 유효성을 입증해야만 한다. 이 과정은 연구개발보다 훨씬 긴 시간과 비용을 필요로 한다. 물론 이 과정을 잘 헤쳐나간다면, 세계시장에서 특허로 보호받을 수 있다.

가장 효율적인 방법은 첨단기술에 특별한 통과 절차, 즉 'Fast Track'을 도입하는

세계 최고의 마이크로 의료로봇 전문 기관	
한국마이크로의료로봇연구원	
역할	R&D, 성능 및 유효성 평가, 임상 GMP
장비	177종(3D 초정밀부품제작, 공초점현미경, 전자기/US구동, 바이오하이브리드 측정 등)
인력 구성	- 교수진 4명(박사 15명) 포함 총 60여 명의 전문 인력 - 입주기업: 10개사 - 세계최대 특허출원기관, 특허기술선도 세계 2위



AI로 생성한 마이크로 의료로봇 이미지. 눈에 보이지 않을 정도의 작은 로봇들이 체내에서 다양한 진단, 치료 기능을 수행한다.

것이다. 다행히 마이크로 의료로봇에 대해서는 이러한 신기술 인증 검증이 시작되고 있어, 향후 연구개발과 상용화에 이점이 될 것으로 예상된다.

한국마이크로의료로봇연구원은 그간 정부의 다양한 지원에 힘입어 연구개발을 위한 시설·장비·공간과 제품 상용화를 위한 기업용 GMP[®] 시설을 갖추고 있다. 이는 마이크로 의료로봇 분야에서 세계적으로 유일한 인프라다. 머지않은 시일 내 한국이 마이크로 의료로봇 분야에서 기술 선진국으로 명성을 떨칠 때가 올 것이라 자부한다.

1 GMP[®] Good Manufacturing Practice[®]· 식품 및 의약품 제조, 관리하는 기준으로 이를 통과하면 안정성과 유효성이 보장됨을 뜻한다.



박종오 한국마이크로의료로봇연구원 원장 국내 마이크로 의료로봇 분야를 개척하였고 세계 속의 한국을 선도하고 있다. ‘캡슐내시경’, ‘박테리오톨’, ‘혈관치료로봇’, ‘줄기세포로봇’ 등을 개발하였고 국제로봇연맹^{IFR} 회장을 역임하였다.

국내 태양광산업 신시장 진출과 활로 개척 이끈다

중동지역 기후 특성에 대응한 신재생에너지 연계형 ESS Solution 개발 및 실증

ESS시스템 소개

에너지저장시스템^{ESS, Energy Storage System}

남는 전력을 따로 저장했다가 필요한 시기에 공급하는 시스템. 신재생에너지를 사용할 경우, 전력 발생량을 일정하게 유지하기 힘들데 이때 ESS를 사용하면 안정적으로 전력을 저장하고 사용할 수 있다.

전 세계적으로 탄소중립 움직임이 가속화되고 있는 가운데, 석유 에너지의 생산 및 공급 중심지인 중동 국가들 역시 새로운 에너지로 전환하기 위한 움직임을 보이고 있다. 특히 태양광을 중심으로 한 신재생에너지 분야가 빠르게 성장함에 따라 재생에너지 전문기업인 (주)에코전력이 큰 역할을 할 것으로 기대된다. (주)에코전력은 사막기후에 적합한 2MW급 대용량 태양광 에너지저장시스템^{ESS}을 개발하고 실증하는 데 성공했다.

word 조범진

photo 김기남, (주)에코전력 제공

올해의 산업혁신기술상 청정에너지기술부문
(주)에코전력



사업명	산업기술혁신사업(에너지기술개발사업-실증형 과제)
연구과제명	중동지역 기후 특성에 대응한 신재생에너지 연계형 ESS Solution 개발 및 실증
개발기간	2018. 10.~2023. 02.(53개월)
총 정부출연금	9억 원
참여 연구진	박현중 외 2명

HOW TO ▶

사업 진행 과정에서 실증지 선정이 큰 도전 중 하나였다. 프로젝트 특성상 태양광 발전과의 연계 필요성, 시스템의 잠재적 위험성, 주변 민가와와의 상생 문제를 고려해야 했기 때문이다. 총 5번의 실증지 선정을 거치는 과정에서 현지 정부 및 커뮤니티와 긴밀히 협력하며, 현지 맞춤형 접근 방식을 채택해 해결책을 모색한 결과 적합한 실증지를 찾을 수 있었다.

전력 인프라 개선과 신재생에너지 활용 증대 역할

지난 2016년 사우디아라비아는 포스트 오일 시대를 대비하여 경제 다각화를 추진하고자 ‘비전2030’을 발표했다. 사우디아라비아가 탈석유에 스스로 나서게 된 이유는 글로벌 탄소중립 움직임을 더 이상 외면할 수 없는 국제적 현실뿐만 아니라, 석유 자원의 고갈 문제를 비롯해 국제 정세에 따른 유가 변동으로 겪어야만 하는 경제 상황의 부침 현상 때문이기도 하다. 이러한 사우디아라비아의 행보는 인근 중동 산유국에도 영향을 미쳤고, 이후 중동의 신재생에너지 추진 움직임이 점점 속도를 더해가고 있다.

이에 (주)에코전력의 ‘중동지역 기후 특성에 대응한 신재생에너지 연계형 ESS Solution 개발 및 실증’ 과제의 성공이 가져다주는 파급 효과는 매우 클 것으로 예상된다. 이종희 대표는 “이번 과제는 중동지역의 특수한 기후 조건에 맞춰 신재생에너지와 연계된 에너지 저장 시스템^{ESS}의 개발과 실증을 목표로 했다”며, “ESS 화재 사고가 빈번해지며 고온 사막 지역인 중동 국가에서 ESS 도입을 기피하는 상황에도 불구하고 사막기후에 적합한 2MW급 대용량 태양광에너지 저장 시스템을 개발해 쿠웨이트에 수출했다”고 말했다. 이를 통해 “우리나라의 선진 기술을

검증하고 해당 지역의 전력 인프라 개선과 신재생에너지 활용을 증대시키는 데 큰 역할을 하고 있다”고 덧붙였다.

특수 설계된 고단열·차열구조 ESS 컨테이너 개발

(주)에코전력이 개발한 ESS 시스템은 중동지역의 극한 환경에 최적화해 설계되었다. 중동지역은 고온, 분진, 염분 등이 빈번한 사막기후로 인해 일반적인 ESS 솔루션을 적용하기 어려운 곳이다. 이에 (주)에코전력은 높은 온도와 강한 일사량 등을 견딜 수 있도록 특수 설계한 고단열 및 차열구조의 ESS 컨테이너를 개발했다. 이는 안정적으로 에너지를 저장하고 관리하는 데 이점을 제공한다. 또한 에너지 수요가 급증하는 시간에 전력망의 부하를 줄여주는 피크 셰이빙^{peak shaving} 기능을 포함하고 있으며, 재생 가능한 에너지원과의 연계를 통해 지속가능한 에너지 솔루션을 제공할 수 있다.

무엇보다 현지의 통신 인프라와 완벽하게 호환되도록 개발했기 때문에, (주)에코전력이 자체 개발한 ‘에너지 관리 시스템^{EMS}’을 통해 실시간으로 에너지 효율을 최적화하고 관리할 수 있다는 장점이 있다. ‘고효율의 전력 변환 시스템^{PMS}’과 통합할 경우, 에너지 수요 관리와 전력 사용 최적화, 에너지 자원의 효율성

- 1 에너지 관리 시스템: ESS의 효율적인 운영과 관리를 담당한다. 에너지 흐름 제어, 최적화 운영, 수요 관리, 비상 상황 대처 등의 기능을 수행한다.
- 2 전력 변환 시스템: 에너지 관리 시스템과 유사하지만 주로 전력의 분배, 사용, 모니터링 및 제어에 중점을 두는 시스템이다.

중동지역에 설치한 (주)에코전력의 ESS 솔루션 시스템 실증 세리머니 단체 사진





왼쪽부터 이용희 책임연구원, 이준영 과장, 송지호 연구원, 박현중 선임연구원, 이고는 선임연구원, 이선우 연구원, 진종한 연구원, 김석희 연구원, 정세일 부사장, 이종희 대표, 김향미 감사. 중동형 ESS를 개발한 주역들

극대화 등을 동시에 통제할 수 있어 환경에 미치는 부정적 영향을 줄일 수 있다는 강점이 있다. (주)에코전력은 이번 과제를 통해 축적된 기술을 바탕으로 중동지역 외 다른 극한 환경에서도 사용 가능한 에너지 저장 시스템 솔루션의 기술적 기반을 확립할 계획이다. 이는 전 세계적으로 에너지 저장 기술의 발전과 보급을 빠르게 늘리는 데 핵심적인 역할을 수행할 것으로 보인다.

사막과 같은 극한 환경 글로벌 시장 진출 목표

(주)에코전력의 중동 특화 에너지 저장 시스템의 사업 전망은 긍정적이다. 이는 앞서 언급한 고효율의 에너지 관리 시스템과 통신 프로토콜이 중동 현지의 전력망과 완벽하게 통합되어 운용될 수 있다는 장점 때문이다.

이 대표는 “사업화 관점에서 볼 때, 본 기술은 중동의 전력망에 새로운 솔루션을 제공하며, 특히 재생 가능한 에너지와의 연계를 통해 더욱 큰 시너지를 발휘할 수 있다. 또한, 최근 중동에서는 신재생에너지의 실증과 함께 이러한 에너지 저장 시스템 기술 도입이 점차 증가하고 있으며, 당사의 시스템이 그 중심에 있다”고 강조했다. 이어서 “당사의 ESS 제품은 쿠웨이트에 수출된 이후 현재 정상 운영 중이며, 쿠웨이트 최초의 모범 실증 사례로 꼽힌다. 이로써 전력공급이 원활하지 않은 중동지역을 비롯해 다른 극한 환경을 가진 지역에서 경쟁력을 갖출 것으로

예상된다”라며 앞으로 전망이 밝다고 말했다.

개발기술을 통한 향후 개발 계획과 목표에 대해 이 대표는 크게 세 가지 방향을 가지고 있다고 했다.

“첫 번째는 기존 기술의 확장과 최적화를 통해 중동뿐만 아니라 비슷한 환경적 특성을 가진 글로벌 시장에 진출하는 것입니다. 두 번째는 지속가능한 에너지 솔루션을 제공하기 위한 연구 개발에 더욱 집중할 계획이며, 끝으로 세 번째는 현지 파트너십과 협력을 확대하여 각 지역에 맞는 맞춤형 에너지 솔루션을 개발하고, 실제 적용 가능성을 높이는 것을 목표로 하고 있습니다.”

(주)에코전력의 ESS 시스템이 포스트 오일 시대, 친환경 시대를 여는 지속가능한 에너지 사회의 핵심으로 성장하길 응원한다.



**국내 ESS 분야의 현재 상황과
해결 과제가 있다면 무엇인가?**

국내 ESS 분야는 현재 전력망 안정성과
재생 가능 에너지원의 효율적 사용을
늘리는 데 중요한 역할을 하고 있다.
하지만 최근 몇 년간 국내에서 ESS 관련



화재 사건이 발생함에 따라 안전 문제가
더욱 중요해졌다. 또 ESS의 비용 효율성을
높이고 기존 전력망과 효과적으로 통합하기
위한 기술 통합 문제가 해결되어야 한다.
이를 위해선 투명하고 일관된 규제
환경과 연구 및 기술개발을 위한 토대가
마련되어야 한다. 글로벌 탄소중립 흐름을
주도하는 국가로 나아가기 위해서는
좌고우면^{左顧右盼}하지 말고 실질적인 행동이
있어야 한다.

**사막기후 대응 고효율 중·방전 ESS
시스템 외에 다른 기술 및 연구개발
성과가 있다면 무엇인가?**

현재 새롭게 개발 중인 이동형 전기차
충전 시스템이 있다. 전기차 사용자들에게
매우 유용한 기능으로 구성되어 있다. 총
806kW의 배터리 용량을 갖추고 있어 큰
용량의 전력을 저장하고 필요할 때 즉시

사용할 수 있으며, 안전성과 방수·방진
기능은 물론 전자파 및 진동에 대한
내성도 검증된 제품이다. 사용자의 편의를
고려한 케이블 암^{Arm} 기능은 충전 케이블을
자동으로 내려주어 남녀노소 누구나 쉽게
사용할 수 있다.

**이번 과제 진행에 있어
한국에너지기술평가원^{KETEP}의 역할과
긍정적인 효과는?**

과제를 수행하면서 한국에너지기술
평가원의 도움을 많이 받았다. 특히, 과제를
진행하던 도중 갑자기 코로나19 팬데믹
사태가 발생하여 수출 길이 막혀 눈앞이
깜깜했는데, 한국에너지기술평가원,
산업통상자원부 산하의 여러 기관들과
소통하며 어려움을 잘 해결할 수 있었다.
코로나19로 인한 실증저 검토가 불가능한
상황에서도 많은 도움을 받을 수 있었다.

(주)에코전력

2014년에 설립되어 현재 태양광, 풍력,
ESS 등 재생에너지 사업을 주력으로 한다.
기업 부설 연구소를 통해 신기술 개발부터
시공, 구조물 및 기자재 제작, 유지·보수와
전기안전관리 대행까지 원스톱 서비스를
제공하고 있다. 다양한 경험과 기술력을
바탕으로 효율적인 재생에너지 시스템을
구축하기 위해 연구와 노력을 이어가고 있다.

www.eco3020.com



고기 없는 밥상, 당신은 얼마나 지속할 수 있는가? 한국농촌경제연구원^{KREI}에 따르면 2023년 우리 국민의 1인당 육류 소비량이 평균 60.6kg으로 전년 대비 1.3% 증가한 것으로 나타났다. 오는 2028년에는 61.4kg, 2033년에는 65.4kg까지 늘어날 전망이다. 다시 말해 누군가에겐 고기 없는 밥상이란 상상조차 불가능하다는 뜻이다. 문제는 이 중요한 식재료가 곧 부족해진다는 사실이다. 이를 해결하기 위해 시작된 연구가 배양육이다.



배양육, 인류 식량문제의 대안 기술로 성장하다

지속가능한 미래를 위한 배양육 생산 기술 word 김아름 photo 서울대학교산학협력단 제공

연구과제명	배양육 생산 기반기술 개발 및 산업화 (산업기술 알키미스트 프로젝트)
제품명(적용제품)	세포배양식품(배양육)
정부과제 수행기간	2020.9.1.~2026.12.31.
총 정부출연금	199억 원
개발기관	서울대학교산학협력단
참여 연구진	서울대학교 조철훈·이창규 외 28명, 세종대학교 박성권 외 10명, (주)스페이스에프 김병훈 외 19명, 대상(주) 전진영 외 13명, 롯데정밀화학(주) 이재호 외 6명, 한국화학연구원부설 안전성평가연구소 임완중 외 4명

배양육, 지속가능한 미래 식량

인류가 배양육 연구를 이어가는 까닭은 새로운 음식을 먹기 위해서가 아니다. 배달 앱과 음식물 쓰레기에 지친 사람에겐 먹거리 문제가 대수롭지 않을 수도 있다. 하지만 당장 25년만 지나면 이 상황은 달라진다. 2050년 세계 인구는 100억 명에 달할 것이라는 예측이 나왔다. 인구가 증가하면 자연스레 육류 수요도 늘게 될 터. 100억 인구가 만족할 만큼의 고기를 얻기 위해선 육류 생산량이 150% 이상 늘어나야 한다. 하지만 전통적 축산 방식으로는 이처럼 짧은 시간 내에 전체 수요를 감당하기 어렵다. 가축 생산을 위한 자원이 부족할뿐더러, 그 과정에서 발생하는 온실가스 배출, 동물복지 문제도 해결해야 한다. 그렇다고 인류의 식습관 자체를 바꾸기는 더 어려운 일. 이에 배양육이 떠오르게 된 것이다.

서울대학교 조철훈 교수를 필두로 세종대학교, (주)스페이스에프, 대상(주), 롯데정밀화학(주), 한국화학연구원부설 안전성평가연구소에 몸담고 있는 연구원 80여 명이 팀을 이룬 것도 배양육 기술을 개발하기 위해서다. 이들은 2020년부터 2026년까지 배양육 생산 기반 기술 개발과 상용화를 위해 산업통상자원부, 한국산업기술기획평가원^{KETI}의 ‘알키미스트 프로젝트’를 진행 중이다. 해당 기술 개발에 성공할 경우, 실험실 조건에서 약 6주 내에 육류를 얻을 수 있다. 전통적인 방식으로 6개월을 사육해 도축한 돼지고기 한 마리에서 대략 60kg의 고기를

얻을 수 있는데, 실험실에선 근육 줄기세포 60개를 6주간 키워 총 60kg의 고기를 얻을 수 있게 된다. 훨씬 짧은 기간 내 같은 양을 획득할 수 있을 뿐만 아니라 도축이나 뼈를 발라내는 과정 또한 생략된다는 이점이 있다.

국내 최초, 최고의 배양육 연구팀

서울대학교산학협력단을 중심으로 한 연구단은 지난 2023년 올해의 산업부 R&D 대표 성과 10선에 선정되었다. 여기서 주목할 점은 이들의 연구 분야가 ‘실패’를 지원하는 알키미스트 프로젝트라는 데 있다. 실패 가능성이 높은 R&D를 지원하는 사업에 참여했음에도 불구하고 뛰어난 연구 결과를 도출해낸 것이다. 이는 배양육 사업의 시작부터 끝까지 모든 단계를 아우르는 통합연구 시스템이 큰 역할을 했다.

배양육 생산 기술은 아직 세상에 나오지 않은 초기 기반기술이다. 따라서 각 단계를 결정하는 핵심요소기술이 잘 연결되어 있어야만 유의미한 성과를 낼 수 있는데, 연구단은 해당 연구를 기획할 때부터 공정 전체를 고려한 이상적인 팀을 구성했던 것이다. 핵심요소기술은 총 5단계로 나뉜다. 배양육 기술의 시작인 ‘세포(세포주)’, 가축의 먹이라고 할 수 있는 ‘배양액’, 세포의 증식, 분화 및 조직화에 필요한 ‘지지체’, 효율적인 세포의 ‘대량배양기술’, 그리고 ‘식육화 가공기술’ 등이다. 서울대학교와 세종대학교에서 줄기세포와 같은 원천기술을 개발하고, (주)스페이스에프는 각 기술을 접목해 전체 공정을 설계했다. 세포를 키우고 고기를 수확하는 데 필수적인 배양액, 지지체는 각각 대상(주)과 롯데정밀화학(주)이 연구에 참여했다. 둘 모두 식용이 가능할 만큼 안전하고 높은 효율성을 자랑한다. 마지막으로 안전성평가연구소가 세계 기준에 적합한 방법으로 배양육의 안전성을 평가한다. 단계마다 업계 최고의 기술력을 보유한 연구진이 참여해 전체 프로젝트를 성공시킨 것이다.

연구단은 지난 3년간의 연구를 통해 세계 최초로 ‘돼지 배아줄기세포’를 만들고 이를 이용해 근육으로 분화시키는 데 성공했다. 또 동물의 태아에서 추출하는 혈청 대신 ‘무혈청 배양액’을 개발완료해 윤리와 단가 문제를 해결하고 있다. 무혈청 배양액은 제품의 품질을 안정적으로 유지하는 데도 효과적이기 때문에 대량 생산 공정에서 큰 이점으로 작용한다.

연구단의 세포배양식품 생산과정



현재까지 연구단은 총 13건의 배양육 시제품을 생산했고, 10건의 국내 특허와 5건의 국외 특허를 출원해 3건을 등록했다. 그 과정에서 논문 27개와 11개의 상도 받았다. 연구가 완료되는 2026년이 되면 또 얼마만큼의 성과를 얻을지 자못 기대된다.

배양육이 우리 식탁에 오를 날은

해외에선 이미 시장에 출시된 제품도 있다. 2020년 싱가포르에서 판매 허가된 배양닭고기를 시작으로 미국과 이스라엘 등에서 배양쇠고기, 배양메추라기고기 등이 등장했다. 하지만 이를 맛보기란 쉽지 않다. 배양육 시대가 열렸다고는 하나 아직 대부분의 기술이 초기 단계에 머물러 있고, 배양육 제조 단가가 높아 유통이 어렵기 때문이다. 기존 육류와 비교해 식감이 다른 것도 중요한 이유다.

국내 연구단은 ‘최초’보다 ‘지속가능성’에 연구의 중점을 두고 있다. 축종별 최적의 배양육용 세포를 확보하고 가격 경쟁력이 높은 무혈청 식용 배지를 개발한 것도 그 일환이다. 그뿐만

아니라 국내 최대 규모의 배양육 파일럿 플랜트를 완공했고, 대량 배양 연구를 진행하며 보다 저렴한 배양육을 안정적으로 공급한다는 목표다. 동시에 기존 육류와 유사한 식감의 고기를 배양하기 위해 끊임없이 연구와 개발, 시식 등이 이어가고 있다. 물론 세계 최초로 돼지 배아줄기세포를 개발한 만큼, 돼지고기 분야에선 최초의 양산도 기대할 만하다.

무엇보다 국내 최초의 배양육 원천기술을 개발해 상용화함으로써 국내 후발 주자들에게 새로운 길을 열어주고, 배양육에 대한 사회적 관심을 이끌어낸다는 점에서 그 가치가 있다. 연구단은 30년 전에는 상상할 수 없었던 스마트폰, AI 시대가 실현된 것처럼, 30년 후 맞이하러 세포 농업 시대를 여는 획기적인 기술을 개발한다는 데 의의를 두고 있다. 그리고 이것이 알키미스트 프로젝트의 진정한 의미임을 자부했다.

서울대학교 조철훈 교수는 “알키미스트 프로젝트는 어느 사업과 달리 실패를 용인하는 도전적인 연구과제”라며 지원 기관에 감사의 인사를 전했다. 또한 “이러한 혁신 도전형 과제를 위해 과감한 연구·행정적 지원을 끊임없이 제공하는 KEIT와

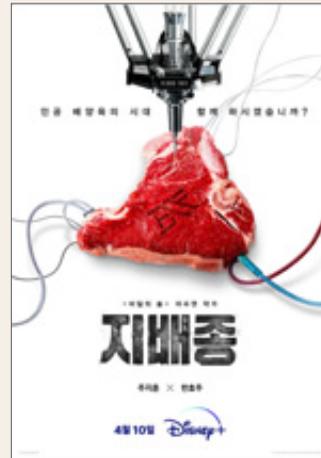
꾸준히 소통하며 의미 있는 결과를 도출하겠다”는 각오를 피력했다.

지난 2월, 식품의약품안전처는 세포배양식품을 포함한 신소재 식품의 ‘한시적 기준 및 규격 인정 기준’을 고시했다. 연구단은 해당 내용에 따라 제품의 안전성 등을 평가받을 예정이다. 모든 절차가 순조롭게 진행된다면, 내년도 하반기엔 시판 허가가 날 가능성도 있다.

모두와 공생하는 산업으로 성장하길

조 교수는 “어떤 좋은 기술도 소비자의 선택을 받아야만 사업 진행이 가능하다”며 늘 소비자의 목소리에 귀 기울이고 필요한 사항을 발굴해 협력하겠다는 계획이다. 기존 산업인 축산업과의 공존도 고민 중이다. 인류의 행복과 번영을 위한 기술을 개발하는 것이기에, 축산업에 미칠 영향을 고려하지 않을 수 없으며 산업 성장 역시 신중하게 접근하는 것이 중요하다는 생각이다. 우수 성과명에 ‘지속가능한’이라는 키워드를 넣은 것 또한 그런 생각과 무관하지 않다.

인류는 예정된 미래를 향해 나아가고 있다고 해도 과언이 아니다. 지구 온도가 높아져 더 지독한 질병이 찾아오고, 혹독한 재난이 다가올 것이라는 미래 말이다. 이에 여러 산업이 조금 다른 미래를 위해 온 힘을 다해 노력하고 있다. 배양육 개발 역시 그 노력 중 하나다. 자원을 효율적으로 사용하고, 환경을 덜 해치고, 인간과 동물이 함께 건강하게 살아가는 내일. 30년 후 우리는 세계 최초로 개발된 한국의 배양돼지고기 브랜드 제품으로 배양양념살을 구워 먹어도 모른다.



배양육을 주제로 한 디즈니플러스 시리즈 <지배종> 포스터. 조철훈 교수는 “극 초반 자료에 근거한 내용이 나와서 반가웠다. 특히 가족, 모피, 작물 등을 세포로 생산하는 세포 농업 이야기나 배양육이 양산되어 시판되는 광경이 흥미로웠다”고 말했다. 하지만 “중반부 배양액에 세균이 많다는 이야기가 있었는데 실제로 세균이 있으면 세포나 배양육이 자랄 수 없다는 점에서 오해의 소지가 있다”라며 드라마상의 오류를 지적했다.

R&D 프로젝트 주관기관 ‘서울대학교산학협력단’



2003년 (재)서울대학교산학협력재단으로 출범해 2008년 현재 산학협력단으로 이름을 바꿨다. 세계를 선도하는 창의적 지식과 원천기술 창출에 기여한다는 미션 아래 글로벌 산학협력을 선도하고, 고객 중심 연구지원 서비스를 제공하며, 미래 기술 가치 창출을 위해 노력하고 있다. 이번 배양육 프로젝트는 서울대학교 식품동물생명공학부 조철훈 교수와 이창규 교수가 이끄는 2개 연구실이 주관하고 있다.

<https://snurnd.snu.ac.kr/>



인공 나뭇잎이 만니키 청정에너지

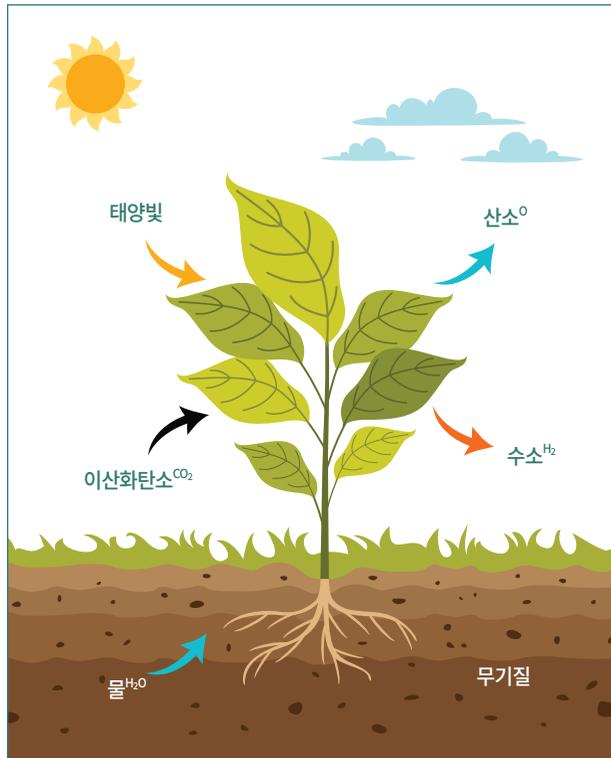
광합성 원리
이용한
청정 수소 생산
기술



AI를 통해 생성한 인공나뭇잎 이미지

생명체가 살아가는 데 가장 중요한 성분 중 하나는 산소다. 산소 없이는 당장 숨을 쉬는 것도 불가능하다. 애초에 자외선으로부터 생명체를 지키는 오존층 또한 산소를 기초로 형성되었다. 산소를 만든 자연의 법칙, 광합성. 현재 인류는 이 광합성 원리를 바탕으로 미래의 생존을 계획하고 있다.

인공 나뭇잎 기술이 차용한 자연 상태의 광합성 원리



인공 나뭇잎은 어떤 기술?

인공 나뭇잎은 식물의 광합성 기술을 모방해 만들어졌다. 따라서 인공 나뭇잎 기술을 이해하기 위해서는 먼저 식물의 광합성 원리를 알아야 한다. 식물은 뿌리로 흡수한 물을 줄기를 통해 가지와 나뭇잎 등에 보낸다. 이파리까지 퍼진 수분이 햇빛과 만날 때, 식물세포 내 엽록체에서 화학반응이 일어나는데, 이것이 바로 광합성이다. 화학반응의 결과, 산소와 수소이온, 전자 등이 발생한다. 이후 산소는 공기 중으로 배출되어 생명체의 호흡을 돕는 데 쓰이고, 수소이온과 전자는 이산화탄소와 결합해 포도당으로 변환된다. 그 포도당이 식물의 생장에 필요한 영양소가 되는 것이다.

2008년 미국 하버드대학교의 대니얼 노세라 박사는 식물의 광합성 원리를 바탕으로, 태양전지의 양극과 음극에 코발트와 니켈을 사용해 산소와 수소이온 등을 만드는 ‘인공 나뭇잎’ 기술을 개발했다. 현재는 전력 및 수소 생산, 탄소 포집 등의 다양한 목적을 위해 세계 곳곳에서 추가 연구를 진행하고 있다.

우리 연구팀 역시 수소 생산을 위해 연구를 진행 중이다. 수소는 연소 시 물만을 배출하는 청정에너지원이다. 따라서 고품질의 수소를 안정적으로 생산하는 것이 미래 에너지 안보와 기술 혁신, 경제 성장에 중요하지만, 기존에는 화석연료를 기반으로 수소를 생산하는 경우가 많았다. 반면 인공 나뭇잎 기술을 활용할 경우, 태양빛을 흡수하는 반도체 광촉매^① 물질만 사용하면 되기 때문에 기존보다 훨씬 깨끗한 방식으로 수소를 생산할 수 있다. 이에 따라 인공 나뭇잎 기술이 미래 화석 에너지 고갈 및 기후변화에 대응할 수 있는 친환경 대안으로 주목받는 것이다.



청정 수소를 만들기 위한 글로벌 연구들

파리기후변화협약이 체결된 이후 전 세계 국가들이 온실가스 감축을 위한 정책을 적극 추진하고 있다. 우리나라도 예외가 아니다. 2030년까지 신재생에너지 비율을 20%로 확대하는 것을 목표로 청정에너지 확대를 중장기적으로 추진할 것이다. 또한 수소

① 광촉매: 빛을 흡수해 화학반응을 촉진하는 물질이다. 빛에너지를 흡수해 전자와 정공^{hole}을 생성하고, 이 전자와 정공이 화학반응에 참여한다.



인공 나뭇잎을 활용한 청정 수소 생산 기술



경제를 에너지 패러다임 변화의 핵심으로 보고 수소를 이용한 에너지 활용 계획을 주요 전략 투자 분야 중 하나로 선정했다. 이에 따라 수소에 대한 관심과 투자가 높아지는 상황이다.

청정 수소를 생산하기 위한 인공 나뭇잎 기술 연구도 활발히 이루어지고 있다. 해외에서는 유럽을 중심으로 수^{*}전해 시스템의 효율 향상을 위한 연구가 진행되고 있으며, 미국 에너지부^{DOE}와 일본의 일부 기관(JHyM, NEDO) 등이 광촉매를 이용한 물 분해 청정 수소 생산을 연구하고 있다.

국내에서는 한국에너지기술원^{KIER}, 한국과학기술연구원^{KIST}, SK이노베이션, S-Oil, 한국과학기술원^{KAIST}, 울산과학기술원^{UNIST} 등 다양한 연구소, 기업, 대학 연구팀에서 고온 수전해, 열분해, 광분해 등 차세대 친환경 수소 생산 기술을 연구하고 있다. 하지만 아직은 상업화의 기준점인 ‘광-수소 변환 효율 10%’를 달성하는 소재가 개발되지 않아 고효율 소재 개발을 위한 기초-원천기술 연구 단계에 머무르고 있으며, 기술 실증을 위한 대규모 모듈 제작 및 수소 생산 시스템 연구가 미비한 실정이다.

인공 나뭇잎 기술 핵심 ‘광촉매’ 문제, 게르마늄으로 해결

인공 나뭇잎 기술의 핵심은 광촉매이다. 광촉매가 식물의 엽록소처럼 햇빛을 받아 전자를 만들기 때문이다. 광촉매 물질로는 값이 싸고 비용 효율이 높으며 물속에서도

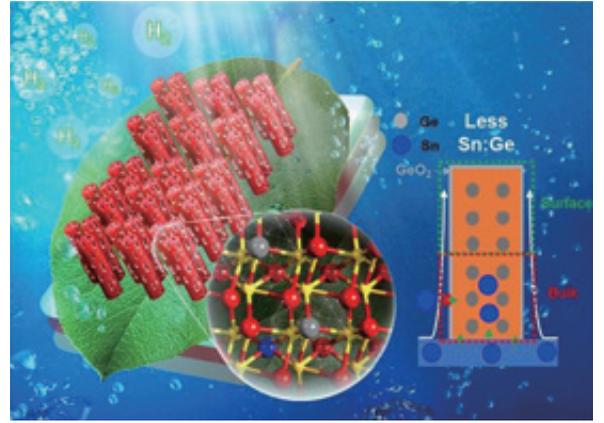
광-수소 변환 효율^{STH}, Solar-to-Hydrogen conversion efficiency

태양에너지로 물을 분해해 수소를 생산하는 과정에서 태양에너지의 입력 대비 수소로 변환된 에너지의 비율을 나타내는 중요한 성능 지표다. 이 효율성을 바탕으로 태양광을 사용한 수소 생산 기술의 경제성과 실용성을 평가한다.

$$\text{STH 효율(\%)} = \left(\frac{\text{생성된 수소 분자 에너지}}{\text{광촉매가 흡수한 태양 에너지 총량}} \right) \times 100$$

안정적으로 작용하는 이점을 가진 산화철²이 많이 연구되고 있다. 하지만 산화철은 전기전도도가 낮아 이를 높여줄 별도의 첨가제가 필요하다.

여러 첨가제 후보 가운데 주목할 만한 것으로 게르마늄(Germanium)이 꼽혔다. 그런데 막상 실제 실험을 진행해보니 이론보다 효과가 크지 않아 의문점이 큰 물질이기도 했다. 필자가 속한 UNIST 연구팀은 게르마늄의 효과를 높이기 위한 연구를 진행했고, 그 원인과 해결법을 찾아냈다. 게르마늄의 효과를 떨어뜨린 것은 열처리 과정에서 투명기판에서 광촉매로 침투한 주석이었다. 주석이 광촉매 속으로 침투해 내부 구조를 손상시킨 까닭이다.



산화철을 활용한 인공 나뭇잎의 수소 생산 개념도

표면에 구멍이 송송 난 붉은색 막대가 산화철 광촉매이다. 산화철 광촉매의 투명기판에서 주석이 침투하는 것을 억제해 산화철의 게르마늄 첨가 효과를 크게 개선했다.

이후 주석이 게르마늄에 미치는 영향을 최소화하는 산화게르마늄 막 코팅법을 개발했다. 이는 광촉매 표면에 열처리 후에 나타나는 다른 문제도 함께 해결해줬고, 그 결과 수소 생산량이 기존 대비 3배 이상 늘어났다. 기존 단일 산화철 전극으로 구성된 인공 나뭇잎 기술에서 생산할 수 있는 수소는 1~3% 내외. 해당 연구에서 입증한 효율 5%는 세계 최고 수준임이 분명했고, 연구 결과는 2021년 국외 저명한 학술지인 <네이처 커뮤니케이션>에 발표됐다.

고효율, 저비용 청정에너지 상용화하는 날까지

고효율 광촉매 인공 나뭇잎 기술은 수소 및 청정에너지 분야에서 혁신적인 발전을 이룰 수 있는 중요한 기반 기술이다. 특히 산화철을 활용한 연구는 안정성과 저비용적인 측면에서 매우 유망한 접근 방법이다. 하지만 앞서 언급했듯, 아직 해결하지 못한 난제들을 위한 기술 연구가 꾸준히 진행되어야만 한다.

연구자로서 다양한 첨가제를 활용해 난점을 극복하고 고성능의 산화철 전극을 개발한 것은 매우 의미 있는 성과였다. 특히 게르마늄을 첨가하고, 주석^{Sn} 성분에 따른 효율 저하 문제를 해결한 것은 수소 생산량을 획기적으로 늘릴 수 있는 혁신적인 결과였다. 필자를 비롯한 UNIST 연구진은 기존 연구 성과를 바탕으로 기술 실증을 위한 생산 시스템 연구 개발에 박차를 가할 계획이다. 우리의 발걸음이 더욱 효율적이고 경제적인 수소 생산에 기여할 수 있을 것이라 생각한다.

2 산화철: 철과 산소가 결합하여 형성된 화합물이다. 철의 산화 상태와 결정 구조에 따라 다양한 특성을 갖는다. 본문에서 산화철은 화학반응에서 촉매로 사용되어 물을 수소와 산소로 분해시킨다.



장지현 울산과학기술원 에너지화학공학과 교수 에너지 변환 및 저장, 2D 물질에 대한 연구를 하고 있으며, Materials Today Energy (Elsevier) 편집위원, 금속재료학회지 편집위원으로 활동하고 있다.

전 산업에 걸쳐 가장 빠르게 성장하고 있는 국가는 중국이다. 이에 중국의 성장으로부터 우리 기술의 경쟁력을 유지하는 방법으로 ESG가 떠오르고 있다. ESG 기준을 엄격하게 적용함으로써 배터리 및 철강산업 격차를 유지할 수 있다는 것이다.

word 박동휘 <한국경제> 기자

글로벌 기술격차를 유지하는 방법

‘ESG’





자동차 매장이 늘어난 독일 뮌헨 잠도르퍼 거리에 2023년 7월 중국의 전기차 브랜드 니오 매장이 문을 열었다. 기존에는 페라리 매장이 있던 곳. 유럽 내 중국산 제품의 점유율이 높아짐에 따라 EU는 중국으로부터 기존 산업을 지키기 위한 노력을 기울이고 있다.

빠르게 퍼지는 중국산, ESG로 속도 늦춰

중국의 산업 성장 속도가 전 세계를 놀라게 하고 있다. 인공지능^A 등 첨단산업은 물론 값싼 공산품 또한 알리·테무·쉬인이라는 초대형 이커머스 플랫폼을 통해 선진국 소비자들의 지갑에 닿고 있다. 특히 철강, 석유화학, 조선, 배터리 등 대형 장치산업에서 진행 중인 중국의 움직임은 세계 산업 강국은 물론 우리 산업의 근간을 흔들 수 있다는 우려로 이어지기도 한다. 이에 우리 산업을 지킬 수 있는 방법으로 ‘ESG’가 주목받고 있다. ESG를 통해 쉬인으로부터 자국 시장을 지켜낸 미국의 사례가 대표적이다.

최근 미국 의회는 ‘신장위구르 강제노동방지법^{UFLPA}’에 따라 쉬인의 미국 내 기업 공개를 승인하면 안 된다고 목소리를 높이고 있다. 쉬인의 패스트패션^{Fast Fashion}이 말단의 공급망에 이르기까지 강제 노동에 연루되지 않았다는 것을 증명할 때까지 미국 자본시장에서 돈을 조달하지 못하도록 하겠다는 것이다.

전기차용 배터리 산업 또한 ESG가 열쇠

세계 1위 배터리 기업인 중국 닝더스다이^{CATL}는 2023년 사상 최대 매출을 기록함으로써 한국 배터리 3사를 압도했다. CATL의 지난해 매출은 4009억 위안(약 74조 원), 순이익은 441억 위안(약 8조1500억 원)에 달했다. LG에너지솔루션(33조7400억 원), 삼성SDI(22조7000억 원), SK온(12조9000억 원) 등 국내 배터리 3사의 매출을 모두 합해도 CATL에 미치지 못한다.

배터리 전문가들은 지금과 같은 추세라면 중국과 한국의 격차는 더욱 커질 것이라고 관측한다. 중국이 이미 값싸고 성능 좋은 제품을 압도적 수율로 생산할 수 있는 역량을 갖췄다는 것이다. 게다가 중국의 배터리 제조사들은 세계 최대 전기차 시장을 배후로 두고 있다. 중국의 전기차 산업은 매년 두 자릿수로 성장 중이다. 이 가운데 중국 배터리 제조사들의 유일한 약점으로 꼽히는 것이 바로 ESG다. 예컨대 중국이 전 세계 생산량의 90%가량을 차지하는 전구체만 해도 환경 유해성 논란이 끊이지 않고 있다. 전구체는 양극재 제조의 기초이자 핵심 화합물로 양극재 원가의 70%를 차지하는 데다 전구체 성능에 따라 배터리 효율이 좌우되는 핵심 소재다.

중국이 전구체 제조에 강한 이유는 특유의 제조 과정 덕분이다. 예컨대 국내 배터리 3사가 주로 제조하는 NCM 계열 배터리의 전구체를 생산한다고 가정해보자. 중국의 전구체 제조사는 니켈, 코발트, 망간 금속을 녹인 용액을 만들고, 이 용액에 착화제, pH 조정제 등을 혼합해 침전물이 생기면 이후 침전된 물질을 세척하고 건조해 전구체를 완성한다.

에코프로, 엘앤에프 등 양극재 제조사들은 전구체를 중국에서 들여와 배터리 셀 제조사에 납품할 양극재를 최종 생산한다. 전구체를 국내 양극재 제조사들이 만든다면 좋겠지만, 금속을 녹이고 착화제 등을 섞는 과정에서 유해 환경 요소가 상당량 배출되는 것이 문제다. 환경규제가 비교적 느슨하고, 저임금 노동을 활용할 수 있는 중국에서 전구체 제조업이 발달한 이유다.

만일 미국, 유럽연합^{EU} 등 주요 전기차 수입국이 중국의 전구체 제조사에 ESG 기준을 엄격히 적용한다면 중국 배터리 산업의 성장 속도를 어느 정도 늦출 수 있을 것이란 전망이 나온다. 전문가들은 결국 시간 싸움이 관건이 될 것이라고 입을 모은다. 한국 배터리 셀 제조사 등이 친환경 전구체를 적절한 가격에 안정적으로 생산할 수 있는 시스템을 얼마나 빨리 갖출 수 있느냐가 관건이라는 이야기다.

산업의 쌀, 철강산업의 격차도 ESG가 답

글로벌 철강산업에서 우리의 위치를 지키는 방법 역시 ESG다. 고로를 활용해 철을 생산하는 방식은 다량의 이산화탄소를 배출하는 것으로 알려져 있다. 철광석이나 석회석을 녹이기 위해 1500°C의 고온을 유지해야 하는데, 이런 공정에 필요한 열은 주로 석탄을 활용한다. 보통 1톤의 철강을 생산할 때마다 1.85톤의 이산화탄소가 배출된다.

글로벌 주요 철강 제조사들이 전기로 조강^①으로 전환하고 있는 것은 이 같은 배경에서다. 원가와 품질 측면에서는 고로가 전기로에 비해 우수하지만, 향후 고로 못지않은 전기로 조강 방식에 누가 먼저 도달할 수 있느냐가 핵심 전장이 될 전망이다.

한국, 일본, 중국 등 아시아 철강사들이 고로 위주로 철강산업을 발전시킨 데 비해 미국은 ‘미니밀^{Mini Mill}’이라는 중소형 전기로를 일찌감치 활용해왔다. 미국 철강협회에 따르면 미국 내 전기로 생산 비중은 2002년 50.7%에서 2020년 70.9%로 확대됐다. 미국의 대표 철강 기업인 뉴코^{Nucor}는 전기로 조강 방식의

① 전기로 조강: 전기를 이용해 철강을 제조하는 공정을 의미한다. 조강이란 철광석을 녹이고 정련해 만든 첫 철강 제품을 뜻한다.

최강자다. 올해 안에 오하이오, 펜실베이니아, 버지니아 지역에 전기로 공장을 건설할 계획이다. 미국 정부가 여야 가릴 것 없이 제조업 리쇼어링을 외치고 있다는 점을 고려하면 미국은 전기로 조강 방식으로 판 자체를 바꾸려고 할 것이라는 게 전문가들의 전망이다.

포스코, 현대제철 등 우리 기업도 친환경 철강 시장에 대응하기 위해 빠르게 움직이고 있다. 현대제철이 지난해 4월 발표한 넷제로 비전에 따르면, 2030년까지 직간접 탄소배출량을 12% 감축하는 것을 목표로 세웠다. 2030년까지 당진제철소 전기로 투자를 통해 전기로-고로 복합 프로세스 생산 체제 전환을 추진하고, 연간 500만 톤의 저탄소 제품 공급 체제를 구축할 예정이다.

전기로-고로 복합 프로세스 1단계로 기존 전기로를 활용해 저탄소화된 쇳물을 고로 전로 공정에 혼합 투입하는 방식을 적용하고, 2단계에서는 현대제철 고유의 신^新 전기로를 신설해 2030년까지 탄소배출이 약 40% 저감된 강재를 시장에 선보인다는 것이 현대제철의 전략이다.

포스코는 아예 석탄을 사용하지 않는 수소환원제철 기술을 개발하는 데 박차를 가하고 있다. 포스코는 고로 등 기존 생산방식을 단계적으로 전환해 수소환원제철 생산 체제를 완성할 계획이다. 고유의 ‘파이넥스^{FINEX}’ 유동 환원로 기술을 기반으로 한 포스코형 수소환원제철 기술인 ‘하이렉스^{HyREX}’를 바탕으로 수소환원제철 상용 기술을 개발 중이다. 2030년까지 하이렉스 상용 기술개발을 완료한 후 2050년까지 포항·광양제철소의 기존 고로 설비를 단계적으로 수소환원제철로 전환해 ‘2050 탄소중립’을 달성한다는 목표다.



국내 주요 그룹들은 ‘ESG 경영위원회’를 출범하고 ESG 경영을 확산, 글로벌 시장에서의 경쟁력 강화를 위해 힘쓰고 있다. 사진은 2023년 5월에 열린 제2기 ESG 경영위원회 출범식.



이차전지 양극재



웨어러블 로봇



전투기(FA-50FH)
정밀미사일표적시스템



LNG 운반선



Brain to X



AI반도체



인공장기



자율주행 전기차



K9 자주포 엔진

한강의 기적을 넘어
한국의 기적으로

산업기술 R&D가
대한민국 경제의
든든한 빛이 됩니다



산업통상자원부



한국산업기술기획평가원
Korea Planning & Evaluation Institute of Industrial Technology

우리가 일상에서 접하는 약에는 오리지널 의약품과 복제약이 있습니다. 복제약이 가짜라는 의미는 아닙니다. 오리지널 의약품은 크게 ‘합성의약품’과 ‘바이오의약품’ 두 종류로 나뉘는데, 여기에 두 의약품의 기술을 활용한 ‘복제약’이라는 특별한 개념이 하나 더 있는 것입니다. 그렇다면 복제약은 오리지널 의약품과 어떤 차이가 있는 걸까요.

제네릭과 바이오시밀러, 복제약의 세계



복제약, 오리지널 의약품 특허

만료 후 개발 가능

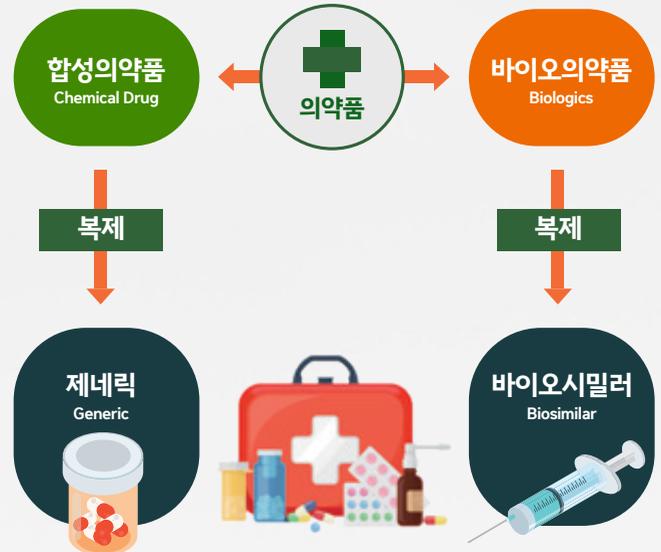
복제약은 오리지널(원개발) 의약품을 그대로 만들어낸 의약품을 말합니다. 오리지널 의약품은 특정 질환을 치료할 목적으로 특정 성분으로 가장 처음 개발된 신약입니다. 세포실험과 동물실험을 거치고 여러 단계의 임상시험을 통과한 후 시장에 출시됩니다. 효과가 좋더라도 안전성에 문제가 생기면 출시 자체가 불가능합니다. 이러한 이유로 신약은 보통 개발 기간만 10년 정도 소요되고, 성공률도 매우 낮은 편입니다.

그래서 신약이 나오면 특허권을 10~15년간 보호해줍니다. 신약을 만드는 데 들어간 개발사의 막대한 자금과 시간의 가치를 인정한다는 의미입니다. 특허가 만료된 후에는 개발사가 더 이상 독점판매권을 보유할 수 없게 됩니다. 신약 개발사뿐 아니라 다른 제약 회사도 오리지널 의약품의 복제약을 개발할 수 있게 되는 것입니다.

복제약의 경쟁력은 낮은 약값입니다. 이미 공개된 약을 분석해 만들기 때문에 개발 비용이 대폭 줄어듭니다. 시장이나 정부에서 인정하는 약값도 낮아집니다. 복제약은 대개 오리지널 의약품 가격의 80% 수준이고, 상한선은 53.55%를 넘지 않습니다. 복제약의 가격 인하를 통해 오랫동안 안전하게 사용해온 오리지널 의약품을 더 저렴하게 사용할 수 있다는 것은 환자들에게 큰 혜택입니다.

똑같은 복제!

왜 제네릭과 바이오시밀러로 구분?



합성의약품과 동일한 제네릭,

‘생물학적 동등성 시험’ 거쳐 허가

복제약은 ‘제네릭’과 ‘바이오시밀러’로 구분됩니다. 둘 모두 특허가 만료된 의약품을 동일한 효능을 갖도록 만들었다는 게 공통점입니다. 하지만 각각 합성의약품과 바이오의약품을 복제한다는 데서 차이가 있습니다. 먼저 제네릭에 대해 알아보까요?

제네릭^{Generic}(통칭의)이란 말은 ‘일반적’이라는 뜻의 ‘General’과 어원이 같습니다. 제네릭은 특허가 만료된 합성의약품의 공개된 기술을 이용해 동일하게 만든 의약품을 말합니다. 합성의약품은 화학물질을 재료로 사용합니다. 식품의약품안전처에 따르면 제네릭은 오리지널 합성의약품과 주성분, 함량, 효능·효과, 복용 방법 등이 동일합니다. 제네릭은 오리지널인 합성의약품의 화학식을 알면 같은 성분을 쉽게 만들 수 있습니다. 화학반응을 그대로 따라 하면 되기 때문입니다. 화학반응은 환경에 영향을 받지 않아 오차가 나지 않습니다. 그래서 제네릭은 오리지널 합성의약품이 거친 여러 단계의 임상시험을 생략합니다.

단, 실제로 오리지널 의약품과 동일한 특성을 가졌는지 살피기 위해 ‘생물학적 동등성^{Bioequivalence} 시험’이라는 과정을 거칩니다. 인체 내에서 나타나는 효능·안전성이 똑같은지 시험을 통해 입증한 뒤 별도의 허가 심사를 받는 것입니다.

보통 제네릭 약효가 오리지널 합성의약품의 80~125% 범위에 들면 식품의약품안전처로부터 승인을 받고 출시할 수 있습니다. 그러니까 제네릭은 약효가 오리지널 합성의약품과 동일할 수도 있지만, 80%에 걸쳐 약간 떨어지거나 125%에 가까워 더 좋을 수도 있다는 이야기입니다. 이는 복사기에서 복사하듯, 제네릭이 단순히 오리지널 합성의약품을 찍어내듯 만들어낸 복제의 결과물과는 다르다는 것을 의미합니다.

제네릭은 2011년부터 2022년까지 12년 동안 1만 개 이상의 제품이 출시됐습니다. 매년 평균 835개 제품이 시장에 나왔다는 것입니다. 전문가들은 제네릭이 대외적인 약재가 있어도 물량 공세와 적극적인 프로모션으로 점유율을 유지했다는 의미라고 말합니다.

멕시코 등 세계 여러 나라는 공공보건의료 비용 절감을 위해 제네릭의 생산 촉진 정책을 추진하고 있습니다. 이에 힘입어 제네릭 시장은 꾸준히 성장할 것으로 전망됩니다. 하지만 약효가 제대로 나타나지 않으면 생명에 지장을 줄 수 있거나 부작용 우려가 있을 경우에는 제네릭보다 오리지널 합성의약품을 고수하는 경향이 있습니다.

바이오표제약과 유사한 바이오시밀러, 임상 모두 거쳐야

제네릭이 큰 성장세를 이어가고 있지만 21세기의 화두는 ‘바이오표제약’입니다. 따라서 요즘 이슈로 떠오르는 복제약은 ‘바이오시밀러’입니다. 바이오시밀러는 특허가 만료된 바이오표제약에 대한 복제약을 뜻하는데, ‘동일성’이 아닌 ‘유사성^{Biosimilarity}’을 요구합니다.

바이오표제약은 대장균이나 효모, 동물세포 등 살아 있는 세포에서 단백질을 뽑아내 생산합니다. 생물체에서 유래했기 때문에 독성이 낮고 작용기전(약이 어떤 과정을 거쳐서 효과를 나타내는지를 설명하는 일)이 명확해 난차·희귀·만성질환에 큰 효과를 보입니다. 하지만 생물체를 기반으로 만들어지는 바이오표제약의 특성상 오리지널과 완전히 동일하게 만들어내는 것은 사실상 현실적으로 불가능합니다.

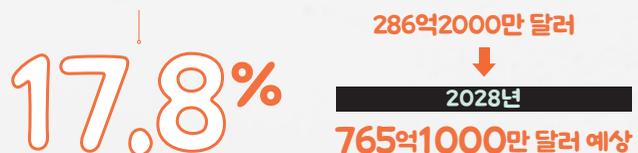
바이오표제약은 ‘공정’이 제품을 만듭니다. 배양 조건과 정제 방법 등 제조 공정의 작은 차이에도 영향을 받아 최종 산물이 다를 수 있습니다. 심지어는 동일한 제조 과정을 거쳐도 누가 언제 만들었느냐에 따라 서로 다른 제품이 나오기도 합니다. 이는 바이오시밀러가 오리지널 바이오표제약과 유사하지만 다른 물질이 나올 가능성이 매우 높다는 이야기입니다. 부모의 유전자를 받았지만 첫째, 둘째, 셋째 아이의 생김새나 성격이 다른 것과 같은 이치입니다. 제약업체가 ‘유사하다’란 뜻의 ‘시밀러’를 붙인 이유가 여기에 있습니다.

바이오시밀러는 결과물에 조금씩 차이가 생길 수밖에 없는 만큼, 오리지널 바이오표제약을 만들 때처럼 임상시험의 모든 단계를 다시 거칩니다. 그런 관계로 제네릭보다 개발 기간이 길고 비용도 많이 들어 값도 더 비쌉니다. 하지만 업계는 바이오표제약과 유사한 기능을 갖는 바이오시밀러가 큰 부가가치를 낼 수 있다고 보고 있습니다.

세계 유수의 제약기업들은 최근 바이오시밀러 개발에 박차를 가하고 있습니다. 글로벌 누적 매출액 1위 의약품인 애브비의 휴미라^{Humira}가 2023년 1월에 특허가 만료되었고, 이를 시작으로 스텔라^{Stelara}, 옴디보^{Opdivo}, 키트루다^{Keytruda} 등 50개 이상의 오리지널 바이오표제약 독점권이 2032년까지 순차적으로 풀리기 때문입니다.

일반적으로 바이오표제약을 처음 만들 때의 성공률은 8%쯤 됩니다. 그런데 이미 만들어진 바이오표제약을 복제하는 바이오시밀러는

바이오시밀러 시장 연평균 성장률



평균 성공률이 80%에 이른다고 합니다. 비용도 바이오의약품의 8분의 1밖에 되지 않습니다.

제네릭이 시장 대부분 차지, 바이오시밀러 강세

세계 의약품 시장은 복제약이 판도를 크게 뒤흔들고 있습니다. 오리지널 의약품 못지않은 안전성에 뛰어난 효과가 있기 때문입니다. 세계 의약품 선진국인 미국, 일본, 유럽 등에서 복제약 사용이 늘고 있고, 특히 제네릭이 높은 비중을 차지하고 있습니다. 인구 고령화 현상으로 의료비 증가가 사회적 문제로 대두됨에 따라 오리지널 의약품과 성분·효능 등이 동일하면서도 상대적으로 가격 부담이 적은 제네릭 의약품 사용이 국가 차원에서 장려하기 때문입니다.

세계의 제네릭 의약품 시장 규모는 2022년 4119억9000만 달러(약 559조 원)에 달합니다. 제약업계는 2023년부터 2027년까지 다수의 주요 합성약품의 특허가 만료되기 때문에 제네릭 시장은 2030년 6133억4000만 달러에 이를 것으로 전망합니다.

바이오시밀러 시장은 어떨까요. 지난해 286억2000만 달러(약 39조 원)에 달했던 세계 바이오시밀러 시장은 연평균 17.8%로 빠르게 확대돼 바이오의약품 시장을 주도할 것으로 보입니다. 글로벌 시장조사업체 프로스탠셜리번^{F&S}은 바이오시밀러 시장이 향후 5년간 눈에 띄는 성장세를 나타낼 것이라고 예측합니다. 성장 전망치는 2024년 420억 달러, 2025년

주요 바이오의약품 특허 기간

적응증	제품명	성분명	특허 만료 시기	
			유럽	미국
자가면역질환 치료제	휴미라	아달리무맙	2019년	2023년
	엔브렐	에타너셉트	2015년	2028년
	스텔라라	우스테키누맙	2024년	2023년
항암제	허셉틴	트라스투주맙	2014년	2019년
	아바스틴	베바시주맙	2020년	2019년
	리톡산	리톡시맙	2013년	2019년
	옵디보	니볼루맙	2026년	2026년
	키트루다	팜브롤리주맙	2028년	2036년
안과질환 치료제	아이리아	애플리버셉트	2022년	2020년
	투센티스	라니비주맙	2022년	2020년



자료: 인포클라우드

500억 달러, 2027년 600억 달러, 2028년 765억1000만 달러 규모에 이릅니다.

현재 바이오시밀러는 미국과 유럽이 주도하고 있습니다. 아시아에서는 일본과 한국이 선도하고 있지요. 국내 기업들은 시장 규모가 큰 미국, 유럽 등으로 활발하게 진출 중입니다. 단순 시장 진출을 넘어 글로벌 경쟁에서 우위를 차지하려면 차별화된 전략이 필요합니다. 다양한 대응 전략을 발판 삼아 한국이 미래 먹거리로 복제약 시장을 선도해나가길 기대합니다.



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



AI와 로봇자동화의 시대를 이끌어갈, 자동화엔지니어

황우현 동양미래대학교 로봇자동화공학부 자동화공학과 교수

“인공지능^A, 빅데이터, 초연결.”

4차산업혁명을 주도하는 세 분야의 기술 혁신이 이뤄지면서 산업 트렌드가 급변하고 있다. 미래를 예측하기는커녕 첨단산업의 향방이 어떻게 변화할지 알 수 없는 시점. 불안과 기대가 공존하는 시기, 황우현 교수는 로봇자동화공학의 전망에 강한 자신감을 보였다. 수요와 공급 모두 늘어날 것이라 예견되는 로봇자동화에 대해 알아본다.

word 김규성 photo 이승재

자동화엔지니어란 어떤 직업이고, 무엇을 하는지 궁금합니다.

종종 사무실로 오는 우편물에 ‘자동화공학’이라고 적혀 있을 정도로 자동화공학에 대한 인지도는 아쉬운 수준입니다. 하지만 자동화공학, 자동화엔지니어가 어떤 것인지 어렵지 않게 예측할 수 있어요. 사람이 다가가면 열리는 문과 켜지는 전등, 알맞은 온도로 조절되는 에어컨과 히터 등 일상의 작은 부분부터 우리 삶 전반에 자동화공학이 퍼져 있습니다. 이런 자동화장비를 만들고 운영하고 유지·보수하는 직업을 자동화엔지니어라고 지칭합니다. 보다 산업적인 부분을 살펴볼까요? 부산의 한 자동차 공장은 전체 공정 중 99% 이상이 자동화되어 사람이 아닌 로봇으로 운영됩니다. 이때 자동화시스템에 오류가 나거나 망가진다면 굉장히 손실이 크겠죠? 이런 부분을 설계하고, 점검하는 직업이 자동화엔지니어이며, 4차산업혁명 시대에 중요한 직업 중 하나라 하겠습니다.

그렇다면 현재 자동화엔지니어가 활발히 활동하고 있는 분야와 향후 성장 가능성이 높은 분야는 어떤 것이 있을까요?

현재 자동화공학과 졸업생들이 가장 많이 취업하는 분야는 반도체입니다. 삼성전자, SK하이닉스를 비롯해 외국계 회사나 협력업체 등에 인력 수요가 높은 편입니다. 다음으로 코로나19 팬데믹 이후 쿠팡으로 대변되는 물류업계가 급격히 성장하면서 물류시스템을 개발하고 운영하는 자동화 부분의 수요가 많아졌습니다. 가령 우리가 모니터를 주문했을 때,

로봇이 패키징하고 배송까지 하는 일련의 과정이 모두 물류 과정인데요. 이 부분의 소프트웨어를 개발하고 운영하는 것도 자동화엔지니어의 주된 업무입니다.

다음으로 향후 발전 가능성을 따져본다면, 스마트팜을 빼놓고 이야기할 수 없습니다. 저 역시 집에 조그마한 스마트팜 장비를 두고 상추를 직접 재배하는데요. 스마트팜은 사계절이 분명한 우리나라에서 원하는 농작물을 계절과 관계없이 재배하는 방법이자, 최근의 사과값 파동과 같은 수급 불안정 문제에 대처할 방안이 될 것입니다. 이외에도 의료, IoT를 통한 업무 실습, 치킨을 튀기면서 발암물질이 배출되는 조리 과정을 로봇이 대신하는 작업 등 수많은 분야에서 자동화엔지니어링이 적용될 것이라 예상합니다.

학생들이 대학 등에서 관련 학과를 졸업하지 않아도 자동화엔지니어가 될 방법이 있을까요?

과거에는 어려운 일이었으나, 최근 자동화엔지니어링의 중요성이 높아지면서 기업과 정부, 그리고 대학에서 단기 집중 교육을 시행하고 있습니다. 반도체, 자동차, 바이오 등 특정 분야에서 짧게는 3개월부터 길게는 1년까지 첨단 분야의 강의를 듣고 실습을 수행해 자동화엔지니어로 거듭나는 과정입니다. 그만큼 자동화엔지니어를 필요로 하는 곳이 많다고 볼 수 있죠. 정부에서는 부트캠프¹ 과정을 신설했고, 동양미래대 또한 지난해부터 수행해오고 있는데요. 일반적인 학사학위 대신 ‘마이크로 디그리^{Micro Degree}’라는 최소 단위 학점 이수를 통해 취득하는 소단위 학위를 신설하고 전국 10개 대학을 선정했고 올해는 더 많은 대학을 선정해서 자동화엔지니어를 양성하고 있습니다.

실제 자동화공학과 졸업생들의 취업 현황과 도움이 될 만한 자격증을 알려주신다면?

¹ 부트캠프: 첨단산업 인재양성 부트캠프를 줄여서 부트캠프라고 부른다. 단기간 집중해서 관련 지식을 가르치는 방식으로, 첨단 분야 인재를 양성하는 것을 목표로 한다.

기업 규모로 따지면 중소기업부터 중견, 대기업까지 폭넓게 취업하고 있는데, 학과 내부적으로 대기업에 진학하는 학생들이 많다는 점은 큰 강점입니다. 반도체를 비롯해 섬유화학, 정유, 스마트팜, 증권회사 등 분야를 가리지 않는데요. 심지어는 공공기관, 법률사무소, 금융기관, 의료기관 등에서도 자동화엔지니어를 필요로 하고 있습니다. 특히 학생들은 원하는 곳에 취업하기 위해 다양한 자격증을 취득하고 있는데요. 생산자동화산업기사, 전기산업기사, 산업안전산업기사, 소방설비산업기사, 위험물산업기사, 기계정비산업기사, 기계설계산업기사, 3D프린터개발산업기사, 메카트로닉스기사, 전자계산기제어산업기사 등을 예로 들 수 있겠습니다.

자동화엔지니어링 분야에서 가장 주목받는 트렌드는 무엇인가요?

4차산업혁명을 결정짓는 세 개의 개념은 인공지능^{AI}, 빅데이터, 초연결입니다. 예를 들어 휴머노이드 로봇을 만들 때 핵심적인 뇌 기능에는 AI가 활용되는데, 이 AI를 학습시키는 것이 바로 빅데이터입니다. 또, 빅데이터를 만들려면 곳곳에 퍼져 있는 정보를 모아야 하는데 그것을 해결해준 것이 인터넷이에요. 인터넷을 통해 연결되어 무한한 정보를 수집하는 부분이 바로 초연결입니다. 이 삼박자가 들어맞아 4차산업혁명이 시작되었고 이를 활용해 바이오, 에너지, 우주기술 등이 급격히 발달하고 있습니다.

말씀하신 것처럼 AI, 로봇공학 등이 급격히 성장하고 있습니다. 향후 자동화엔지니어링은 어떻게 변화할까요?

이미 기업 환경은 크게 변화했습니다. 한 가지 예를 들어보면 어느 기업이나 간단하게 SNS로 진행되는 설문조사는 과거 일일이 길거리를 돌아다니며 진행했던 수요조사였습니다. 자동차 쪽은 어떨까요. 과거 시제품 설계 기간이 6개월에서 1년 가까이 소요됐다면, 지금은 3D프린터나 AI, 로봇공학 등을 통해 일주일 수준으로 단축하는 것도 가능해졌죠. 이런 시간과 노력이 줄어드는 것에 더해 더 정교한 센서와

지능화된 자동화 장비가 개발돼 빅데이터가 꾸준히 쌓여가기에 장비 고장까지 예측해 자동화엔지니어링을 통한 생산성과 안정성 모두 향상될 것입니다.

반면 자동화엔지니어링에도 문제점은 존재합니다. 이 부분에 어떻게 대처해야 할까요?

최근 자율주행 5단계 중 3단계를 구현하겠다고 주창했던 국내 기업에서 해당 발표를 취소하는 일이 있었습니다. 아직은 운전 주체에 대한 윤리적인 문제, 그리고 사고가 생겼을 때 운전자와 회사의 책임 소재 등이 불분명하기 때문입니다. 로봇도 마찬가지입니다. 걸지도 못하던 휴머노이드 로봇이 물건을 옮기고 명령을 판단해 수행하는 수준까지 발전했는데요. 과연 더욱 발전했을 때 로봇이 인간에게 유익한 부분만 수행할 것인가, 혹은 스스로 판단해 인간을 규제하고 통제하는 일이 생기지 않겠느냐는 우려가 적지 않습니다. 해당 분야들에 대해 유럽연합^{EU}에서는 4개의 위험 단계를 나누어 규제안을 만들었습니다. 챗GPT로 대변되는 창작자의 문제에 대해서도 미국, 중국, 우리나라 등 세계 각국에서 자체적으로 규제 법안을 상정하고 있고요. 이렇듯 기술의 발달 속도에 맞추어 규제나 법안의 개선 또한 뒷받침되어야 문제점을 예방하고 또 해결할 수 있다고 봅니다.

중소기업의 경우 열악한 환경에서 자동화시스템을 구현하기 쉽지 않을 것 같습니다.

사실 대부분의 중소기업은 투자 리스크가 있는 자동화시스템에 대해 그렇게 적극적이지는 않습니다. 그래서 중소벤처기업부 등 관련 기관에서 스마트 팩토리 구축을 위한 지원 사업을 운영하고 있습니다. 규모가 작은 회사들이 로봇 등을 도입할 수 있도록 시드머니를 지원해주는 것이죠. 또 자동화에 대해 정보가 부족한 중소기업을 위해 자동화시스템을 통한 스마트 공장을 구축해주는 업체도 많이 있습니다. 저희 졸업생이 운영하는 (주)세인트 산업체가 스마트 공장 시스템을 구축하는 사업을 하고 있는데요.

중소기업에 대한 자동화시스템 교육부터 시작해서 통합 관제 시스템 구축, 설비 및 모니터링 장비 구축 등 다양한 과업을 성공적으로 수행하고 있습니다.

자동화엔지니어의 전망에 대해 어떻게 생각하시나요?

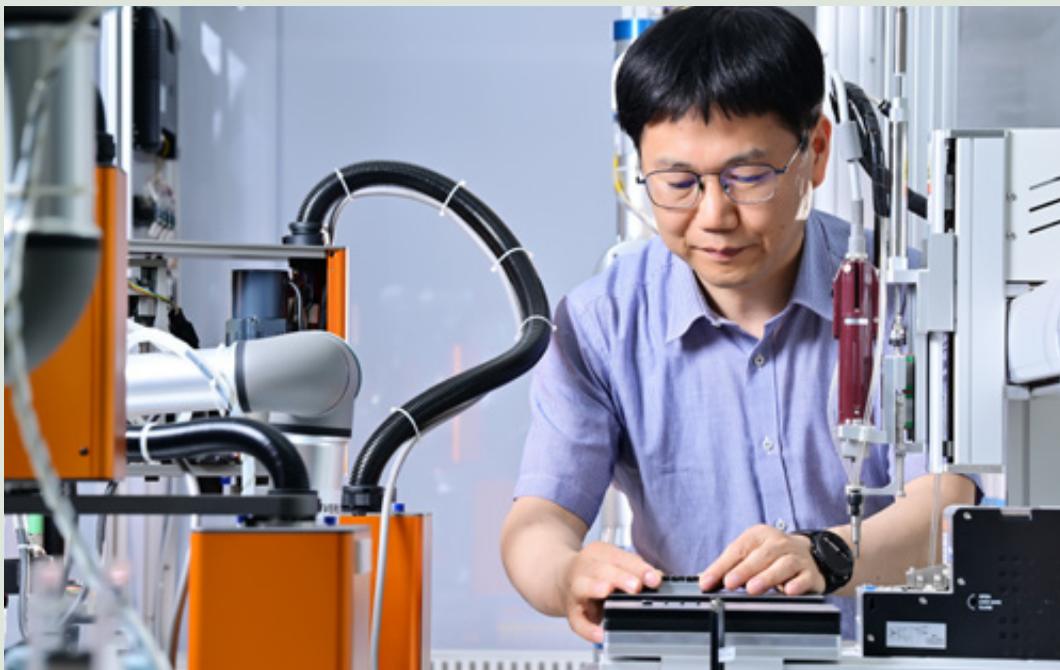
저는 대학을 1984년에 입학했는데요. 이후 카이스트 대학원에 진학했더니 당시 '386'이라 불리던 귀한 PC 1대를 15명이나 되는 동료들이 나눠 사용해야 해서 누가 몇 시부터 몇 시까지 사용할지 스케줄을 짜기도 했습니다. 저는 이때부터 자동화엔지니어의 필요성을 생각했던 것 같습니다. 자동화의 가장 핵심적인 부분은 뇌에 해당하는 컨트롤러인데, 코딩해놓은 대로 시스템이 돌아가는 것을 보니 참 기분이 묘했습니다. 지금까지 로봇을 이용한 다양한 시스템을 구축하고 있는데, 크게 지능형 로봇과 산업형 로봇으로 나누었을 때 이미 산업형 로봇은 전 산업 분야에 자동화시스템이 구축된 상황이고요. 이제는 개인 서비스를 위한 서빙, 청소 로봇 등이 일상에 접목되는 단계입니다. 최근에 각광받는 것은 운동을 보조해주는 재활 로봇, 소방 로봇, 우주 탐사 로봇 등이 있겠죠. 이외에도 정말 무궁무진한 분야에서 로봇이 활용될 것으로 예상하기에 자동화시스템의 미래는 로봇 기술의 발전과 더불어 이루어지며, 이를 통해 새로운 가능성과 혁신이 일어날 것입니다.

황우현 교수는 누구

황우현 교수는 1990년대 삼성엔지니어링 기술연구소에서 시와 산업자동화를 위해 삼성전관, 제일모직, 미원 등 기업의 공장 자동화시스템을 구축한 전문가이다. 카이스트에서 액정^{LCD} 개발을 진행했고 서울대 대학원에 진학하여 플랜트 자동화시스템을 연구해 박사학위를 받았다. 미국 조지아공과대학교^{Georgia Institute of Technology} 교환교수로 연료전지 개발에 참여했고, 현재 동양미래대 자동화공학과 교수로 첨단산업 분야의 자동화엔지니어 양성에 힘쓰고 있다.

6월호 잡 인사이트에는

독소리단 강현재, 김동민, 김신, 김정민, 김태권, 김형우, 남대현, 류승연, 류창훈, 박기혁, 서정수, 손상완, 윤혜인, 전유정, 전주규, 정연화, 조하민님께서 참여해주셨습니다.

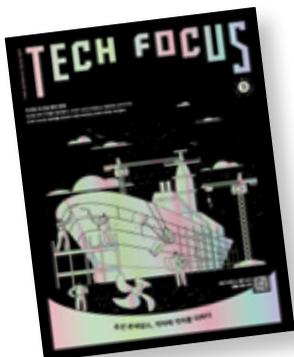


<테크 포커스>의 든든한 서포터



‘똑’똑하게 ‘소’통하고 ‘리’뷰하는 <테크 포커스> 독자 ‘단’

똑소리단은 산업기술에 관심 있는 다양한 연령층의 독자로 구성되어 있으며, 매월 표지를 선정하고 콘텐츠와 관련한 의견을 제안하는 등 활발한 활동을 이어가고 있습니다. <테크 포커스>를 함께 만들어가고 있는 똑소리단의 5월호 리뷰를 확인해보세요!



윤혜인

5월호 기사를 통해 조선 기술을 제대로 알게 되었어요. 조선 기술의 시작부터 현재의 모습, 그리고 미래 조선 기술 앞에 주어진 과제까지, 조선에 대한 기술전결을 잘 알려줘서 너무 재미있게 읽었습니다. <테크 포커스> 6월호도 기대하겠습니다.

All about 조선 (2P) →

류창훈

조선업 전반을 명료하게 정리해줘서 큰 도움이 되었습니다. 철강기업에서 근무한 적이 있는데 철광석 등 원료와 제품 수출입에 벌크화물선과 RORO 운반선을 이용합니다. 수출이 많은 우리나라는 산업 전반이 조선업과 밀접한 관계가 있으므로 조선업의 경쟁력을 국가 차원에서 지속 육성해야 합니다.

All about 조선 (2P) →

조재현

조선산업은 요즘 드라마틱한 성장을 기록하고 있습니다. 조선업에 종사하고 있어 기사 내용이 업무에 많은 도움이 되었습니다. 수주실적 그래프에서 보듯 중국과 격차가 크지 않기에 우리나라도 국가적인 차원에서 뿌리산업 투자에 더 집중해야 할 것으로 보입니다.

조선 기술의 역사 (4P) →

김형우

바퀴보다 먼저 발명된 배는 산업혁명으로 혁신적으로 발전하였고, 이번 기사를 통해 그 발전 역사를 자세히 배울 수 있어 유익했습니다. 배는 많은 사람이 탑승하는 교통·무역 수단이기에 재난이나 안전에 대한 내용이 있었다면 더욱 도움이 되었을 것 같습니다.

파도를 가르는 21세기 해양 모빌리티 (8P) →

김태권

‘친환경 선박’이라는 새로운 개념에 대해 잘 알 수 있었습니다. 앞선 4월호 탄소중립 주제와도 부합하는, 탄소배출을 줄일 수 있는 ‘고부가가치 선박’에 대해 설명해주셔서 이해하기 쉬웠습니다.

스마트 생태계로 운영되는 조선소 (14P) →

김경탁

최근 거제 여행 중 분주한 분위기의 조선소를 목격했습니다. 자동화 로봇으로 일자리가 부족해지는 게 아닐까 걱정했는데 결론은 공존인 듯합니다. 스마트 공정을 통해 안전하고 품질 높은 건조 기술을 얻는다면 다시 세계 1등 조선업의 명성을 유지할 수 있지 않을까 하는 생각이 들었습니다.

스마트 생태계로 운영되는 조선소 (14P) →

김정민

한국 조선업이 세계 1위에 오르기까지의 과정을 통해, 조선업이 한국 경제를 이끌어온 대표 산업임을 다시 확인했습니다. 접근하기 어려운 협소한 공간에 용접 로봇을 활용하고 있더니 점차 첨단산업으로 발전하고 있네요. 다만 인력 이탈과 중국의 점유 확대로 위기감이 있어 안타깝습니다.

스마트 생태계로 운영되는 조선소 (14P) →

전준규

조선산업의 발전 과정과 첨단기술 도입에 대한 설명이 인상적이었습니다. 특히 육상건조공법, 메가블록공법 등 혁신 기술이 흥미로웠습니다. 이러한 혁신 기술이 국내 산업에 긍정적인 영향을 미칠 것 같아 기대가 큼니다. 조선업의 위험 요소나 도전 과제도 잘 해결되었으면 합니다.

K-조선, 친환경 바람 타고 글로벌 주도권 확보한다 (20P)→

조하민
|
우리나라 고부가가치 선박이 높은 점유율을 자랑하지만, 중국이 맹추격하고 있어 지속적인 혁신이 필요한 것 같습니다. 인력난 해결과 기술 리더십 유지를 위한 정부와 업계의 R&D 투자, 외국인 노동력 도입, 자율운항 기술과 스마트 조선소 개발 등의 노력에 대해 새롭게 알게 되었습니다.

바다 위에서 에너지를 낚다 (34P)→

김륜한
|
10년 전에는 시추 설비가 많이 발주되었는데 세월 열풍으로 다소 주춤한 것 같습니다. 앞으로는 해상 풍력에너지 개발에 많은 투자가 이뤄질 것으로 보입니다. 국내에 풍력 타워 세계 1위 기업이 있는 것으로 알고 있는데 시너지를 낼 수 있으면 좋겠습니다.

아주 평범한 보행을 위한 매우 특별한 기술 (42P)→

김형우
|
<어벤져스> '워머신' 같은 슈트형 로봇이라니, 시작부터 흥미로웠습니다. 3년간 40억 원의 출연금으로 약자에게 필요한 과제를 개발한 엔젤로봇의 노고가 빛나네요. 여기에 KETI의 역할과 지원도 알게 되었습니다. 실용화로 보다 많은 이들이 편안하게 사용하는 날이 오길 기대합니다.

아주 평범한 보행을 위한 매우 특별한 기술 (42P)→

윤혜인
|
일상을 영위하는 데 당연하다고 생각했던 것이 당연하지 않을 때가 있더라고요. 그래서인지 '아주 평범한 보행을 위한 매우 특별한 기술'이 따뜻하게 느껴졌습니다. 착용자의 의지로 자유롭게 걸을 수 있는 워크온슈트가 많은 사람에게 희망이 되길 바랍니다.

탈탄소화를 위한 데이터 인프라의 변신 (46P)→

김태권
|
AI 등으로 에너지 효율성을 높여 온실가스 배출을 줄이려는 기술에 대해 잘 이해할 수 있었습니다. 이러한 데이터 산업에서 에너지 효율성도 중요하지만, AI 등에 의존하는 기술이 문제점은 없는지, 대비책은 있는지에 대한 기사도 다루었으면 합니다.

탈탄소화를 위한 데이터 인프라의 변신 (46P)→

손상완
|
데이터 인프라 기업들이 기후변화에 적극적으로 대응하고 있다는 사실을 알게 되었습니다. 기존 장비를 고효율 장비로 바꾸고, 에너지 세이빙 시스템을 도입하는 등 미래지향적 데이터 센터를 구축해 탄소중립을 실현할 수 있는 기술이 더 개발되길 응원합니다.

탈탄소화를 위한 데이터 인프라의 변신 (46P)→

전준규
|
에너지 효율성을 높이기 위한 다양한 기술과 재생에너지 전환 노력이 인상적이었습니다. 우리가 쓰는 인터넷 서비스가 이러한 친환경 기술 덕분에 지속 가능할 수 있다니 안심입니다. 그리고 이러한 기술이 얼마나 빨리 확산될지, 다른 기업들도 동참할지에 대한 정보를 더 알고 싶어졌습니다.

그린철강을 만드는 수소환원제철 기술 (48P)→

서정수
|
일반적으로 수소환원제철의 필요성이나 중요성은 잘 알려져 있지만, 관련된 연구 현황은 잘 소개되지 않은 합니다. 이번 편에서 유럽형 및 한국형 수소환원제철 연구 현황을 알 수 있어서 많은 도움이 되었습니다.

수능의 기술 (52P)→

김형우
|
<테크 포커스>에서 수능과 관련된 내용을 다루다니!! 수험생 자녀를 두고 있는 학부모에게 유익한 기사인 것 같습니다. 아이디어를 내신 분에게 감사하다는 말씀을 드리고 싶습니다. <테크 포커스>가 학생들에게 널리 퍼지는 좋은 계기가 될 것 같습니다.

수능의 기술 (52P)→

류창훈
|
'플라스틱을 분해하는 바이오 기술'과 '자율 주행', '지능형 로봇' 등은 우리 일상과도 밀접한 관계가 있어 학생들 역시 친근하게 느낄 것이라고 생각합니다. 학생 때 기술에 관심을 가지면 이후에도 지속적으로 살펴 보게 되기 때문에 결국은 산업기술 발전에 긍정적인 영향을 미치리라 생각합니다.

수능의 기술 (52P)→

문준아
|
유리기판, 초전도체, 그래핀 등 소재·부품·장비에 대해 알 수 있었어요. 소부장은 제품 생산 가치사슬에서 중간재를 제공하는 것으로 매우 중요합니다. 2022년 국내 소부장 산업의 무역수지가 수출 3737억 달러를 기록했다는 점에서 중요한 경제적 가치를 보여주고 있다고 느꼈습니다.

수능의 기술 (52P)→

전길송
|
<테크 포커스>의 산업 지식을 '수능의 기술'이라는 카테고리에 녹여 설명한 기획이 참신하다고 생각했습니다. 물론 수능의 범위를 떠나 일반인에게도 유익하며 도움이 되는 파트였습니다!

정부지원금 부정수급 집중신고기간

2024. 5. 1. ~ 7. 31.



신고방법 청렴포털, 방문접수, 우편

상담안내 국번없이 110번, 1398번



국민권익위원회
공공재정환수관리과

부정청구의 유형

- 허위 청구**
거짓이나 그 밖의 부정한 방법으로 정부지원금을 청구할 자격이 없는데도 정부지원금을 청구하는 행위
- 과다 청구**
거짓이나 그 밖의 부정한 방법으로 받아야 할 정부지원금보다 과다하게 청구하는 행위
- 목적 외 사용**
법령·자치법규나 기준에서 정한 절차에 따르지 아니하고 정해진 목적이나 용도와 달리 정부지원금을 사용하는 행위
- 오지급**
그 밖에 정부지원금이 잘못 지급된 경우

신고자 보호

- 신분보장**
신고 등을 이유로 신고자와 협조자에게 신분상 징계·해고 등 불이익의 처분 불가
불이익의 처분을 받거나 받을 우려가 있을 때는 원상회복 등 조치 요구 가능
- 비밀보장**
누구든지 신고자와 협조자의 동의 없이 인적사항이나 신고자와 협조자임을 미루어 알 수 있는 사실 공개 불가
- 신변보호**
신고 등을 이유로 신고자와 협조자, 친족 또는 동거인의 신변에 불안이 있는 경우 신변보호조치 요청 가능
- 책임감면**
직무상 비밀 준수 의무 면제 및 신고 등과 관련된 신고자와 협조자의 형벌 및 징계 감경 또는 면제 가능

신고 대상

정부지원금(법령 또는 자치법규에 따라 공공재정에서 제공되는 보조금·보상금·출연금이나 그 밖에 상당한 반대급부 없이 제공되는 금품 등)을 부정 청구한 경우

신고자 보상

- 보상**
신고로 인해 직접적인 공공기관 수입의 회복·증대 또는 비용의 절감을 가져온 경우 보상금 지급(최대 30억)
- 포상**
신고로 직접적인 수입 회복 등이 없더라도 공익증진에 기여한 경우 포상금 지급(최대 5억)



2023년 '10대 바이오 유망 기술' 중 하나로 선정된 ○○○ 기술은 인류의 건강 수명을 늘리기 위한 것이다. KAIST 바이오및뇌공학과 연구팀은 아모레퍼시픽과의 공동연구를 통해 진피세포를 젊은 세포로 되돌리는 원천기술을 개발했다.

다음 ○○○에 들어갈 단어를 적어주세요!

퀴즈에 참여해주신 정답자 중 추첨을 통해 소정의 상품을 보내드립니다. 퀴즈 답변과 휴대폰 번호를 grintjssu@hankyung.com으로 보내주세요. 독자 선물은 교환, 환불이 불가합니다. 전화번호 누락, 오류 등으로 인한 발송 시 재발송하지 않습니다.



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

TECH FOCUS



<테크 포커스> 웹진 보기
매월 10일 오픈



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



**보이는 것 부러
보이지 않는 것 까지**

**초격차 산업기술 R&D
초협력으로 이뤄집니다**



산업통상자원부



한국산업기술기획평가원
Korea Planning & Evaluation Institute of Industrial Technology



9 773022 717003
ISSN 3022-7178