IBS Research

2022 1st | 18th Issue

Frontline

–1000m the final frontier

불가능에 도전하다

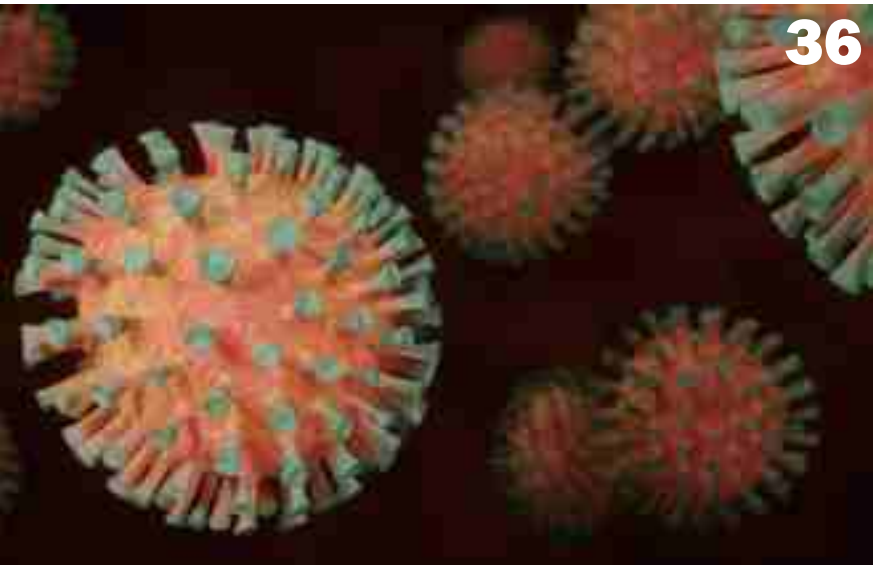
People

새벽에 가장 먼저 뜨는 별을 쫓는 과학자

LHC Run 3에서의 ALICE 실험:
극한 상태의 핵물질을 찾아나서는 새로운 여정

04

12


36

32

56

On the Cover

강원도 정선군 예미산 자락, IBS 지하실험 연구단의 두 번째 지하실험실, 올해 '예미랩'이 완성된다. 이 실험실은 승강기에서 시작한다. 승강기는 초속 4m짜리 고속 승강기로, 15층 아파트에 설치되는 일반 승강기보다 4배나 빠르게 움직인다. 무려 600m나 되는 수직터널을 이동한다. 잠실에 있는 롯데 타워의 높이가 555m이니 세계에서 5번째로 높은 빌딩 높이보다 더 깊이 엘리베이터로 내려가는 셈이다. 이 시설은 수직으로 아주 깊이 내려가지만, 내려가서 만나는 터널은 일자여서 터널 안에서 길을 위험은 없다.

하지만 연구단은 늘 망망대해 위에 놓인 것처럼 연구의 길을 찾기가 쉽지 않다. 연구단은 본격적으로 이론으로 제안된 지 80년이 지났지만 여전히 흔적조차 보여주지 않는 마요라나 페르미온과 암흑 물질의 강력한 후보지만 그 성질조차 제대로 밝혀지지 않은 '윔프'를 찾기 위한 긴 여정을 준비하고 있다. 사막에서 특정 모래 한 알을 찾는 심정으로 가능성이 0에 가까운 희귀 확률에 도전한다. 그 장엄한 현장에 직접 다녀와 표지에 담았다.

CONTENTS

Moment

04 Art in Science
인류가 아직 보지 못했던 가장 작은 우주

Frontline

12 −1000m,
the final frontier

14 Part 1
전세계 연구자들의 이목 집중! 예미랩에 가다

18 Part 2
따뜻한 아이스 아메리카노 같은
중성미자를 찾아서

24 Part 3
WIMP
COSINE 프로젝트

28 Part 4
더 크게, 더 깊이
세계의 지하실험 연구소

IBS People 1

32 이연주 기후 및 지구과학 연구단 행성대기 연구그룹 CI
새벽에 가장 먼저 뜨는 별을 쫓는 과학자

Viewpoint 1

36 IBS 한국바이러스기초연구소 출범 1주년,
바이러스 기초 연구가 필요한 이유

Into the IBS

38 나노구조물리 연구단
공기 중에서 '절대' 녹슬지 않는 구리 나노입자 개발

40 기후물리 연구단
기후모델과 고고학자료로 인간진화의 수수께끼 해결

41 유전체 교정 연구단
인간 미토콘드리아 DNA의
아데닌 염기교정 기술 최초 개발

42 첨단연성물질 연구단
피 한 방울로 암 진단 가능한 바이오센서 개발

44 나노입자 연구단
늘리거나 구부려도 빛 감지 능력 뛰어난
신축성 나노소자 개발

Viewpoint 2

46 크리스퍼 유전자 가위 10년,
난치병 정복 '빅스텝' 밟았다

Special

48 LHC Run 3에서의 ALICE 실험:
극한 상태의 핵물질을 찾아나서는
새로운 여정

IBS People 2

52 아름다운 이미지를 넘어 연구의 의미를 되새기다
아트 인 사이언스에 진심인 그들

Research Flashback

56 우울증 치료는 우연히 시작됐다!

IBS News

60 반데르발스 양자 물질 연구단 출범 외

IBS Honors&Awards

64 IBS 오용근 연구단장,
장석복 연구단장 호암상 수상 영예 외

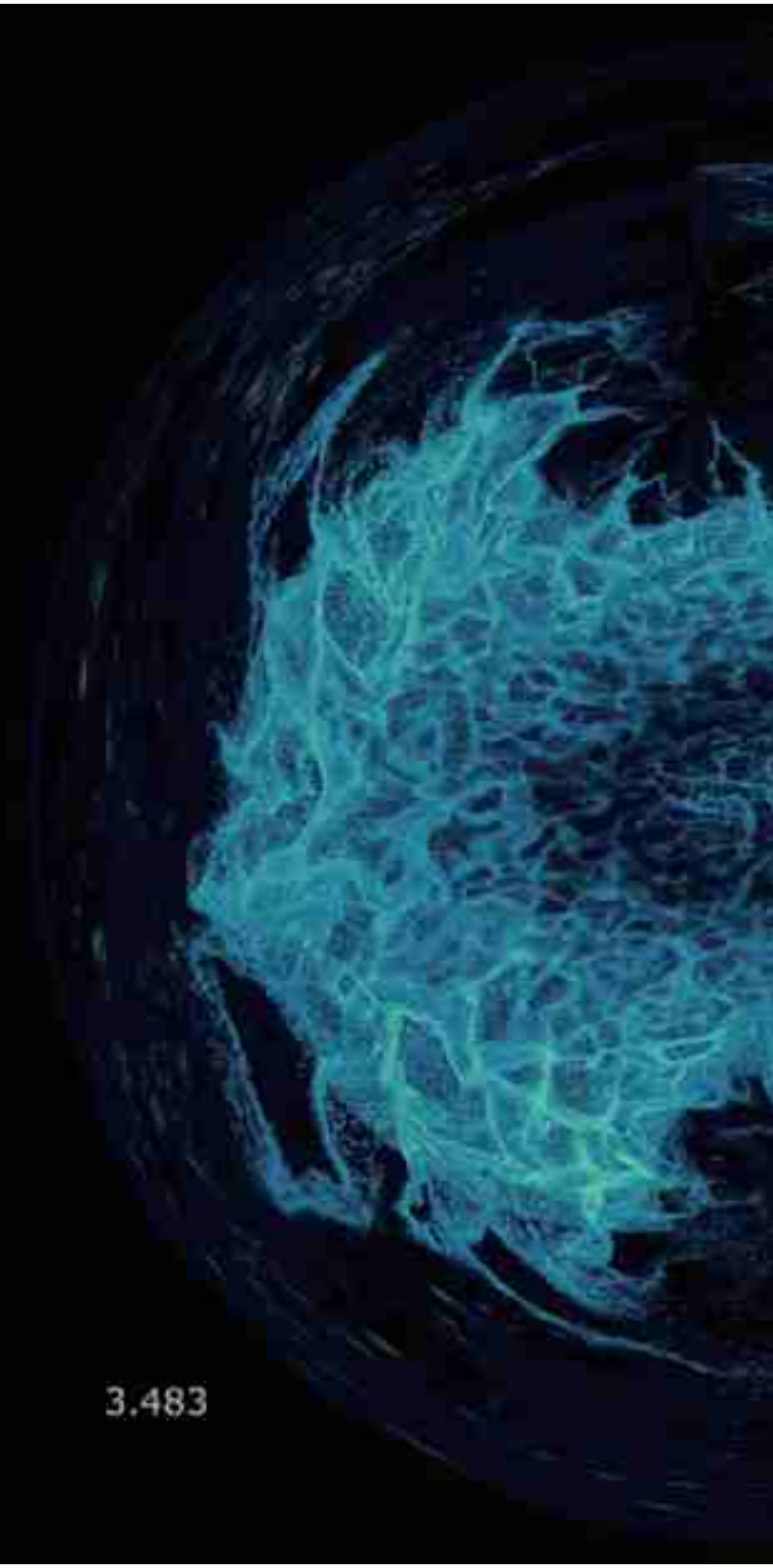
Talk to IBS

66 알립니다!

인류가 아직 보지 못했던

가장 작은 우주

2022년 7월, NASA는 제임스웹 우주망원경(JWST)이 촬영한 이미지를 여러 장 공개했다. 무엇보다도 지금까지 인류가 보지 못했던 가장 먼 우주의 모습이 담겨 있어, 보는 이로 하여금 감탄을 자아냈다.
한편, 연구자들은 의외의 순간에 인류가 잘 보지 못했던 꽤 작은 우주를 만나기도 한다. 특별한 순간에 연구자들에게만 나타난 그들만의 우주를 소개한다.



Art in Science

기초과학연구원(IBS)은 매년 '아트 인 사이언스(Art in Science)' 공모전을 열어 과학자들이 현장에서 발견한 신비한 이미지를 선별해 대중에게 소개하고 있다. 이번 호에서는 2021 IBS Art in Science 공모전에서 입상한 작품 중 일부를 만나 본다.

아래 작품
영상 보기

별들이 가지는 일생의 아름다움

정준혁(서울예술대학교 디지털아트과)

손에 닿지 않는, 눈에 보이지 않는 미지의 세계를 시각화할 수 있다면 어떨까? 별들의 탄생과 죽음 사이의 과정이 제공하는 시각적 환상이 궁금해 시작한 작업이다.

항성은 밤하늘에 신비로움을 선사하는 스스로 빛을 내는 별의 또 다른 이름이다. 이 항성들은 가스나 먼지와 같은 성간 물질에서 만들어진다. 성간 물질의 밀도가 높은 영역에서 물질들이 둥근 구 형태로 모여 탄생한다. 이렇게 탄생 된 별들은 전주계열, 주계열, 후주계열 단계를 거쳐 자신의 존재와 신비로움을 빛으로 표현하며 죽음에 이르게 된다.

이번 작품에서 별의 광도* 데이터는 파동으로 생성되고 사라지기를 반복하는 모습을 눈으로 볼 수 있다. 별들의 광도 데이터를 여러 시간에 걸쳐 관찰하면 비슷한 패턴을 유지하는 것은 물론, 규칙적으로 변하는 걸 확인할 수 있다. 마치 항성의 표면에서부터 중심(핵) 방향으로 들어가는 듯한 효과를 내고, 데이터를 통해 이 과정에서 별이 지닌 일생의 아름다움을 시각화했다. 이 작품은 영상으로 출품됐으며, 대상의 영광을 안았다.

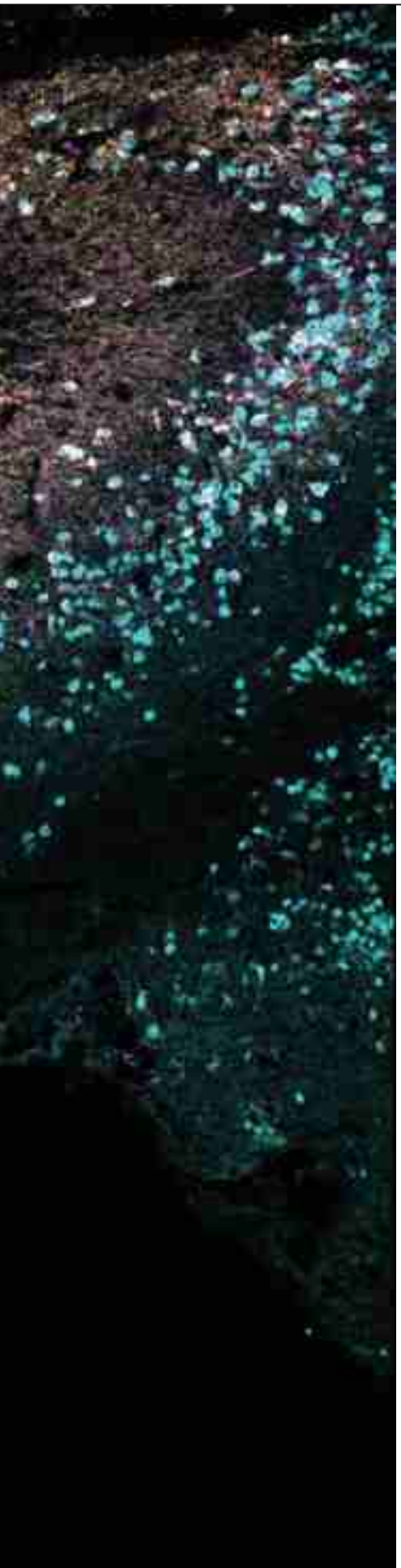
광도*

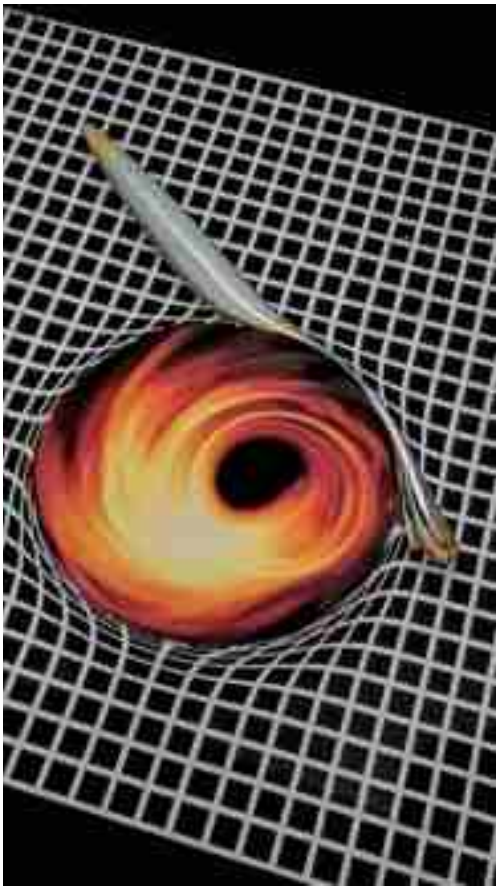
일정한 시간 동안 별이 발산하는 빛의 강도와, 다른 형태의 복사 에너지로 만들어지는 별의 밝기를 뜻한다. 이 밝기는 별의 반지름과 표면 온도로 구할 수 있다.

바다 냄새

이준석(한국과학기술원 생명과학과)

사람이 냄새를 맡을 때, '후각피질'의 역할이 중요하다. 후각피질은 후각 신호가 최종적으로 전달되는 곳이다. 이 이미지는 후각피질을 포함한 후각 인식 시스템의 별아교세포를 연구하던 중 관찰한 모습이다. 휴가를 반납하고 실험을 이어가던 중 발견한 작은 행복이기도 하다. 곧 만날 진짜 바다를 상상하며, 작품 제목을 '바다 냄새'라 정했다. 마치 한 여름밤 잔잔한 저녁 해변 모습처럼 보인다. 해변에 누워 바라본 밤하늘의 모습과도 닮았다.





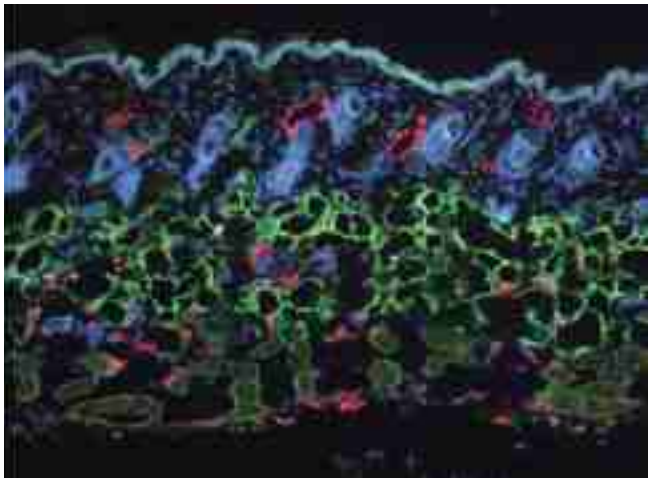
시공간의 뒤틀림

이경희(부산과학고등학교)

블랙홀 모형을 물 위에 띄워, 표면장력으로 아래 배경이 휘어지는 현상을 촬영했다. 일반적으로 펜이 블랙홀 모형에 가려 보이지 않는 모습을 상상하기 쉽다. 하지만 블랙홀 모형을 물 위에 띄웠을 때 만들어진 표면장력 덕분에 물의 표면을 휘어 모형 아래의 펜이 휘어져 보인다. 이는 블랙홀과 같은 거대한 천체에 의해 중력의 영향으로 빛이 휘는 중력렌즈와 같은 효과다.

아주 먼 천체에서 나온 빛이 중간에 있는 질량이 큰 천체로부터 비롯되는 강력한 중력으로 주변의 시공간이 휘고, 그 휘어진 시공간을 따라 빛이 진행한다. 이때 먼 천체에서 나온 빛의 진행경로가 휘어져 보이는 현상을 중력렌즈 효과라고 부른다. 중력렌즈 효과는 아인슈타인의 일반상대성이론을 뒷받침하는 강력한 증거 중 하나다.

이 작품에서는 블랙홀 모형은 큰 질량을 가진 천체, 휘어진 물의 표면은 휘어진 시공간, 펜은 빛을 발하는 먼 천체에 각각 대응한다고 설명할 수 있다.

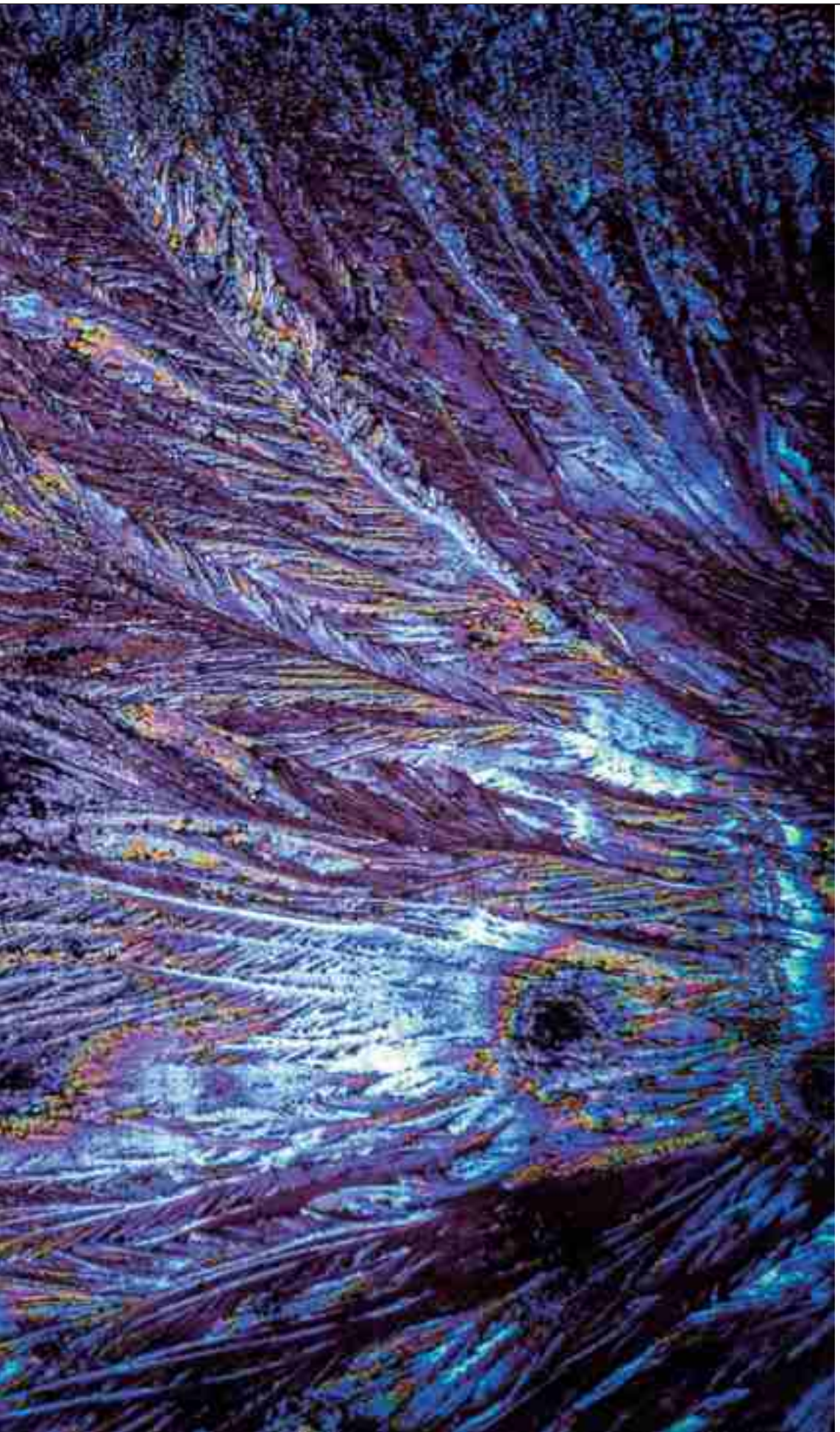


소우주(Microcosm)

윤선영(광주여자대학교 화장품과학과 조교수)

림프관과 모발 성장의 상관성을 연구할 때 관찰한 결과다. 마우스(실험쥐)의 피부 조직 가운데 핵(파란색), 림프관(빨간색), 지방세포(초록색)를 염색한 뒤, 형광 현미경을 이용해 얻은 이미지다. 피부 속에는 마치 거대한 우주만큼이나 다양한 세포가 존재한다. 무질서하게 배치된 것처럼 보이는 세포들이 하나의 독특한 질서를 이루며 피부 조직이 된다.

작품 속에서는 소우주라고 부를 수 있을 정도의 웅장한 질서가 관찰된다. 다양한 세포가 조화를 이루며 구성한 세계가 아름답다. 실험에 사용된 마우스뿐만 아니라 모든 생물체는 신체 기관 속에 카오스의 코스모스를 만들어내는 자기만의 소우주를 간직하고 있다.



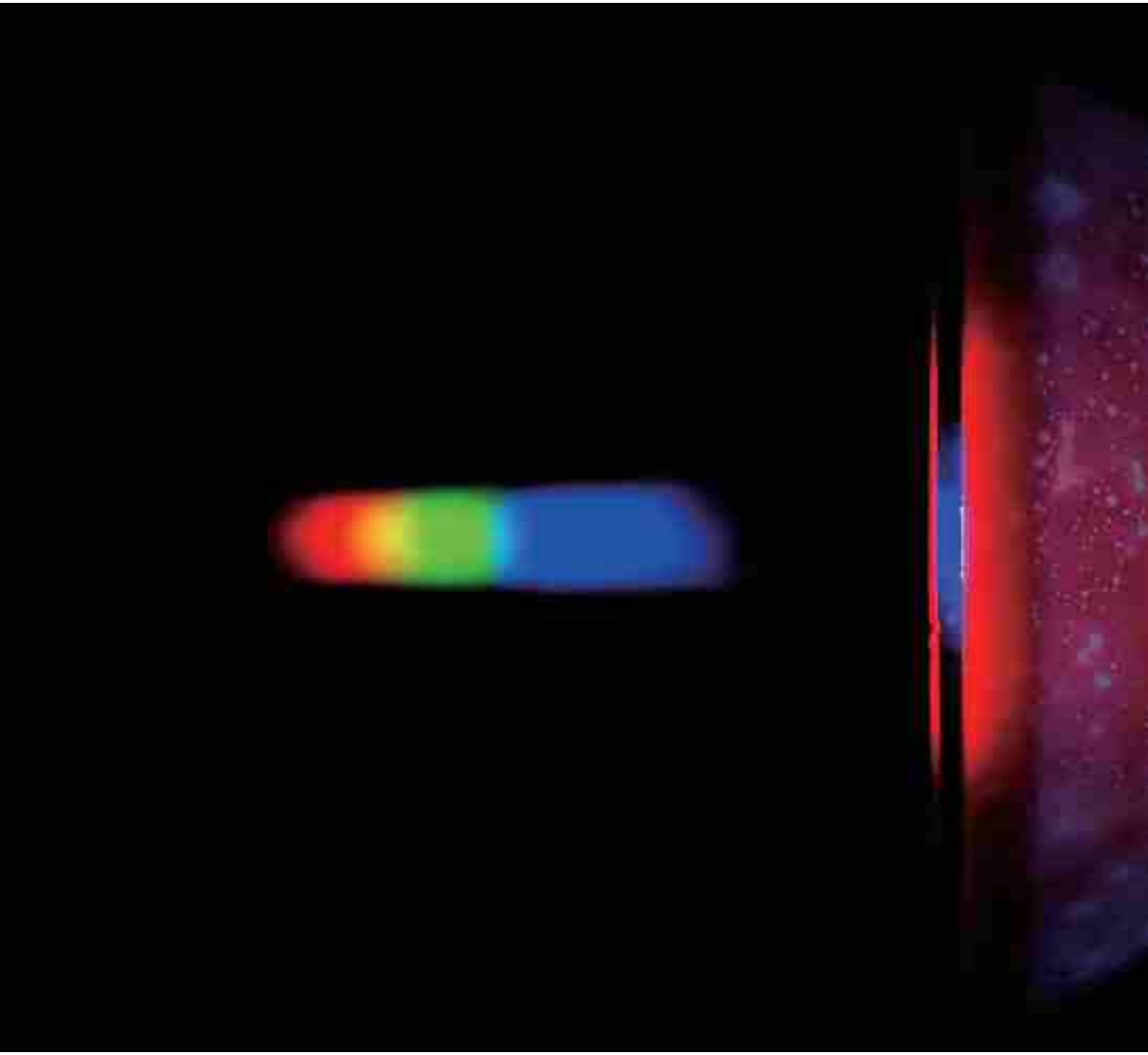
빛나는 날개

김정수 (명지대학교 기계공학과)

"진정한 탐험은 새로운 풍경이 펼쳐진 곳을 찾는 것이 아니라 새로운 눈으로 여행하는 것이다." – Marcel Proust

이 작품은 비타민C 결정의 복굴절 특성을 편광현미경으로 얻은 이미지다. 복굴절이란 빛이 광학적으로 이방성인 매질에 입사할 때, 빛의 편광 방향에 따라 굴절률이 서로 다른 두 개의 굴절광으로 분리되는 현상을 말한다. 복굴절 특성은 물질 내부의 분자 결정 형태와 배열과 같은 물질의 구성과 구조에 대한 다양한 정보 제공한다.
비타민C 결정 구조의 복굴절 특성에 따라 형형색색으로 빛나는 모습을 보고 있노라면, 평범한 비타민C에서 특별한 우주가 보이는 듯하다.
복굴절과 편광이라는 새로운 시선으로 바라본 일상 속 작은 부분, 그 안에서 찾은 새로운 아름다움이다.

※ 본 작품은 세로로 긴 이미지입니다.
시계 방향으로 90° 돌려서 보세요!



외계행성의 종말

강주완, 서성민, 이상연, 김서위(경남과학고등학교)

우리의 일상생활을 환하게 비추는 빛은 수많은 갈래로 나눠져 있다. 이 중에서 우리가 보고 느낄 수 있는 가시광선은 자연이 우리에게 준 가장 아름다운 선물이다.

하얀 빛줄기 속에 들어있는 빨간빛, 파란빛, 초록빛은 각자 다른 성격을 지녀 좁은 틈을 통과할 때 꺾이는 정도가 모두 다르다. 빛의 삼원색이라고 불리는 세 가지 빛은, 좁은 틈을 지나 서로를 조금씩 비껴간다.

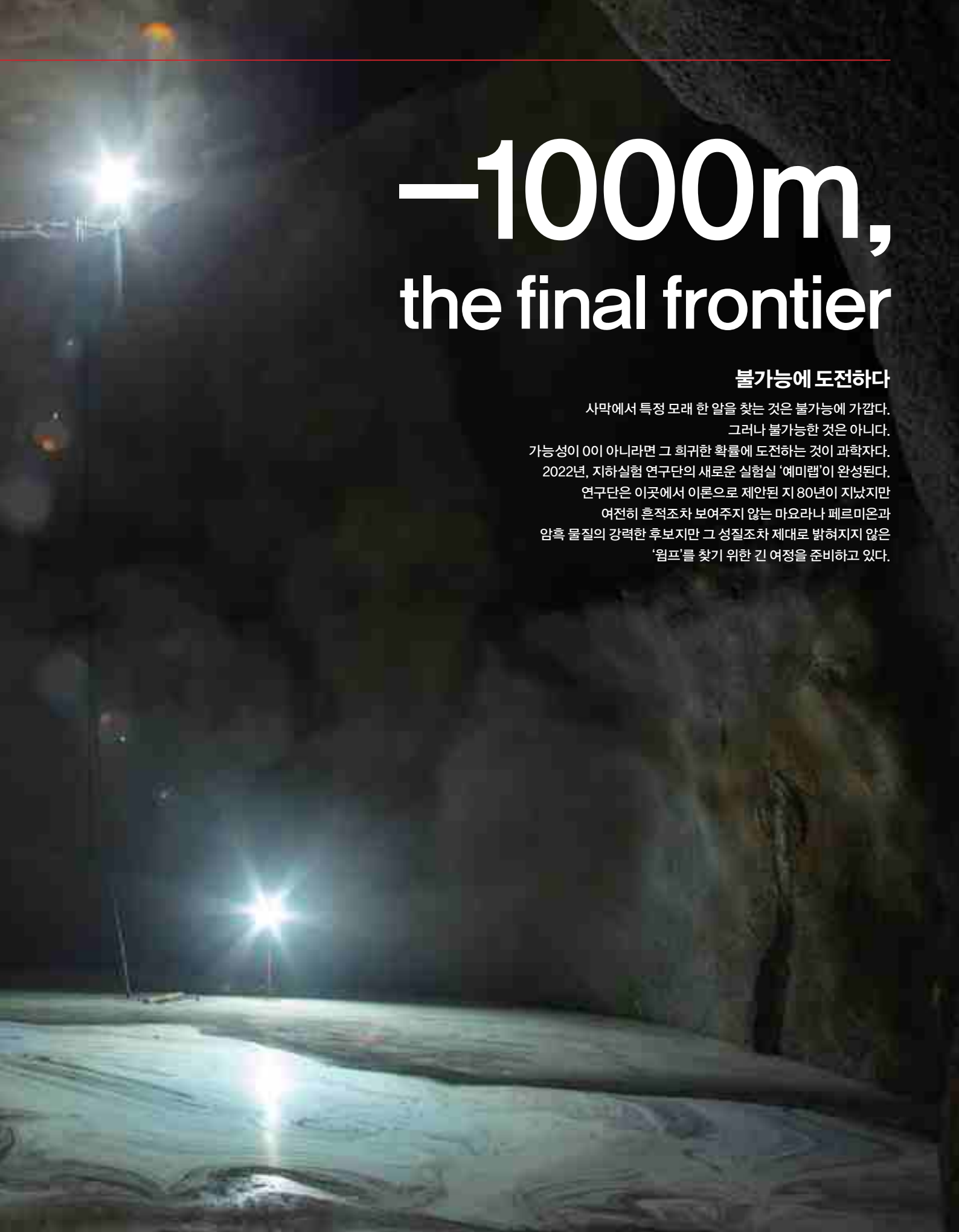
빨간색과 보라색을 끝으로 그사이 겹치는 부분에서 빛은 간섭을 일으키면서 새로운 색을 만든다. 예를 들어 저장매체 중 하나인 CD(콤팩트 디스크, compact disc) 뒷면에서는 수많은 얇은 격자에 반사된 빛이 일으키는 간섭현상을 형형색색의 무늬로 쉽게 관찰할 수 있다. CD와 비슷한 원리로 구성된 회절격자 필름 또한 수많은 얇은 격자로 이뤄져 있다. 이 작품은 투명한 판에 1cm당 수천 개의 가는 홈이 그어져 있는 회절격자 필름 사이로 400nm~700nm의 파장을 가진 가시광선들이 지나가도록 해서 얻은 이미지다. 특별히 가시광선들이 넓게 퍼져 만드는 무늬를 잘 관측할 수 있도록, 반구 형태의 그릇에 물을 담아 거품을 띄우는 노력을 했다. 덕분에 표면에 그려진 선명한 이미지를 얻을 수 있었다. 물속에 섞인 하얀 기름 거품을 통과한 붉은 빛은, 마치 표면에서 활발한 대류가 일어나는 목성형 행성처럼 보인다.

PART 1
전세계 연구자들의 이목 집중!
예미랩에 가다

PART2
따뜻한 아이스 아메리카노 같은
중성미자를 찾아서

PART 3
We are
Investigating
Most important
Particles in universe
COSINE 프로젝트

PART 4
더 크게, 더 깊이
세계의 지하실험 연구소



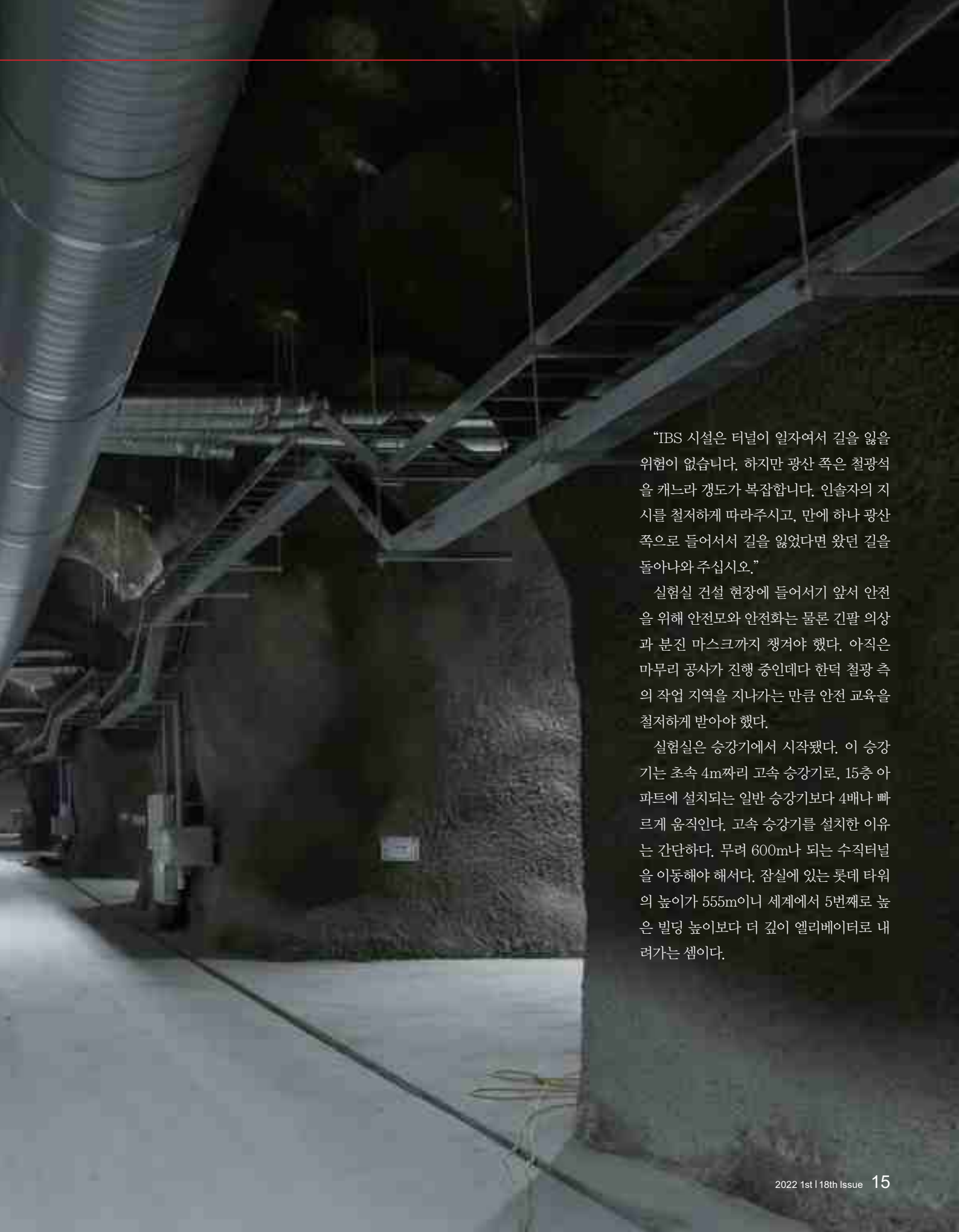
–1000m, the final frontier

불가능에 도전하다

사막에서 특정 모래 한 알을 찾는 것은 불가능에 가깝다.
그러나 불가능한 것은 아니다.
가능성이 0이 아니라면 그 희귀한 확률에 도전하는 것이 과학자다.
2022년, 지하실험 연구단의 새로운 실험실 '예미랩'이 완성된다.
연구단은 이곳에서 이론으로 제안된 지 80년이 지났지만
여전히 흔적조차 보여주지 않는 마요라나 페르미온과
암흑 물질의 강력한 후보지만 그 성질조차 제대로 밝혀지지 않은
'윔프'를 찾기 위한 긴 여정을 준비하고 있다.

전세계 연구자들의 이목 집중! 예미랩에 가다

강원도 정선군 예미산에는 특별한 시설이 둘 있다. 하나는 우리나라에서 유일한 철광인 '한덕 철광'이다. 2022년에는 이곳을 더 특별하게 만들어주는 시설이 완성된다. 바로 IBS 지하실험 연구단의 두 번째 지하실험실, '예미랩'이다. 10월에 있을 준공식에 앞서, 박강순 책임기술원의 안내로 예미랩을 방문할 수 있었다.



"IBS 시설은 터널이 일자여서 길을 잃을 위험이 없습니다. 하지만 광산 쪽은 철광석을 캐느라 갱도가 복잡합니다. 인솔자의 지시를 철저하게 따라주시고, 만에 하나 광산 쪽으로 들어서서 길을 잃었다면 왔던 길을 돌아나와 주십시오."

실험실 건설 현장에 들어서기 앞서 안전을 위해 안전모와 안전화는 물론 긴팔 의상과 분진 마스크까지 챙겨야 했다. 아직은 마무리 공사가 진행 중인데다 한덕 철광 측의 작업 지역을 지나가는 만큼 안전 교육을 철저하게 받아야 했다.

실험실은 승강기에서 시작됐다. 이 승강기는 초속 4m짜리 고속 승강기로, 15층 아파트에 설치되는 일반 승강기보다 4배나 빠르게 움직인다. 고속 승강기를 설치한 이유는 간단하다. 무려 600m나 되는 수직터널을 이동해야 해서다. 잠실에 있는 롯데 타워의 높이가 555m이니 세계에서 5번째로 높은 빌딩 높이보다 더 깊이 엘리베이터로 내려가는 셈이다.

"수직 깊이가 깊은 덕분에 이 시설조차 실험에 이용할 수 있습니다. 예를 들면 자유낙하 실험이지요. 벌써 미국항공우주국(NASA)에서 자유낙하할 때 생명체의 반응에 대해 연구하고 싶다며 협력 요청을 해왔습니다."

과학 연구는 예상치 못한 곳에서도 다양하게 이뤄진다. 이왕 만든 시설이라면 사용할 수 있는 모든 시설을 활용해가며 연구해야 한다. 하물며 승강기 시설조차 그 대상이 될 것이라고는 생각도 못했다.

박 책임기술원은 예미랩의 건설 과정을 도맡아 진행하고 있다. 이를 위해 연구위원에서 기술원으로 직책을 옮기기도 했다. 승강기에서 내린 뒤 실험실 지역에 도달하기까지 이어지는 782m짜리 긴 터널을 걸으며 실험실이 지어지는 동안 일어났던 다양한 이야기를 들려줬다.

"실험실이 완성돼 갈수록 이곳은 연구를 위해 만들어진 지역이라는 확신이 들고 있습니다. 세계의 다른 지하실험실들보다 자연 조건이 훨씬 좋거든요."

지하실험실이 지어지는 과정은 조금 특별하다. 우주선* 효과를 최대한 줄이기 위해서는 지하로 깊이 들어갈수록 유리하다. 하지만 지하 깊이 들어가기 위해서는 지하에 있는 '물'과 싸워야 한다.

"보통 지하 터널을 공사할 때면 시간당 200t이 넘는 지하수가 나옵니다. 공사하는 동안 이 물을 처리하는 것도 상당히 어렵지요. 그런데 예미랩을 만들기 위해 터널을 팔 때는 시간당 3~4t 정도 밖에 나오지 않았어요. 덕분에 조금 쉽게 지을 수 있었습니다."

터널 자체에서 나오는 방사능 수치도 다른 실험실에 비해 현저히 낮다. 일본의 카미오칸데와 비교하면 약 100배 정도 더 낮다. 박 책임기술원은 "여러가지 면에서 연구 시설이 들어서기 좋은 곳"이라고 칭찬을 늘어놨다.

방사능 물질이 최대한 적게 나오도록 배합한 마감 콘크리트(숏크리트)를 개발한 이

1. 지하실험실로 내려가기 위한 엘리베이터를 운전하기 위한 시설인 와인더룸. 속도가 일반 아파트용보다 4배나 빠르다. 2. 예미랩이 시작되는 곳은 어두운 광산에서 눈에 잘 띄도록 노란색 표지판으로 표시돼 있다. 3. 직경 20m, 높이 28m나 되는 LSC 공동에는 중성미자 검출기가 설치될 예정이다. 4. AMoRE 실험팀은 마무리 공사가 진행되는 동안 벌써 방진막을 설치하고 실험 설비를 설치 중이었다. 5. 정선군이 IBS의 연구자를 위한 주거시설(IBS 신동생활관)도 지었다. 6. 지하실험실로 들어가는 연결통로는 전기와 환기를 위한 설비가 복잡하게 설치돼 있다. 7. 박강순 책임기술원이 예미랩을 안내했다.

야기나, 연구를 위해 한 번에 2000kW까지 쓸 수 있는 전기 시설, 지하 터널인만큼 신경써야 하는 환기 시설에 대한 이야기들을 듣다보니 782m는 다소 짧게 느껴졌다. 다시 올라갈 생각을 하면 조금 막막했지만.

LSC(Liquid Scintillation Counter)가 설치될 거대한 공동에서부터 본격적인 연구시설이 시작됐다. LSC는 직경 20m, 높이 20m(상부 돔까지 합치면 28m)나 되는 거대한 공동이다. 중성미자 검출기가 설치될 예정이다. 바로 옆에 가속기를 설치할 수 있는 공간을 함께 만들었다. 가속기와 검출기의 거리가 가까울수록 목표 중성미자를 찾을 수 있는 확률이 올라간다.

6

7

LSC 공동을 지나자 본격적으로 다양한 지하실험을 위한 공간이 시작됐다. 실험실은 복도 두 개와 그 둘 사이를 연결하는 통로식 방으로 지어졌다. 가장 중요한 공간은 중성미자 없는 이중 베타 붕괴 현상을 검증하는 AMoRE 실험실과 암흑물질 후보, 윔프(WIMP)를 탐색하는 COSINE 실험실이다. AMoRE 실험팀은 벌써 실험 시설을 설치하는 작업이 한창이었다. 외부 방사선을 차폐할 수 있는 장치를 만들고, 검출기 일부를 설치했다.

승강기로 수직 600m, 비스듬한 경사로를 따라 더 내려간 곳의 깊이는 지하 깊이 1000m. 예미산의 해발고도가 998m이니 산 높이보다 더 깊이 들어왔다. 지하실험 연구단의 주도하에 만든 시설이지만 지하 1000m라는 희귀한 연구 환경이 필요한 기관에게도 일부 공간을 제공하기로 했다. 경북대와 기상청, 지질자원연구원과 수리과학연구원이 지진, 지층, 암반 상황처럼 지상에서는 할 수 없었던 다양한 연구를 진행할 예정이다.

"지하 1000m는 연구자들에게 새로운 영감을 불어 넣을 수 있는 환경입니다. 예미랩의 규모 자체도 전세계에서 6번째 정도로 큰 연구실이고요. 아마 세계를 놀라게 할 다양한 연구가 나올 겁니다. 예미랩의 가치는 연구자들이 먼저 알아채고 있습니다. 완성이 되기도 전에 다양한 연구자들이 이곳에서 공동 연구를 진행하고 싶다고 러브콜을 보내고 있어요. 최고의 연구자들만이 예미랩과 함께할 수 있을 겁니다."

박 책임기술원의 얼굴에서는 숨길 수 없는 자랑스러움이 묻어났다. 실제로 몇 년 뒤에 전세계를 놀라게 만들 결과를 내놓을 것 같다는 기대감도 차올랐다. 예미랩과 함께할 연구자들의 건투를 기원한다. ibs

우주선*

우주에서 지구로 끊임없이 고네어지 방사성 입자가 날아온다. 이로 인해 연구자들이 찾는 입자의 미세 신호가 묻힐 수 있다.

따뜻한 아이스 아메리카노 같은 중성미자를 찾아서

예미랩은 10월에 있을 준공식을 준비 중이다. 예미랩을 방문했던 7월의 어느 날, 생생한 취재를 위해 현장을 찾으면서도 아직 마무리 공사 중이라는 말에 큰 기대를 하지 않았다. 먼지가 흩날리는 공사 현장에 정밀함이 생명일 실험 장치를 설치하지 않을 테니까 말이다. 그러나 열정넘치는 한국의 과학자들을 너무도 얕봤다. AMoRE 팀의 이야기다.

예미랩 지하실험실에 있는 AMoRE 실험실. 김영덕 지하실험 연구단장이 이끄는 AMoRE 팀은 이곳에서 중성미자 없는 이중 베타 붕괴 현상을 관찰해 중성미자가 마요라나 입자임을 증명하고자 한다.

지하실험 연구단은 큰 틀에서 두 가지 실험을 진행하고 있다. 김영덕 단장이 이끄는 AMoRE(Advanced Mo-based Rare process Experiment) 팀은 몰리브덴(Mo) 동위원소를 이용해 중성미자 없는 이중 베타 붕괴(다시 설명할테니 포기하지 마시라) 현상을 관측한다. 이현수 부단장이 이끄는 COSINE(주기성을 보이는 관측 결과를 본땄다) 팀은 아이오딘화나트륨(NaI)으로 암흑물질 후보, 윔프(WIMP)를 탐색한다(COSINE 팀에 대한 내용은 PART 3으로 가자).

아직 휑했던 다른 공간과 달리, AMoRE-II 실험을 준비하는 AMoRE 실험실은 임시 문과 먼지 차폐막이 설치돼 있었다. 지열 때문에 더운 홀 바깥과 달리 에어컨도 돌아가고 있었다. 심지어는 지하 1000m인데도 휴대전화와 인터넷도 사용할 수 있었다. 컨테이너를 조립한 것처럼 보이는 건물 안에서 연구원들은 검은 상자로 무엇인가 하고 있었다. 뭘하는 중인지 묻자, '다크 박스(외부 빛을 완전히 차단할 수 있는 상자)'를 사용해서 뮤온 검출기에 들어가는 주요 기기를 확인하는 중이라 답했다.

건물 안에는 AMoRE-II 실험의 주인공, 검출기와 검출기를 둘러싼 방사선 차폐 구조물이 있었다. 올해 말, 이 곳에서 AMoRE-II 실험을 본격적으로 시작하는 것이 연구단의 목표다.

본격적으로 AMoRE 실험에 대한 이야기를 하기 위해서는 우선 세상을 구성하는 기본 입자에 대한 지식이 필요하다. 보통 원자를 떠올리기 쉽지만 그보다 더 작고 근본적인 기본 입자에 대한 이야기다.

물체를 끝없이 작게 쪼개다 보면 물질을 구성하는 원자에 다다른다. 원자는 원자핵과 전자로 이루어져 있다. 원자핵은 양성자와 중성자가 합쳐져 만들어진다. 양성자와 중성자는 흔히 '쿼크'로 알려진 기본 입자로 구성돼 있다. 과학자들의 끊임없는 탐구 덕분에 기본 입자가 여러 종류로 있다는 사실이 알려졌다. 통칭 '쿼크'도 업, 다운, 참, 스트레인지, 톱, 바텀이 있다. 전자와 뮤온, 타우, 그리고 중성미자(전자, 뮤온, 타우) 세 종류도 기본 입자의 한 자리를 차지한다. 이 입자들을 묶어서 '페르미온'이라고 부른다. 페르미온이 어떤 힘을 이용해, 어떤 방식으로 결합되느냐에 따라 다양한 물질이 만들어진다. 페르미온이 필요한 힘을 전달해주는 입자가 '보손'이다. 글루온, 광자, W/Z 보손이 바로 그것들이

다. 2013년 노벨 물리학상의 주인공, '힉스'가 바로 표준 모형 이론을 완성시켜 주는 마지막 보손이었다. 즉 페르미온을 재료로 삼아, 보손이 적절한 힘을 전달해 페르미온을 결합시키면 우리가 아는 원자가 만들어진다는 것이 바로 표준 모형이다.

이미 발견된 입자들 말고도 이론적으로 존재하지만 찾지 못한 입자들이 여럿 있다. 이탈리아의 물리학자 마요라나(Ettore Majorana, 1906–실종)가 예상한 마요라나 페르미온이 대표적이다. 본래 수학을 공부하던 마요라나는 특수상대성이론과 양자역학을 통합한 '디랙 방정식'를 연구하던 도중 입자이면서 동시에 반입자인 페르미온이 있다는 것을 알게 됐다.

입자이면서 반입자. 뜨거운 아이스 아메리카노 같은 느낌이다. 디랙 방정식은 본래 전자의 운동을 설명하기 위해 만들어진 수식이다. 디랙 방정식 덕분에 '양전자'의 존재가 알려졌다. 전자와 모든 성질이 같은데 전기적 성질만 정반대인 입자다. 여기서 전자는 입자, 양전자는 반입자가 된다. 마요라나 페르미온은 입자이면서 동시에 자신의 반입자이기도 하기 때문에 전기적으로는 중성이어야 한다.

불행인지 다행인지 마요라나는 이 페르미온이 완전히 새로운 입자가 아니라 기존에 알려진 입자라고 예상했다. 바로 '중성미자'다. 중성미자는 전기적으로 중성이고, 마요라나가 생각했던 여러 조건(예를 들면 가벼운 질량)에 들어맞는 입자였다. 1937년 마요라나의 발표 후, 과학자들은 마요라나 페르미온을 찾기 시작했다. 그러나 그 뒤로 벌써 80년이 넘는 시간동안 아무도 마요라나 페르미온을 발견하지 못했다. 이쯤되면 AMoRE 팀이 무엇에 도전하고 있는지 감이 왔을 터다.

이해하는 것조차 난해한 마요라나 페르미온은 실험 설계부터 어렵다. 일단 입자가 사라지는 현상부터 관찰 실험하고, 이 현상이 진짜 입자이면서 반입자인 물질 때문인지를 확인해야 한다. AMoRE 팀은 '중성미자 없는 이중 베타 붕괴'에서 실마리를 찾고 있다.

1

동위원소는 원자핵에서 양성자 수는 같지만(원자 번호) 중성자 개수가 달라 질량이 다른 원소를 말한다. 예를 들어서 원자번호 8번 산소는 양성자는 8개지만 중성자가 2~18개까지 다르다. 동위원소가 무려 15개나 된다. 동위원소는 태생적으로 가진 중성자 수를 편안하게 잘 유지하는 안정 동위원소가 있고, 중성자와 양성자 간의 균형을 맞추려 원자핵을 변화시키는 불안정 동위원소가 있다. 산소는 중성자 수가 8, 9, 10개면 안정하지만 그보다 적거나 많으면 불안정해 양성자나 중성자를 잃거나 얻어 원자핵의 형태를 바꿔 안정한 원자가 되려한다. 불안정 동위원소가 안정 동위원소가 되는 과정이 바로 '붕괴'다.

베타 붕괴는 동위원소가 붕괴하는 방법 중 하나다. 양성자가 중성자로 바뀌거나, 중성자가 양성자로 바뀌는 붕괴를 말한다. 예를 들어 (+) 전하를 띄는 양성자가 베타 붕괴한다면 전기적으로 중성인 중성자와 (+) 전하를 띈 양전자, 그리고 중성미자가 나온다. 그렇다면 이중 베타 붕괴는 어떨까. 붕괴가 두 번 일어나 결과물이 두 배로 나온다. 중성자도 2개, 양전자도 2개, 중성미자도 2개가 나온다. 이렇게 2개의 중성미자가 나오는 이

표준모형에 들어가는 기본 입자

페르미온		보손	
쿼크	경입자	게이지보손	스칼라 보손
업(u)	전자(e)	글루온(g)	힉스(H)
다운(d)	뮤온(μ)	광자(γ)	
참(c)	타우(τ)		
스트레인지(s)	전자중성미자(νe)	W	
톱(t)	뮤온중성미자(νμ)	Z	
바텀(b)	타우중성미자(ντ)		

1. 다크 박스로 검출기에 들어가는 주요 부품을 시험하는 연구원들. 2. 검출기가 설치될 차단 구조물. 우주 방사선 뿐만 아니라 생활 방사선도 차단하기 위해 수십cm에 달하는 두터운 차단 구조물을 만들었다. 3. AMoRE 실험에 대해 대전 본원에서 설명 중인 이무현 연구위원. 검출기는 대전 본원에서 제작해 빠르면 올해 말 예미랩에 설치돼 내년부터 본격적으로 관측 자료를 받을 예정이다. 4. 박강순 책임기술원의 소개로 예미랩을 둘러볼 수 있었다. 검출기 옆에는 실험을 준비하며 오염을 막기 위한 방진 시설이 설치됐다.

중베타붕괴는 여러 동위원소에서 발견되었지만, 베타붕괴가 동시에 일어나야 하기 때문에, 가장 짧은 반감기도 10^{18} 년 이상이다.

다시 마요라나 페르미온이 등장할 때가 왔다. 만약에 중성미자가 마요라나 페르미온이라면 이 중성미자는 중성미자인 동시에 반중성미자일 것이다. 이 경우, 한 원자핵내에서 한 중성미자가 흡수되고 방출되는 것이 가능하게 된다. 본래대로라면 중성미자 2개가 나오는 이중베타 붕괴가, 중성미자 없는 이중 베타 붕괴가 돼버린다.

즉 중성미자가 나오지 않는 이중 베타 붕괴를 관찰한다면, 중성미자가 마요라나 페르미온임이 증명된다. 85년 만에(2022년 기준) 마요라나의 주장이 진짜라는 것이 밝혀지는 것이고, 힉스 보손을 발견한 LHC 과학자들처럼 노벨 물리학상의 강력한 후보가 된다.

이 반응을 보기 위해 AMoRE 팀은 2015년부터 차근차근 준비를 해왔다. 이중베타붕괴의 반감기가 가장 짧은 ^{100}Mo(몰리브덴-100)을 주 실험 재료로 선택했다. 몰리브덴은 ^{98}Mo 등이 자연 상태로 안정한 동위원소다. AMoRE 실험은 ^{100}Mo를 95% 정도로 농축한 고가의 몰리브데넘을 사용한다. 몰리브덴화리튬으로 순도 높은 결정을 직접 키워 검출기를 만들었다. 1.9kg으로 검출기 5개를 만들어 파일럿 실험을 진행한 뒤, 2020년 본격적으로 AMoRE 1 실험을 시작했다. 양양에 있는 Y2L에서 검출기 18개를 이용해 진행하고 있는데, 올해 말이나 내년 초에 실험이 완료될 예정이다.

예미랩에서는 AMoRE-II 실험을 진행한다. 일단 규모가 눈에 띄게 커져 스테이지 1, 2로 나눠서 진행한다. 예미랩 오픈과 함께 진행할 스테이지 1에서는 약 30kg의 결정을 사용해 실험한다. 대전 본원의 실험실과 러시아의 한 연구소에서 검출기에 사용할 몰리브덴화리튬 결정을 성장하고 있다. 스테이지 2에서는 178kg을 사용한다.

규모를 계속 키우는 이유는 원하는 반응을 관찰할 확률을 높이기 위해서다. 이중 베타 붕괴는 중성미자가 2개 나오는 반응이 기본이다. 이 반응 사이에서 아주 드물게 일어나는 중성미자 없는 반응을 잡아내야 한다. 이무현 연구위원은 "^{100}Mo 원자는 10^{26}년 이상 걸려야 중성미자 없는 이중 베타 붕괴를 할 것으로 예상될 정도로 드문 확률"이라며 "몰리브덴 결정이 많을수록 원하는 반응을 검출하기가 쉽다"고 설명했다.

AMoRE 프로젝트는 이제 시작이다. 연구팀은 계획한 100kg의 ^{100}Mo 동위원소를 확보하였고 예미랩의 환경도 좋기 때문에 좋은 결과를 볼 수 있을 것이라며 기대감을 비추고 있다. 지하 1000m의 검출기 시설은 한 번 열렸다 닫으면 특별한 문제가 생기지 않는 한 다시 열지 않는다. 다시 여는 이유가 전세계가 놀랄 결과 때문이길 기원한다. ibs

WIMP
COSINE 프로젝트

We are
Investigating
Most important
Particles in universe

'…on a mote of dust suspended in a sunbeam.'

보이저 1호는 태양계를 벗어나기 직전 태양계 행성 가족 사진을 남겼다. 그 가족 사진을 보고 천체물리학자 칼 세이건은 지구를 '창백한 푸른 점a pale blue dot'라 불렀고, 지구에 사는 인간을 태양 광선 위에 떠 있는 먼지 한 톨에서 살아가는 존재라고 표현했다.

거대한 우주 관점에서 보면 하염없이 작은 인류. 인류는 생존 본능에서 벗어나 존재에 대한 궁금증을 품은 이래로 우주에 대해 끊임없이 탐구해왔다. 그럼에도 지금까지 알아낸 사실은 우주에서 보는 인류처럼 아주 극히 일부일 뿐이다. 인류는 미지의 영역을 향해 끊임없이 도전 중이다. 암흑물질의 정체를 밝히는 일은 많은 도전 중 하나다.

암흑물질은 전체 우주 질량의 약 25%나 차지하는 '무언가'지만 아직 그 정체가 밝혀

2021년 12월 발사돼 2022년부터 본격적으로 가동에 들어간 제임스웹 망원경이 촬영한 스테판 5중주 소은하단(Stephan's Quintet). 츠비키는 은하들이 움직이는 속도를 관측하며 암흑물질에 대한 가능성을 처음으로 제기했다.

NASA/ESA/CSA/STScI

ESA

총알 모양 은하단은 암흑물질의 가능성을 보이는 대표적인 예시다. 분홍색 부분은 X선 촬영으로 관측한, 눈에 보이는 질량을 표시했다. 푸른색 부분은 중력렌즈 효과를 표시했다. 만약 암흑물질이 없다면 분홍색과 푸른색 영역이 일치해야 했다. 은하의 충돌이 눈에 보이는 물질과 그렇지 않은 '무언가'를 분리시켜 중력렌즈 효과로 관측됐다.

지지 않은 물질이다. 우주에 널리 퍼진(것으로 추정하는) 물질이지만 지구에 있는 인간이 만질 수 없는 것은 둘째치고 관측되지 않기 때문에 아직은 '무언가'라고 표현할 수밖에 없다. 다만 이 '무언가'가 있다는 증거가 1930년대부터 꾸준히 발견됐다. 시작은 은하단의 운동 속도였다.

우주에는 은하가 수천억 개 쯤 존재한다. 얼핏 보면 아무렇게나 흩어져 있는 것처럼 보이지만 이들은 나름대로 규칙을 가지고 배치돼 있다. 태양계 행성들이 태양이라는 거대 질량 중심을 기준으로 공전하는 것처럼 은하도 공통의 질량 중심을 기준으로 공전한다. 스위스의 천체물리학자 프리츠 츠비키(Fritz Zwicky, 1898–1974)는 이런 은하들의 속도를 관측하던 중, 은하의 운동 속도가 수학적으로 계산한 것보다 더 빠른 것을 알게 됐다. 은하의 실제 질량이 알려진 것보다 더 컸다. 즉 관측되지 않은, 어떤 질량을 가진 '무언가'의 가능성을 엿본 셈이다.

츠비키의 발견은 은하에 소속된 별들에서도 비슷한 현상이 일어나고 있다는 연구로 이어졌다. 은하에는 태양처럼 수많은 별들이 은하 중심을 기준으로 공전한다. 현재까지 관측된 은하 질량 분포에 따르면 은하 중심에 가까울수록 공전 속도가 빠르고, 중심에서 멀수록 공전 속도가 느려져야 한다. 하지만(!) 독자 여러분이 예상했던대로 실제로 관측한 결과는 계산과 달랐다. 중심에서 멀어짐에도 속도가 비슷했던 것. 미국의 천문학자 베라 루빈(Vera Rubin, 1928–2016)은 이 현상을 발표하며 본격적으로 암흑물질에 대한 논쟁을 시작했다. 이제 과학자들은 선택해야 했다. 관측은 안되지만 정체를 알 수 없는 '무언가'가 있다고 인정을 하던가, 아니면 기존에 알려진 질량–중력 법칙을 완전히 새롭게 찾아내던가.

우주 관측 기술이 발달하면서 '무언가'에

대한 증거는 계속 나타났다. 총알 모양 은하단에서 관측된 보이는 질량과 보이지 않는 질량이 분리된 현상이 대표적이다. 이는 은하단의 충돌로 눈에 보이지 않는 '무언가'가 보이는 물질에서 분리된 것으로 해석될 수 있다.

어쨌든 계속되는 증거에 과학자들은 이미 잘 맞는 질량-중력 법칙을 바꾸기보다는 아직 인류의 탐색에 걸려들지 않은 '무언가'의 정체를 밝혀야 한다는 사실을 알게 됐다. '무언가'에 관측되지 않았다는 의미의 암흑(dark)을 붙여 '암흑물질(dark matter)'이라는 이름을 붙이고 본격적으로 이 물질에 대한 연구를 시작했다.

이현수 지하실험 연구단 부단장이 이끄는 COSINE팀은 이 암흑물질 후보 중 하나인 윔프(WIMP)를 찾고 있다. 윔프는 액시온(axion), 비활성 중성미자와 함께 암흑물질이 될 수 있는 주요 후보 중 하나다. 세 물질은 이론적으로 존재하지만 아직 실제로 검출된 적은 없다는 공통점이 있다. 비활성 중성미자는 지금까지 알려진 세 종류 중성미자(전자, 뮤온, 타우) 다음의 네 번째 중성미자 후보로, 다른 세 중성미자에 비해 큰 질량을 가지는 것으로 알려져 있다(이론상으로). 액시온은 기본 입자들의 상호작용을 설명하는 과정에서 제시된 입자다. 액시온이 만들어지는 과정에 따르면 우주가 탄생하는 과정에서 액시온이 많이 만들어진다.

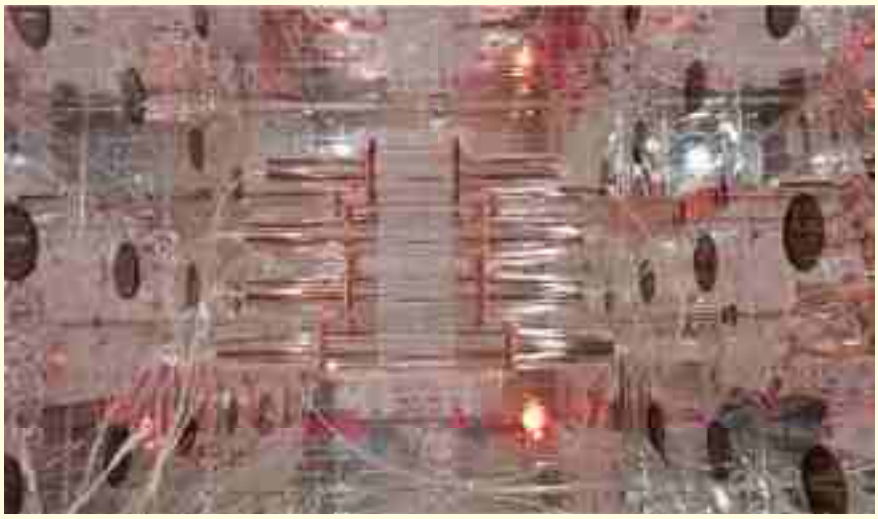
COSINE팀이 주목하고 있는 윔프는 '약하게 상호작용하는 무거운 입자(Weakly Interacting Massive Particles, WIMPs)'란 뜻이다. 우주가 탄생할 때 만들어진 뒤 더 만들어지거나 붕괴하지 않은 상태로 지금까지 남아있는 것으로 추측하고 있다. 故 이휘소 박사(1935-1977)가 노벨 물리학상을 수상(1979)한 입자 물리학계의 거장, 스티브 와인버그(Steven Weinberg, 1933-2021)와 함께 제안한 입자로도 유명하다.

윔프의 역사는 1977년으로 거슬러 올라간다. 이휘소와 와인버그가 무겁고 전기적으로 중성인 어떤 가상의 입자가 갖는 최소 질량에 대해 발표[1]했다. 두 과학자는 이 논문에서 말하는 입자에 대해 '이 무거운 중성미자의 중력장은 수축하는 우주에 대한 그럴 듯한 메커니즘을 제공할 것the gravitational field of these heavy neutrnos would provide a plausible mechanism for closing the universe.'이라고 남겼다. 즉 아직 관측이 안 된 이론상의 어떤 입자가 있고, 이 입자의 물리적 성질을 밝혀 낸다면 우주의 탄생과 소멸에 관련된 정보를 얻을 수 있다는 뜻이다. 우주 물질 대부분을 차지하는 암흑물질(26.8%)에 대한 설명과 궤를 같이 한다. 참고로 우주에서 우리가 아는 물질은 4.9% 뿐이며, 나머지 68.3%는 암흑에너지가 차지한다.

이런 이유 때문에 윔프는 강력한 암흑물질 후보로 꼽힌다. 물질과 상호작용을 거의 안 하기 때문에 처음에는 관측할 엄두를 내지 못했다. 1990년대 말 이탈리아 그랑사소 국립연구소가 윔프의 신호를 포착했다(이하 DAMA)고 포문을 연 뒤 전세계 과학자들의 도전이 이어졌다.

실험 방법은 이렇다. 만약 윔프가 실제 존재하고 암흑물질이 맞다면, 이론상 태양계가 은하를 공전하는 속도인 초당 220km로 움직인다. 또한 지구는 태양 주변을 초당 30km 속도로 공전하기 때문에 지구의 공전 방향이 태양의 공전 방향과 같을 때와 지구의 공전 방향이 다를 때 상대 속도 차이가 초당 60km 발생한다. DAMA는 이 계

윔프의 정의는 우주 물질 대부분을 차지하는 암흑물질(26.8%)에 대한 설명과 궤를 같이 한다. 참고로 우주에서 우리가 아는 물질은 4.9% 뿐이며, 나머지 68.3%는 암흑에너지가 차지한다



COSINE 검출기의 모습.

1. 강원도 양양에 위치한 Y2L. 2. 이현수 지하실험 연구단 부단장. COSINE 프로젝트를 총괄하고 있다.

절적 변화 덕분에 윔프를 관측할 수 있었다고 주장한다.

다만 문제는 수십 년이 지난 현재까지 어떤 연구 그룹도 동일한 결과를 얻지 못하고 있다. 이 때문에 과거 DAMA의 실험은 암흑물질로서의 윔프를 탐색하는 과학자들의 주요 연구 대상이기도 하다. COSINE팀은 과거 DAMA가 실험했던 NaI(아이오딘화나트륨)를 이용한다. 계절에 따라 주기성을 보이는 관측 결과를 본따 팀 이름도 코사인 COSINE으로 정했다.

윔프를 검출하는 작업은 검출기 제작에서 시작한다. 검출기는 순수한 NaI 결정을 이용해 만든다. 윔프는 최근 발표된 결과에서 1t 검출기에 1년에 1개 이하가 반응할 정도로 반응성이 작아 배경방사능을 극도로 줄인 고순도 검출기가 많은 있어야 반응을 검출할 가능성이 높다. 2016년부터 양양에 있는 Y2L에서 진행한 COSINE-100 실험은 10kg 정도로 키운 결정을 100kg만큼 동원했다. 관측과 통계적인 방법을 동원에 알아낸 결과는 그동안 네이처와 피지컬 리뷰 레터스 등 관련 주요 학회지에 발표했다.

요약을 하면 과거의 DAMA가 주장했던 것처럼 전통적인 암흑물질로서의 윔프는 관측되지 않았다. 하지만 또 다른 가능성은 여전히 남아있다. 이 부단장은 "과거 DAMA의 결과에 대한 시선과 약 20년이 지난 지금 보는 시선은 많이 달라졌습니다. 암흑물질을 연구하는 과학자들 사이에서 DAMA가 관측한 것이 표준적인 암흑물질로서의 윔프는 아니라고 받아들여지고 있지요. 그러나 계절에 따라 신호가 바뀌는 것은 확실합니다."라고 말했다.

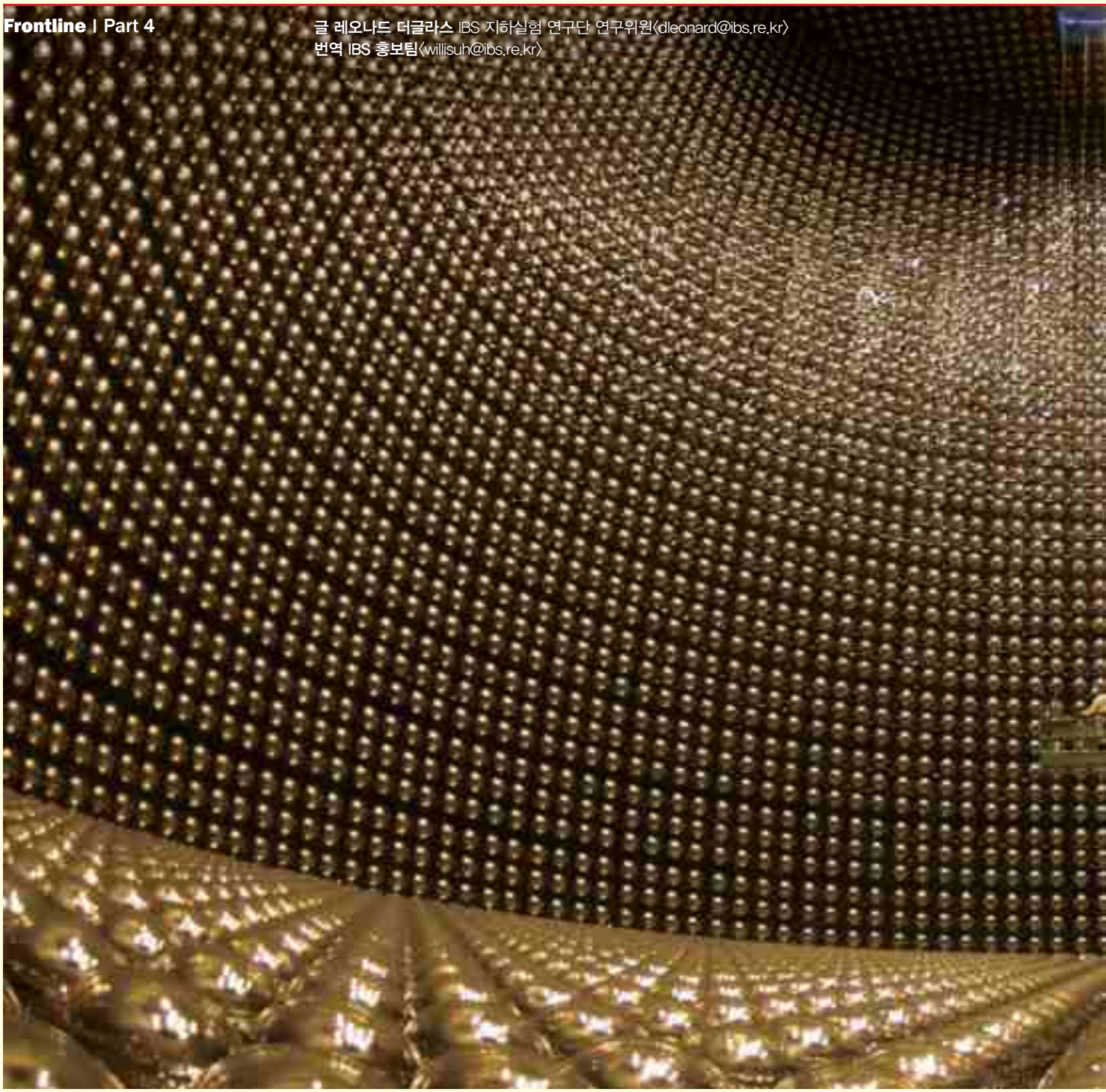
예미랩은 새로운 윔프 후보를 찾는 시작이다. 예미랩에서 진행될 COSINE-200 프로젝트는 검출기에 들어가는 NaI 결정을 이전보다 두 배 늘린 200kg 급으로 실험한다. 특히 검출기의 배경방사능을 현재보다 3배 이상 낮추는 것이 핵심이다. 파우더 정제부터 결정성장 검출기 제작에 이르는 핵심 기술을 기초과학연구원의 연구진이 직접 개발하며 노하우를 축적하고 있다. 올해 안에 기술 개발을 완료하고 예미랩의 가동과 함께 본격적으로 관측 실험에 돌입한다.

COSINE-200 실험의 최종 목표는 DAMA 실험의 완벽한 검증과 더불어 차세대 COSINE-1t 실험의 가능성을 타진하는 것이다. 예미랩을 계획할 때 1t 급 실험도 가능하도록 설계했다. 극단적으로 확률이 낮은 실험의 정확도를 끌어올리기 위해서는 필수적인 작업이다. COSINE-200 실험을 통해 세계 최고 성능의 NaI 검출기 기술을 확보하며 DAMA를 너머 세계 유수의 고성능 암흑물질 탐색기와 경쟁하여 세계를 리딩할 수 있을지 검증을 하고자 한다. 이 부단장은 앞으로의 가능성에 대해 아래와 같이 말했다.

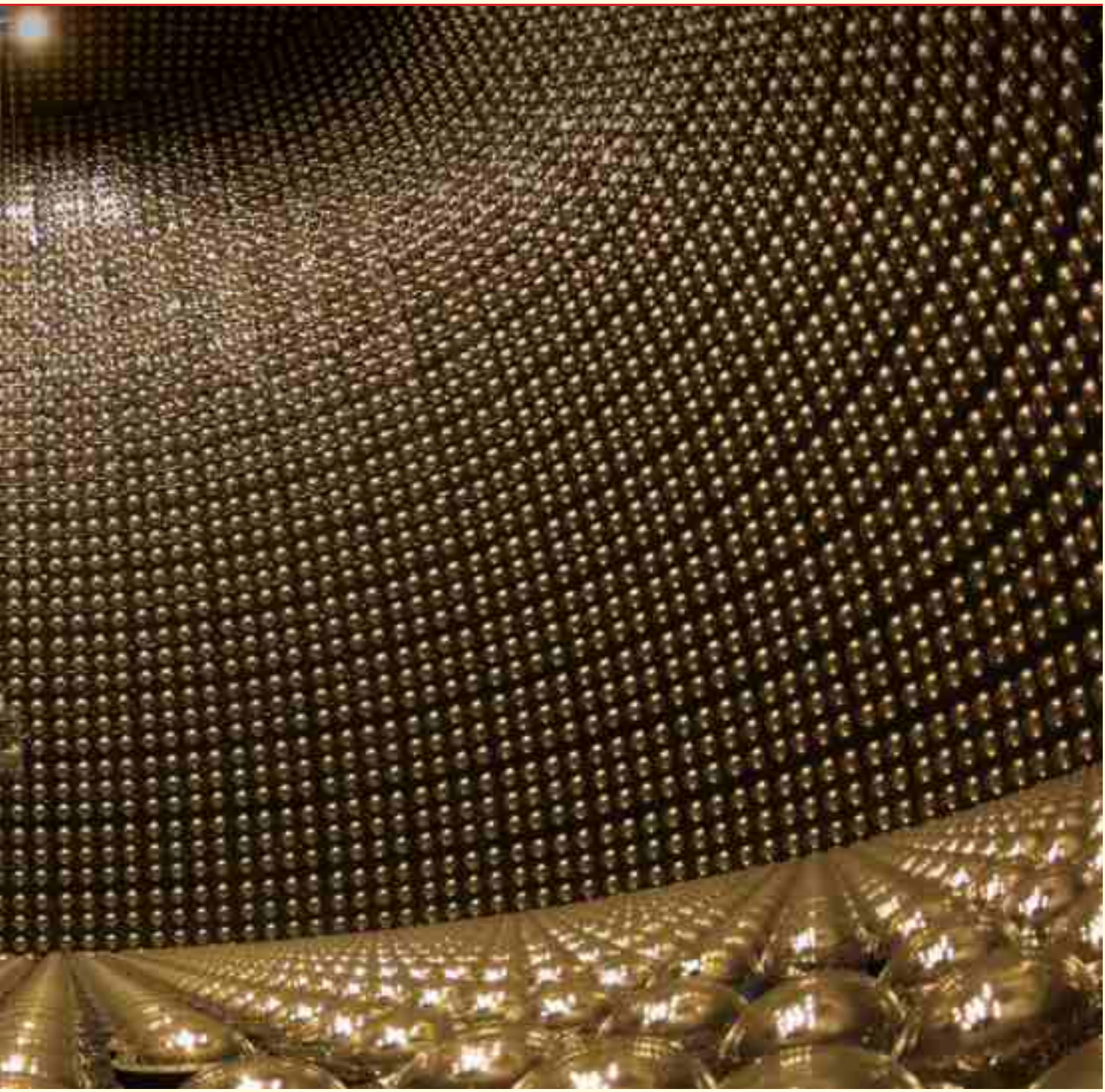
"지금까지 국내 암흑물질 탐색연구는 DAMA 신호의 검증에 초점이 맞춰져 왔습니다. COSINE-200 실험을 통해서 DAMA를 너머 세계 최고 성능의 암흑물질 탐색 검출기의 가능성을 보려고 합니다. 이 실험 혹은 그 후의 COSINE-1t은 이전까지 인류가 관측하지 못했던 새로운 영역을 탐색할 수 있는 검출기로 국내 연구진이 국내 기술로 만들어 가고자 합니다. 남들이 가 보지 않은 길을 통해 신대륙을 발견한 콜럼버스처럼 인류가 관측하지 못했던 영역을 탐색해 나아가다 보면 결국 암흑물질의 신호를 관측할 수 있을 것으로 기대합니다." ibs

1) Cosmological Lower Bound on Heavy-Neutrino Masses(Physical Review Letters, 1977).

글 **레오나드 더글라스** IBS 지하실험 연구단 연구위원〈dleonard@ibs.re.kr〉
번역 **IBS 홍보팀**〈willisuh@ibs.re.kr〉



더 크게, 더 깊이 세계의 지하실험 연구소



카미오카 연구소, ICRR, 도쿄대

일본 카미오카에 위치한 카미오칸데 중성미자 검출기의 내부.

물리학을 비롯한 과학연구는 본질적으로 물리적 세계를 관찰하고 이해함으로써 인간 지식을 발전시킨다. 이를 위해서는 사물을 관찰할 수 있는 능력을 다양한 형태로, 그리고 극한으로 끌어올려야 한다. 크게는 먼 거리를 가로 질러 우주 반대쪽을 관측해야 하며, 작게는 원자보다도 더 작은 물질을 관찰해야 한다. 이를 위해 실험 장치는 더 크고 강력하게 발전해왔다. 그리고 이제는 새로운 방향을 향하고 있다. 바로 '더 깊게'다. 아주 드문 물리학 상호 작용을 관찰하거나 희미한 신호를 관측하고, 또 매우 적은 에너지를 감지하기 위해서다. 이런 현상은 다양한 형태 또는 주제와 관련된다. 물론 공통점도 있다. 매우 희귀하기 때문에 긴 시간 동안을 관측해야 새로운 발견으로 인정받을 수 있는 자료를 얻을 수 있다는 것이다.

일반적인 환경에서는 이런 현상을 관측하기 어렵다. 별 것이 아니라고 생각하는 주변 환경의 상호 작용에 의해 묻혀 버리기 때문이다. 이를 '노이즈' 또는 '배경 잡음'이라고 한다. 비유를 하자면 락 콘서트에서 파리의 소리를 들으려는 것과 같다. 인간만큼 거대한 파리라면 그 소리를 들을 수 있을지 몰라도 현실적으로 콘서트장에서 파리 소리를 듣는 것은 불가능하다. 그러나 연구자들이 관찰하려는 어떤 상호 작용은 콘서트장에서 세상에서 가장 조용한 파리 소리를 들으려는 것과 견줄만하다. 시끄러운 환경에 어떤 소리가 존재하는지 증명하려고 한다면, 일정한 범위 안에서만 증명할 수 있다. 예를 들어 '80dB보다 큰 파리 소리는 존재하지 않는다'라는 식으로 말이다. 따라서 더 낮은 범위 내에서의 소리가 존재하지 않는다는 것을 확인하기 위해서는 더 조용한 환경으로 가야 한다. 희귀한 현상을 찾아 지하실험실로 내려가는 이유다.

어떤 희귀한 현상을 관찰하는 것을 방해하는 요소는 다양하다. 특히 여러 형태의 방사선이 그렇다. 검출기 부품이나 건물 자재에서 발생하고, 지구 밖에서부터 발생한다. 우리가 지하로 가는 이유는 후자와 관련이 있다. 지구의 표면에는 고에너지 뮤온이 비가 내리는 만큼 많이 내린다. 뮤온은 전자와 관련된 하전 입자이며, 우주 방사선이 대기에 부딪칠 때 만들어진다. 이들은 희귀 현상 검출기에 에너지를 전달해 가짜 신호를 만든다. 뮤온은 물질을 통과하지만, 그 과정에서 빛이 선글라스를 통과할 때처럼 감소한다. 따라서 검출기에서 뮤온 상호 작용을 줄이기 위해서는 지하에 깊은 곳에서 실험을 해야한다.

주목할 만한 지하실험 중 최초는 미국 사우스다코타에서 시행된 데이비스 실험이다. 1965년에 깊이 1500m 위치에 실행됐다. 2002년 노벨물리학상을 수상한 레이먼드 데이비스(Raymond Davis Jr., 1914–2006)가 이 동굴에서 염소 원자가 들어있는 탱크를 사용해 태양에서 유래하는 중성미자의 상호 작용을 탐색했다. 중성

이탈리아의 그랑사소 국립연구소(LNGS)에서 이루어진 DAMA/LIBRA 실험은 NaI 검출기로 암흑물질을 관찰했다고 주장했다. 이 연구 결과는 수많은 과학자들에게 영감을 불러일으켜 지금도 지하실험연구단을 비롯해 여러 과학자들이 교차 검증을 시행하고 있다. 사진은 외부에서 바라본 LNGS의 모습.

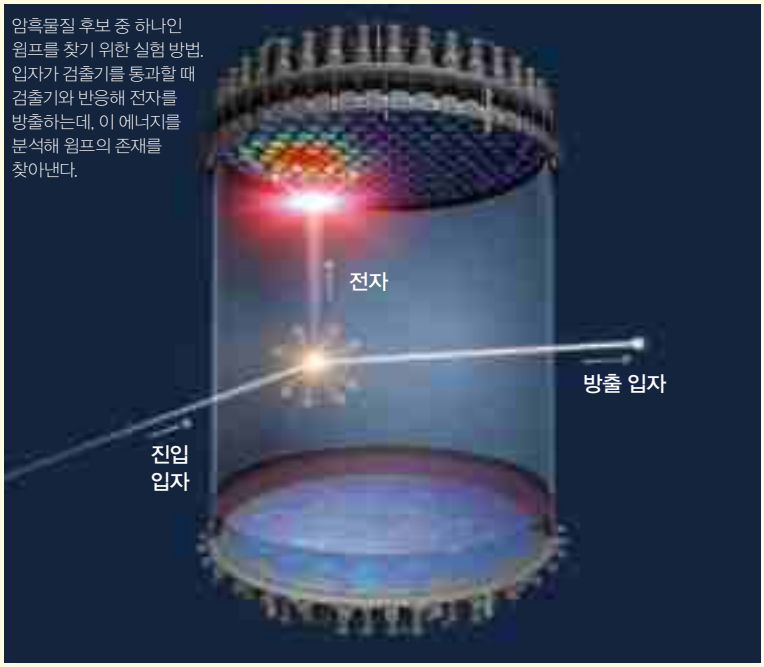
TQB(위키미디어 커먼스)

미자는 염소 원자를 ^{37}Ar (아르곤-37) 원자로 전환시켰으며, 이는 획기적인 화학적 분리 기술에 의해 검출됐다. 이 실험은 예상보다 3분의 1이나 더 적은 중성미자를 관측함으로서, 새로운 지하 중성미자 실험의 시대를 열었다. 해당 실험 현장은 최근에 여러 지하 실험을 시행하는 생포드 지하 연구 시설(Sanford Underground Research Facility, SURF)에 통합됐다.

데이비스 실험 이외에도 1990년대 초 러시아의 박산 중성미자 관측소(Baksan Neutrino Observatory)와 이탈리아의 그랑사소 국립 연구소(Laboratori Nazionali del Gran Sasso, LNGS)의 갈륨 중성미자 실험(Sage and Gallex)들이 중성미자를 확인했다. 지하실험은 더 나아가 중성미자가 '진동' 하는 현상, 즉 세 가지 유형의 중성미자들이 이동하면서 하나의 유형에서 다른 유형으로 전환된다는(양자역학적 의미로 중성미자는 한 번에 세 가지 유형으로 존재할 수 있다) 사실을 발견했다. 일본의 카미오카 광산에 있는 '슈퍼 카미오칸데'의 물 체렌코프 검출기와 캐나다의 서드베리 중성미자 관측소(Sudbury Neutrino Observatory, SNO)의 중수 체렌코프 검출기는 태양과 대기 기원 중성미자를 동시에 측정해 중성미자 진동을 최초로 직접 검증했고, 이와 관련된 연구자들은 2015년 노벨 물리학상을 수상했다. 동시에 미국 뉴멕시코주의 로스 알라모스 국립 연구소의 액체 섬광 중성미자 검출기(Liquid Scintillator Neutrino Detector, LSND)나 일본 카미오카의 카미오카 액체 섬광 반중성미자 검출기(Kamioka Liquid Scintillator Antineutrino Detector, KamLAND)와 같은 다수의 지하 실험에서 다양한 기원의 중성미자의 특징과 진동이 관찰됐다. 심지어 비활성 중성미자로 알려진 네 번째 중성미자에 대한 가능성도 제시했다.

한편 지하실험실은 희귀한 붕괴를 탐색하는데도 유용한 것으로 입증됐다. 특히 중성미자가 없는 이중 베타 붕괴의 관찰과 암흑물질 탐색에 대해서다. 위에 언급된 여러 지하실험실(카미오칸데, LNGS, SNO, SURF 및 중국의 CJPL(China Jinping Underground Laboratory))은 광범위한 분야의 물리 연구를 위한 대형 지하연구소로 운영되어 오고 있다.

암흑물질은 우주의 질량 중 대부분을 구성하고 있는



암흑물질 후보 중 하나인 윔프를 찾기 위한 실험 방법. 입자가 검출기를 통과할 때 검출기와 반응해 전자를 방출하는데, 이 에너지를 분석해 윔프의 존재를 찾아낸다.

LUX-ZEPLIN Collaboration, SLAC National Accelerator Laboratory

세계를 본질적으로 관찰하고 이해함으로써 인간의 지식이 발전한다
과학 연구는 지식을 위해 더 크고 강력한 실험장치를 만들어간다
그리고 이제는 더 나은 지식을 위한 새로운 방향으로
더 깊게 들어가고 있다

여러 가지 유형의 관찰되지 않은 입자다(자세한 내용은 PART 4를 참조하자). 암흑물질은 관측이 힘들며, 매우 희귀하고 미묘한 상호 작용을 통해서만 볼 수 있다고 예측되고 있다. 예를 들어 원자핵과의 희귀한 충돌로 인해 생긴 에너지를 감지함으로써 암흑물질 후보 중 하나인 윔프(WIMP)를 관찰 할 수 있다. 이 상호 작용을 찾기 위해 전세계의 지하실험실에서 다양한 실험들이 설계 및 운영되고 있으며 실험 민감도도 나날이 증가하고 있다.

SURF는 암흑물질 탐색의 역사에서도 특히 중심적인 역할을 가지고 있다. 세계 최초로 게르마늄 분광계를 도입했으며, 럭스(LUX, Large Underground Xenon)나 LZ(LUX-ZAPLIN) 실험 같은 액체-제논 기반의 실험을 주도하였다. 이 실험들은 민감도가 높아지고 있고,

특정 이론적 모델의 가정에서는 세계 최고 수준의 민감도를 자랑한다. 물론 SURF만이 제논으로 암흑물질을 탐색하고 있는 것은 아니다. LNGS에서도 액체 제논 실험을 하고 있으며, CJPL/CJPL-II 에서도 CDEX(The China Dark Matter Experiment, 저마늄 디텍터)와 PandaX(액체 제논 실험), 그리고 카미오칸데를 비롯해 영국의 볼비 지하실험연구소(Boulby Underground Laboratory) 같은 연구소에서도 제각기 독특한 실험을 진행하며 경쟁을 하고 있다.

LNGS에서는 또 다른 방법으로 암흑물질을 탐색했다. LNGS의 DAMA/LIBRA 실험은 NaI(아이오딘화나트륨) 결정검출기에서 암흑물질 관찰에 성공했다고 주장했다. 이 주장은 IBS 지하실험연구단의 COSINE 실험과 스페인의 칸프랑크 지하실험연구소(Laboratorio Subterráneo de Canfranc, LSC)의 ANAIS 실험을 통해 교차 검증이 시행되고 있다.

중성미자 없는 이중 베타 붕괴는 만약 실제로 존재한다면 물질에 대한 인류의 지식에 큰 영향을 미치는 방사성 붕괴다. 그러나 아직까지는 이론적으로만 존재한다. 구체적으로 이 현상은 중성미자 진동에 대해 영향을 미치며 중성미자가 마요나라(Majorana) 입자임을, 즉 중성미자 자기 자신이 곧 자신의 반물질임을 암시한다. 베타 붕괴 자체는 우리 주변에서 흔히 발생하는 원자의 방사성 붕괴의 매우 일반적인 형태로 전자와 중성미자를 방출한다. 반면 중성미자 없는 이중 베타 붕괴에서는 마요나라 입자의 특성 때문에 두 개의 중성미자가 방출됨에도 가상 입자로 소멸되며, 모든 에너지를 방출된 전자로 전달할 가능성이 존재한다(PART2를 참조하자).

이 현상은 특정 핵에서만 희귀하게 관찰할 수 있다. 당연하게도 배경 잡음을 없앨 수 있는 지하실험실이 필요하다. 이 현상을 관찰할 수 있는 동위 원소 후보 몇 가지를 이용해 많은 실험들이 수행됐다. 미국 뉴멕시코에 있는 WIPP(Waste Isolation Pilot Plant)에서 EXO-200 실험과 카미오칸데의 KamLAND-Zen 실험은 ^{136}Xe (제논-136)을, LNGS의 GERDA 실험은 ^{76}Ge (저마늄-76)을 사용한다. LNGS의 또다른 실험인 CUORE 와 SNO의 SNO+는 ^{130}Te (텔루륨-130)의 이중 베타 붕괴를 관찰했다. 한편 프랑스 모단 지하실험연구소(Laboratoire Souterrain de Modane, LSM)의 CUPID-Mo 실험은 ^{100}Mo (몰리브덴-100)을 이용한다. 같은 지하실험 연구소의 SuperNEMO 디텍터의 경우는 여러 동위원소를 관찰할 예정이다. 전체 실험 목록은 모두 나열하기에는 너무 많고 길다. 그만큼 동위 원소와 기술의 다양성은 관측의 한계를 높이고, 향후 관찰을 해석하고 확인하는데 중요한 역할을 하고 있다.

지하실험실은 지하에 위치함으로써 우주선으로 인한 뮤온 배경 잡음을 줄인다. 그러나 지하에 위치한다고 전부가 아니다. 주변 물질이 방사성 붕괴해서 발생하는 배경 잡음도 제거해야 한다. 이를 위해서는 검출기를 초고순도 재료로 만들어 해결한다. 검출기 설계는 아예 하나의 연구 분야가 됐다. 검출기의 성능은 목표 현상을 얼마나 잘 감지하는지에 따라 결정된다. 검출기의 성능과 고감도의 실험 결과는 서로 물고 물리는, 마치 닭이 먼저냐 달걀이 먼저냐 같은 상황이 됐다.

따라서 좋은 연구 성과를 위해 위에 언급된 실험실의

차세대 지하실험 프로젝트들은 규모가 계속 증가하고 있다
지하실험실은 새로운 발견을 위해 다양한 기회를 제공하고,
동시에 새로운 질문을 던져줄 것이다

이탈리아의 과학자 마요라나는 입자이면서 동시에 반입자인 새로운 유형의 페르미온을 제안했다. 전세계 과학자들은 중성미자가 마요라나 페르미온임을 증명하기 위해 끊임없이 검출기를 만들고, 신호를 찾고 있다.

SNO

캐나다 온타리오에 위치한 서드베리 중성미자 관측소(SNOLAB)의 검출기.

대부분은 탐지 시설은 물론 검출기 정제 기술을 함께 보유하고 있다. CJPL이나 SURF, 볼비 같은 연구소들은 다양한 고감도 검출기를 개발하면서 동시에 고순도 재료를 정제하는 기술을 꾸준히 새로운 수준으로 높이고 있다.

극소수 일부 과학자들이 어두운 독방에서 모호하게 하던 지하실험은 이제 중성미자 진동, 중성미자 없는 이중 베타 붕괴나 암흑물질 탐색 같은 첨단의 대규모 연구로 발전했다. 이제는 핵천체 물리학, 중력파 물리학, 심지어 생물학 및 양자 컴퓨팅과 관련된 다른 과학 분야들도 지하실험 시설과 환경을 요구하고 있다.

중국의 CJPL-II, 호주에서 새롭게 짓고 있는 스토웰 지하실험연구소(Stawell Underground Physics Laboratory) 및 IBS 예미랩 등 차세대 지하 프로젝트들은 규모가 계속 증가하고 있다. 단순히 규모만 커지는 것이 아니다. 더 커진 규모를 바탕으로 지금까지와 다른 새로운 실험이 계획되고 있다. DUNE 프로젝트는 미국 페르미연구소의 입자가속기에서 만들어진 중성미자를 SURF에서 측정하는 것이 목표다. 일본은 기존의 카미오카 지하실험실들과 별도로 26만t 규모의 하이퍼 카미오칸데 물체렌코프 검출기를 건설하고 있다. 그 외에도 중성미자 없는 이중 베타 붕괴를 관측하기 위한 미국의 nEXO, 유럽-미국 공동의 LEGEND(Large Enriched Germanium Experiment)나 차세대 암흑물질 탐색을 위한 전 세계 공동연구인 XLZD 실험 등 새로운 지하실험들이 기다리고 있다. 이 실험들은 앞으로 새로운 발견을 위한 다양한 기회를 제공함과 동시에 우리에게 새로운 질문을 제시할 것이다. ibs

이연주 기후 및 지구과학 연구단 행성대기 연구그룹 CI

새벽에 가장 먼저 뜨는 별을 쫓는 과학자

2022년 6월, 기초과학연구원(이하 IBS)은 지구과학 분야 신규 연구단인 '기후 및 지구과학 연구단'과 그 산하 첫 번째 연구그룹 '행성대기 그룹'을 신설했다. 행성대기 그룹을 책임지는 CI는 독일 항공우주센터의 이연주 연구원이 임명됐다.

태양이 동쪽 지평선으로 떠오르며 새로운 아침을 알리기 직전, 동쪽 하늘에는 그 어떤 천체보다 밝은 별이 뜬다. 우리 말로는 '샛별', 새로운 시작을 알리는 상징과 같은 이 별은 오랜 시간동안 과학자들의 호기심을 자극해왔다. 이연주 기후 및 지구과학 연구단 행성대기 연구그룹 CI도 그 호기심에 흠뻑 빠진, 샛별을 쫓는 과학자다.

더위가 한창 시작될 6월, 대전 IBS 본원에서 이 CI를 만났다. 기후 및 지구과학 연구단은 막 출범한 연구단으로 이 CI가 이끄는 행성대기 그룹은 연구단의 첫 번째 연구 그룹이다. IBS는 행성대기 그룹을 시작으로 연구 그룹을 조금씩 늘려나갈 계획이다.

아름다움의 여신(Venus)에게 흠뻑 빠진 과학자

이 CI가 이끄는 행성대기 그룹의 첫 번째 목표는 금성이다. 금성은 이 CI가 학위를 받을 때부터 관심을 가졌던 주제다. 왜 하필 금성이었을까. 태양계에는 금성말고도 다른 행성이 여럿 있다.

"석사까지 전공은 지구 대기였어요. 박사 학위를 받기 위해 진학할 곳을 찾던 중 금성 탐사와 관련된 과제들을 알게 됐습니다. 지구와 아주 가까운 행성임에도 알려진 것이 많지 않다는 사실이 아주 흥미로웠거든요."

관심을 갖기 시작한 뒤 이 CI는 금성을 쫓기 시작했다. 막스플랑크 태양계 연구소에서 유럽우주국(ESA)의 금성 탐사선 '비너스 익스프레스(VEX, Venus express, 2005년 발사)' 팀에 합류해 박사 학위를 받았다. 그 뒤 일본 우주항공연구개발기구(JAXA)의 금성 탐사선 '아카츠키(혹은 플래닛 C, 2010년 발사)' 팀에서 금성의 대기와 관련된 연구를 했다. 이때 발표한 '금성 대기의 자외선 반사도와 동서풍속 사이의 연관성 연구[1]'는 미국 천문학협회(AAS)에서 우수 연구 성과로 선정됐다.

금성을 관측할 수 있는 기회라면 다른 행성 탐사선 팀에 합류하는 일도 마다하지 않았다. 지구 바깥 천체를 탐사하는 탐사선들은 목적지를 향해 가며 다양한 행성을 거쳐 간다. 행성의 중력을 이용해서 더 먼 곳으로 가기 위한 추진력을 얻기 위해서인데 이 기회들은 행성을 가까이에서 관측할 수도 있게 한다. 태양계 바깥으로 나가는 목적을 가졌던 보이저 탐사선 역시 태양계 밖으로 나가는 길에 목성과 토성을 거쳐 지나가며 많은 자료를 전달했다. 이 CI는 ESA-JAXA가 공동으로 추진한 수성 탐사선 '베피콜롬보(BepiColombo, 2015년 발사)'가 금성을 지나갈 때도 놓치지 않았다. 내노라 하는 금성 탐사 프로젝트라면 거진 이 CI의 손길이 닿아있는 셈이다.

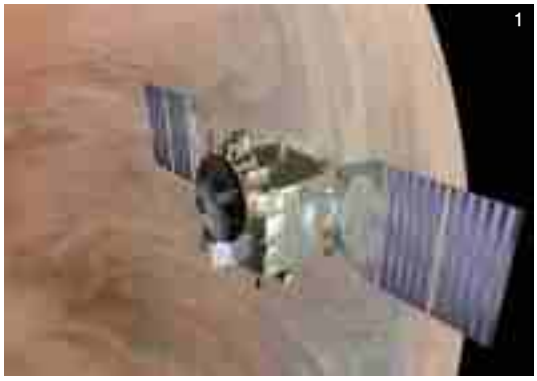
태양계 행성을 관측하는 큐브샛을 제작, 궤도에 올리는 것이 목표

이 CI의 이력을 보면 그가 IBS에서 수행할 프로젝트에 대해 궁금한 것이 생겼다. 우리나라는 올해(2022년 8월 4일 발사) 달 궤도 탐사선을 발사했을 뿐, 이 CI의 전문 분야인 금성에 탐사선을 보낼 계획은 없다. 그렇다면 이 CI는 대체 어떻게 본인이 연구를 이어가는지 궁금해졌다.

"금성을 연구하기 위해 꼭 탐사선을 보낼 필요는 없습니다. 다양한 방법으로 관측할 수 있거든요."

금성은 지구에서 관측할 수 있는 천체 중 태양과 달 다음으로 밝다. 가장 밝은 때는 무려 −4.5등급[2]으로, 항성 중에 가장 밝게 빛나는 별인 큰 곰자리 시리우스보다 약 16배나 밝다. 밤하늘 천체를 잘 찾지 못해도 태양이 진 직후 서쪽 하늘이나, 해가 뜨기 직전 동쪽 하늘에서 밝게 빛나는 천체를 발견했다면 열에서 아홉은 금성일 정도로 찾기 쉽다. 찾기 쉽지만 단점도 크다. 공전 궤도가 지구보다 안에 있기 때문에 태양과 함께 뜨고 진다. 대부분 낮에 떠 있다는 뜻이다. 낮에는 태양 빛이 워낙에 강하기 때문에 지상에서는 그 어떤 천체도 관측할 수 없다.

"금성을 관측할 수 있는 큐브샛을 개발하고, 지구 궤도에 올릴 겁니다."



1. 2005년 발사해 2014년 임무를 종료한 ESA의 금성 탐사선 '비너스 익스프레스'.
2. 금성은 지구와 쌍둥이 행성이라 할 정도로 크기가 비슷하다. (왼쪽부터)수성, 금성, 지구, 화성의 크기 비율.

큐브샛(cubesat)은 크기가 수십 cm 단위인 작은 위성을 말한다. 가로, 세로, 높이가 10cm인 정육면체(1U)가 크기를 판별하는 단위다. 1999년에 미국 스탠퍼드대에서 대학원생의 수업용으로 고안된 뒤 2003년 처음으로 발사됐다. 큐브샛이 활용되는 범위는 다양하다. 지상을 관측하며 불법 벌목 현장을 감시하거나, 야생동물을 추적하기도 한다. 우주 탐사에서는 탐사선들의 실황을 중계하는 역할을 하기도 한다. 2018년에는 미국항공우주국(NASA)이 화성에 보낸 탐사선 '인사이트'의 화성 착륙 과정을 큐브샛이 중계했다. 올해 9월에는 소행성에 위성을 충돌시킬 예정인데, 이 과정을 큐브샛이 중계할 예정이다.

이 CI는 큐브샛의 시선을 금성을 향해 고정한 뒤 관측할 계획이다.

"탐사선은 금성 가까이에 접근하는 만큼 좁은 범위를 높은 해상도로 관측할 수 있습니다. 하지만 금성에 대해 제대로 알기 위해서는 금성 전체가 어떻게 변하고 있는지 확인하는 것도 중요합니다."

큐브샛은 이런 이 CI의 계획을 실현시킬 수단이다. 지구 대기 바깥으로 나가는 만큼, 지상에서처럼 낮과 밤을 나눌 필요가 없다. 게다가 북극과 남극을 오가는 극궤도에 올릴 경우 매 90분마다 한 번씩 관측이 가능하다. 금성을 관측하는 시간이 꾸준해지면 사진보다는 동영상에서 더 많은 정보를 얻을 수 있는 것처럼 변화를 더 세세하게 파악할 수 있다. 큐브샛을 통해 금성에서 당장 발생하는 변화를 파악하는 중요한 자료가 새롭게 생산될 것으로 기대하고 있다.

우주과학자들이 주목하는 금성

한국에서 금성은 대중적인 주목도가 떨어지는 행성이었다. 사람을 보내는데 성공한 달이나, 유인 탐사의 가능성이 보이는 화성과 달리 유인 탐사가 어렵기 때문이다. 1960년대 보낸 미국과 러시아(구 소련)의 금성 탐사선들이 보내온 자료 덕분에 금성 표면 온도가 400℃가 넘는다는 사실이 밝혀졌다. 금성의 이산화탄소 대기가 만드는 어마어마한 온실 효과 때문이다. 70−80년대에 러시아의 베네라 탐사선이 금성의 지표에 착륙했다. 특히 베네라 13호는 2시간 가량 지표에서 미션을 수행했다. 이러한 탐사 활동을 통해 우리는 금성 지표가 메말

큐브샛 만이 관측 할 수있는 자료로 미확인 흡수체의 변화를 추적한다

랐다는 사실을 알게 됐다.

그러나 최근 금성의 새로운 모습들이 포착되면서 새롭게 관심을 받고 있다. 금성 구름의 주 성분은 황산으로 알려져 있는데, 이 구름 상층에 정체를 알 수 없는 흡수물질(미확인 흡수체)이 있다. 이 미확인 물질은 근자외선부터 가시광의 일부(파란색)까지 흡수한다. 첫 관측은 이미 한 세기 전에 이뤄졌고, 현재까지 여러가지 추정물질이 후보로 제안됐다.

"태양 에너지(자외선)를 흡수하는 양이 달라지면, 금성 대기 순환이 변할 수밖에 없습니다. 태양 에너지와 대기 순환은 기후와 관련이 크므로, 이는 금성에도 기후 변화가 있다는 가능성을 말합니다."

지구의 기후 변화는 태양 에너지에 의해 일어난다. 태양 에너지를 많이 받는 곳에서는 상승 기류가, 적게 받는 곳에서는 하강 기류가 만들어지면서 전 지구를 순환하는 대기 대순환이 만들어진다. 이때 태양 에너지가 얼마나 흡수되고, 반사되는지는 지구의 상황에 따라 달라진다. 예를 들어 구름층이 두껍다면 태양 에너지를 많이 반사하기 마련이다.

그렇다면 항상 두터운 구름으로 덮여있는 금성은 어떨까. 과학자들은 금성 상층에 있는 미확인 흡수체를 주목하고 있다.

"미확인 흡수체의 양에 따라 태양 복사 에너지 반사율이 조금씩 변합니다. 금성을 관측할 때 어두운 부분은 미확인 흡수체가 자외선을 많이 흡수하는 부분이고, 밝은 부분은 반사를 많이 하는 부분이지요. 미확인 흡수체의 정체가 무엇인지, 왜 이런 일이 일어나는지 풀어나가는 것이 숙제입니다."

아직 알아낼 것이 많은 만큼 세계 각국에서도 금성에 탐사선을 보내는 계획을 속속 발표하고 있다. 지난해 ESA와 NASA는 금성에 탐사선을 보낼 것을 확정했다. ESA는 '인비전(EnVision)'을, NASA는 '다빈치(DAVINCI)+'와 '베리타스(Veritas)'를 보낸다. 러시아는 1984년 종료된 베네라 계획을 잇는 베네라-D 계획을 발표했다. 인도는 슈크라얀 1호(Shukrayaan)라 이

름붙인 금성 탐사선을 발사하기 위해 준비 중이다. 이 CI는 이들과 함께 IBS에서 큐브샛을 이용해 금성 전체를 꾸준히 관측하는 일을 준비한다.

"탐사선이 금성 가까이에서 관측할 때 동시에 지구에서 금성 전체를 관측해 금성의 변화를 좀더 밀도 있게 관측할 계획입니다."

이제 막 연구단이 꾸려진 만큼 앞으로 할 일은 많다. 우선은 손발을 맞출 팀원을 꾸려야 한다.

"한국에서도 우주 과학을 함께 연구할 의욕있는 팀원을 찾고 있어요. 큐브샛을 함께 개발할 스타트업도 찾고 있고요. 할 일이 정말 많네요."

이 CI는 좋은 팀원을 찾기 위해서 국내외 연구소 뿐만 아니라 대학이라도 직접 찾아갈 의향이 있다고 말했다. ibs

1) Long-term variations of Venus' 365-nm albedo observed by Venus Express, Akatsuki, MESSENGER, and Hubble Space Telescope(Astronomical Journal, 2019) 2) 겉보기 등급

글 정민경 한국바이러스기초연구소 바이러스 면역 연구센터 연구위원〈mkjung@ibs.re.kr〉

IBS 한국바이러스기초연구소 출범 1주년,

바이러스 기초연구가 필요한 이유

2020년 3월, 팬데믹으로 선언된 '코로나바이러스감염증-19(이하 코로나19)'는 2년이 지난 현재까지 전 세계적으로 상황이 급변해왔다. 이런 상황에서 관련 연구자에게 가장 중요했던 2가지 키워드를 꼽으라면, 첫째는 빠른 백신 개발과 보급, 둘째는 다양한 변이주 출현과 이로 인한 돌파 감염이다.

한국바이러스기초연구소는 최영기 한국바이러스기초연구소장(신변종 바이러스 연구센터장 겸임, 왼쪽)과 신의철 바이러스 면역연구센터장(오른쪽)이 이끌고 있다.

이서연

지난 2년 동안 우리나라는 철저한 방역 체계를 세우고, 높은 백신 접종률을 달성하며 코로나19를 대응했다. 하지만 지난해 말부터 등장한 오미크론 변이주 출현으로 돌파 감염 대유행 시기를 겪었다. 코로나19 팬데믹 상황은 빠르게 변화했고, 알파, 베타, 감마, 델타, 람다 등 연이은 변이주의 출현에 우리는 당황했다. 특히 2021년 11월 처음 보고된 '오미크론'은 이전 변이주보다 훨씬 더 많은 돌연변이가 존재했고, 차원이 다른 엄청난 전파력을 보였다. 국내에서도 2022년 3월 하루 확진자가 60만 명이 넘었고, 코로나19 백신 접종자도 확진 사례(돌파 감염)가 많아지면서 백신 효과에 대한 의심의 목소리가 커졌다.

이러한 위기 속에서 우리는 '사회적 거리두기'와 같은 표면적인 대응만으로는 팬데믹을 이겨내기가 어렵다는 사실을 확인했다. 분명 '바이러스와 이에 대한 면역연구'가 뒷받침돼야 코로나19 돌파 감염 사례로부터 근본적인 대응이 가능하다는 것을 알 수 있었다.

사실 이번 코로나19 팬데믹에 재빠르게 대응할 수 있었던 것도 앞서 수행된 기초연구 성과가 있어 가능했다. 2003년 사스(SARS), 2015년 메르스(MERS)를 경험했기에 코로나19를 빨리 이해할 수 있었다. 그리고 코로나19 백신 중 가장 널리 보급된 mRNA 백신이 활약할 수 있었던 이유는, 항바이러스제를 넘어 항암 치료 등을 목적으로 이미 연구가 진행 중이었기 때문이다.

이렇게 앞서 수행된 기초연구와 mRNA 백신 기술 개발 덕분에 코로나바이러스에 대한 빠른 이해가 가능했고, 신속하게 코로나19에 대응할 수 있는 백신을 개발할 수 있었다. 다만 이런 개발에서 국내 연구팀의 기여가 부족했던 것은 아쉬운 점이다. 이에 우리 정부는 신변종 바이러스 대응에서 기초연구의 필요성을 절감하고 바이러스 원천 지식을 탐구하는 전문기관 설립을 추진해 2021년 7월 '한국바이러스기초연구소(이하 바이러스연, 소장 최영기)'를 개소했다.

바이러스연 연구진은 재빠르게 관련 연구에 착수하고, 그 결과 백신 접종으로 생성된 기억 T세포가 코로나19 초기형 바이러스는 물론 오미크론 변이주에 대해서도 강한 면역반응을 보인다는 것을 확인했다. 이는 백신 접종자가 돌파 감염이 되더라도 중증으로는 진행되지 않는 면역 원리를 밝힌 것으로, 연구소가 개소한 뒤 1년도 되지 않아 발표한 의미 있는 연구 결과다. 이 밖에도 바이러스연은 바이러스 기초연구에서 다양한 성과를 발표했다. 이는 넥스트 팬데믹 준비에 바이러스연이 국내 바이러스 관련 연구 협력체의 구심점 역할을 하며 연구 성과를 보이는 데 중요한 기여를 할 수 있다는 점을 시사한다.

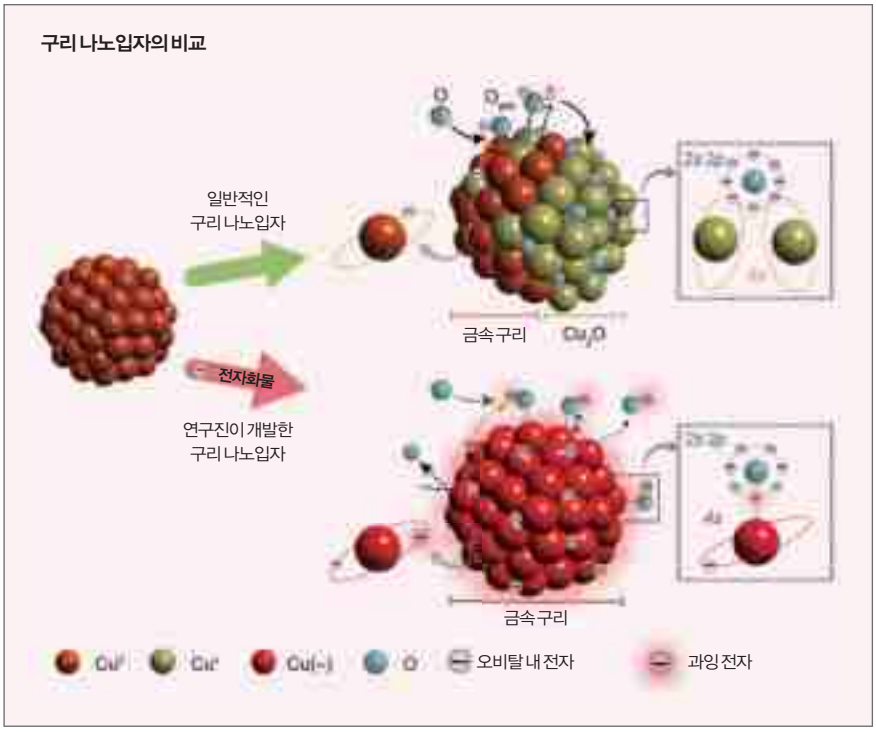
여기서 끝이 아니다, 넥스트 팬데믹을 준비하는 자세

아직은 코로나19의 종식을 말하긴 이르다. 가까운 미래에 오미크론 변이주보다 더 강한 전파력을 가진 변이주가 출현할 가능성도 있다. 인류는 코로나19와 공존하되, 이를 관리할 수 있는 역량을 갖춰야 한다. 뿐만 아니라 지금까지 보지 못했던 신종 바이러스가 언제 또 출현할지 아무도 모른다. 그렇기에 미래에 발생할 가능성이 있는 신변종 바이러스에 현명하게 대비하는 자세가 필요하다.

바이러스연 출범 1주년을 맞아, 연구소가 바이러스 기초 원천 역량을 확보해 국가 감염병 안보에 공헌하고 나아가 글로벌 보건에도 기여하는 핵심 허브가 되기를 소망해 본다. ibs

나노구조물리 연구단

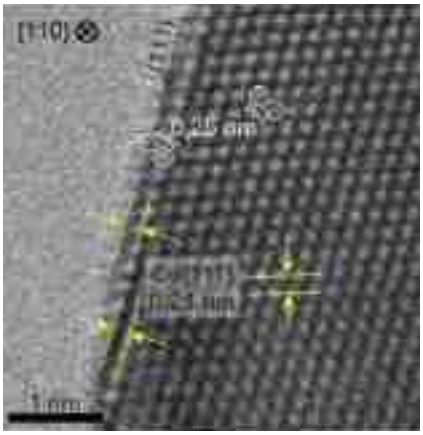
공기 중에서 '절대' 녹슬지 않는 구리 나노입자 개발



일반 구리 나노입자가 산화되는 과정(위)과 표면에 축적된 전자를 지닌 구리 나노입자의 비산화 과정(아래)을 비교한 모습.

금속은 보통 공기 중에 노출되면 산화되면서 녹이 생긴다. 이는 표면에서 금속 원자와 공기 중의 산소 원자가 결합하면서 발생하는 자연적인 현상이다. 금속이 산화되면 금속의 성질을 잃게 되고 심할 경우 사용할 수 없게 되므로 금속 표면 도금법과 음극방식법*을 이용해서 금속 산화 방지에 큰 노력을 기울여왔다. 최근까지 소재, 촉매, 센싱 등 다양한 분야에서 금속 나노입자를 폭넓게 활용하고 있었지만 그동안 산화 현상을 완벽하게 막는 기술은 없었다.

IBS 나노구조물리 연구단(단장 이영희) 김성웅 연구위원(성균관대 에너지과학과 교수)은 어떠한 표면 처리 없이 공기 중에서 전혀 산화되지 않는 구리 나노입자를 개발했다. 구리 나노입자는 금속 나노입자 중 활용도가 가장 높으나 쉽게 산화되는



공기 중에 노출된 구리 나노입자 표면의 투과전자현미경 이미지.

단점이 있다. 연구진은 단점을 극복하고 구리 나노입자의 활용도를 높이기 위해 수년 동안 연구한 신소재 '전자화물'에 주목했다. 고농도의 전자를 포함하고 있는 전자화물 위에 구리 나노입자를 형성시키면, 다량의 전자가 전자화물에서 구리 나노입자로 전달돼 구리 나노입자의 표면에 과잉의 전자가 축적된다. 나노입자의 표면에 축적된 과잉의 전자만 공기 중의 산소와 반응해 구리 나노입자는 산화가 일어나지 않는다는 것을 관찰했다. 무엇보다도 구리 나노입자를 수개월 이상 공기 중에 노출시켜도 전혀 산화되지 않고 구리의 금속성을 지속적으로 유지하는 것을 확인했다. 이러한 현상을 응용해 산화되지 않는 은 나노입자 합성에 성공했다.

나아가 공기 중에서 산화되지 않는 구리 나노입자를 대량생산 할 수 있는 용액공정도 개발했다. 구리 금속 이온이 녹아있는 액체에 전자화물을 넣고 반응시키면 공기 중에서 산화되지 않는 다량의 구리 나노입자를 손쉽게 생산할 수 있다. 이러한 전자화물을 활용한 용액공정은 다른 금속 나노입자 합성에도 적용 가능하며, 표면 개질이 필요 없는 금속 나노입자 생산과 기술 응용에 자주 이용될 것으로 기대된다.

연구를 이끈 김 연구위원은 "구리 나노입자를 이종물질 코팅과 같은 표면처리도 없이 공기 중에 장시간 노출시켜도 산화되지 않는다는 것은 기존 상식을 깨는 현상"이라고 설명했다. 이번 연구 결과는 구리 나노입자를 포함 금속 나노소재 합성 및 응용연구에 새로운 장을 열 예정이다. 특히 구리는 항균 · 항바이러스 기능이 있어 항균필름, 마스크 등에 활용되지만 장시간 노출되면 기능이 저하되는 문제가 있었다. 하지만 이번에 개발한 구리 나노입자는 기존의 우수한 살균능력을 지속할 수 있어 K-방역에 크게 기여할 전망이다.

이번 연구는 기존의 금속 산화 반응의 개념을 다시 쓴 연구로 나노입자가 사용되는 전 분야에서의 활용을 뛰어넘어 새로운 응용 기술개발을 이끌 것으로 보인다. 특히 2차전지의 중요한 부품인 동박과 알루미늄박 생산에 이번 기술을 활용하면 금속성은 유지하되, 더 얇은 소재를 만들 수 있어 국가 경쟁력을 한층 더 높일 것으로 기대된다. 이번 연구는 나노 분야 권위지인 네이쳐 나노테크놀로지(Nature Nano-technology)에 2월 11일 게재됐다.

음극방식법*

부식으로 생긴 금속 표면에서 전류가 새지 않도록 금속체에 낮은 음극의 전류를 가하는 방식을 말한다.

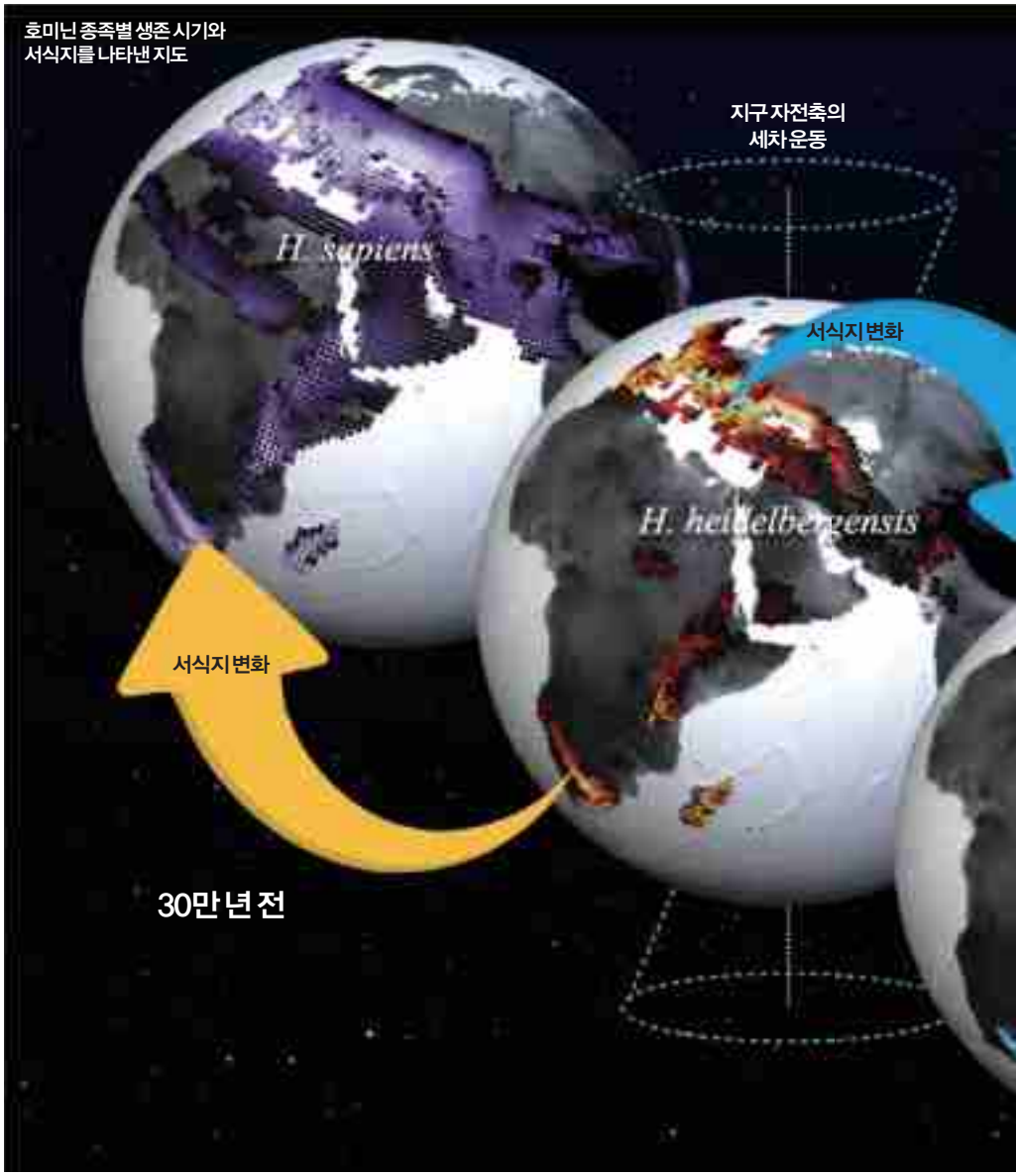
기후물리 연구단

기후모델과 고고학자료로 인간진화의 수수께끼 해결

IBS 기후물리 연구단이 독일, 스위스 연구진과 함께 기후 변화와 인류 진화 사이의 연관성을 규명했다. 이번 성과는 IBS가 보유한 슈퍼컴퓨터 '알레프(Aleph)'를 활용해 얻었으며, 이 연구 결과는 4월 11일, 세계 최고 권위의 학술지인 네이처(Nature)에 게재됐다.

기후 변화가 인류 진화에 영향을 준다는 것은 화석과 고고학적 증거들을 통해 제시돼 왔다. 하지만 인류화석 유적지 근처의 기후와 관련된 자료가 부족해 기후 변화의 영향을 명확히 규명하는 것은 오랜 난제로 남아있었다. 이 난제를 해결하기 위해 기후물리연구단은 기후모델링, 인류학, 생태학 전문가 연구진을 구성하고 다각적인 측면에서 기후 변화가 인류 진화에 미치는 영향을 규명했다.

연구단은 대륙 빙하와 온실가스 농도, '천문학적 변동*'을 강제력*으로 이용해 기후모델링을 수행했으며, 이를 통해 과거



새로운 고기후모델 시뮬레이션과 화석, 고고학 자료를 종합해 계산한 호모 사피엔스(왼쪽 보라색 음영), 호모 하이델베르겐시스(가운데 빨간색 음영), 호모 네안데르탈렌시스(오른쪽 파란색 음영)의 선호 서식지이다. 색이 옅을수록 서식 가능성이 높다는 뜻이다. 그림에서 확인할 수 있는 날짜(1ka=1950년 기준으로 1000년 전)는 연구에 사용된 가장 최근의 화석과 가장 오래된 화석의 나이를 나타낸다.

200만 년의 기온과 강수량 등의 기후 자료를 생성했다.

연구단은 공동 연구를 통해 과거 200만 년 동안 아프리카, 유럽, 아시아 3200개 지점의 인류화석과 고고학적 표본을 포함해 인류 역사에 대한 가장 포괄적인 편집본을 만들었다. 기후 자료와 식생, 화석, 고고학 자료를 결합해 현대 인류의 조상인 '호미닌*'종이 시대별로 살았던 서식지를 추정할 수 있는 시공간 지도를 완성했다.

연구진은 지난 200만 년 동안 변화하는 기후와 식량 자원에 인류가 어떻게 적응해 왔는지를 설명했다. 200만~100만 년 전 초기 아프리카 인류는 안정적인 기후 조건을 선호해 특정 지역에만 서식했다. 하지만, 80만 년 전의 '큰 기후 변화*'가 있은 뒤로 호미닌 종의 하나인 '호모 하이델베르겐시스'는 더 다양한 범위의 식량 자원에 적응했다. 덕분에 하이델베르겐시스 종은 유럽과 동아시아의 먼 지역까지 도달할 수 있었다.

또 연구진은 같은 서식지 내에 살던 서로 다른 5가지 호미닌 종 집단의 족보를 도출했다. 이로써 현대 인류인 '호모 사피엔스'가 30만 년 전 아프리카 개체군인 '후기 호모 하이델베르겐시스'로부터 유래하였음을 추정했다.

이번 연구로 재구성한 기후 기반 혈통은 유전자 정보나 인간 화석의 형태학적 차이 분석에서 얻은 최근의 추정치와 매우 유사한 결과다. 본 연구는 인간 기원에 대한 근본적인 의문을 해결하기 위해 고기후모델 시뮬레이션 자료를 활용함이 의의가 있다.

특히 IBS 윤경숙 연구위원은 슈퍼컴퓨터 알레프(Aleph)를 통해 역대 가장 긴 기후모델* 시뮬레이션을 완료했다. 이는 지난 200만 년의 지구 환경 역사를 다루는 최첨단 기후모델 시뮬레이션이다. 대륙 빙하의 증감, 과거 온실가스의 농도 변화, 천문학적 변동에 따른 기후 반응과 약 100–80만 년 전 발생한 빙하기–간빙기 주기의 뚜렷한 기후 변화를 연속적으로 담아낸다.

이번 연구를 이끈 악셀 팀머만 단장은 "이번 연구로 기후가 우리 호모 종의 진화에 근본적인 역할을 했다는 것을 증명했다"며, "현재 인류가 지금 우리 모습인 이유는 인류가 과거 기후의 느린 변화에 수천 년 이상 적응해 왔기 때문"이라고 연구 의미를 밝혔다.

천문학적 변동*

밀란코비치 이론에 의해 지구의 자전축과 공전궤도 변화로 지구가 받는 태양에너지의 양을 변화시켜 기후 변화를 일으키는 현상을 말한다.
1) 세차 운동: 지구 자전축의 흔들림은 약 2만 1000년 주기로 변동.
2) 자전축 기울기 변화: 기울어짐은 약 22°~24.5° 사이를 오가며, 약 4만 1000년 주기로 변화.
3) 공전궤도 이심률 변화: 타원 궤도의 형태 변화는 약 10만 년과 40만 년 주기로 변동함.

강제력*

기후 변화를 일으키는 요인들의 영향력을 뜻한다.

호미닌*

인간의 조상으로 분류되는 종족 중 하나다. 본 연구에서는 크게 5개의 그룹으로 나눴다. (1) 호모 사피엔스, (2) 호모 네안데르탈렌시스, (3) 호모 하이델베르겐시스, (4) 호모 에렉터스, (5) 호모 에르가스테르와 호모 하빌리스

큰 기후 변화*

약 100–80만 년 전후를 기점으로 빙하기–간빙기의 주기가 약 4만 1000년에서 10만 년 주기로 바뀌며 더 춥고 오래 지속되는 빙하기를 발생시켰던 기후 변화를 말한다.

역대 가장 긴 기후모델*

이 시스템을 활용하면, 대기–해양–해빙–지면 과정을 결합한 전 지구 기후 시스템 모델로 여러 가지 지구계의 특징을 포괄적으로 시뮬레이션할 수 있다.

유전체 교정 연구단

인간 미토콘드리아 DNA의 아데닌 염기교정 기술 최초 개발

IBS 유전체 교정 연구단은 세계 최초로 미토콘드리아 DNA의 아데닌(A) 염기 교정 도구인 'TALED(Transcription Activator-Like Effector-linked Deaminase)'를 개발*했다.

미토콘드리아* DNA에 변이가 일어나면 5000명 중 한 명꼴로 발생하는 심각한 유전질환뿐 아니라 암 · 당뇨병 · 노화 관련 질환을 일으킬 수 있다. 병원성 미토콘드리아 DNA의 돌연변이 95개 중 90개는 DNA 염기 하나가 변이된 '점 돌연변이'다. 점 돌연변이를 원래의 염기로 교정하면 대부분의 병원성 미토콘드리아 유전질환을 치료할 수 있다. 그러나 최근까지 미토콘드리아 DNA 교정은 불가했다. 2020년 미토콘드리아 DNA의 시토신(C) 염기를 티민(T)으로 교정하는 기술이 개발됐지만, 점 돌연변이 9개(10%)만 고칠 수 있다는 한계가 있었다.

IBS 연구진은 미토콘드리아에서 아데닌(A) 염기를 교정하는 기술을 최초로 개발했다. 이는 점 돌연변이 39개(43%)를 고칠 수 있어, 미토콘드리아 DNA의 표적 범위를 늘렸다.

1저자인 조성익 연구원은 세균에서 유래한 'DddA 시토신 탈아미노 효소'에 주목했다. 기존의 탈아미노 효소는 DNA 단일 가닥에 작동하는 반면 DddA는 이중가닥에 작동한다. 연구진은 DddA가 DNA 이중가닥을 일시적으로 풀어 탈아미노효소를 DNA 이중 가닥에 접근할 수 있게 하리라는 가설을 세웠다. 이에 DddA와 아데닌 탈아미노 효소(TadA 8e)를 융합한 염기교정 기술인 TALED를 제작했다. TALED를 인간 미토콘드리아 DNA에 적용한 실험 결과, 아데닌이 탈아민화되며 구아닌으로 치환됐다. 인간 미토콘드리아 DNA의 아데닌 염기 교정에 최초로 성공한 것이다.

나아가 시토신 탈아민화 효율을 높이는 UGI(Uracil-DNA glycosylase inhibitor) 단백질을 TALED에 융합하면 시토신과 아데닌의 염기 교정을 동시에 일으킬 수 있음을 확인했다. UGI가 없으면 시토신 염기교정은 일어나지 않고 아데닌 염기만 교정됐다. 시토신과 아데닌의 동시 교정은 원하는 유전자의 무작위 돌연변이 유발에, 아데닌 염기의 선택적 교정은 질병 치료 또는 질병 모델 제작에 사용될 수 있다. 미토콘드리아 DNA를 교정하는 유용한 도구 2가지를 개발했다. 연구진은 총 17개의 미토콘드리아 DNA 내 표적 염기서열에 대해 TALED를 만들어 검증했으며, 최대 49%에 달하는 높은 아데닌 교정 효율을 보여줬다.

교신저자인 김진수 전 단장은 "마땅한 치료법이 없었던 미토콘드리아 유전질환의 근본적인 해결책을 제시했다"고 전했다. 이번 연구는 미토콘드리아 유전질환 연구와 치료제 개발, 바이오제 약 · 생명공학 · 농림수산업 · 환경 산업에도 폭넓게 기여할 것으로 기대된다.

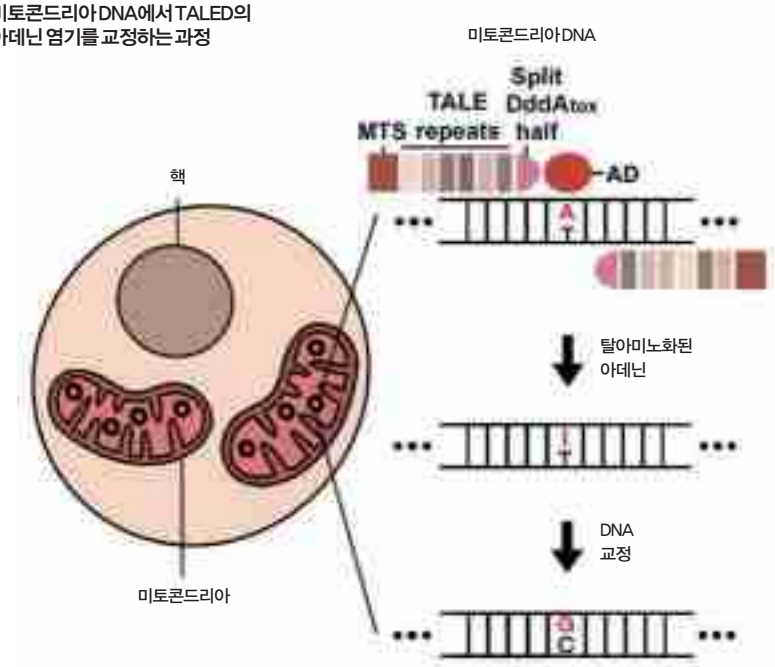
이번 연구 결과*

지난 4월 26일, 생물학 분야의 권위 있는 학술지인 셀(Cell, IF 41.582)에 게재됐다.

미토콘드리아*

에너지를 만들어내는 세포 내 소기관이다.

미토콘드리아 DNA에서 TALED의 아데닌 염기를 교정하는 과정



미토콘드리아 내부로 전달된 TALED가 아데닌(A)의 탈아민화 반응을 일으켜 이노신(I)으로 바꾼다. 이후 DNA 수선 과정 또는 복제 과정을 거쳐 최종적으로 구아닌(G)으로 치환한다.

나노입자 연구단

늘리거나 구부려도 빛 감지 능력 뛰어난 신축성 나노소자 개발

인공망막*

인간의 망막 기능과 형태를 모사한 기기다. 외부에서 들어온 빛을 전기신호로 바꾸어 뇌에 전달하는 역할을 한다.

유기 반도체성 고분자*

원자들이 단일/이중결합을 번갈아 형성해서, 전자가 이동 가능한 반도체 특성을 띄는 고분자를 말한다.

능동형 매트릭스*

각 픽셀이 포토트랜지스터로 작동하는 배열 구조(어레이)를 말한다.

포토트랜지스터*

빛 에너지를 전기 에너지로 변환하는 광센서다.

머신러닝(Machine learning)*

인간의 학습 능력과 같은 기능을 컴퓨터에서 실현하고자 하는 기술을 말한다.

IBS 나노입자 연구단 손동희 객원연구원, 김대형 부연구단장, 현택환 연구단장 공동 연구팀은 다양한 형태로 변형해도 가시광선 영역의 빛을 정밀하게 감지 가능한 신축성 나노소자를 개발했다. 이 연구는 앞으로 인공망막* 구현, 신축성 광전자 소자 개발 등에 응용될 것으로 기대된다.

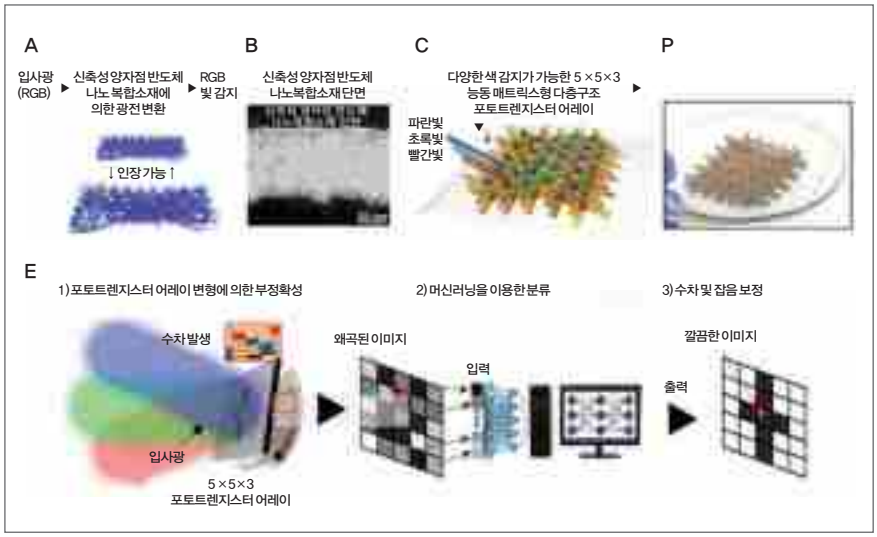
사람의 눈은 곡률 변화에도 다양한 파장대의 빛을 어떠한 시력 저하 없이 정밀하게 감지할 수 있지만, 전자소자는 형태가 변화하면 빛 감지 능력이 떨어진다. 연구진은 인체 눈의 기능성을 모사하기 위해, 양자점(자체적으로 빛을 내는 나노미터의 반도체 입자), 유기 반도체성 고분자*, 고무처럼 탄성력이 있는 탄성중합체를 최적의 비율로 합성해 고신축성 반도체 양자점 나노복합소재를 개발했다. 이러한 소재 기반으로 제작된 능동형 매트릭스* 다층구조 포토트랜지스터* 어레이(배열구조)에 머신러닝기법*을 적용해 형태가 변해도 다양한 빛을 정확하게 감지할 수 있도록 했다.

연구진은 나노복합소재에서 나타난 탄성중합체 내의 양자점과 유기 반도체 소재 간의 상분리 현상에 주목했다. 소재가 늘어나면 양자점의 간격이 벌어지며 전기적 성능이 떨어지지만, 유기 반도체 소재가 이 간극을 메꿔 소재가 늘어나도 빛을 전기로 안정적으로 변환할 수 있게 했다. 나아가 머신러닝기법을 적용해 신축성 전자소자가 갖는 물성적 한계를 보완하며 광전기적 성능 안정성을 높였다. 신축성 전자소자의 전기적 성능은 끊임없는 외부 변형에도 일정하게 유지돼야 한다. 하지만 고무 소재는 늘렸을 때 처음처럼 완벽하게 복원이 불가능하므로, 전기적 성능이 점차적으로 저하되는 한계가 있다. 이를 극복하기 위해 연구진은 서로 다른 빛 감응성을 지닌 포토트랜지스터 어레이를 다층구조로 적층시켜, 물리적 변형을 가하면서 다양한 파장대의 빛을 감지시켰다. 이때 발생한 전기적 성능 저하를 머신러닝기법으로 정확도를 높였다.

이번에 개발한 포토트랜지스터 어레이를 구성하는 모든 소재는 반도체 공정에서 호환가능하고, 소자 집적도(1개의 반도체 집에 구성된 소자의 수)를 크게 높일 수 있어 의미가 크다. 또 이번에 개발한 소자는 구부리거나 늘려도 높은 해상도로 빛을 감지할 수 있어서, 특히 고해상도가 요구되는 광각 카메라나 인공 망막 기술의 핵심 소자로 응용될 것으로 기대된다. 고신축성 광전소재 · 소자 제작 기술과 머신러닝 기법 간의 융합으로 인공 망막 구현에 중요한 열쇠가 될 전망이다.

현택환 단장은 "개발된 나노 합성물 제작 방법은 광학 소재뿐만 여러 종류의 나노소재들과 고분자, 탄성중합체를 조합할 수 있어 고기능성 신축성 나노소재 제작에 다양하게 응용될 수 있다"고 말했다.

이번 연구성과는 7월 8일, 나노분야 최고 권위의 학술지 네이처 나노테크놀로지(Nature Nanotechnology) 온라인에 게재됐다.



연구진은 최적의 비율로 고신축성 반도체성 양자점 나노복합소재를 제작했다. 특히 형태가 변형돼도 안정적인 빛 감지 성능을 유지하는 원리를 입증했다.

첨단연성물질 연구단

피 한 방울로 암 진단 가능한 바이오센서 개발

IBS 첨단연성물질 연구단 조윤경 그룹리더(UNIST 바이오메디컬 공학과 교수) 연구진은 혈액 · 소변을 이용해 암과 같은 질병을 현장에서 바로 진단할 수 있는 다공성 금 나노전극 기반 바이오센서를 개발했다. 연구진은 이번에 개발한 바이오센서로 전립선암 진단에 성공했고 이 기술은 앞으로 병원체와 기타 질병 진단 분야에서 활용 가능할 것으로 기대된다.

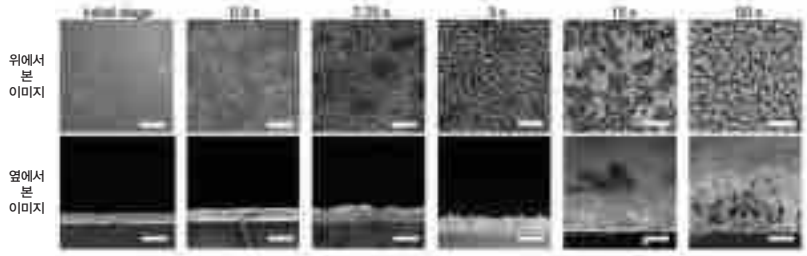
소변 · 혈액 생체시료에는 건강 상태를 알려주는 바이오마커가 포함돼 있어 이를 분석하면 질병 여부를 알 수 있다. 정확한 진단을 위해서는 질병과 관련이 있는 바이오마커를 분리해서 정제해야 하나 현재는 대형 의료시설이나 실험실에서 샘플 분석이 가능해 시간과 비용이 많이 소요된다.

특히 코로나19와 같은 전염병 대유행 시기에는 동시에 수많은 샘플을 분석해야 하기에 의료 시스템이 포화 상태에 이를 수 있다.

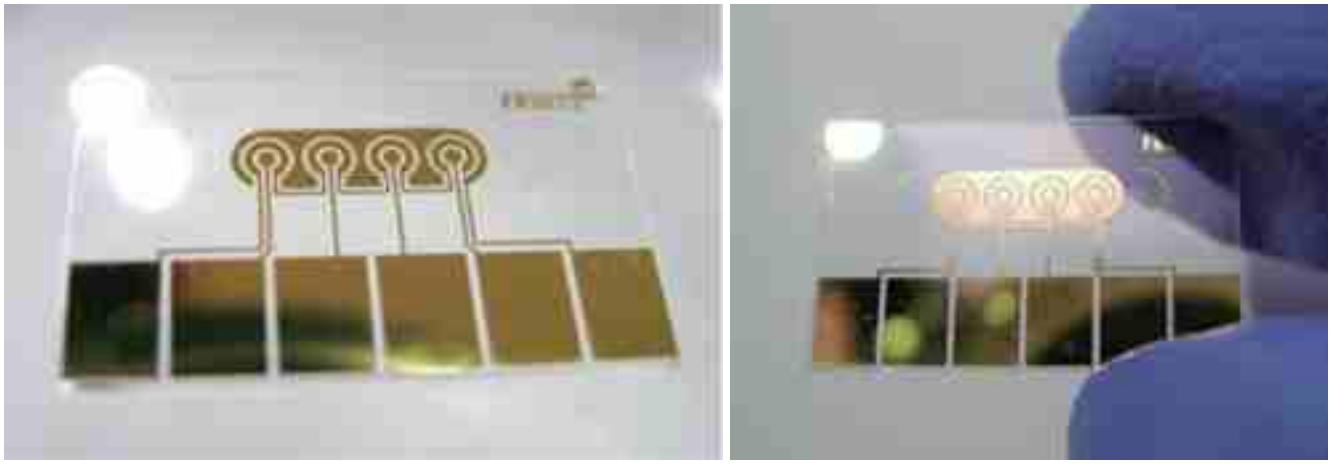
현장 진단기기는 간단하고 빠르게 진단할 수 있고 비용 측면에서 효율적이지만, 암이나 감염성 질환을 진단하기에는 기술적인 어려움이 있다. 암이나 감염성 질환 관련 바이오마커는 혈액 등 생체시료에 매우 소량만 존재해 극도로 민감한 탐지 기술이 필수적이다. 민감도를 높이기 위해선 전극의 표면적을 늘리면 되지만, 이는 오염도(전극에 단백질이 흡착되는 현상, 바이오파울링) 역시 증가시키는 문제가 있다.

연구진은 민감도와 정확도가 높은 바이오센서 제작을 위해 다공성 금 나노 전극을 개발했다. 덕분에 이를 활용해 엑소좀과 같

나노구조와 나노다공성 금 표면을 생성하는 메커니즘을 설명한 그림.



미셀을 형성하는 계면활성제와 염화나트륨 용액 속에서 금 전극에 전기 펄스(반복적인 전기 충격)를 가하면 먼저 염화물이 표면에 흡착되고, 금이 에칭(부식)돼 제거된다. 하지만 미셀에 의해 금 전극의 표면에 다시 흡착돼 다공성 금 나노구조를 성장시킨다. 주사 전자 현미경 사진은 공정 전반에 걸쳐 표면에 나노구조와 나노 기공의 형성과정을 보여준다.



이번에 개발한 다공성 금 나노전극 기반 바이오센서 실물.

은 바이오마커를 분리 정제하는 복잡한 단계를 거치지 않고도 생체시료로 현장에서 전립선 암 진단이 가능해졌다.

이번에 개발한 다공성 금 나노전극은 미셀(micelle)이 있는 염화나트륨 용액에 평평한 금 표면을 넣고 반복적인 전기를 가하는 방식이다.

미셀은 민들레씨 같은 구 형태로 머리는 물과 친하고 꼬리는 기름과 친한 막대 모양의 계면활성제가 모여있는 집합체를 말한다. 전기 펄스에 의한 전기화학적 산화환원 반응을 통해 평평한 금 전극 표면에서 금을 에칭(부식)하고, 재흡착시킴으로써 나노구조를 성장시키고 나노미터 크기의 구멍을 형성하는 반응을 유도했다. 이 과정에서 미셀은 에칭(부식)돼 떨어져 나온 금 입자가 용액 속으로 확산되는 것을 막고, 다시 금 전극 표면에 흡착되도록 하는 중요한 역할을 했다.

이런 방법으로 넓은 표면적을 만들어내 센서의 민감도를 높이는 한편, 나노미터 크기의 구멍을 형성해 샘플의 오염을 방지했다. 연구진은 이로써 소변과 혈장에서 암세포 유래 엑소좀에 붙어있는 단백질을 검출하며 전립선암 환자 그룹과 건강한 기증자 그룹을 구별했다.

조윤경 그룹리더는 "이번 기술은 현장 진단기기의 미래 기술개발에 핵심 발판을 제공할 것"이라며, "앞으로 다공성 금 나노 구조의 잠재력을 활용해 혈액 · 타액 샘플을 분석하는 진단 칩 개발 등으로 연구를 확대할 예정이다"라고 말했다.

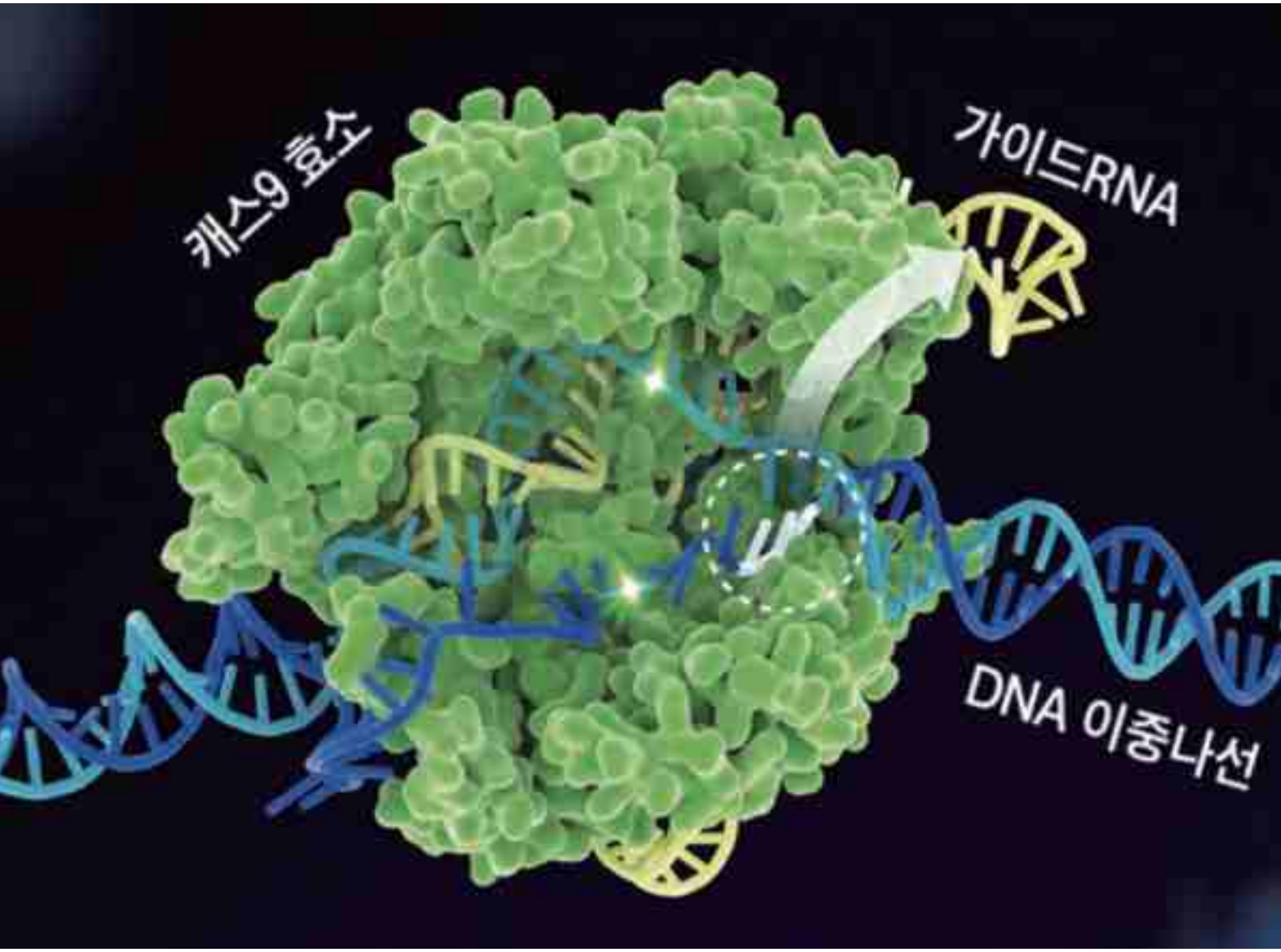
이번 연구 결과는 세계적인 권위지인 어드밴스드 머티리얼즈(Advanced Materials, IF 30.849)에 5월 17일 온라인 게재됐고, 표지 논문으로 선정됐다. ibs

글 조승우 IBS 유전체 항상성 연구단 학연연구위원(UNIST 교수)〈swcho@unist.ac.kr〉,
이영완 조선일보 과학전문기자〈ywlee@chosun.com〉

크리스퍼 유전자 가위 10년,

난치병 정복 '빅스텝' 밟았다

크리스퍼(CRISPR) 유전자 가위에서 가이드RNA(노란색)가 결합한 DNA 이중나선(파란색)을 캐스9 효소(연두색)가 잘라낸다. 잘린 DNA는 정상 유전자로 대체된다.
이 기술은 미국 UC버클리의 제니퍼 다우드나 교수가 지난 2012년 6월 29일 국제 학술지 사이언스에 박테리아에 크리스퍼 유전자 가위를 적용한 연구 결과를 발표하면서 역사가 시작됐다.
DNA에서 특정 유전자를 자유자재로 잘라내는 기술이다. 그로부터 10년, 지난 10년 동안 이런 유전자 교정을 통해 질병을 치료하고 농작물을 개량하는 다양한 연구가 진행됐다.



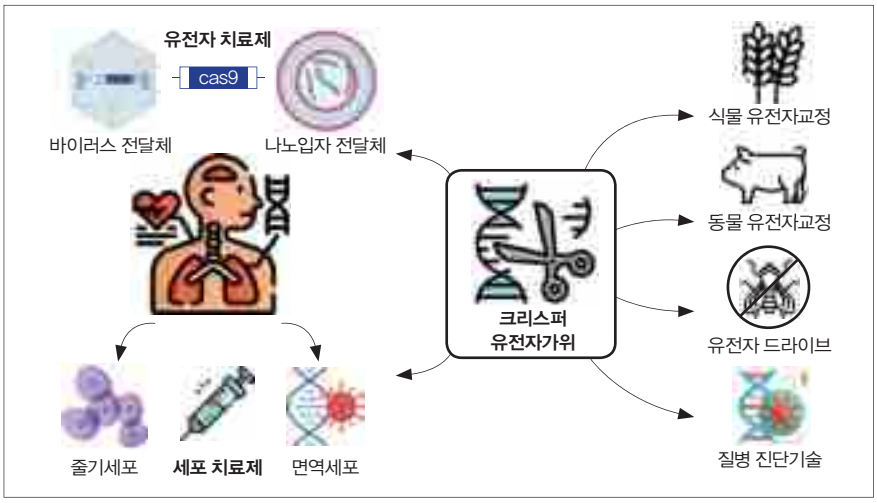
질병 치료에서 성과 잇따라

유전자 가위는 특정 DNA를 찾아가 지퍼처럼 결합하는 가이드 RNA와, 결합 부위를 잘라내는 효소 단백질인 캐스9으로 구성된다. 유전자 가위가 잘라낸 부위는 정상 유전자로 대체돼 유전 질환의 근본을 치료할 방법으로 주목받았다. 크리스퍼 유전자 가위는 박테리아에서 아이디어를 얻었다. 박테리아는 자신에게 침입한 바이러스의 유전자 일부를 표지로 갖고 있다가 나중에 같은 유전자를 가진 바이러스가 침입하면 바로 효소 단백질로 토막 낸다. 크리스퍼는 바이러스의 표지가 되는 반복적 DNA 염기 서열을 뜻한다.

제니퍼 다우드나 UC버클리대 분자세포생물학부 및 화학부 교수 에마뉘엘 샤르팡티에 독일 막스플랑크연구소 교수와 함께 크리스퍼 유전자 가위를 개발한 공로로 지난 2020년 노벨 화학상을 받았다. 샤르팡티에 교수가 스위스에 설립한 크리스퍼 세러퓨틱스는 미국 버텍스 파머슈티컬과 함께 지난 5월 난치성 빈혈 환자 75명에게 크리스퍼 유전자 가위를 적용한 임상시험에서 대부분 호전되는 성과를 거뒀다고 발표했다. 두 회사는 올해(2022년) 안으로 치료법 승인을 요청할 계획이다.

다우드나 교수가 공동 창업한 인텔리아 세러퓨틱스는 리제네론과 손상된 간 단백질이 혈액에 쌓이면서 생기는 트랜스레틴 아밀로이드증을 크리스퍼 유전자 가위로 치료했다. 크리스퍼 유전자 가위는 문제가 되는 유전자를 근본 치료하는 방식이어서 단 1회 주사로 평생 치료 효과를 볼 수 있다는 기대가 생긴다.

이 밖에 미국 빔세러퓨틱스는 콜레스테롤 저하에, 한국 툴젠은 신경 손상을 일으키는 유전 질환인 샤르코-마리-투스병에 대해 각각 임상 시험을 준비하고 있다. 툴젠은 면역세포에 암세포 탐지 능력을 부여한 차세대 면역 항암제에 크리스퍼 기술을 추가하는 임상 시험도 추진하고 있다.



코로나 진단, 농업에도 적용

크리스퍼 유전자 가위는 질병 진단에도 적용됐다. 2017년 4월 펑장 MIT 교수는 크리스퍼 유전자 가위를 이용한 핵산 기반의 진단 기술을 발표했다. 이는 코로나 진단 키트로도 개발됐다. 유전자 가위의 가이드 RNA가 코로나 바이러스의 RNA에 결합하면 효소 단백질이 형광(螢光) 입자가 붙어 있는 다른 RNA 가닥을 잘라낸다. 이러면 빛이 나와 감염을 육안으로 알 수 있다. 코로나 백신에도 활용될 수 있다. 백신에서 mRNA를 크리스퍼 효소로 바꿔주면 유전자 치료가 가능하다.

농업도 유전자 가위 혁명을 준비하고 있다. 2016년 크리스퍼 유전자 가위로 갈변을 막은 버섯이 미국에서 시판 허가를 받은 이래 다양한 농작물에 같은 기술이 적용됐다. 최근 영국에서는 유전자 가위로 하루 두 알이면 비타민D 부족을 해결할 토마토가 나왔다.

2022년 5월 영국 정부는 유전자 가위를 적용한 농작물은 유전자변형 농산물(GMO) 규제 대상이 아니라는 법안을 의회에 상정했다. 크리스퍼 기술은 GMO처럼 다른 생물의 유전자를 도입한 것이 아니라 자체 유전자를 교정했다는 논리였다. 지카바이러스, 말라리아를 퍼뜨리는 모기를 크리스퍼 기술로 박멸하는 연구도 진행됐다.

특허 분쟁, 생명 윤리 논란도 유발

크리스퍼 혁명은 이제 막 시작됐다. 인류에게 도움이 되도록 발전하려면 부작용을 최소화하는 노력이 필요하다. 가위는 잘못 쓰면 흉기가 될 수 있기 때문이다.

실제로 지난 2018년 중국 남방과기대의 허젠쿠이 교수는 당국의 허가를 받지 않은 채 에이즈에 면역을 가진 유전자 교정 아기를 태어나게 해 논란을 일으켰다. 크리스퍼 유전자 가위가 개인의 선천적 특성을 바꾸는 데 악용될 수 있다는 우려가 현실이 된 것이다.

특허 분쟁도 주목된다. UC버클리대와 MIT·하버드대의 브로드연구소는 크리스퍼 기술을 누가 먼저 인간에게 적용했는지 우선권 다툼을 벌였다. 최근 미국 특허심판원은 브로드연구소 손을 들어줬다. 여기에 툴젠이 선순위 권리자로 인정받았다. 이들의 3파전이 2023년 상반기 특허 항소심에서 어떻게 결론 날지 관심이 집중되고 있다. ibs

글 임상훈 부산대 물리학과 교수〈shlim@pusan.ac.kr〉

LHC Run 3, 다시 시작한 ALICE 실험:

극한 상태 핵물질을 찾는 새로운 여정

유럽핵입자물리연구소[1](CERN)은 2018년 말 거대강입자가속기(Large Hardron Collider, LHC)인 LHC Run 2[2]를 마무리한 뒤로, 약 3년 6개월 동안 LHC와 각 실험에 적용할 여러 개선 사항을 반영하고 정비했다. 코로나19의 영향으로 계획보다 약 1년 정도 늦춰졌지만, 지난 7월 5일 무사히 강입자 충돌 실험을 재개했다. LHC Run 3가 시작된 것이다. Run 3는 앞으로 약 3년 동안 진행될 예정이다. CERN은 LHC Run 3의 뜻깊은 시작을 온라인으로 생중계하기도 했는데, 필자는 그 생생한 현장에 직접 다녀왔다.

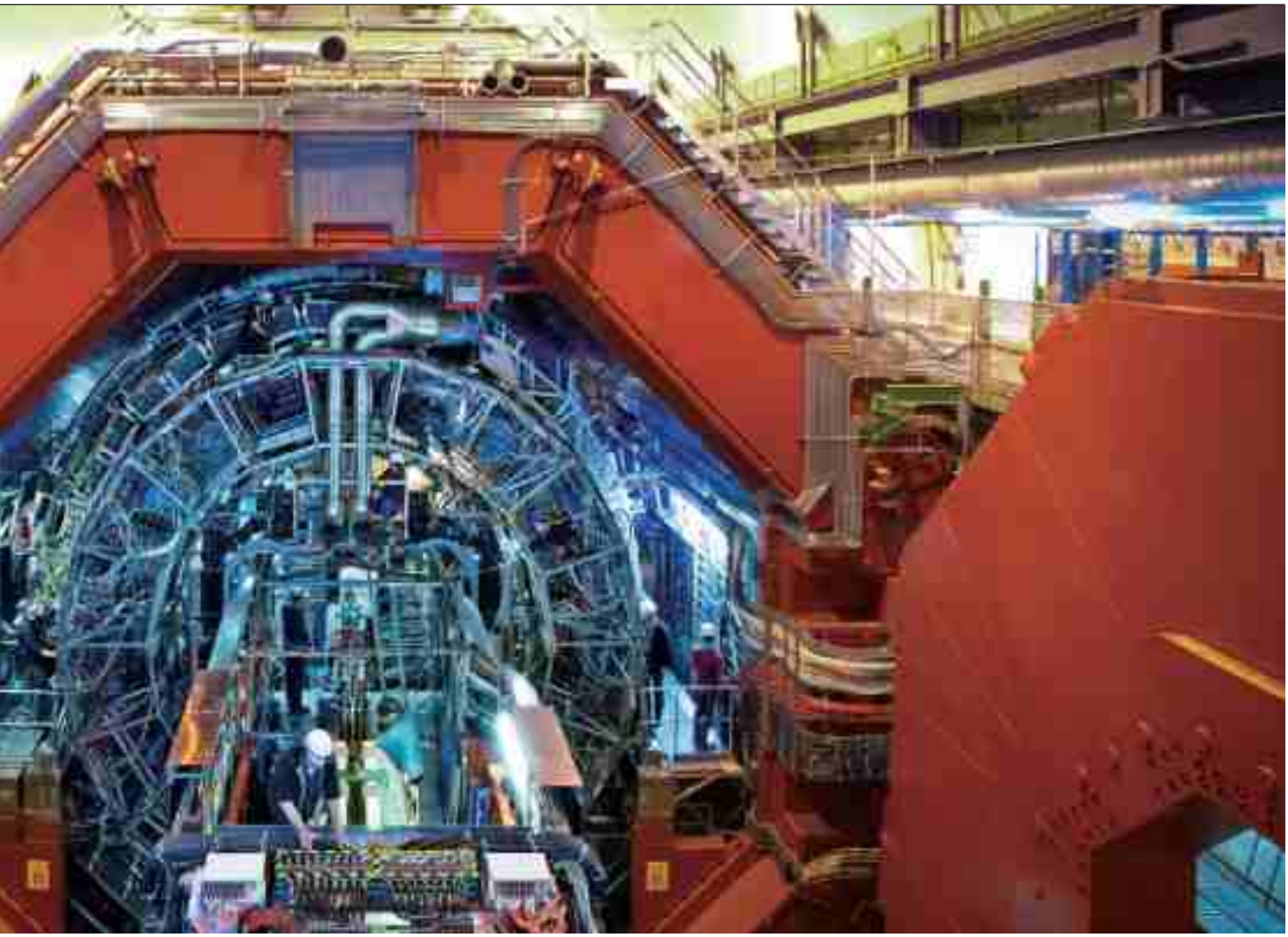
지난 10년 동안 LHC의 행보

지하 175m, 총 길이 27km 거대 터널 속에 설치된 인류 역사상 가장 거대한 실험 장치. 스위스와 프랑스 국경에 걸쳐 있는 CERN에는 세계 최대 규모의 입자가속기인 LHC가 있다. 거대한 터널에 설치된 진공관 안에서 양성자와 양성자, 양성자와 원자핵, 원자핵과 원자핵이 충돌하는 실험을 한다. 이 실험 결과로 과학자들은 우주의 기원과 진화 과정, 물질의 구성과 작동 원리를 이해하거나 여러 물리 현상을 연구할 수 있다. 각기 다른 목표를 지닌 네 개의 검출기(ATLAS, CMS, ALICE, LHCb)에서 충돌 실험을 진행하고 있고 그에 따른 결과 기록과 분석 작업도 이뤄지고 있다.

물리학계에서 집중하는 LHC의 가장 큰 목표는 두 가지로 설명할 수 있다. 하나는 '빅뱅이 발생한 뒤 100만분의 1초 사이에 어떤 일이 일어났는지 알아내는 것'으로 'ALICE 실험'이 이를 주도한다. 또 다른 하나는 LHC Run 1의 가장 큰 성과 중 하나인 '힉스 보손(boson)'을 찾아내는 것으로 'CMS'와 'ATLAS 실험'이 주도 하고 있다. '모든 물질에 질량을 부여하는 기능을 하는 신의 입자'라 불리는 힉스 입자는 표준모형에서 존재가 예측됐지만 관측되지 않았던 입자였는데, 과학자들은 그 흔적을 LHC에서 발견했다. 이 이론을 정립한 과학자들은 2013년 노벨 물리학상을 받기도 했다. 특히 올해는 LHC Run 1의 가장 큰 성과 중 하나인 힉스 입자를 발견한 지 10년째 되는 해여서 더 의미가 깊다.

이번 LHC Run 3에서 크게 개선된 사항 중 하나는 강입자 빔의 집적도를 향상시켜서 시간당 강입자 충돌 발생률을 높였다는 점이다. 이는 같은 시간 동안의 실험을 수행할 때 더 많은 강입자 충돌 데이터를 수집할 수 있다는 것을 의미하기도 한다. ATLAS와 CMS 실험의 경우에도 LHC Run 3 기간 동안 지금까지 수집한 충돌 데이터보다 더

1) CERN은 전 세계 과학자들의 협력으로 연구가 수행되는 연구소라서, 유럽핵공동연구소라고도 불린다. 2) LHC는 작동 기간에 따라 Run 1, Run 2, Run 3로 나눠 부른다. 2009년~2013년 2월까지 작동 기간을 Run 1, 2015년~2018년까지 작동 기간을 Run 2라고 부른다. Run 3는 얼마 전인 2022년 7월 5일부터 다시 시작됐다.



CERN

많은 데이터를 수집할 것으로 예상한다. 이는 힉스 입자의 단순한 발견을 넘어서 힉스 입자와 관련된 더 자세한 연구를 가능케 한다. 또한 많은 데이터를 바탕으로 여러 실험 결과의 정밀도가 크게 높이고, 표준모형을 바탕으로 한 이론과의 비교를 더욱 세밀하게 할 수 있을 것으로 기대한다.

또 다른 눈에 띄는 개선 사항은 양성자와 양성자 충돌의 에너지가 기존의 13 TeV에서 13.6 TeV로 약 4.5% 정도 증가했다. 이는 미세한 차이로 보일 수도 있지만, 현재 가동 중인 가속기 중에서 LHC 다음으로 높은 에너지의 충돌 실험을 수행하는 미국 브룩헤이븐국립연구소(BNL)의 상대론적중이온가속기(RHIC)에서의 양성자-양성자 충돌 에너지가 0.5 TeV인 것을 생각하면 큰 변화라고 할 수 있다.

ALICE 실험에 새 변화를 가져온 Run 3

이번 LHC의 재가동으로, CERN에서 진행하는 주요 실험인 ATLAS, CMS, ALICE, LHCb에서는 다양한 성능 개선을 이뤘다. 특히 중이온 충돌 실험을 주로 연구하는 ALICE 실험에서는 대대적인 변화가 있었다.

첫째는 ALICE 실험에서 대전 입자를 검출할 때 사용하는 TPC(Time Projection Chamber) 검출기의 데이터 수집 속도를 대폭 높여서, 같은 기간 대비 기존의 데이터 수집했던 납-납 충돌 실험 데이터보다 약 50배 많은 데이터를 수집할 수 있을 전망이다. 실제로 그동안은 1년 동안 약 1달에 가까운 시간을 투자해 중이온 충돌 실험의 데이터를 수집하곤 했다. 하지만 이번 Run 3 때는 그보다 더 많은 양의 데이터를 단 며칠 만에 수집할 수 있다.

둘째는 강입자 충돌 지점과 입자들의 궤적을 정밀하게 측정하는 검출기가 새롭게 설치됐다. 이는 ITS2(Inner Tracking System)로 강입자 충돌이 발생하는 지점에서 가장 가까운 곳에 설치돼 있다. ITS2 검출기는 높은 집적도의 실리콘 반도체 센서를 기반으로 한다. 7개의 층으로 구성돼 있으며, 전체 검출기의 표면적은 약 $10m^2$으로, 픽셀 125억 개로 이뤄져 있다. 픽셀 하나 크기가 $29\times27um^2$로, $15\times30mm^2$ 크기

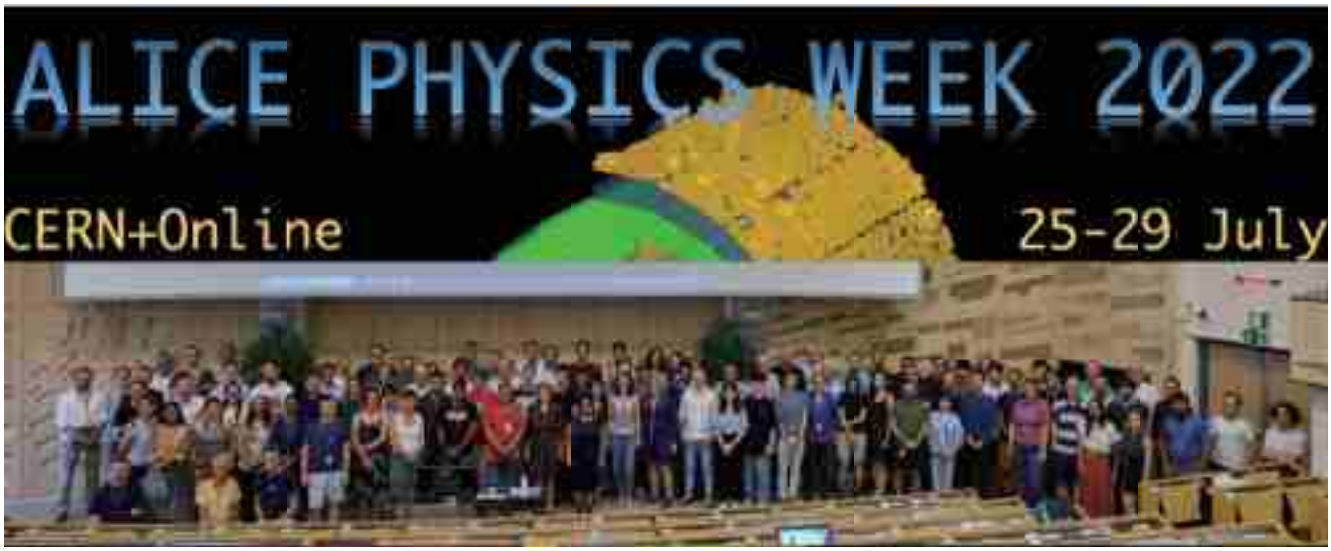
센서 칩이 50만(1024×512)개의 픽셀로 나눠져 있다. 이 고해상도 검출기를 사용해서 대전 입자가 지나간 위치를 약 5um 분해능으로 찾아낼 수 있을 전망이다. 이 실리콘 검출기의 개발과 제작에 ALICE 실험에 참여하는 국내 연구자들이 오랫동안 기여를 많이 했기에 ALICE 실험에서의 Run 3는 기대하는 바가 더욱 크다.

ALICE 실험이 새롭게 집중하는 연구 목표

ALICE 실험에서는 주로 새로운 핵물질 상태인 쿼크-글루온 플라즈마(Quark-Gluon Plasma)의 특성에 대해 연구한다. 예를 들어 H_2O 분자의 물질 상태가 온도와 압력에 따라서 고체(얼음), 액체(물), 기체(수증기) 상태로 바뀌듯 핵을 이루고 있는 양성자와 중성자 같은 강입자, 이 강입자를 이루고 있는 쿼크나 글루온 같은 기본 입자들로 이루어진 핵물질의 상태 변화와 그 특성을 연구하는 것이 바로 핵물리학 연구의 큰 목표이다. 그중에서도 쿼크나 글루온이 강입자에 속박되지 않는 상태의 물질을 쿼크-글루온 플라즈마라고 하는데, 이러한 물질 상태는 고온 고밀도의 우주 초기에 기본 입자들만 존재하던 상황과 비슷할 것으로 생각된다.

이 쿼크-글루온 플라즈마를 만들어 낼 수 있는 한 가지 방법이 고에너지 중이온 충돌 실험이다. 납핵은 208개의 핵자로 이뤄져 있는데, 두 납핵에 있는 416개의 핵자를 모두 약 2.5 TeV 에너지로 가속해서 한 지점에서 충돌을 시킨다면, 엄청난 양의 에너지가 약 100fm^2(1 fm = 10^{-15}m)의 핵 크기에 집중될 것이다. 이 고온 고밀도의 물질에서는 쿼크나 글루온이 강입자에 속박되지 않은 상태로 일부 동안 존재할 것이며, 그 뒤로 충돌계가 팽창하며 밀도와 온도가 낮아지면서 강입자들이 생성된다. 이러한 중이온 충돌 과정을 미니 빅뱅이라고 일컫기도 한다.

쿼크-글루온 플라즈마의 특성을 연구하는 기본적인 방법으로는 충돌 이후 생성된 강입자들을 측정하는 것이다. 강입자들의 운동량과 수를 통해서 충돌계의 전체 에너지를 계산할 수 있고, 이를 통해 어떠한 에너지 밀도나 온도의 물질을 생성했었는지도 알아볼 수 있다. 하지만 이러한 방법은 쿼크-글루온 플라즈마의 거시적인 특성에 대한 정보는 주지만, 물질 내부의 미시적인 특성에 대한 구체적인 정보는 주지 못한다. 이러한 연구를 위해서는 마치 전자 현미경으로 물질의 세부 구조를 탐색하는 듯한 과정이 필요한데, 쿼크-글루온 플라즈마와 같이 짧은 순간에 생성되고 사라지는 매우 작은 물질에 외부 탐침을 사용하는 것은 어려운 일이다. 따라서 충돌 시 내부에서 생성되는 탐침을 사용해야 하는데, 이에 적절한 것이 참(charm)-쿼크나 바텀(bottom)-쿼크와 같은 무거운 쿼크들이다. 두 쿼크의 질량은 각각 약 1.3 GeV/c^{2}와 4.2 GeV/c^{2}로 쿼크-글루온 플라즈마의 온도보다 더 큰 에너지이므로 가벼운 입자들과는 달리 쿼크-글루온 플라즈마 내부에서 열적으로 생성되지 않고, 초기 중이온 충돌에서의 강한 산란(hard scattering)에서 생성된다. 또한 생성된 무거운 쿼크들은 중간에 쉽게 소멸되지 않고 강입자화 되므로 쿼크-글루온 플라즈마의 생성부터 소멸까지 전 과정을 함께 하게 된다. 따라서 이러한 무거운 쿼크들을 포함한 강입자들의 자세한 측정을 통해서 쿼크-글루온 플라즈마의 내부에서 발생한 일을 추적할 수 있는 것이다.



CERN

지난 7월, 필자가 CERN에 방문한 기간 중에 25일부터 29일까지 'ALICE PHYSICS WEEK 2022'가 열렸다. 이 회의는 ALICE 실험을 이끌고 있는 전 세계 과학자들이 한자리에 모여 ALICE 실험의 최신 결과와 계획에 대해서 논의하는 자리였다. 한국 연구자들도 여러 명 참석해 함께 자리를 빛냈다.

2022 CERN

2022 CERN

1. ALICE 실험에서 대전 입자를 검출할 때 사용하는 TPC(Time Projection Chamber) 검출기가 연속적으로 수집하는 데이터를 보여주는 그림.
2. 올해 새롭게 업그레이드 된 ALICE ITS2 검출기 모습.

무거운 쿼크를 포함한 강입자는 파이-중간자나 케이-중간자 같은 비교적 가벼운 강입자들에 비해서 생성량이 매우 적기 때문에 정밀한 데이터 분석 과정이 필요하다. 이때 가장 중요한 검출기가 앞서 설명한 충돌 지점 근처에 있는 궤적 검출기이다. 무거운 강입자들은 일정 시간 이후 여러 가벼운 입자들로 붕괴를 하게 되는데, 참-쿼크를 포함한 강입자는 약 300um, 바텀-쿼크를 포함한 강입자는 약 500um 정도 생성 지점에서 떨어진 곳에서 붕괴를 한다. 붕괴에서 생성된 입자들의 궤적을 정확하게 측정하면 강입자 충돌 지점과는 다른 위치의 붕괴 지점을 찾아낼 수 있으며, 이 붕괴 지점의 거리를 정밀하게 측정하면 참-쿼크를 포함한 강입자와 바텀-쿼크를 포함한 강입자를 구별해 낼 수도 있다. 다른 질량을 갖는 참-쿼크와 바텀-쿼크는 쿼크-글루온 플라즈마 내부에서의 반응이 다를 것으로 예상돼서, 서로 다른 두 종류의 탐침으로 쿼크-글루온 플라즈마를 조사할 기회가 생긴다. 이번 Run 3에서 ALICE 실험에 개선된 사항인 실리콘 궤적 검출기와 향상된 데이터 수집 능력을 바탕으로 높은 정밀도의 측정을 할 수 있을 것이며, 특히 데이터 양의 부족으로 많은 연구가 이루어지지 못하였던 바텀-쿼크를 포함한 강입자에 대한 연구를 심화할 수 있을 것으로 기대한다.

Run 3에 도전하는 새로운 실험: 초미니 빅뱅을 찾아서

LHC Run 3에서 계획 중인 또 다른 흥미로운 실험은 산소핵과 같은 가벼운 핵을 사용한 충돌 실험이다. LHC 실험을 시작하면서 발견한 놀라운 실험 결과 중 하나는 양성자-양성자 충돌이나 양성자-납핵 충돌과 같은 중이온 충돌에 비해서 훨씬 작은 크기의 충돌계에서도 쿼크-글루온 플라즈마 생성의 근거로 여겨졌던 현상들이 관측이 된 것이다. 하지만 중이온 충돌에서 보이는 모든 현상들이 관측되는 것은 아니어서 작은 충돌계에서의 실험 결과를 해석하는 것은 아직 결론을 내지 못한 상황이다. 얼마나 작은 크기의 쿼크-글루온 플라즈마를 생성할 수 있는지, 쿼크-글루온 플라즈마의 크기를 줄여나가면서 어떤 변화들이 발생하는지를 알아보기 위해서는 다양한 크기의 충돌계를 비교해보는 것이 중요하다. 이러한 연구의 하나로 RHIC 가속기에서는 양성자-금핵, 중양자-금핵, 헬륨3-금핵의 다양한 충돌 실험을 수행하기도 하였고, LHC Run 3에서는 산소핵을 사용하여 양성자-산소핵, 산소핵-산소핵 충돌 실험을 계획하고 있다. 기존에 수행하였던 양성자-양성자, 양성자-납핵, 납핵-납핵 충돌 실험에 더하여 매우 다양한 크기의 충돌계를 비교할 수 있다. 이러한 연구는 미니 빅뱅을 넘어서 초미니 빅뱅을 찾는 과정이 될 것이다.

현재 ALICE 실험에는 필자를 포함해 9개 기관 약 50여 명의 국내 연구자들도 함께 참여하고 있다. 국내 연구자들이 ITS2 검출기 개발과 제작에 직접 참여했고, 무거운 쿼크와 작은 충돌계에 대한 연구를 수행해 왔다. 따라서 이번 Run 3에서 국내 연구자들의 활약도 기대할 만하다. ibs

강석
혈관 연구단 학생연구원

홍선표
혈관 연구단 연구위원

아름다운 이미지를 넘어 연구의 의미를 되새기다

아트 인 사이언스에 진심인 그들

살아가다 보면 혼자 보기 아까운 모습이 있다. 감탄이 절로 나오는 자연 풍경일 수도 있고, 마음이 따뜻해지는 인간사일수도 있다. 좋은 모습을 보면 기록으로 남겨 다른 사람과 공유하고 싶은 마음이 들기 마련이다. 이 순간은 과학 연구를 하다가도 나타난다. 연구과정에서 포착한 예술적인 순간을 사람들과 나누는 기분은 어떤 기분일까. 기초과학연구원의 '아트 인 사이언스' 수상자 둘을 만나 이야기를 들어봤다.

'아트 인 사이언스'는 과학 실험이나 연구 과정에서 발견한 아름다움과 경외로움을 대중과 공유하고자 시작한 공모전이다. 2015년 IBS 내 연구단들이 참가하는 소규모 대회로 시작해 이제는 연구자라면 누구나 참가할 수 있는 대규모 대회가 됐다.

혈관 연구단은 초창기부터 적극적으로 대회에 참가하며 수상자를 배출했다. 2020년에는 강석 혈관 연구단 학생연구원이 대상을, 홍선표 연구위원이 동상을 수상했다. 강 연구원은 2021년에도 참가해 은상을 받았다. 어떤 비결이 있는지 IBS 본원에서 강 연구원과 홍 연구원을 만났다.

수상을 축하드리며 소감 한 말씀 부탁드려요!

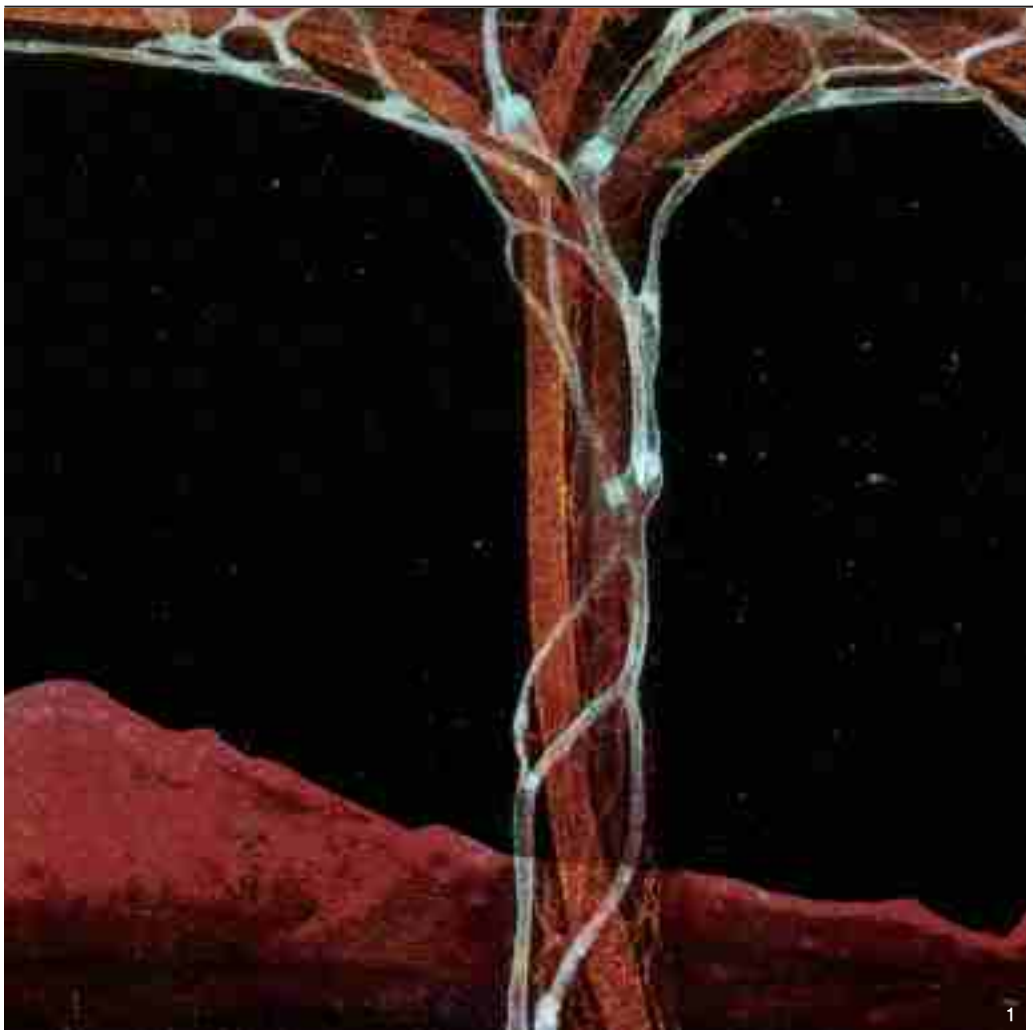
홍선표 연구위원(이하 홍) 아트 인 사이언스 공모전에 출품되는 작품 수준이 엄청나게 높아졌는데도 수상할 수 있어서 기쁩니다. 연구 과정에서 이미지를 공유할 수 있는 기회가 있어서 좋았습니다.

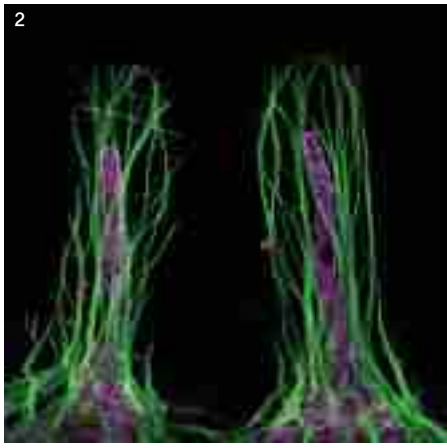
강석 학생연구원(이하 강) (2020년에는) 기대했던 것보다 훨씬 큰 상을 받게 돼 놀랐고 기뻤습니다. 처음에는 단순히 실험하다가 예쁜 이미지가 나와서 참가하기 시작했는데, 어느 순간부터 연구에서 나온 좋은 이미지를 사람들과 공유하고 싶다는 마음에 참가하게 됐습니다.

수상작들은 어떤 연구를 하다가 나온 결과인가요?

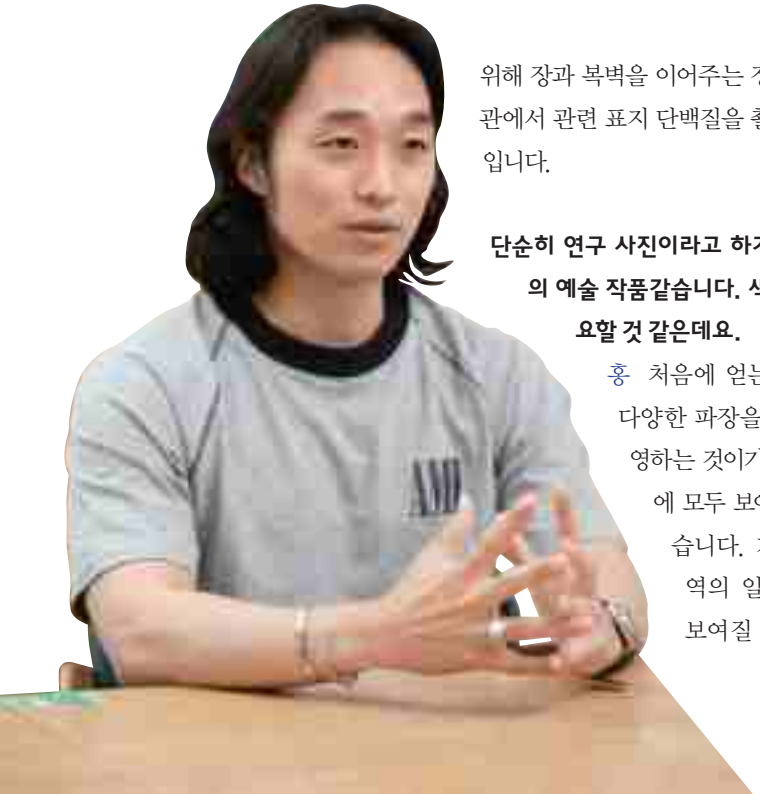
홍 2020년 수상한 '풀꽃'은 제가 박사 과정을 졸업하고 박사후연구원으로 있을 때 발표한 논문에 실린 내용입니다. 논문에 직접 실은 이미지는 아니지만요. 소장에는 융모라고 불리는 구조가 있습니다. 소장 내벽에서 돌기처럼 튀어나왔는데, 지방과 영양분을 흡수하는 데 중요한 역할을 합니다. 이 융모 안에는 암죽관이라는 림프관이 있지요. 제 연구는 림프관 주변에 있는 기질 세포가 림프관이 지방과 영양분을 흡수하는 데 중요한 역할을 한다는 것이었습니다. 수상작에서 보라색 부분이 림프관이고, 초록색이 기질 세포 중 하나인 평활근 세포랍니다.

강 저는 배아에서 림프관이 어떻게 생기고 발생하는지 그리고 그와 관련된 주요 인자들에 대한 연구를 하고 있습니다. 2020년에 수상한 '오래된 미래'는 혈관이 발달하는 과정을 보기 위해 마우스 배아의 혈관을 촬영한 이미지입니다. 2021년 작품인 '이것은 나무가 아니다'는 림프관에도 물질이 한 방향으로만 흐르도록 하는 판막이 있는데, 이 판막이 만들어지는 과정을 확인하기





1. 이것은 나무가 아니다(강석, 2021). 2. 풀꽃(홍선표, 2020). 3. 오래된 미래(강석, 2020).



위해 장과 복벽을 이어주는 장간막 림프관에서 관련 표지 단백질을 촬영한 사진입니다.

단순히 연구 사진이라고 하기에는 하나의 예술 작품같습니다. 색 조합도 중요할 것 같은데요.

홍 처음에 얻는 이미지는 다양한 파장을 이용해 촬영하는 것이기 때문에 눈에 모두 보여지지는 않습니다. 가시광선영역의 일부 파장만 보여질 뿐이에요. 색을 입히는 건 나중 작업입니다. 작품에 맞춰서 의도가 들어가요. 예를 들어서 '풀꽃'은 실제로 풀꽃을 연상시키도록 하기 위해 평활근 세포를 일부러 초록색으로 보이도록 작업한 거예요.

연구용 이미지는 작품용과는 조금 달라요. 대상이 잘 보여야 하니까 빨강이나 초록처럼 서로 대비되는 색을 쓰거든요. 요즘엔 좀더 고민하면서 색을 쓰고 있습니다. 색약 연구자들도 이미지를 잘 볼 수 있도록 논문 출판사에서 권유하고 있거든요.

강 저는 눈에 잘 띄도록 삼원색 계열을 이용하는 편인데요, 아트 인 사이언스에 제출하는 작품은 주제에 맞춰 일부러 색을 새로 입히기도 해요. 예를 들면 '이것은 나무가 아니다'는 나무와 우주 느낌을 주기 위해 잘 쓰지 않는 주황색과 하늘색을 입혔어요.

연구 내용과 작품의 제목이 묘하게 관련이 있는 듯 없는 것 같아요. 작품으로 만드는 과정에 대해 설명해주세요.

홍 연구를 하다가 이미지를 봤을 때 구조적으로 좋거나 공간의 느낌이 있는 사진은 작품으로 괜찮겠다는 생각을 해요. 일단 그런 이미지들을 모아 후보로 만듭니다. 그 다음에는 이미지에 담겨있는 대상이 연구적으로 얼마나 의미를 갖고 있는지를 확인해요. 아무리 멋진 이미지를 제출하는 대회라도 연구자인 만큼 제 연구를 잘 소개할 수 있는 이미지를 제출하고 싶거든요. 사실 그런 면에서 '풀꽃'은 조금 아쉬운 점이 있어요. 연구의 의미보다는 이미지 자체 형태에 집중한 작품이거든요.

강 혈관 연구단에서는 생명체를 고배율로 확대된 이미지를 이용해 관찰하는 일이 많습니다. 그 과정에서 평소에 봐왔던 다른 분야의 무언가가 연상되는 이미지가 많이 나와요. 저는 그런 이미지 중에서 출품작을 다듬는 편입니다. 다른 분야에서 연상된 이미지와 실제 연구를 연결시켜요. 예를 들어 '이것은 나무가 아니다'는 장간막 림프관을 촬영을 하던 중에 어느 순간 나무랑 비슷하다는 생각을 하게 됐어요. 나무와 림프관을 어떻게 연결시킬지 꽤나 고민을 했지요. 림프관은 소장의 안과 밖을, 나무는 하늘과 땅을 이어주는 매개체라는 점에 착안해 제목을 짓고, 작품을 만들었습니다.

이야기를 들어보니 '연구적 의미'를 중요하게 생각하는 듯 해요.

홍 연구자인만큼 이미지에서 연구의 의도가 잘 드러나야 한다고 생각합니다. 실제로 의도가 잘 드러난 이미지가 담긴 논문이 다른 사람에게도 관심을 끌 수 있고요. 좋은 이미지가 곧 연구 결과를 잘 보여주는 이미지인 셈이죠.

그렇다면 그동안 봐 왔던 연구 이미지 중에 인상 깊은 것도 있을까요?

강 저희 연구단은 워낙에 이미지 작업을 많이 하고, 좋은 이미지를 많이 만들기 때문에 여러 저널에 표지로 많이 실렸어요. 전 그 중에서 특히 2018년에 JCI(임상연구저널, Journal of Clinical Investigation)에 실렸던 표지 이미지를 좋아합니다. 심근경색에 걸린 질환 모델에서 단백질이 과발현되는 현상과 관련된 논문[1]이었어요. 이 표지 이미지만 봐도 이 현상을 활용해 새로운 치료법을 연구할 수 있겠다는 영감을 줄 정도로 아주 쉽고 강렬한 이미지지요.

2018년 JCI에 실린 표지.

아트 인 사이언스의 규모는 매년 계속 커지고 있습니다. 수상자로서 새로 도전하는 연구자들에게 하고 싶은 이야기가 있을까요?

홍 예쁘게 찍힌 이미지를 찾는 것은 얼마든지 가능합니다. 저희 연구단에서도 여러 연구원들이 도전을 하곤 해요. 하지만 결국 관객은 내 연구가 어떤 연구이고, 무엇을 촬영한 건지 알게 되는 순간에 가장 감동할 거예요. 해가 갈수록 멋진 작품들이 아트 인 사이언스에 등장하고 있습니다. 앞으로도 멋진 작품이 많이 나오길 응원합니다.

강 연구를 하면 일상 생활에서 보이는 것보다 더 넓은 세계를 보거나, 훨씬 작은 세계를 보게 됩니다. 그 과정에서 경이로운 모습을 발견하죠. 이 모습을 많은 사람들과 공유할 수 있었으면 좋겠어요. ibs

1) Angiopoietin-2 exacerbates cardiac hypoxia and inflammation after myocardial infarction(ournal of Clinical Investigation, 2018)

글 이보영 IBS 인지 및 사회성 연구단 연구위원〈blee@ibs.re.kr〉

우울증 치료는 우연히 시작됐다!

오늘 소개할 논문은 역사가 깊은 '고전'은 아니지만, 우울증 분야 연구자들 사이에서는 꽤 널리 알려진 논문이다. 2010년 미국 예일대 의과대학 분자정신과학과 교수이자 정신과전문의 로널드 듀먼(Ronald Duman, 1954–2020) 연구팀이 사이언스에 발표한 것으로, 케타민(마취제의 한 종류)이 어떻게 빠른 항우울 효과를 보이는지 약물의 작동 원리(메커니즘)를 분자적으로 처음 밝혔다. 듀먼 교수는 이 논문으로 '우울증 치료'의 새로운 지평을 열었다고 해도 과언이 아니다. 불과 12년 만에 논문 인용 횟수가 2518회(2022년 8월 1일 기준)나 될 만큼 많은 연구자에게 읽히고 도움을 준 명작(名作)임이 틀림없다. 안타깝게도 그는 2020년 2월에 세상을 떠났다. 우울증이라는 한 분야에 30년 넘게 전념하며 학계에 큰 획을 그은 듀먼 교수를 존경하는 마음을 담아 추모하며 이 글을 시작한다.

최초 우울증 치료제는 우연히 발견됐다!

우울증 치료제(항우울제)의 역사는 생각보다 매우 짧다. 최초 우울증 치료제는 1950년 무렵, 뉴욕 스태튼 아일랜드에 있는 씨뷰(Seaview) 병원에서 결핵 치료를 위해 개발한 '이프로니아지드(iproniazid)'라는 약물을 임상 시험하는 과정에서 발견됐다.

원래 이프로니아지드는 모노아민 산화효소 억제제(MAOIs)로 신경세포의 신경전달을 활성화하는 세로토닌, 도파민, 아드레날린, 노르에피네프린과 같은 모노아민 신경전달물질의 분해를 억제하는 약물로 알려져 있었다. 그런데 우연히 임상 과정에서 이프로니아지드가 환자들의 무기력함과 슬픈 감정을 완화하고 식욕과 수면을 개선한다는 사실이 드러나 서서히 우울증 치료제로서의 면모를 보였다.

한편, 비슷한 시기에 고혈압과 같은 혈관 질환 치료제로 사용하던 '레세르핀(reserpin)'이 일부 환자의 우울증을 유발하는 것으로 밝혀졌다. 레세르핀이 소포성 모노아민 수송체를 억제해 뇌의 모노아민(세로토닌과 카테콜아민)을 고갈시켜 우울증 증상이 나타나는 원리다. 레세르핀을 중단하면 우울증 증세가 나아지는 것을 확인했다.

이 두 가지 약물은 우울증 치료 초기 연구에 있어 모노아민 이론을 성립하는데 주요한 기반이 됐다. 현재까지 가장 보편적으로 쓰이는 우울증 치료제는 이 모노아민 이론을 기반으로 개발된 약물이 많다.

연구자들은 이때부터 모노아민의 고갈을 억제하는 약물을 우울증 치료제의 타겟으로 삼고, 모노아민 산화효소 억제제와 삼환계 항우울제(TCA)를 개발했다. 이는 지금까지 널리 처방되고 있는 선택적 세로토닌 혹은 노르에피네프린 재흡수 억제제(SSRI/SNRI)로 발전했다.

새로운 우울증 치료제가 필요한 이유

우울증 치료를 돕는 약물은 공통적으로 신경세포의 시냅스 공간에서 세로토닌, 도파민, 아드레날린, 노르에피네프린과 같은 모노아민 신경전달물질을 증가시키고 시냅스 후수용체(postsynaptic receptor)를 활성화해서 우울감을 감소시키는 원리로 작동한다.

오늘날 처방되는 우울증 치료제는 주로 2세대 혹은 3세대 치료제다. 앞에서 언급한 1세대 우울증 치료제인 모노아민 산화효소 억제제 유형(모노아민 이론을 바탕으로 개발한)은 심혈관계이상(심박수, 고혈압, 발한 등)과 관련된 부작용이 학계에 보고되면서 미국에서는 사용이 중단됐기 때문이다. 그 뒤를 이은 삼환계 항우울제(TCA)는 1세대 치료제와 비교했을 때 부작용이 심한 편

은 아니었지만 이 역시도 현기증, 기억력 장애, 졸음과 같은 부작용 증상이 나타나면서 점차 이 약물도 사용하지 않게 됐다.

한편, 2세대 우울증 치료제는 선택적 세로토닌 재흡수 억제제(SSRI)로 세로토닌의 세포 내 흡수를 막아서 세포 외 세로토닌 양의 고갈을 억제해 우울감을 낮추는 약물이다. 1세대 치료제와 비교해 부작용이 많이 개선된 약물이지만 일부 환자들에게서 메스꺼움, 불면증, 성기능 장애와 같은 증상이 나타나곤 했다. 3세대 우울증 치료제는 노르에피네프린 재흡수 억제제(SNRI) 유형인데 2세대 치료제와 비교했을 때 약물의 효과나 부작용이 크게 다르지 않은 것으로 밝혀졌다.

안타깝게도 현재까지 처방되고 있는 우울증 치료제는 치료 효과가 50% 정도의 환자들에게만 나타나는 게 현실이다. 지금까지 개발된 치료제 중에서는 어떤 도움도 받지 못하는 환자들이 존재한다는 이야기다. 여전히 나타나는 크고 작은 부작용도 무시할 수 없다.

특히 여러 부작용 중에서 모노아민 이론을 바탕으로 만든 우울증 치료제의 큰 걸림돌 중 하나는 약물의 효과가 천천히 나타난다는 점이다. 최소 2주에서 많게는 수개월까지 걸리기도 한다. 이러한 약물 효과 지연 현상은 때때로 환자의 우울증을 악화시키고 자살 위험을 높이기도 해 문제가 됐다. 이러한 단점을 극복하기 위해 연구자들은 효과가 빠르게 나타나는 우울증 치료제를 찾는 연구를 시작했다.

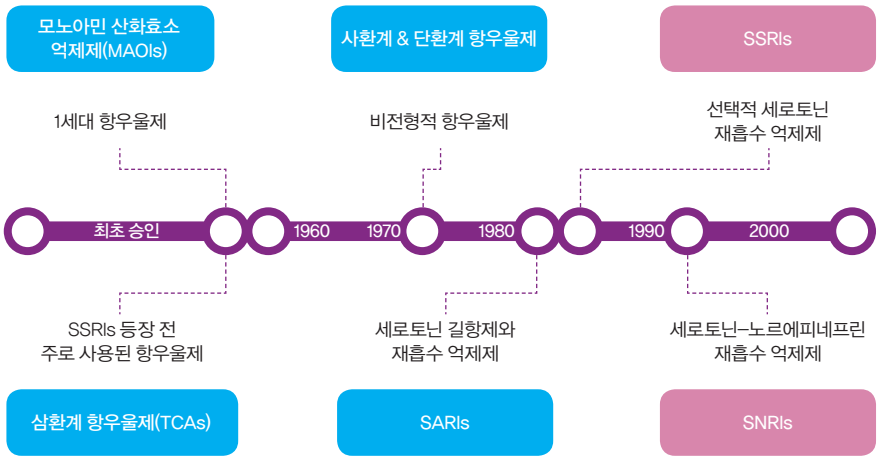
마취제에서 새로운 우울증 치료제로

'케타민(ketamine)'이 우울증 연구의 중요한 키워드로 떠오른 시기는 1990년대 중반이다. 케타민은 흥분성 신경전달물질인 글루탐산과 결합하는 수용체 중 하나인 NMDA(N-methyl-D-aspartate)의 길항제다. 길항제란 수용체와 결합해 신경전달물질과 같은 작용제(agonist)가 수용체와 결합하는 부위를 빼앗아 그 기능(효과)을 억제하는 물질을 말한다. 케타민은 1956년에 FDA 승인을 받은 마취제이기도 했다.

2000년, 존 크리스털(John Krystal, 1958-) 예일대 교수 연구팀은 기존에 밝혀진 '케타민을 마취 농도보다 적은 양을 사용하면 항우울 효과가 나타난다는 동물모델 연구 결과'를 바탕으로 본격적인 연구를 시작했다. 연구팀은 우울증 환자 7명을 대상으로 환자에게 마취 농도보다 적은 양의 케타민을 투여하는 임상 시험을 진행하고, 그 결과 약물 투여 3일 만에 항우울 효과가 나타남을 확인했다. 이 결과는 학계의 관심은 물론, 연구팀 역시 기존 우울증 치료제의 가장 큰 단점이었던 '약물 효과 지연과 관련된 부작용'을 극복할 새로운 치료제로 케타민에 주목했다. 2006년에 이어진 후속 임상 시험(환자 18명을 대상)에서는 앞선 결과보다 더 놀라운 결과를 얻었다. 환자 대부분은 약물 투여 110분 이내에 항우울 효과가 나타났다. 일부 환자는 단 한 번의 주사로 약효가 일주일까지 지속되는 것을 확인했다. 하지만 이때까지만 해도 케타민이 어떻게 2시간 만에 항우울 효과를 내는지는 밝혀지지 않았다.

2010년, 듀먼 교수팀은 케타민의 '빠른 치료 효과'에 초점을 맞춰 연구를 진행했다. 다음에 소개하는 모든 연구 결과를 담은 논문이 바로 오늘의 주인공이다.

우울증 치료제 변천사



케타민의 작동 원리 (메커니즘)를 밝혀내

연구팀은 먼저 가설을 세웠다. 시냅스에서의 빠른 단백질 생성에 관여하는 mTOR 신호전달경로에 의한 지역 단백질 합성(local protein synthesis) 과정에서 케타민과 반응해 생성되는 단백질들이 신경세포의 활성을 도와 우울감을 완화할 것이라 가정했다. 이 가설을 확인하기 위해 케타민을 주사한 마우스(실험 쥐)의 전두엽을 관찰했다.

그 결과 케타민 주사를 맞은 생쥐는 놀랍게도 30분 만에 mTOR 단백질이 활성화됐다. 지역 단백질 합성에 관여하는 4E-BP1과 p70S6K 단백질의 활성도 빠르게 증가했다. 뿐만 아니라 mTOR 단백질과 지역 단백질 합성 과정을 활성화하는 상위 조절 인자인 AKT와 ERK 신호전달 기전이 케타민

의 영향을 받는다는 것도 확인할 수 있었다. AKT와 ERK의 활성화를 억제해 케타민으로 인한 지역 단백질 합성 과정의 활성이 나타나지 않았기 때문이다. 이로써 연구팀은 케타민이 AKT와 ERK 신호전달 기전을 활성화하고 지역 단백질 합성 과정을 촉진한다는 것을 증명했다.

이 논문에 기록된 연구 중 또 다른 주목할 만한 결과는 단 한 번의 케타민 주사만으로 시냅스 관련 단백질의 높은 발현이 3일까지 유지된다는 주장이다. 연구팀은 케타민의 빠른 효과뿐만 아니라 효과의 지속성도 입증했다. 이를 확인하기 위해 실제로 시냅스 수가 케타민으로 인해 증가하는지 확인하는 실험을 진행했다. 연구팀은 실험으로 합성 과정을 억제한 신경세포에서는 케타민 투여에도 시냅스 수가 증가하지 않는 것을 확인했다. 다시 말해 활성화된 지역 단백질 합성 과정이 시냅스 형성에 큰 영향을 미친다는 주장이다.

이 밖에도 연구팀은 마우스 행동 실험으로 지역 단백질 합성 과정을 억제하면 케타민이 유도하는 항우울증 효과도 억제되는 것을 밝혔다. 지역 단백질 합성 과정이 케타민의 항우울증 효과에 직접적으로 관여한다는 이야기다. 더 나아가 연구팀은 지역 단백질 합성 과정이 또 다른 글루탐산 수용체의 길항제인 Ro 25-6981이라는 약물에도 반응하는지 확인했다. Ro 25-6981 약물 역시 지역 단백질 합성을 1시간 안에 촉진시키고 우울증 완화 효과를 보였다.

이로써 연구팀은 학계에 처음으로 케타민뿐만 아니라 글루탐산 수용체의 조절이 우울증을 완화하는 효과에 중요한 역할을 할 수 있다고 발표했다. 이는 그때까지 모노아민 조절에만 집중했던 우울증 연구에 새 바람을 일으켰다. 우울증 연구의 방향을 글루탐산 조절로 전환을 예고한 의미 있는 연구 결과였다. 이 논문은 글루탐산 이론을 세우는 초석이 되었다.

덕분에 오늘날까지도 글루탐산 신경전달물질이 우울증과 어떤 관련이 있는지를 낱낱이 밝히는 연구가 진행되고 있다. 그로 인해 우울증 치료제 연구가 많은 발전을 이루었다. 후대 연구자들은 계속해서 글루탐산 신경전달물질을 조절하는 여러 인자를 발견하며 부작용 위험이 적은 새로운 치료제 개발에 힘쓰고 있다. ibs

반데르발스 양자 물질 연구단 출범

반데르발스 양자 물질 연구단 조문호 단장(POSTECH 신소재공학과 교수).

IBS 물리분야 신규 연구단 '반데르발스 양자 물질 연구단(Center for Epitaxial van der Waals Quantum Solids)'이 2월, POSTECH 캠퍼스에 출범했다. 반데르발스 양자 물질 연구단은 앞으로 전 세계적인 양자 기술 경쟁에서 기초 연구와 응용연구를 이끌 전망이다. 연구단장으로는 POSTECH 신소재공학과 교수인 조문호 단장이 선임됐다.

조 신임 단장은 연세대 재료공학과를 졸업하고 영국 캠브리지대 재료과학과에서 박사학위를 받았다. 미국 하버드대에서 연구했고, 귀국해서 2004년부터 POSTECH 교수를 역임했다. 2013년부터 IBS 원자제어 저차원 전자계 연구단 그룹리더, 2015년부터는 부연구단장으로 지냈다.

조 단장은 저차원 이종접합 물질의 에피 성장과 이들 접합에서의 빛-물질 상호작용 연구로 새로운 양자 소자 플랫폼 구현에 대한 연구 분야에서 세계적인 선도 과학자다.

2017년 원자층 물질의 반도체-금속 성질을 자유자재로 제어해 새로운 2차원 반도체를 개발한 바 있고, 2018년 연구에서는 빛의 파장으로 2차원 반도체의 전기적 성질을 제어해 새로운 반도체 소자를 보고했다. 또한 2021년 연구에서는 서로 다른 원자층 반도체를 에피 성장으로 쌓아 2차원 초격자 물질 제어에 관한 연구도 발표했다. 조 단장의 그동안 연구는 저차원 반도체 물질에 대한 기초과학 연구가 차세대 반도체 회로 응용기술로 바로 환원된 것으로 미래 기술개발에 있어 새로운 가치 창술 방식의 핵심이 될 수 있는 기초과학-응용기술 순환 일체형 연구라는데 그 가치가 크다.

조 단장은 "앞으로 이번 연구를 기반으로 새로운 양자 기술에서의 플랫폼 물질계로서의 가능성 탐구하고자 한다"며 앞으로의 연구 의지도 밝혔다.

극단 및 확률 조합 연구그룹 출범

수리 및 계산 과학 연구단 신규 연구그룹 CI로 선정된 홍 리우(Hong LIU) 영국 워릭대 교수.

IBS 본원 수리 및 계산 과학 연구단에 '극단 및 확률 조합 그룹(Extremal Combinatorics and Probability Group)'이 출범했다. IBS는 4월 1일자로 수리 및 계산 과학 연구단의 네 번째 연구그룹을 이끌 CI(Chief Investigator)로 홍 리우(Hong LIU) 영국 워릭대 교수를 임명했다.

리우 신임 CI는 중국 상하이과학기술대학 응용수학과를 졸업하고 미국 일리노이대 어바나-샴페인 수학과에서 박사 학위를 받았다. 그 뒤로 영국 워릭대에서 박사후연구원을 거쳐 조교수로 재직했다.

리우 CI는 극한그래프이론(Extremal Graph Theory)과 가산 조합론(Additive Combinatorics) 분야의 세계적 수학자로 최근 수행한 홀수 싸이클(Odd Cycle) 연구에서 우수한 연구 능력을 입증하면서 세계적으로 뛰어난 역량 보유하고 있다는 평가를 받고 있다.

리우 CI가 연구할 극단적 조합론, 확률론적 조합론, 이산기하학 연구는 수학, 컴퓨터공학과 통계물리학 분야, 그리고 특히 가법 정수론과 정보 이론 분야와 관련이 깊어 다양한 학제 간 연구가 기대된다. 리우 CI는 저명한 국내·외 저널에 40여 편의 논문 게재하는 등 활발한 연구 활동을 이어 가고 있으며, 앞으로 해당 분야에서 세계적인 핵심 연구그룹으로 이끌 전망이다.

리우 CI는 "극단 및 확률 조합 그룹을 통해 세계의 우수한 연구 인력을 유치해, 급격히 성장 중인 해당 분야에서 한국이 선두에 설 수 있도록 최선을 다하겠다"는 연구 의지를 밝혔다.

IBS 노도영 원장은 "앞으로 홍 리우 CI와 함께 일궈낼 시너지 효과가 기대되며, IBS뿐 아니라 우리나라 수학계 발전에도 유익한 영향을 미칠 것"이라고 말했다.

세계적 과학자와 아시아 청년들이 한자리에

아시아의 젊은 학생들이 노벨상 수상자들을 만나, 미래 과학자의 꿈을 키우는 뜻깊은 자리였다.

IBS는 국제연합(UN) 지정 세계 기초과학의 해를 맞이해, 7월 24일부터 30일까지 '아시안 사이언스 캠프(Asian Science Camp, 이하 'ASC 2022')'를 성공적으로 개최했다. 'ASC 2022'는 IBS 과학문화센터에서 진행됐으며, IBS는 전체 행사를 주관했다.

ASC는 2005년 독일에서 열린 린다우 노벨상 수상자 회의에 참석한 노벨과학상 수상자 리위안저(李遠哲, 1936– , 1986 노벨화학상) 박사와 고시바 마사토시(小柴昌俊, 1926–2020, 2002 노벨물리학상) 박사가 '아시아의 린다우 미팅을 만들자'는 뜻을 모아서 2007년부터 시작됐다.

ASC 행사는 올해로 14회차를 맞이했으며, 매년 아시아 지역 30여 개국에서, 과학에 관심과 흥미가 높은 약 300여 명의 젊은 학생들이 참여해 왔다. 중국 산터우 대학교에서 개최된 'ASC 2019' 이후, 코로나19로 개최되지 못했던 ASC는 2년 만에 올해 한국에서 재개됐다. 한국에서는 IBS에서 개최되는 'ASC 2022'는 2011년 한국과학기술원(KAIST)에서 개최된 이래로 두 번째 행사이며, 올해에는 총 25여개국에서 250여명이 온·오프라인 방식으로 참여했다.

'ASC 2022'에서는 노벨상 수상자를 비롯하여 세계적 수준의 과학자로서 ▲김영기 시카고대 석좌교수, ▲현택환 IBS 나노입자연구단 연구단장, ▲김빛내리 IBS RNA 연구단 연구단장 등 20여 명이 연사와 토론자로 나섰다.

특히 올해 ASC에는 ▲슈테판 헬(Stefan Hell, 1963– , 2014 노벨화학상) 독일 막스플랑크 다학제과학 연구소장 ▲랜디 셰크먼(Randy Schekman, 1948– , 2013 노벨 생리의학상) 캘리포니아 대학교(UC Berkeley) 교수 ▲팀 헌트(Tim Hunt, 1943– , 2001 노벨 생리의학상) 오키나와 과학기술대학원대학교 교수 등이 강연해 미래 노벨상에 대한 꿈을 키우는 학생들의 많은 관심을 끌었다.

IBS, 기후 및 지구과학 연구단(PRC) 행성대기 연구그룹 출범

행성대기 연구그룹의 CI를 맡은 독일 항공우주센터 연구원 이연주 박사.

IBS는 대전 본원에 지구과학 분야 신규 연구단인 '기후 및 지구과학 연구단(Pioneer Research Center for Climate and Earth Science)'의 첫 번째 연구그룹인 '행성대기 그룹(Planetary Atmospheres Group)'을 출범했다. IBS는 6월 1일부터 연구에 착수한 행성대기 연구그룹의 CI(Chief Investigator)로 독일 항공우주센터(DLR) 연구원 이연주 박사를 임명했다.

이 신임 CI는 독일 막스플랑크 태양계 연구 연구소(MPS)에서 박사과정 연구를 진행했고, 독일 브라운슈바이크 공과대(TU Braunschweig)에서 자연과학 박사학위를 받았다. 그 뒤로 일본 우주항공연구개발기구(JAXA) 우주과학연구소(ISAS) 등 세계 유수 연구소에서 활발한 연구를 이어가며, 2019년부터 독일 항공우주센터(DLR)와 베를린 공과대(TU Berlin)에서 연구원으로 재직했다.

이 CI는 자신의 연구 결과가 물리 분야 Top 50 논문으로 선정되는 등 이 행성 연구 분야에서 탁월한 연구 성과로 인정받았다. 뿐만 아니라 이 CI는 유럽우주기구(ESA)의 미래 금성탐사선 엔비전(EnVision) 프로젝트, 유럽우주기구(ESA)와 일본 우주항공연구개발기구(JAXA)가 공동으로 추진하는 수성탐사선 베피콜롬보(BepiColombo) 프로젝트 등에서 세계적 인지도를 갖는 행성 탐사 프로젝트에 참여하며 세계적으로 주목받고 있다.

IBS PRC 연구단 구성('22.6. 기준)
수리 및 계산 과학 연구단(4): 1. 이산수학 그룹(엄상일 CI), 2. 데이터 사이언스 그룹(차미영 CI), 3. 의생명 수학그룹(김재경 CI) 4. 극단 및 확률 조합 그룹(홍 리우 CI)
바이오분자 및 세포구조 연구단(1): 단백질 커뮤니케이션 그룹(김호민 CI)
기후 및 지구과학 연구단(1): 행성대기 그룹(이연주 CI)

IBS 중이온가속기연구소장에 홍승우 성균관대 교수 선임

IBS 중이온가속기연구소 초대 연구소장으로 선임된 홍승우 성균관대 물리학과 교수.

IBS는 7월 1일, IBS 중이온가속기연구소를 출범했다. 초대 연구소장으로 홍승우 성균관대 물리학과 교수를 선임했다. 홍 신임 소장은 성균관대 물리학과를 졸업한 뒤, 미국 텍사스대 오스틴 캠퍼스에서 물리학 박사를 취득하고 박사후연구원으로 활동했다. 그 뒤로 독일 율리히 연구소 연구원을 거쳐 귀국해, 1990년부터 성균관대 물리학과에서 교수직을 수행하며 물리학과 학과장, 과기부 지정 원자력기초공동연구소 소장, 한국물리학회 원자핵물리학 분과위원장 등을 역임했다.

홍 신임 소장은 국제과학비즈니스벨트 기획 단계에서부터 참여해 중이온가속기 구축 계획을 수립하고, 총괄 책임자로 중이온가속기의 개념설계를 수행하는 등 중이온가속기와 희귀동위원소 과학에 대한 높은 이해도와 전문성을 갖춘 것으로 평가받았다.

또한 국내·외 가속기 시설 구축·운영 전문가, 활용 연구자 등과의 폭넓은 인적 네트워크와 기초과학연구원 라온협력센터장, (사)중이온가속기이용자협회 이사 및 회장직을 역임한 경험 등이 있어, 이용자 중심의 중이온가속기 운영과 성능향상, 활용연구 성과 조기 도출을 이뤄낼 적임자로 주목받았다.

홍 신임 소장은 "도전적 목표를 설정하고 이를 공유·소통하여 중이온가속기연구소를 성공적으로 이끌 것"이라며 앞으로의 목표를 밝혔다.

IBS는 5월 11일부터 25일까지 연구소장직 공모를 진행했고, 연구소장 추천위원회의 후보자 추천을 받아 신임 소장을 선정했다.

IBS, 미국과 바이러스 연구협력 나섰다

IBS 바이러스기초연구소는 8월 23일(현지시각), 미국 세인트 주드 아동연구병원과 바이러스 감염병 공동연구를 위한 업무협약을 체결했다. 왼쪽부터 IBS 바이러스기초연 최영기 소장, 세인트 주드 아동연구병원 WHO 동물 및 조류 인플루엔자 생태 연구센터 리차드 웨비(Richard Webby) 센터장의 모습.

IBS는 바이러스 연구 역량과 감염병 대응 능력을 높이고자 미국 국립보건원(NIH) 및 세인트 주드 아동연구병원(St. Jude Children's Research Hospital)과 협력에 나섰다.

IBS는 NIH 산하 국립알레르기 및 전염병 연구소(NIAID)의 앤서니 파우치(Anthony S. Fauci) 소장과 만나 연구협력 방안을 논의한 데 이어, 미국 세인트 주드 아동연구병원과 공동연구를 위한 업무협약(MOU)을 8월 23일(현지시각)체결했다.

NIAID는 감염병, 면역 및 알레르기 질환에 대한 기초 및 응용 연구를 수행하는 NIH 산하 연구소다. 이번에 업무협약을 체결한 세인트 주드 아동연구병원은 세계 최고 수준의 소아 치료 및 연구기관으로, 산하 감염병 연구 파트에 세계보건기구(WHO) 글로벌 인플루엔자 대응 및 감시 시스템(GISRS)의 '인플루엔자 협력센터'를 운영하며 인류를 위협하는 동물 인플루엔자 생태 연구를 수행하고 있다.

이번 협약은 양 기관의 강화된 협력체계를 바탕으로 감염병 바이러스 분야 공동연구를 확대하고자 추진되었으며, IBS 바이러스기초연구소는 세인트 주드 아동연구병원이 보유한 전세계 신·변종 바이러스 유전체 정보 등 다양한 연구자원과 인프라를 활용하고, 연구자 교류 등 협력연구를 수행할 계획이다.

IBS 생명과학 연구클러스터 출범

연구클러스터 연구소장으로 임명된 이창준 인지 및 사회성 연구단장.

IBS는 7월 1일, 본원에 생명과학 분야 연구그룹의 시너지 창출과 안정적 연구환경 조성을 위해 '생명과학 연구클러스터'를 출범했다. 연구클러스터 연구소장으로 이창준 인지 및 사회성 연구단장을 임명했다.

IBS는 2021년 12월 '입자 및 핵 물리 연구클러스터' 도입을 시작으로, 연구 분야별 연계·협력의 강화, 전략적 분야 집중 등을 위해 연구클러스터 체제를 단계적으로 도입·운영하면서 연구경쟁력 강화를 추진하고 있다.

IBS는 2021년 12월부터 연구클러스터 시범 운영을 시작했다. 연구분야 별 연계·협력의 강화, 전략적 분야 집중 등을 위해 연구클러스터 체제를 단계적으로 도입·운영하여 연구경쟁력 강화를 추진한다.

연구클러스터는 연구 테마 중심으로 시너지를 창출할 4개 내외의 연구단을 집적 및 재배치하되, 독립성·자율성을 갖는 기존 연구단의 운영 방식은 최대한 유지한다. 다만, 연구클러스터 분야에 맞지 않거나, 연구클러스터로 편입되기를 원치 않는 기존 연구단은 현재의 연구단 체제로 계속 운영된다.

이번 생명과학 연구클러스터는 IBS 본원 연구단의 ▲인지 및 사회성 연구단(연구단장 이창준) ▲유전체 교정 연구단(연구단장 구본경 직무대행) ▲바이오 분자 및 세포구조 연구단(김호민CI) 3개 연구단으로 구성했고, 연구클러스터 내의 원활한 행정지원을 전담할 운영지원팀이 설치됐다.

노도영 원장은 "연중 완공될 KAIST와 POSTECH 내 IBS 캠퍼스 신청사와 연계해, 각 캠퍼스에 특화된 분야별 연구클러스터를 확대해서 연구경쟁력을 강화할 계획"이라고 말했다. ibs

IBS 오용근 연구단장, 장석복 연구단장 호암상 수상 영예

기초과학연구원(IBS) 기하학 수리물리 연구단 오용근 연구단장(POSTECH 수학과 교수)과 분자활성 촉매반응 연구단 장석복 연구단장(KAIST 화학과 특훈교수)이 2022년 호암상 과학부분 수상자로 선정됐다.

오용근 연구단장은 과학상 물리·수학부분 수상자로, 현대 수학의 한 분야인 사교기하학*에서 '플로어 상동성*'의 중요한 이론적 토대와 응용방법을 발견해 풀리지 않던 여러 수학적 문제를 해결해 온 세계적인 수학자이다. 오 단장의 연구는 현대 사교기하학과 사교위상수학의 교과서적 업적으로 평가받으며, 한국인 최초 세계수학자대회 기조 강연 등 한국 수학계의 위상을 국제적으로 드높였다.

장석복 연구단장은 과학상 화학·생명과학부분 수상자로, 반응성이 낮은 탄소·수소 결합(C–H) 분자를 고부가가치 물질로 변환시키는 전이금속 촉매반응을 개발하는 등 유기화학 분야에서 국제적으로 인정받고 있는 화학자다. 장 단장이 개발한 고효율 촉매 합성법은 전 세계 많은 연구자들이 활용하고 있으며, 향후 신약 개발 등 다양한 분야로의 응용 가능성을 제시하여 유기화학 합성 분야의 발전에 기여한 바가 크다.

제32회 호암상 시상식(2022)은 5월 31일 개최됐으며, 각 부문별 수상자에게는 상장과 메달, 상금 3억 원이 수여됐다. 호암상은 호암 이병철 선생의 인재제일주의와 사회공익정신을 기려 학술·예술 및 사회발전과 인류복지 증진에 탁월한 업적을 이룬 인사를 현창하기 위해 1990년 故 이건희 삼성 회장이 제정했다. 올해까지 총 164명의 수상자에게 307억 원의 상금이 수여됐다.

역대 호암상 수상경력이 있는 IBS 연구자는 총 9명(오른쪽 표)이다. 노도영 원장은 "호암상은 각 분야 글로벌 리더로 인정받는 창의적이고 선도적인 업적의 인사들이 수상자로 선정된다. 2022 호암상의 과학부분 수상자에 우리 IBS 연구단장이 두 분이나 수상하게 돼 영예롭고, 축하드린다"고 말했다.

IBS 수상자 내역

	IBS 연구자 호암상 수상 경력
2018	혈관 연구단 고규영 단장
2015	나노의학 연구단 천진우 단장
2014	(前)식물노화수명 연구단 (前)남홍길 단장
2012	나노입자 연구단 현택환 단장
2010	나노물질 및 화학반응 연구단 (前)유룡 단장
2009	복소기하학 연구단 황준묵 단장, RNA 연구단 김빛내리 단장
2006	복잡계 자기조립 연구단 김기문 단장
2004	인지 및 사회성 연구단 (前)신희섭 단장

사교기하학*

복잡한 공간의 수리적 특성을 연구하는 분야.

플로어 상동성*

공간의 중요한 위상적 정보를 에너지 레벨로 확장한 것.

올해 호암상 과학상 물리·수학부분을 수상한 IBS 기하학 수리물리 연구단 오용근 연구단장(왼쪽)과 호암상 과학상 화학·생명과학부분을 수상한 IBS 분자활성 촉매반응연구단 장석복 연구단장(오른쪽).

(왼쪽부터) 고영주 지하실험 연구단 연구위원(영운상), 박주천 희귀 핵 연구단 선임연구원(보산핵물리학상), 배영복 순수물리이론 연구단 선임연구원(천체물리학상).

IBS, '한국물리학회상' 3개 부문 수상 영예

기초과학연구원(IBS) 소속 과학자 3명이 한국물리학회가 주는 2022년도 한국물리학회상을 받았다. 시상식은 4월 20일 한국물리학회 2022년 분과총회에서 온라인으로 진행됐다.

IBS는 특히 물리학계 각 분야의 우수 신진 연구자를 대상으로 하는 부문 중 3개 부문에서 3명의 수상자를 배출하며, 한국 물리학계의 신진 연구자 육성에 기여하고 있음을 확인했다.

입자물리 실험 분야 전문가에게 주는 영운상 수상자로 고영주 IBS 지하실험 연구단 연구위원이 선정됐다. 핵물리학의 발전에 크게 기여할 것으로 기대되는 연구자에게 수여되는 보산핵물리학상은 박주천 IBS 희귀 핵 연구단 선임연구원이 받았다. 천체물리분야에서 탁월한 연구성과를 낸 학자에게 주는 천체물리학상은 배영복 순수물리이론 연구단 선임연구원에게 돌아갔다.

IBS 노도영 원장은 "IBS 젊은 연구자들의 한국물리학회상 수상을 축하한다"며 "IBS는 앞으로도 기초과학의 미래를 이끌어줄, 신진 연구자 육성에 힘쓸 것"이라고 말했다. ibS

Talk to IBS

IBS의 관심이 필요하다고 판단되는 모든 과학계 연구자들의 제보와 제안을 기다립니다.
제보된 내용은 사실 확인과 추가 취재를 진행한 뒤 보도 시기를 살펴 〈IBS Research〉의 기사로 소개하겠습니다.
제보자의 개인 신상보호를 위해 익명 제보도 받습니다. 과학계의 밝은 미래를 열어가는데 필요한 많은 제보와 따뜻한 관심 부탁드립니다.
제보와 제안, 구독 신청은 ibs_official@naver.com으로 연락주세요.

IBS Research 소개

2013년 12월 창간호를 시작으로, 〈IBS Research〉 18호(이번 호)를 발간했습니다. IBS는 〈IBS Research〉를 통해 반기별로 우수 연구성과를 정리해서 알리고, 기초과학 분야의 정책 이슈와 논점을 함께 고민하며 소개하고 있습니다. IBS 소속 연구단과 사업단 모두는 학계와 연구계에 IBS의 우수성을 알리고 정책 결정자들과 대중들에게 기초과학의 필요성과 역할 및 이슈를 제시하는 데 앞장서고 있습니다. 〈IBS Research〉는 국문뿐만 아니라 영문본도 함께 발간되며, 국내외로 IBS의 인지도 향상과 공동연구를 위한 소통강화의 역할을 하고 있습니다.

소통 채널 안내

Ch.135는 블로그와 포스트, 페이스북 등 IBS의 SNS 채널을 통합한 브랜드입니다.

✚ 과학 콘텐츠를 한눈에!

▲ 블로그 ▲ 포스트

IBS에서 제공하는 콘텐츠를 한눈에 볼 수 있는 블로그와 포스트를 소개합니다. IBS 연구자들의 최신 연구 주제와 IBS의 최근 소식이 궁금하다면 IBS 블로그로 놀러 오세요. 모든 궁금증이 단번에 해결됩니다. 다양한 행사와 최신 과학 칼럼까지 볼 수 있어요. 대체 과학자들이 왜 이런 연구를 하게 됐고 어떤 방법으로 어려움을 극복해냈는지 그 비밀은 포스트에서 찾아보세요.

✚ 행사 참여와 소통 공간!

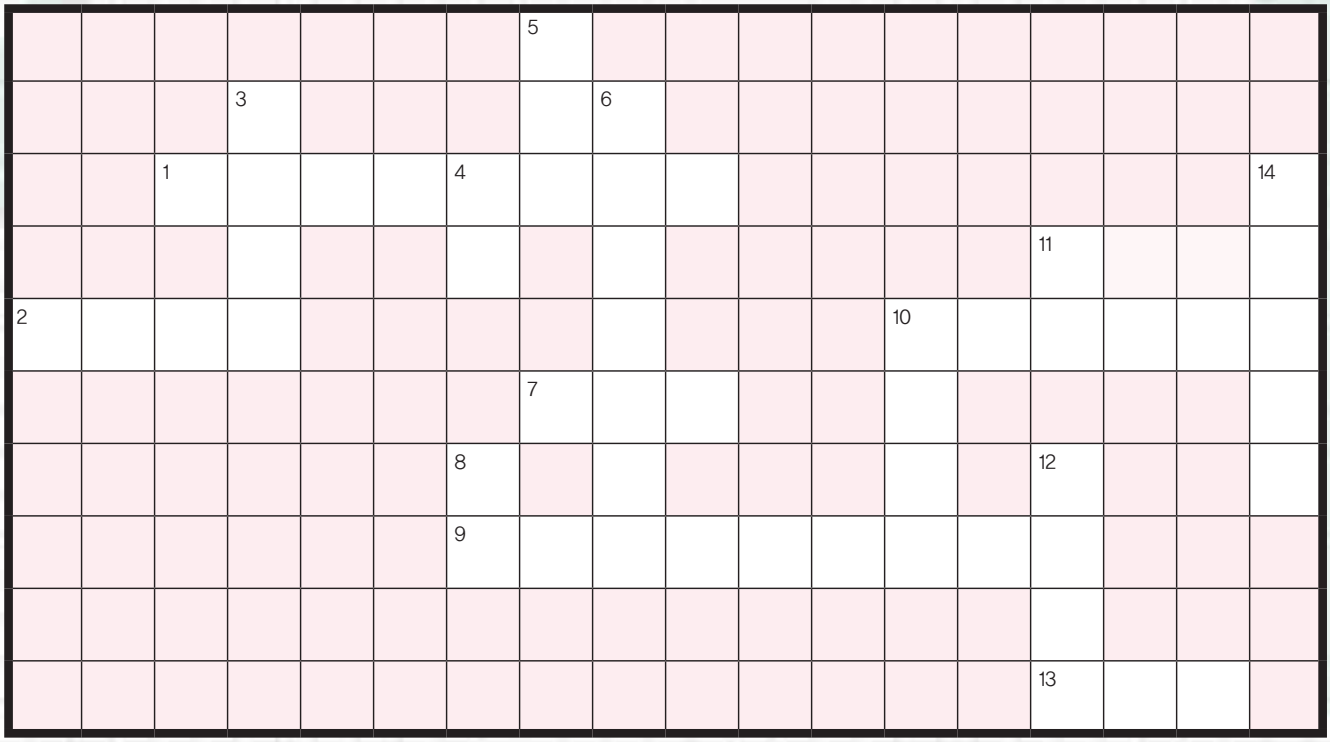
IBS에서 진행하는 다양한 행사에 참여하고 함께 소통하고 싶은 분들을 위해 페이스북 공간도 마련해 두었습니다. IBS 페이스북 페이지에 방문하기만 해도 과학 지식이 저절로 쌓여요! 다양한 강연과 퀴즈, IBS 이벤트와 과학계 소식을 한눈에 확인할 수 있는 IBS 페이스북 페이지를 지금 바로 팔로우하세요.

✚ 영상으로 보는 IBS

IBS의 강연을 놓친 분들은 유튜브 채널로 놀러 오세요. IBS 연구단에서 일하는 연구원들의 브이로그 영상도 공개됩니다! 뿐만 아니라 IBS 연구단의 연구 결과를 이해하기 쉽게 동영상으로 설명해드려요~! 연구 중에 발견한 아름다운 사진과 영상도 올려두었습니다. IBS 유튜브 캐릭터인 '게놈'의 활약상이 궁금하시면 IBS 유튜브로 놀러와 '구독'과 '좋아요' 눌러주세요!

가로세로 퍼즐

〈IBS Research〉 18호 기사를 읽고, 가로세로 퍼즐을 풀어 보세요!



가로

1 분자식으로 나타내면 NaI. 수산화나트륨의 따뜻한 수용액에 아이오딘을 작용시켜 만드는 무색 결정을 말한다. IBS 지하실험 연구단의 COSINE팀은 이것으로 암흑물질 후보, 윔프(WIMP)를 탐색한다.

2 외부 빛을 완전히 차단할 수 있는 상자.

7 미항공우주국 NASA가 발사한 외우주 탐사선이자 가장 먼 거리를 탐사하는 탐사선이다. ○○○ 탐사선.

9 유전체에서 원하는 부위의 DNA를 정교하게 잘라내는 기술. ○○○○ ○○○ ○○.

10 중이온을 광속에 가깝게 가속해 표적에 충돌시켜 새로운 동위원소를 만들어내는 연구시설이다. IBS는 7월 1일 IBS ○○○○○○○연구소를 출범하며, '라온'의 성공적 구축에 힘을 보탰다.

13 대우주와 대응하는 말. 우주의 구조가 작은 것에도 되풀이된다는 뜻에서 생긴 말이다.

세로

3 동물, 식물, 세균 등 살아 있는 세포에 기생하고, 세포 안에서만 증식이 가능한 미생물.

4 태양계의 네 번째 행성으로 붉은빛을 띠고 있다.

5 2년 전부터 전 세계에 이 바이러스가 확산하면서 사람들은 이 바이러스에 대한 관심이 매우 높아져 있다. ○○○바이러스감염증-19를 줄여 ○○○19라고 부른다.

6 IBS는 매년 이 공모전을 열어 과학자들이 현장에서 발견한 신비한 이미지를 선별해 대중에게 소개하고 있다.

8 강입자를 이루는 기본 입자의 한 종류. 양성자와 중성자의 구성 입자로 널리 알려져 있다.

10 렙톤의 한 종류로 어원은 '작은 중성자'다.

11 우주를 구성하는 가장 기본적인 입자 중 하나로, 뮤 입자라고도 불린다.

12 핵을 이루는 중성자의 수는 다르지만, 양성자 수는 같아서 원자번호가 같고 화학적 성질도 같은 원소를 부르는 말이다.

14 기하학의 한 분야로 복잡한 공간의 수리적 특성을 연구하는 분야.

가로세로 퍼즐 정답

1 아이오딘화나트륨 2 다크매터 3 바이러스 4 화성 5 코로나 6 이트인사이언스
7 보이저 8 쿼크 9 크리스퍼유전자가위 10(세로) 중성미자 10(가로) 중이온가속기
11 뮤온 12 동위원소 13 소우주 14 시공간기하학

2022 제8회 IBS ART IN SCIENCE 공모전 개최

IBS는 과학 실험, 연구과정 속에서 발견한 아름다움과 경외로움을 대중과 공유하고자 여덟 번째 Art in Science 공모전을 개최합니다.

2015년부터 연구과정에서 포착한 예술적인 순간을 전시하고 있으며 2020년부터는 누구나 출품 가능한 공모전 형태로 개최하고 있습니다.

과학자의 시선에서 발견한 예술적인 순간을 담은 다양한 작품들을 기다립니다. 과학 실험이나 연구과정에서 얻은 이미지나 동영상이 있다면 응모해 주세요. 대한민국에 거주하는 누구나 응모가 가능합니다. 팀(5인 이하) 또는 개인당 3점 이내의 작품을 제출할 수 있습니다. 기간은 10월 20일까지며 홈페이지 www.ibs공모전.com'으로 접속해 참가신청서를 작성하고 작품을 제출해 주세요! 총 상금 1050만 원의 주인공을 기다리고 있을게요.

2022 제3회 IBS · 기초과학 홍보콘텐츠 공모전 개최

IBS는 UN 선정 "지속가능한 발전을 위한 세계 기초과학의 해"를 맞아, 기초과학의 중요성을 널리 알리기 위해 누구나 참여 가능한 '제3회 IBS · 기초과학 홍보콘텐츠 공모전'을 개최합니다.

기초과학의 중요성 또는 IBS 관련 주제(IBS 역할, 연구성과 등)를 홍보할 수 있는 영상과 이미지(인포그래픽, 웹툰)를 기다립니다. IBS를 창의적으로 홍보해주실 홍보왕을 찾습니다. 출품작품은 IBS 홈페이지와 유튜브 공식 채널을 통해 공개됩니다. 지금 바로 도전하세요!

대한민국에 거주하는 누구나 응모가 가능합니다. 팀(5인 이하) 또는 개인당 작품 1점을 제출할 수 있습니다. 영상은 3분 내외 단편영상으로 보내주세요. 이미지 형식은 특별한 제한이 없습니다.

기간은 10월 20일 24시까지며 홈페이지 'www.ibs공모전.com'으로 접속해 참가신청서를 작성하고 작품을 제출해 주세요! 자세한 내용 문의는 공모전 사무국 lcm@intoinmedia.com으로 해주세요.

2022 1st | 18th Issue

IBS Research

발행인
노도영

편집
IBS 홍보팀

발행일
2022년 8월 31일

발행처
기초과학연구원(대전광역시 유성구 엑스포로 55)

연락처
042-878-8114(www.ibs.re.kr)

창간일
2013년 12월 31일

제작
진행 OhY LAB.
글·디자인 OhY LAB.
인쇄 다인스케치

일러스트
박지연

사진
IBS, 이서연, GIB, 위키미디어 커먼스, Pixabay, NASA