

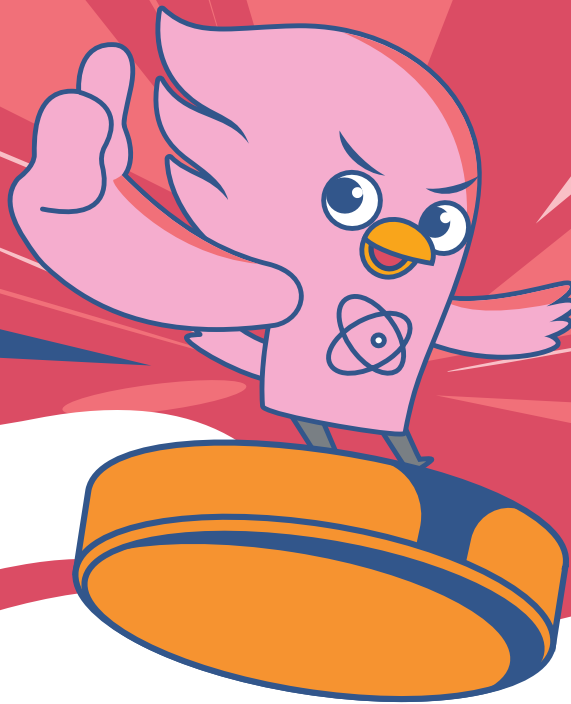
POSTECHIAN



우리의 작은 환경 이야기

Thinking ZONE

안녕하세요, 포스테키안 구독자 여러분~ 과학 덕후 포스테키안입니다.
여러분은 전기 에너지를 효율적으로 쓸 수 있는 초전도체가 환경에도 효율적이라는 것을 알고 계시나요?



발전소에서 전기가 만들어지고 집, 학교 등 전기를 사용하는 곳으로 전달되는 과정에서, 불가피하게 전력 손실이 발생합니다.

그런데 초전도체를 활용할 수 있다면, 전력 손실을 줄여 전기 에너지의 효율을 향상할 수 있습니다.

에너지 사용량을 줄일 수 있고, 화석 연료 사용을 줄일 수 있게 되니 환경에 해로운 가스 배출도 줄일 수 있겠죠?

또, 초전도체를 활용하면 각종 배터리의 충전 시간을 단축해 에너지 효율을 높일 수 있습니다.

이외에도 초전도체를 에너지 저장 시스템에 활용해 재생 에너지의 효율적인 사용을 돕는 등 다방면으로 환경에 도움을 줄 수 있습니다!

하지만 실생활에 쓰이도록 초전도체를 생산할 때 환경을 위협할 수도 있으니,

올바른 방법으로 상용화할 수 있도록 포스테키안의 지속적인 관심이 필요할 것 같습니다.



TALK 카카오톡 실행 ▶ 🔍 상단 검색창 터치 ▶

+ 👤 검색창에 채널명 입력 ▶ Ch 카카오톡 채널 추가 (상담직원에게 메시지 보내기)



에비 포스테키안들에게

알리미가 쏜다!

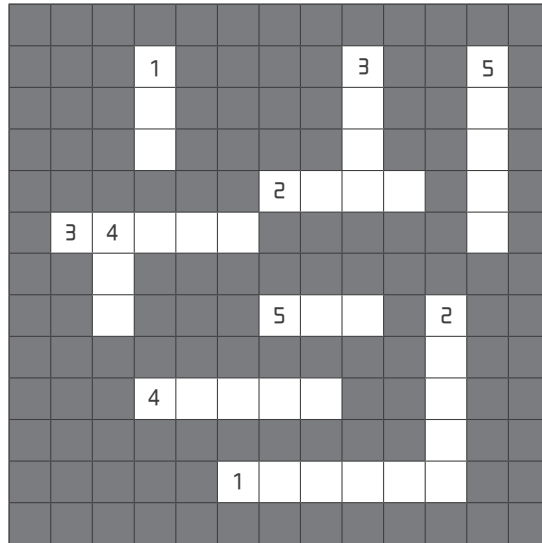
과학 기술을 사랑하며 글로벌 리더의 꿈을 키우는 당신이라면 꼭 읽어보아야 할 잡지, POSTECHIAN 독자 여러분 반갑습니다.
앞으로 더욱 풍성하고 알찬 '이공계 진로 설계 안내서'를 만들고자 여러분의 의견을 POSTECHIAN 제작에 반영하려 합니다.
3월 15일까지 링크에 접속해 아래 단어 퍼즐의 답을 맞히고(필수) 설문에 참여해 주시면 추첨을 통해 소정의 선물을 드릴 예정입니다.
여러분의 많은 참여와 유익한 의견을 기다립니다.



<https://me2.do/FcuYaUAa>

- ① 잡지에 실린 내용을 기반으로 단어 퍼즐 맞추기
- ② QR코드를 통해 링크 접속!!
- ③ 단어 퍼즐이 가리키는 단어를 맞히고 설문 참여하기
- ④ 포스텍 알리미가 준비한 선물 받기

포스테키안 이번 호, 재미있게 읽으셨나요?
단어 퍼즐을 풀고 정성 가득한 후기를 남겨주시면
선물이 팡팡! 쏟아집니다.



가로 퍼즐

1. 전기용량이 매우 큰 축전기. 이온 전도성 전해질과 분리막으로 구성된 두 개의 전기 전도성 판으로 이루어짐.
2. 어떤 가상의 곡면에 작용하는 총 자기력을 나타내는 물리량. 곡면의 넓이와 곡면에 대하여 수직인 자기장 성분의 곱으로 나타냄.
3. 임계압력 및 임계온도 이상의 조건에 있는 물질. 하이브리드 상태로서 액체와 기체 중간 정도의 물성을 가짐.
4. 유체의 흐름을 예측하는 데 사용되는 수. 관성에 의한 힘과 점성에 의한 힘의 비.
5. 세포 내에서의 생명 활동 수행을 위해 쓰이는 유기 화합물. 에너지 화폐라고도 불림.

세로 퍼즐

1. BCS 이론에서 초전도체 내의 전하 운반 주체로 두 전자가 결합해 보손처럼 행동하는 물질.
2. 원형, 중첩과 같은 양자역학적 현상을 활용하여 자료를 처리하는 기계.
3. 적외선 중 가시광선에 가까운 부분의 광선. 가시광선과 달리 사람의 눈으로 볼 수 없음.
4. 상평형 그림에서 더 이상 액체와 기체 사이의 상전이가 일어나지 않는 온도와 압력 조건을 나타냄.
5. 결정 구조 내에서 원자 또는 이온이 차지하는 실제 공간의 비율.

CONTENTS

2023 포스텍 이공계 진로 설계 안내서 N°180

발행일 2023. 12. 8.

발행인 김성근

발행처 포항공과대학교 입학팀

경북 포항시 남구 청암로 77

편집주간 오민진 강수향

편집기획 사수현 이유리 조소혜

편집위원 포스텍 알리미

디자인 & 제작 |주디디자인콜림

t. 051-202-9201

f. 051-202-9206

정가 5,000원



POSTECH 입학팀 홈페이지 바로가기

<https://adm-u.postech.ac.kr>

06

포스텍 에세이

감동을 주는 꿈을 가진

미래의 연구자를 기다리며

10

알리미가 만난 사람

김성근 총장님과의 이야기

14

알턴십

나르마

18

고등학생 기자단 포커스

최동구 교수님을 만나다!

22

기획특집

상온상압 초전도체

32

헬로노벨

비선형편미분방정식 해의

정칙성에 관한 수학적 이론의 토대

36

최신기술소개

인공 전자 피부 / 시멘트 배터리 /

유전자 치료 후 음주량 90% 감소 /

하이브리드 양자 기반 보안키

38

포스텍 연구실 탐방기

포스텍 기능성 생체 분자 재료 연구실

42

알리미 온에어

알리미의 학과 생활 V-log

44

포라이프

운동, 행복을 찾는 이야기

46

크리에이티브 포스테키안

의료 인공지능 전문가를 향해서

48

포스텍 카툰

우당탕탕 포스테키안의 하루

입학 / 동아리

50

사이언스 블랙박스

연구 대상이 된 신체 조직,

무단으로 사용했던 거라고?

54

공대생이 보는 세상

카페

생명과학과 / 물리학과 /

화학공학과 / 기계공학과

58

지식더하기

① 레이놀즈수

② 고체의 결정 구조와 공간 채움률

60

마르쿠스

사영공간,

기하학에서 무한을 다루는 방법

62

알스토리

① 고민, 성장의 시작

② 어른이 되기 위한 과정

64

포스테키안을 만드는

알리미를 소개합니다!

66

독자서평

편집후기



감동을 주는 꿈을 가진
미래의 연구자를 기다리며

(글) 포스텍 반도체공학과 이병훈 교수

불특정 다수의 독자를 대상으로 글을 쓰는 것은 동료들 대상으로 논문을 쓰는 연구자에게 쉬운 일은 아닙니다. 고민 끝에 포스테키안의 독자들에게 제 인생을 바꾼 꿈이라는 주제로 얘기해 보려고 합니다. 혹시 이 글이 누군가의 삶을 더 좋은 방향으로 바꾸는 계기가 될 수도 있지 않을까 하는 기대도 하면서요.

흔히 사랑은 영원하지 않다고 하듯 꿈도 성장하면서 바뀌게 됩니다. 저에게도 제발 어느 대학에서라도 나를 받아줬으면 하는 것이 꿈이었던 시절이 있었고, 체 게바라처럼 세상을 바꾸는 혁명가가 되는 것이 꿈이었던 시절도 있었습니다. 그랬던 제가 이제 중견 교수가 되어 학생들에게 꿈을 가지라고 얘기를 합니다. 그런데, 제 경우처럼 꿈이 자주 바뀌고, 지속적이지 않다면 도대체 꿈을 가진다는 것은 어떤 의미가 있을까요?

제가 조금 더 지속 가능한 꿈을 가지게 된 것은 삼십 대 중반이었습니다. 한 학회에서 화성에 탐사선을 보내는 NASA 프로젝트 책임자의 초청 강연을 들었습니다. 맨 처음에는 비용을 아끼기 위해 탐사선을 풍선에 싸서 던졌는데, 더 많은 일을 할 수 있는 무거운 탐사선을 견딜 수 있는 풍선을 쓰려면 풍선이 더 무거워져서 연료를 더 써야 하고 그래서 더 큰 비용이 들게 되는 난감한 문제를 해결하는 과정에 대한 강연이었습니다. NASA의 연구자는 헬리콥터를 이용해서 항공모함에 짐을 내리는 장면에서 영감을 얻었다고 합니다. 탐사선을 둘로 나눠서 하나는 역추진해서 탐사선이 화성에 부딪히는 속도를 줄인 다음 분리하고, 최종적으로는 훨씬 가벼워진 착륙선만 착지하도록 하는 방법으로 문제를 해결했다는 얘기를 들었을 때 저도 모르게 탄성이 나왔습니다. 화성 탐사선 프로젝트는 풍선에 싸서 던져졌던 PathFinder(1997년)에서 시작해서 방금 소개한 Curiosity(2012년), Perseverance(2021년)로 이어지는데요. 무려 25년에 걸쳐 계속된 도전의 길을 보면 존경하는 마음을 표하지 않을 수 없습니다. 유튜브로 탐사선의 화성 착륙 장면을 찾아보시면 백발이 성성한 과학자들이 맘껏 기뻐하는 장면을 볼 수 있습니다. 길잡이, 호기심, 인내라는 탐사선의 이름들이 이 프로젝트에 참여하여 평생을 바친 과학자들의 인생을 대변해 줍니다. 이처럼 하나의 목표에 인생을 바치는 것이야말로 연구자들의 꿈과 로망입니다.



1. 대학 입학식
2. 신문사 1기, 2기 설악산 MT
3. 석사 졸업 후 삼성에 입사한지 한 달 만에 영국으로 출장가서 찍은 사진
4. 미국 SEMATECH 시절

1	2
3	4

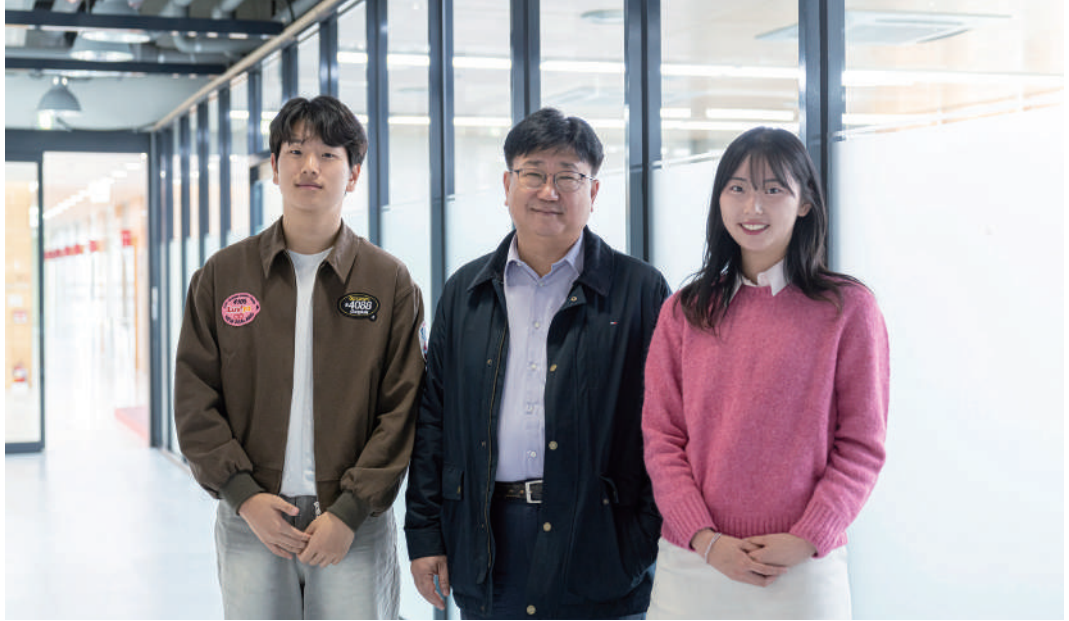


그 강연을 들은 날부터 며칠간 나도 저런 연구를 하고 싶다는 열망과 부러움에 잠도 제대로 잘 수 없었습니다. 나도 로켓 과학자를 꿈꿀 수 있는 좀 더 잘사는 나라에 태어났더라면, 누가 나에게 저런 연구를 할 방법을 미리 알려줬더라면 하는 생각까지 했습니다. 왜 나는 인류가 가진 지식의 지평을 넓히는 최전선에 도전하는 것이 아니라 돈을 버는 것을 목표로 하는 반도체를 연구하게 되었을까 하는 원망도 했습니다. 한참을 그러다가 나를 타협점을 찾았습니다. '내가 잘 아는 반도체로 세상을 바꾸는 길을 찾아보자. 그래서 데이터센터가 에너지를 덜 쓰도록 해서 환경에도 도움이 되고, 누구나 차별 없이 정보화 사회의 혜택을 누릴 수 있게 되는 세상에 기여해 보자'라는 꿈을 가지게 되었습니다.

이 꿈은 어렸을 때처럼 세상에서 최고가 되고자 하는 화려한 꿈도 아니고, 많은 돈을 벌거나 누군가의 인정을 받고자 하는 꿈도 아닙니다. 다만, 내가 가는 길이 조금 더 의미 있는 길이었으면 하는 바람과 내가 세상을 구하는 영웅이 되지 않더라도, 누군가 가야 할 길 위에 조약돌 하나를 보태는 의미라도 있었으면 하는 바람을 담은 꿈입니다. 그렇지만 이 꿈은 포기할 수도 없고 이 길을 가야만 가슴 떨리는 안타까움을 달랠 수 있는 그런 첫사랑과 같은 길이 되었습니다.

그래서 성공이 보장된 기업을 떠나 학교로 왔고, 이런저런 시도 끝에 많은 사람에게 잊힌 삼진 로직 컴퓨팅이나 전압에 따라 기능이 변화되는 자기 재구성 회로 기술과 같이 남들이 도전하지 않는 신기한 기술들에 도전해 보고 있습니다. 다행히도 많은 국민이 노력한 결과로 우리나라는 이런 황당한 도전을 지원하고 격려해 줄 수 있는 멋진 나라가 되어서 목표한 연구를 맘껏 할 수 있었습니다. 게다가 아시는 분들이 많지는 않지만, 포스텍에는 이미 150 mm, 200 mm 웨이퍼에 이런 새로운 소자를 이용한 반도체 칩을 직접 만들어 볼 수 있는 시설이 갖추어져 있고, 2025년에 세 번째 반도체 연구시설이 완공되면 포스텍은 국내 1위, 세계 4위 규모의 반도체 연구시설을 갖춘 학교가 됩니다. 대단하죠? 세상을 바꾸는 새로운 반도체 기술을 맘껏 연구할 수 있는 환경이 만들어지는 건데요. 이 시설은 우리나라의 모든 연구자가 같이 사용할 수 있도록 개방되어 있습니다.





함께한 알리미 : (좌) 무은재학부 23학번 29기 알리미 김정연 (우) 반도체공학과 23학번 29기 알리미 김세현

다시 처음에 던진 질문으로 돌아가 보겠습니다. 어린 학생들이 가지는 꿈은 지속 가능하지 않고, 연구자의 길을 가면서도 바뀔 수 있는데, 그런 꿈은 필요할까요? 개인적인 기준이지만, 저는 논문을 몇 편 쓰겠다거나, 장래에 교수나 의사가 되겠다거나 하는 것처럼 많은 사람이 지나가서 일종의 지도가 있는 길을 가겠다는 것은 희망으로, 아직 어떻게 해야 할지는 모르겠지만 뭔가 간절히 바라는 것이 있고 그걸 위해 큰 노력을 기울일 의지가 있을 경우를 꿈으로 구분합니다.

이렇게 꿈의 범위를 좁히고 나면 독자들께서는 스스로 질문하게 될지도 모릅니다. 내가 생각하는 것은 꿈인가 희망인가? 모든 사람이 영화와 같은 사랑을 경험하는 것이 아니듯이, 모든 사람이 꿈을 갖고 사는 것도 아니고 그래야만 하는 것도 아닙니다. 그런데도 꿈을 꾸는 삶을 추구하는 것은 연구자가 되고자 하는 학생들에게 너무 중요합니다. 왜냐하면 연구자의 길은 너무 많은 실패와 좌절을 거쳐야 하기 때문에 꿈꾸는 사람들이 갖는 용기가 필요하기 때문입니다.

돌아보면 저는 남들이 해봐야 안 될 것이라고 말하는 일들을 여러 가지 해봤습니다. KAIST에서 처음으로 신문사를 만들고 초대 편집장으로 활동했던 일(지금은 KAIST Times로 이름이 바뀌어 5백 회 이상 발간되었습니다.), 남들이 불가능하다고 했던 고유전 절연막을 초창기부터 시작해서 전 세계 사람들이 쓰게 될 때까지 전 과정의 연구에 참여하고 IBM과 SEMATECH에서 상용화 개발팀을 이끌었던 일 등 이런 경험들이 쌓여서, 저를 불가능해 보이는 새로운 꿈에 도전할 수 있는 연구자로 만들었습니다. 작은 꿈을 꾸고 이루어 본 경험을 가진 사람들은 꿈을 꾸지 않는 삶을 살기 어렵습니다. 반대로 한 번, 두 번 일상의 압력에 굴복하고 나면 다시 꿈을 꾸는 것이 쉽지 않습니다.

▶
2024년 1월 12일, 에세이와는
다른 매력의 이병훈 교수님을
만나보세요!



그래서 저는 지속 가능하지 않더라도, 거창하지 않더라도, 꿈을 꾸는 삶을 살기 위해 노력하실 것을 추천합니다. Caltech의 교수를 뽑을 때는 3단계의 심사 과정에서 모두 만장일치가 되어야 한다고 합니다. 이런 일이 가능하냐고 물어보니 연구에 대한 꿈이 감동을 주면 가능하다고 하더군요. 저는 이 글을 읽는 독자 중 누군가는 훗날 남들에게 감동을 주는 꿈을 가진 연구자가 되려는 포부를 가지게 되면 좋겠다는 생각을 해봅니다. 꿈꾸는 학교, 꿈 크는 학교, 포스텍에서 여러분을 기다리겠습니다. 🍎

김성근 총장님과의 이야기

나만의 길을 찾고자 하는 사람들이 모인 곳

(글) 컴퓨터공학과 22학번 28기 알리미 박기현



포스텍이라는 기회의 땅을 학생들이 마음껏 거닐 수 있도록 누구보다 학생들을 위하는 분이 계십니다. 이번 <알리미가 만난 사람>에서는 포스텍 제9대 김성근 총장님을 만나 뵈었는데요! 새로이 취임하신 김성근 총장님께서 가꾸어 나가고 싶은 포스텍에 대해 함께 들어볼까요?

1. 총장님, 자기소개 부탁드립니다!

안녕하세요. 포스텍 제9대 총장 김성근입니다. 저는 화학과 물리학에 모두 관심이 있어 학사는 화학, 석사는 물리학, 박사는 화학물리학을 전공하였고, 교수가 되어서는 물리화학을 연구하고 가르쳤습니다. 서울대학교에서 1989년부터 2022년까지 34년간 교수 생활을 하면서 교육과 연구를 모두 즐기는 통상적인 교수 생활을 했습니다.

#2. ‘포스텍’을 선택하신 이유가 무엇인가요?

대학인으로 살며 늘 아쉬웠던 점이 있습니다. 한국 대학과 미국 대학을 꼭 비교하고 싶지는 않지만, 한 가지 차이가 있다면 한국 사회는 예의 바르고 남들과 함께 가려는 성향이 강하지만, 서양 사회는 개인주의가 강하고 개인의 생각과 의사를 활발히 표현하는 사회라는 점입니다. 특히 학계라는 곳은 새로운 아이디어가 나오고 그것들끼리 경쟁하는 곳으로서, 서양 사회에서는 학생들이 교수님의 의견에 반대하기도 할 정도로 논쟁이 굉장히 치열합니다. 이런 모습들을 학문 중심주의, 아카데미즘이라고 부를 수 있습니다. 개인주의가 강한 사회에서는 아카데미즘이 뿌리내리기 쉽지만, 한국은 존중 의식이 강해서 남과 반대되는 의견을 가지고 있어도 대놓고 얘기하기 힘든 부분이 있습니다. 이는 학문 추구에 있어서는 아쉬운 부분입니다. 따라서 저는 학문, 진리 탐구 그리고 앞에 대한 열망이 중심이 되는 아카데미즘을 포스텍에서 발현해 보고 싶습니다. 포스텍은 이공계를 꿈꾸는 소수정예들이 모인 집단으로서 이러한 생각을 현실로 옮기기에 가장 좋은 학교가 아닐까 하는 생각이 들었습니다.

#3. 총장님이 생각하시는 ‘포스테키안의 DNA’는 무엇인가요?

‘탐견’이라는 영화의 부제는 매버릭입니다. 매버릭은 길들지 않은 젊은 소를 말합니다. 탐견의 톰 크루즈 역시 쿨사인이 매버릭이며, 본인 나름의 원칙은 존재하나 남이 만들어 놓은 규율이나 법칙을 따르려 하지 않고 자기만의 길을 가겠다는 의지가 강한 사람으로 등장합니다. 저는 포스테키안에게는 이러한 매버릭 유전자가 있다고 생각합니다. 많은 사람이 우르르 몰려가는 길을 거부하고 나만의 길을 찾고자 하는 사람들이 모인 곳이 바로 이 포스텍이라고 생각합니다. 과거에도 현재에도 포스텍에는 이 매버릭 유전자가 있다고 생각하고, 앞으로도 이것을 강화해 나갔으면 좋겠습니다. 우리가 노벨상만을 목표로 할 수는 없지만, 이런 풍토에서야 비로소 노벨상이 나올 수 있다고 생각합니다. 노벨상은 개척자에게 주어지는 상이기에, 최초가 되기 위해선 남들이 가지 않는 길을 가야 합니다. 포스테키안의 DNA에 매버릭 유전자가 있으리라 믿고 이 매버릭 유전자를 강화해 나간다면, 이러한 드넓은 성취를 이루는 데에도 한 발짝 다가갈 수 있을 것입니다.

#4. 총장님이 생각하시는 포스텍의 장점은 무엇인가요?

장점보다는 다른 점이라 말하고 싶습니다. 장점은 남보다 잘하는 것을 의미하지만, 남이 가지 않는 길로 혼자 먼저 간다는 것은 '다른' 점입니다. 취임사에서도 얘기했듯이, 엄지손가락은 다른 손가락에 비하면 키가 작습니다. 하지만 그런데도 으뜸의 상징이 될 수 있었던 이유는 그 각도가 달랐기 때문입니다. 인간이 가지고 있는 모든 도구는 엄지의 엇갈린 방향 덕분에 탄생할 수 있었습니다. 따라서 포스텍도 엄지와 같이 남들과는 다른 방향을 지향해야 한다고 생각합니다. 포스텍은 소수정예이기에 서로 부대끼면서 성장하는 분위기가 크고, 그 결 통해서 서로 간의 결집력도 강해지고, 상대방을 통해 깊이 있게 배우는 점이 많은 것 같습니다.

#5. 총장님의 인생 가치관, 삶의 모토가 어떻게 되시나요?

오래전 미군 방송에서 나온 공익 광고가 생각납니다. 음악회에 간 부부가 아이가 없어서 찾던 중에 무대가 열리고 아이가 거기 피아노 앞에 앉아 있는 것을 보고 놀랍니다. 아이는 제멋대로 피아노 건반을 두드리는데 그날의 연주자가 나와 아이와 함께 피아노를 치면서 멋진 음악을 만들어 냅니다. 환호하는 청중들을 보여주며 자막에 등장하는 영어 단어가 바로 'Encouragement'였습니다. 저는 격려가 굉장히 중요하다고 생각합니다. 남들을 지적하고 비판하는 것도 필요하지만, 교육 현장에서는 격려하는 것이 특히 중요합니다. 제 고등학교 3학년 담임 선생님도, 대학교 지도교수님도, 대학원 지도교수님도, 박사후연구원 지도교수님도 모두 격려의 달인들이셨는데 아마 그래서 제가 계속 이 길을 걸을 수 있었던 게 아닌가 합니다. 그래서 저도 교수 생활을 하면서 학생들을 격려하려고 노력했습니다. 제가 견지하고 싶은 자세는, 그리고 인간 사회의 중요한 가치 중 하나는 바로 격려라고 생각합니다.





#6. 총장님의 꿈 혹은 목표는 무엇인가요?

직업적으로는 작년에 교수를 은퇴할 때 이미 꿈을 다 이룬 것 같습니다. 학자로서 살면서 좋은 대학에서 오랫동안 교수 생활을 하고, 많은 훌륭한 제자들을 키워냈기 때문에 꿈을 이뤘냐고 물어본다면 그렇다고 대답할 것 같습니다. 하지만 다시 포스텍에 온 이상 새로운 꿈을 가져야 한다고 생각합니다. 그 꿈이 아까 말했던 포스텍을 대학다운 대학으로 만들어 보고 싶다는 것입니다. 스스로 “포스텍 2.0: 제2의 건학”이라는 슬로건을 만들었습니다. 개교한 뒤 오랜 시간이 흐르면서 초기의 열정과 패기가 희석되고 약화되어 가는 이 시점에 다시 재도약이 필요하다고 생각하며, 포스텍 2.0의 첫 단추를 끼우고자 하는 것이 제 꿈입니다.

#7. 이공계 진로를 꿈꾸는 고등학생들에게 한마디 부탁드립니다!

제가 하고 싶은 이야기는 직업이 행복을 결정짓지는 않는다는 것입니다. 젊은이들이 점점 모험 회피형 인간이 되어가고 있습니다. 미래를 바라볼 때, 직업만을 바라보고 자신의 커리큘럼을 정하지 않았으면 좋겠습니다. 자신이 하는 일이 자신과 얼마나 잘 맞는지, 그리고 그것에서 느끼는 본인의 보람을 생각해 보길 바랍니다. 비유를 들자면, 학교라는 곳은 마치 시냇물 같습니다. 시냇물에서 물은 한 방향으로 흐르다가 강물이 되고, 바다에 들어가면 그때는 흐름이 없어집니다. 시냇물에서는 물이 흐르는 방향으로 빨리 헤엄치는 물고기가 유리하지만, 사회라는 바다에 도달하면 정해진 방향이란 없기에 어디로 가야 할지 잘 보는 눈이 더 유리합니다. 지금 남들보다 조금 더 앞서가야겠다는 욕구보다 어떤 눈으로 세상과 자연을 바라보느냐, 어떤 눈으로 나의 커리어를 바라보느냐가 훨씬 더 중요합니다. 이공계 진로를 꿈꾸며 포스텍을 선택하는 학생들에게 우리는 헤엄치는 기술도 가르쳐 주겠지만 무엇보다 잘 보는 역량을 키워주려고 합니다.

총장님의 말씀 속에서 학문에 대한 열정과 도전 정신을 엿볼 수 있었습니다. 여러분도 미래의 포스테키안으로서, 자신만의 길을 개척해 나가는 어엿한 과학도로 성장해 나가길 응원합니다. 학생들이 꿈을 피워나갈 수 있도록 좋은 말씀을 들려주신 김성근 총장님 감사합니다! 🍀

안녕하세요, 포스테키안 구독자 여러분! 알리미의 일일 인턴십 코너 알턴십의 열한 번째 이야기를 가져왔습니다. 이번 호 알턴십으로 방문한 기업은 드론 배송 시스템을 개발하는 기업, 나르마입니다. 나르마는 한국항공우주연구원의 1호 연구소기업으로, 세계 최초로 전동식 소형 듀얼 틸트로터 드론을 개발했습니다. 이 기술로 나르마는 2023 대한민국 혁신제품대상을 수상하였고, CES 2023에 참여하는 등 한국을 넘어 세계로 도약하고 있습니다. 혁신적인 드론 기술로 세계 각국의 관심을 받는 나르마가 어떤 기업인지 자세히 알아보기 위해 저와 김세민 알리미가 직접 찾아가 보았습니다.

글 / 화학과 22학번 28기 알리미 김유빈

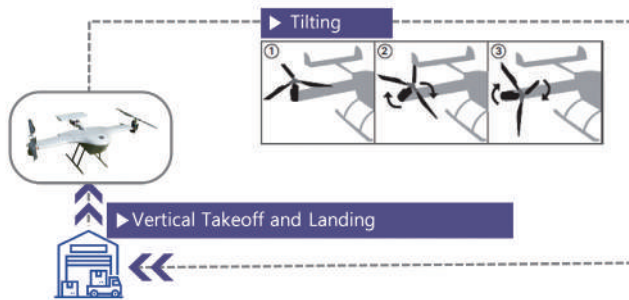
알턴십 인턴 / 화학과 22학번 28기 알리미 김유빈 X 무은재학부 23학번 29기 알리미 김세민

알리미의 일일 인턴 체험기! 한국항공우주연구원의 1호 연구소기업, 나르마



세계 최초 전동식 소형 듀얼 틸트로터 드론, AF100 & AF200

나르마는 주로 소형 틸트로터 드론을 개발하고 연구하는 기업입니다. 틸트로터(Tiltrotor)는 기울인다는 의미의 틸트(Tilt)와 로터(Rotor)를 합친 단어입니다. 즉, 틸트로터 드론은 로터 블레이드(드론의 날개)를 회전시키며 비행하는 방식을 적용한 드론입니다. 이착륙과 같이 드론이 수직 방향으로 비행할 때는 로터 블레이드가 수직 위 방향으로, 드론이 수평으로 비행할 때는 로터 블레이드가 수평 방향으로 회전합니다.



로터 블레이드의 자유로운 회전 방향 조절을 통해 틸트로터 드론은 일반 드론에 비해 더 빠르고 안정적인 비행이 가능합니다. 현장에서 직접 비행 시연을 볼 수 있었는데요. 드론이 바람의 영향을 받지 않고 안정적으로 비행을 하는 것을 볼 수 있었습니다. 또한, 드론이 아주 빠른 속도로 이동하는 것을 보니 매우 신기했습니다. 비행 시연 내내 드론에서 눈을 뗄 수가 없었습니다!

드론의 설계와 제작

나르마의 드론은 어떻게 설계하는 걸까요? 사수님과 함께 드론 개발실을 견학하며 드론의 설계를 직접 보았습니다. 드론의 효과적인 설계를 위해서는 드론의 무게를 최소화하는 것이 핵심이라고 하셨습니다. 이를 위해 나르마는 많은 드론 부품을 직접 제작하여 사용한다고 합니다. 가장 효율적인 드론을 만들기 위해 부품 하나하나 놓치지 않는 세심함도 볼 수 있었습니다! 드론의 설계도에서 볼 수 있었던 또 하나의 특별한 점은 로터 블레이드의 설계였습니다. 나르마의 드론은 틸트로터 기술을 구현하기 위해 양쪽의 로터 블레이드를 하나의 축으로 이어 회전할 수 있도록 설계되어 있었습니다. 또한, 드론 비행의 세심한 조절을 위해 각 날개의 각도를 조정할 수 있도록 자세히 설계된 부분 또한 볼 수 있었습니다.



드론의 안전한 비행

저는 혹시나 드론이 비행 중 충돌해 추락하지는 않을까 하는 걱정도 있었습니다. 나르마의 드론은 주변 지형지물을 고려하여 비행 전에 비행경로를 상세하게 설정할 수 있다고 합니다. 또한 비행 중 난류나 날아오는 새 등 예측하기 어려운 장애물이 나타나도 드론 조종자가 상시 함께하게 되어 있어 대처할 수 있다고 합니다!

이러한 비행 안전성을 인정받아 나르마에서 제작된 드론은 국토교통부로부터 비가시권 및 야간 비행을 동시에 허가 받았다고 합니다. 또한, 자동 비행으로 통영-사량도 간 13km 구간의 긴급 혈액 배송 지원이나, 건양대병원과 충남대 병원 간 도심 10km 구간의 응급 물품의 배송에도 참여한 적이 있다고 합니다. 국토교통부로부터의 허가부터 여러 실증 경험까지, 나르마에서 제작한 드론의 안전성은 걱정할 필요가 없을 것 같습니다.

권기정 대표님과 인터뷰

나르마의 드론 제작 과정의 견학을 모두 마친 뒤 권기정 대표님을 직접 만나 이야기를 해볼 수 있었습니다. 먼저 나르마의 창업과 틸트로터 드론의 개발에 관한 이야기를 여쭙보았습니다. 이 질문에 대표님께서서는 틸트로터 드론은 일반 드론과 고정익기(날개가 고정된 비행기)의 장점을 모두 가지고 있다고 답변주셨습니다. 일반 드론은 공중에 정지해 있는 것에 특화되어 있지만 이동이 불안정한 반면, 고정익기는 빠른 이동에 강점을 가지지만 공중에 정지해 있는 것은 어렵다고 합니다. 대표님께서서는 두 비행체의 장점만을 가져간 틸트로터 기술을 꿈의 기술이라고 생각한다고 하셨습니다.



2002년부터 10년간 항공우주연구원이 연구하여 성공시킨
틸트로터 기술을 상업화하여 혁신을 이룰 수 있도록 항공우주
연구원 1호 연구소기업 '나르마'를 창업하셨다고 합니다.

드론은 본래 군사 목적으로 개발되었지만, 시간이 지나며 사진
촬영, 농약 살포, 정찰 등 그 용도가 다양해졌다고 합니다.
대표님께서 앞으로 드론을 이용해 물건이나 사람을 나르는 것
까지 가능해질 것이라 믿으신대요. 나르마가 배송 드론의 표준이
되고 이를 통해 모든 사람이 지역, 상황 등에 구애받지 않고 동등한 복
지를 누리는 것이 목표라고 합니다.

또한 대표님께서 '혁신'에 대해 강조하셨습니다. 새롭게 발명된 기술이
기술로만 머무르지 않고, 우리 생활에 스며들어 좋은 영향력을 미치는 것
이 혁신이라고 하셨습니다. 마지막으로, 포스테키안 독자 여러분이 엔지
니어의 길을 통해 혁신의 주인공이 될 수 있었으면 한다는 멋진 응원의
말씀을 남기며 인터뷰를 마무리했습니다.



나르마 알턴심을 마치며

지금까지 꿈의 기술, 틸트로터 드론을 개발하는 기업 나르마를 견학해 보
았습니다. 드론을 통해 소외당하는 사람 없이 평등한 복지를 누릴 수 있도록
끊임없이 틸트로터 드론을 개발하며 지금 이 순간에도 혁신을 이루고
있는 나르마가 정말 멋있게 느껴졌습니다. 이 글을 읽는 여러분들도 꿈을
가지고 노력하여 세상에 선한 영향력을 미치는, 혁신의 주인공이 될 수
있었으면 합니다! 체험을 도와주신 사수님과 인터뷰에 응해주신
권기정 대표님께 감사 인사를 드리며 이번 알턴심을 마칩니다.

틸트로터 드론과 나르마의 이야기에 더욱 관심이 생겼다면 포스텍
입학팀 유튜브 채널에 공개될 180호 알턴십 영상에도 많은 관심
부탁드립니다!👉

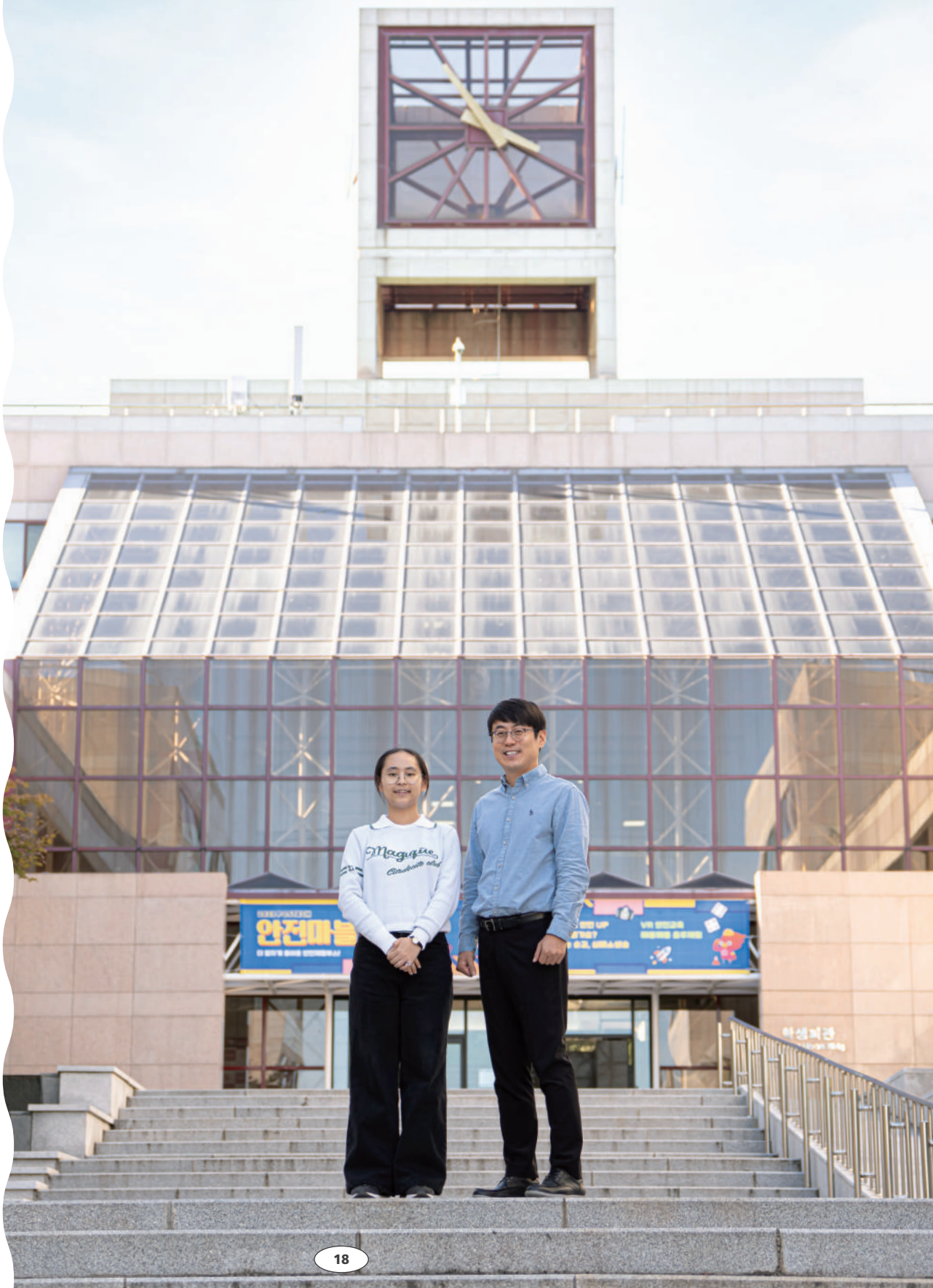


▶ 2024년 3월 29일,
알리미들의 일일 인턴
체험기가 공개됩니다!

첫등교 교수님을 만나다!

고등학교 기자단 포커스 1기

(글) 상산고등학교 1학년 노환아





안녕하세요. 포커스 10기로 활동하게 된 상산고등학교 1학년 노현아입니다.

저는 산업경영공학과에서 수리과학적 모델링을 통해 의사 결정 문제들의 해를 구하고, 이를 현실에 적용하는 연구를 하고 계신 최동구 교수님과 인터뷰를 진행하게 되었습니다. 그럼 인터뷰 내용을 함께 보실까요?

노현아 교수님께서 생각하시는 산업경영공학은 무엇인가요? 산업경영공학과에 대한 간략한 소개 부탁드립니다.

최동구 교수님 산업경영공학과는 우리 사회의 기업 및 산업 분야에 걸친 시스템을 효율화하기 위한 의사결정과 운영 방법을 배우는 학과입니다. 또한 제가 속해 있는 포스텍 산업경영공학과 의 시스템 및 경제적 의사결정 연구실은 물건이나 서비스가 기획되고 생산되어 소비자에게 전달되는 과정에서 발생하는 다양한 문제들을 해결하기 위한 방법론에 대해 연구하고 있습니다.

노현아 저는 산업경영공학 전공을 희망하고 있습니다. 그런데 타 전공에 비해서 산업경영공학의 전문성이 부족하다는 이야기를 들은 적이 있습니다. 이러한 견해에 대해 교수님은 어떻게 생각하시는지요? 특히 산업경영공학과 학생들이 갖추면 좋을 자질은 무엇일까요?

최동구 교수님 산업경영공학은 다소 거시적인 관점을 가지고 넓은 산업 시스템에서 발생하는 문제들을 연구 주제로 다룬다

는 특징이 있습니다. 이에 따라 산업경영공학의 넓은 연구 주제 중 어느 한 특정 부분에 있어서는 해당 분야를 전문적으로 연구하는 다른 전공에 비해 조금 전문성이 떨어진다는 평가를 받을 수 있다고 봅니다. 하지만 거시적인 관점에서 문제에 접근할 수 있다는 것 자체가 산업경영공학의 전문성이자 정체성이라고 생각합니다. 따라서 산업경영공학을 전공하고자 희망하는 학생들은 그 거시적인 관점에 영향을 미치는 다양한 요인들을 고려하여 새로운 시각으로 문제를 정의할 수 있는 능력을 사전에 충분히 배양하고 갖춰주기를 바라고 있습니다.

노현아 교수님께서 지금 연구하시는 내용이 무엇인지 구체적으로 설명해 주시기를 부탁드립니다.

최동구 교수님 산업경영공학과에서 활발하게 다루고 있는 최적화 방법론(Bottom -up Energy System Modelling, Long-term Capacity Expansion Planning)과 경제적 방법론들을 접목해 다양한 의사결정 문제들을 해결하고 있습니다. 특히 에너지 분야, 교통, 물류 분야와 관련된 스마트 시스템의 문제들을 주로 다루고 있습니다.



노현아 교수님 연구실에서 수행하는 에너지와 관련된 연구 주제는 어떤 것이 있을까요?

최동구 교수님 제 연구실에서는 에너지 시스템을 거시적 관점에서 파악하며, 그 에너지 시스템을 어떻게 효율적으로 디자인하고 운영할 것인가에 대한 연구를 하고 있습니다. 최근 신재생 에너지라는 새로운 에너지원이 기존의 에너지 시스템에 도입되면서 어떻게 의사결정을 해야 할 것인가의 주제가 그 예라고 할 수 있습니다. 신재생에너지들은 기상 조건에 따른 발전량이 달라지기 때문에 발전량 예측에 대한 어려움이 있습니다. 제 연구실은 이러한 신재생에너지의 특수성을 참작하여 에너지원별 발전량을 정확하게 예측하는 것은 물론 에너지 시스템이 효율적으로 운영될 수 있도록 최적의 의사결정 해를 찾는 연구를 수행하고 있습니다.

노현아 교수님께서 유명한 배달업체인 '요기요'와 협력하여 교통 물류 연구를 진행하신다고 들었습니다. 정확하게 어떤 연구를 수행하고 계시는지 듣고 싶습니다.

최동구 교수님 잘 아시는 것처럼 요기요는 식당과 고객을 연결해 주는 플랫폼입니다. 이 플랫폼은 고객이 식당에 음식을 주문하고, 그 음식을 라이더들이 고객에게 배달하는 과정에서 발생하는 다양한 의사결정 문제들을 가지고 있습니다. 우선 고객 주문에 대한 예측의 불확실성을 고려하여 라이더들의 고용 수준을 결정해야 합니다. 왜냐하면 그 라이더 수에 따라 식당이 음식 준비 이후 라이더를 기다리는 시간과 고객이 음식을 기다리는 시간이 결정되기 때문입니다. 그리고 A라는 주문을, B 식당에서부터 C 라이더가 D 고객에게 배달하는 모든 과정에 대해 할당해야만 하는 의사결정 문제가 발생합니다. 이러한 문제들에 대해 산업경영공학과에서 다루는 거시적인 관점에서 문제를 정의하고 데이터에 기반을 두어 그 의사결정 문제를 해결하는 연구를 하였습니다.

노현아 최근 머신러닝, 딥러닝 등 인공지능 연구방법론이 이학, 공학, 사회과학 등 모든 연구 분야에 걸쳐 활용되고 있습니다. 교수님이 진행하시는 연구에서는 어떻게 사용되고 있는지 궁금합니다.

최동구 교수님 앞서서 우리 연구실에서는 기본적으로 최적화 모형을 만들어서 의사결정을 내리는 연구를 하고 있다고 말씀 드렸지요. 이런 연구를 하기 위해서는 과거부터 지속된 현상에 대한 정보를 파악하는 것이 중요합니다. 그래야 앞으로 일어날 현상에 대한 의사결정을 할 수 있기 때문입니다. 그래서 우리 연구실에서는 과거의 현상과 미래에 일어난 사건들을 파악하는 과정에서 발생하는 데이터를 머신러닝과 통계 기법들을 활용하여 분석합니다. 그리고, 그 결과들을 최적화 모형이라는 방법론에 적용하여 의사결정을 하는 연구를 많이 수행하고 있습니다.

노현아 마지막으로 포스텍 산업경영공학과 진학을 꿈꾸는 미래 포스테키안들에게 한마디 부탁드립니다.

최동구 교수님 포스테키안 구독자 여러분, 이공계 진학을 희망하는 학생 중에서도 경영이나 경제, 사회 문제에 관심 있는 친구들이 많이 있을 것 같습니다. 그런 학생들에게 산업경영공학은 좋은 선택지라고 생각합니다. 또한 산업경영공학에는 인간공학, 생산공학과 같은 다양한 실험을 기반으로 연구를 수행하는 분야가 있고 포스텍 산업경영공학과에는 그러한 실험을 위

한 다양한 실험 장비와 연구 기반들이 잘 마련되어 있습니다. 산업경영공학 분야 연구를 수행하는 데 있어서 국내 최고의 기반 시설을 가지고 있는 학교이므로 산업경영공학과 진학에 관심 있는 친구들은 포스텍 산업경영공학과에 많은 관심을 두길 부탁드립니다. 여러분들 포스텍에서 만나요.

지금까지 산업경영공학과 최동구 교수님과의 인터뷰 내용이었습니다. 최동구 교수님과 함께 나눈 모든 이야기를 담고자 노력하였습니다. 교수님과의 인터뷰는 저에게 포스텍과 산업경영공학을 이해할 좋은 기회가 되었습니다. 포커스 10기에 활동하면서 얻은 경험은 앞으로의 꿈을 설계하는 데 큰 도움이 될 것입니다.

포커스 기자단 활동을 위해 많은 도움을 주신 포스텍 알리미 분들과 강수향 입학사정관님, 긴 시간 동안 인터뷰를 해주신 최동구 교수님, 끝으로 좋은 촬영을 위해 최선을 다해주신 촬영 감독님께 감사합니다.☺

☐ 고등학생 기자단 포커스의 이야기는
12월 22일 공개됩니다!



Choi, Dong Gu, Ph.D. <http://se.postech.ac.kr/>

2013-2015 Senior Researcher, Korea Institute of Energy Research

2016-2020 Assistant Professor,
Department of Industrial and Management Engineering, POSTECH

2020-Present Associate Professor,
Department of Industrial and Management Engineering, POSTECH

상온상압 초전도체

LK-99

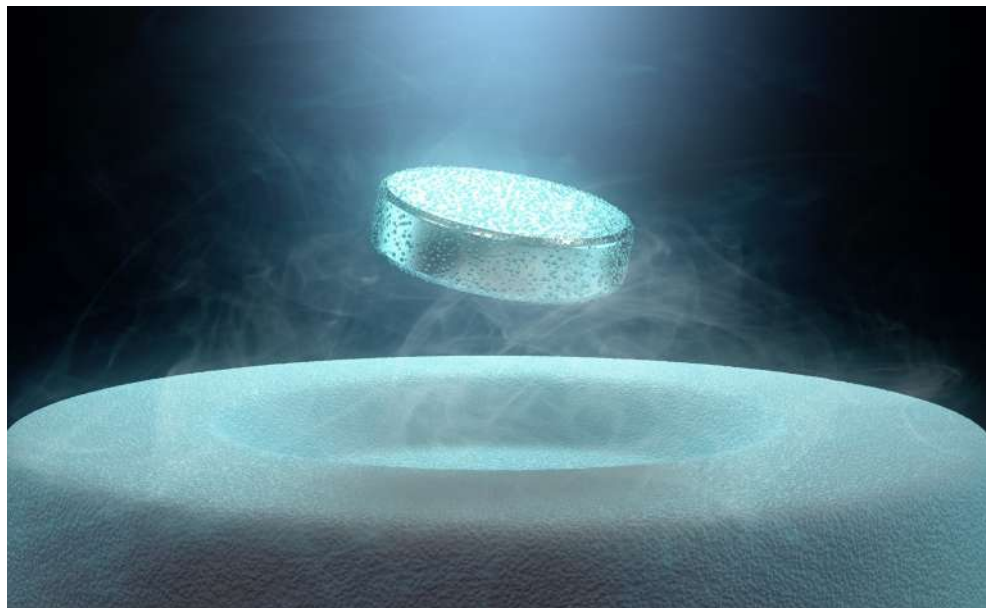
올여름 전 세계를 떠들썩하게 만든 과학계 이슈가 있었습니다. 바로 2023년 7월 22일, 국내 연구진이 LK-99에 대한 논문을 공개하며 상온·상압 초전도체를 발견했다고 주장한 것인데요. 이 발표는 세계 유수의 대학과 연구소에서 관심을 가지고 LK-99를 검증하려는 노력으로 이어졌습니다. 초전도체는 전기 저항이 0이라는 점에서 상용화됐을 때의 그 가치와 이점이 큼니다. 그런데 초전도체는 단순히 저항만 0인 물질이 아니라는 점 알고 계신가요? 이번 기획특집을 통해 초전도체에 대해 더욱 자세히 알아보시다!



▶
2024년 3월 8일,
기획특집의 이야기를
영상으로 만나보세요!



초전도체의 정의와 물리적 특성



올여름 상온·상압 초전도체라 주장된 LK-99로 인해 초전도체에 대한 관심이 정말 뜨거웠습니다. 초전도체가 많은 주목을 받는 이유는 바로 저항이 0이라는 것과 같은 놀라운 특성들 때문입니다. 하지만 초전도체의 자세한 정의와 특성 등에는 그 명성에 비해 다소 생소한 개념이 많이 포함되어 있습니다. 그럼 이번 꼭지에서 초전도체란 무엇인지 알아봅시다.

초전도체의 발견

20세기 초, 과학자들은 극저온에서 금속의 전기 저항이 어떻게 변할지에 관심을 쏟고 있었습니다. 온도를 아무리 낮추더라도 불순물이나 결함에 의해 저항이 잔존한다는 매티슨 규칙을 비롯하여, 극저온 금속의 전기 저항에 대한 다양한 예측이 존재했습니다. 1911년, 카메를링 오네스는 극저온에서의 전기 저항이 어떻게 변할지 직접 실험해 보기로 하였습니다. 그는 수은의 온도를 내리며 전기 저항을 측정하던 중 4.2K의 온도에서 전기 저항이 갑자기 0으로 뚝 떨어지는 것을 발견하였습니다. 이것이 바로 최초의 초전도 현상 발견 사례였습니다. 그런데, 금이나 구리보다 전기 전도성이 낮은 수은이 왜 첫 번째 초전도체로 발견되었을까요? 그 이유는 바로 금속을 정제하려면 금속을 녹여야 하는데, 수은은 녹는점이 낮아 녹이는 과정에서 다른 기체 등이 많이 섞이지 않아서 잘 정제할 수 있었습니다. 따라서

수은은 섞인 불순물이 다른 금속에 비해 적기 때문에 매티슨 규칙의 관점에서 유리했던 것입니다. 첫 번째 초전도체의 발견을 시작으로, 초전도체 연구는 지금까지 활발히 이루어지고 있습니다. 그럼, 이제 초전도체의 정의와 더 자세한 원리를 알아봅시다.

초전도체의 정의

초전도체란 무(無) 저항과 더불어 특별한 자기적 성질을 가지는 도체입니다. 초전도체에 나타나는 초전도 현상은 대표적으로 두 가지가 있습니다. 첫 번째는 특정 온도 이하에서 전기 저항이 0이 되는 것입니다. 전기 저항이 0이 되면 도체 안에서 전류는 전기 에너지 손실 없이 흐를 수 있습니다. 하지만 초전도체라고 해서 전기 저항이 항상 0이 되는 것은 아닙니다. 초전도체는 직류 전류에서만 전기 저항이 0이 되고, 교류 전류가 흐를 때는 교류 손실이 발생한다는 한계점을 가지고 있습니다.

두 번째는 마이스너 효과(Meissner Effect)입니다. 마이스너 효과는 물질이 초전도 상태로 전이되며 물질 내부에 침투해 있던 자기장이 외부로 밀려나는 현상으로 이후에 더 자세히 다루어 보겠습니다. 사실 초전도성의 발현 조건은 매우 까다롭습니다. 초전도성은 무작정 온도만 낮추서는 발현될 수 없는데요. 초전도체의 온도를 특정 온도 이하로 낮추는 것 말고도, 흐르는 전류와 가해진 자기장 역시 특정 세기 이하여야만 한다는 조건을 동시에 갖추어야 합니다. 이때 각 조건의 특정 값을 임계온도(T_c), 임계전류밀도(J_c), 임계자기장(H_c)이라 부릅니다. 그림 1을 보면 초전도체가 파란색으로 표현된 초전도 돔 내부의 상태에 있을 때 세 조건을 모두 만족하여 초전도성이 발현됩니다.

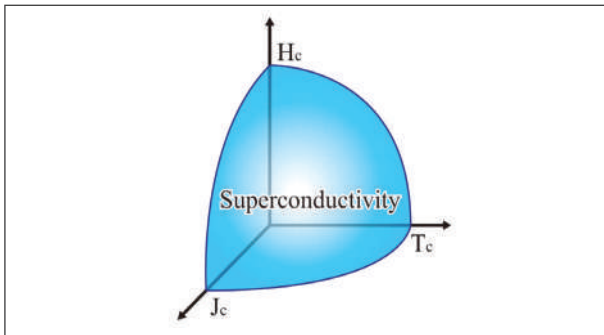


그림 1. 초전도 돔(Superconducting Dome)

마이스너 효과

전기 저항의 변화와 더불어 초전도체의 가장 대표적인 특성은 마이스너 효과입니다. 앞서 마이스너 효과는 물질이 초전도 상태로 전이되며 물질 내부에 침투해 있던 자기장이 외부로 밀려나는 현상이라고 하였습니다. 그림 2에서 보이는 선들은 ‘순’ 자기 선속²의 분포입니다. 이들은 마치 외부 자기장에 의한 자기 선속이 물질 내부로 들어오지 못하게 막는 것처럼 보입니다. 이것은 초전도체 내부에 존재하는 외부 자기장을 완벽히 상쇄시키는 새로운 자기장이 발생한 것(완전 반자성)으로 이해할 수 있습니다.³ 한 가지 주목해야 할 것은, ‘침투해 있던 자기장이 밀려난다’는 표현입니다. 완전 도체의 경우 약한 자기장을 가해준 상태에서 물질을 냉각시키면 물질 내부의 총 자기 밀도가 0이 아니게 됩니다. 하지만 초전도체는 이와 다르게 약한 자기장을 가해준 상태에서 물질을 냉각시키더라도 물질 내부의 총 자속밀도⁴는 0이 됩니다. 자기장을 가한 상태에서 물질을 냉각하든, 자기장을 가하지 않은 상태에서 물질을 냉각하든 초전도체는 그것의 내부에 자속밀도가 존재하는 것을 허용하지 않습니다.

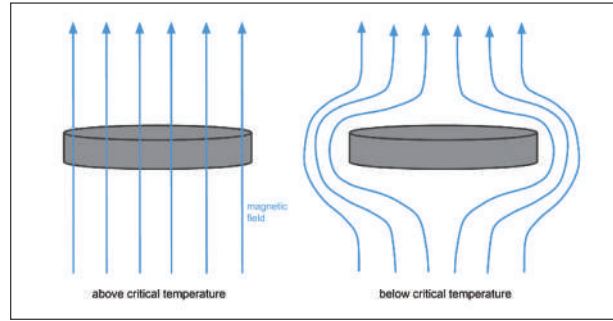


그림 2. 임계온도 이상, 이하일 때 초전도체 주위 자기 선속의 변화

과연 초전도체는 정말 ‘완전’ 반자성일까요? 초전도체 내부의 전류, 전기장, 및 자기장에 대하여 두 가지 방정식, 런던 방정식과 앙페르 회로 법칙을 잘 조작하면 다음과 같은 형태의 방정식을 얻을 수 있습니다.

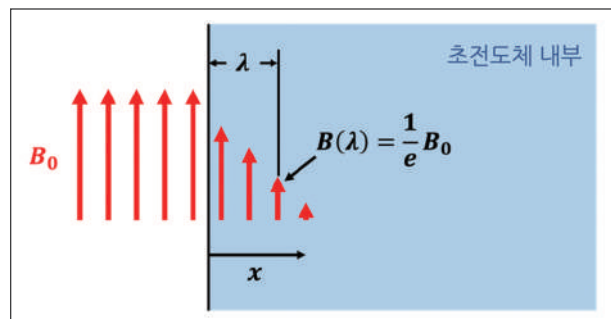
$$\nabla^2 \vec{B} = \frac{1}{\lambda^2} \vec{B}$$

여기서 λ 는 외부 자기장이 초전도체의 내부에서 얼마나 빠른 속도로 감소하는가를 결정하는 값으로 런던 투과 깊이라고 부릅니다. 간단한 예로, 초전도체 경계면에 접하는 벡터(접선벡터)가 초전도체에 가해지는 외부 자기장의 방향과 평행하고 초전도체 경계면에 수직하는 방향을 $+x$ 방향이라고 한다면, 초전도체 내부의 자기장 크기는 다음의 방정식을 따릅니다.

$$B(x) = B_0 e^{-x/\lambda}$$

그림 3에서 볼 수 있듯이, 외부 자기장이 초전도체 내부로 깊이 침투할수록 자기장의 세기는 아주 빠르게 0에 가까워집니다. 초전도체는 내부의 총 자속밀도가 0, 즉 완전 반자성을 띤다고 말하지만 실제로 자속밀도는 초전도체의 경계면에서 급격히 0이 되는 것이 아니라 아주 작은 깊이 만큼 침투하는 것이죠. 하지만 일반적인 초전도체에서 이 침투 깊이는 50~500nm 사이로 매우 작기 때문에 편의상 적당한 크기의 물질은 완전 반자성을 띤다고 말할 수 있습니다.

그림 3. 초전도체 내부로 침투하며 감소하는 자기장의 크기



초전도체의 종류

초전도체는 물리적 특성에 따라 1종 초전도체와 2종 초전도체로 나눌 수 있습니다. 1종 초전도체는 주로 순수한 금속 물질로 이루어져 있고, 2종 초전도체는 일반적으로 세라믹 합금⁵ 및 복합 산화물⁶로 이루어져 있습니다. 1종 초전도체는 임계온도, 임계전류밀도, 임계자기장 등이 작아 초전도 발현 조건을 만족하기 어렵다는 한계가 존재하기 때문에, 2종 초전도체는 1종 초전도체에 비해 초전도 발현 조건을 만족하기 쉬워 응용하기 좋다는 장점이 있습니다.

또한 1종 초전도체와 2종 초전도체의 가장 큰 차이는, 자기 선속이 물질의 모든 부분을 침투할 수 없는 1종 초전도체와 달리 2종 초전도체는 물질의 부분적으로 자기 선속이 투과할 수 있다는 점입니다. 이 현상은 2종 초전도체가 혼합 상태(Mixed State)일 때 일어나는데, 혼합 상태는 초전도체와 상전도체⁷가 공존하는 상태로, 물질 부분적으로 초전도성을 띕니다. 아래 그림 4에서의 혼합 상태는 하부 임계자기장(H_{c1})과 상부 임계자기장(H_{c2}) 사이의 영역입니다. 혼합 상태의 2종 초전도체는 그림 5처럼 불순물 같이 국부적으로 초전도성이 약해진 부분에 자기 선속이 고정되는 현상인 자기 선속 고정(Flux Pinning)을 보이기도 하는데요. 자기 선속 고정으로 인해 자석 위에 뜬 2종 초전도체는 해당 위치에 안정적으로 떠 있을 수 있습니다. 자석에 대한 초전도체의 위치가 3차원 상으로 고정되었다, 갇혔다는 의미로 양자 고정(Quantum Locking)이라고 표현하기도 하는데요. 양자 고정을 이용하면, 자석 위에 초전도체를 띄우는 것 뿐만 아니라 자석 밑 공중에 초전도체가 마치 매달린 것처럼 만들 수 있습니다. 온도가 증가할수록 초전도체를 투과하는 자기 선속이 점점 증가하고, 임계 온도에 도달하면 자기 선속이 물질의 모든 부분을 투과하여 초전도성을 잃고 물질은 떨어지게 되는 것이죠.

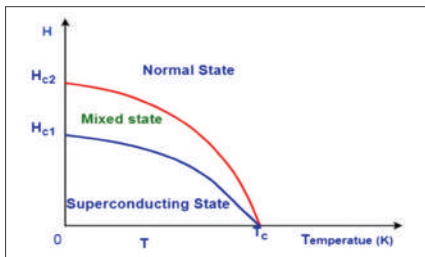


그림 4.
2종 초전도체
온도-자기장 그래프

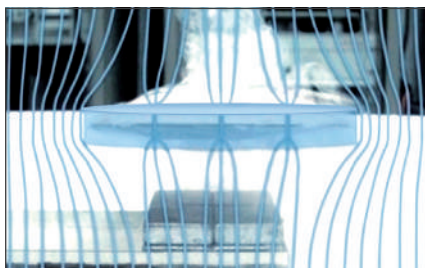


그림 5.
자기 선속 고정
(Flux Pinning),
양자 고정
(Quantum Locking)

첫 번째 꼭지에서는 초전도체의 발견부터 정의, 그리고 흥미로운 특성을 알아보았습니다. 우리에게 익숙한 이름으로 알려진 초전도체, 이제 무엇인지 감이 오셨나요? 그럼 초전도체의 양자 역학적 원리를 다음 꼭지에서 알아봅시다! ㉠

각주

1. Magnetic Field, 자기력선이 자리를 차지하는 범위. 기호 H .
2. Magnetic Flux, 임의의 평면을 관통하는 자기력선의 총 개수. 기호 Φ .
3. 반자성을 띠는 대부분의 물질들은 렌츠의 법칙과 유도기전력에 의해 외부에 반발하는 자기장의 생성을 설명할 수 있지만, 초전도체의 완전 반자성 효과는 이와 달리, 양자 역학적 관점에서의 설명이 필요.
4. Magnetic Flux Density, 임의의 평면을 관통하는 자기 선속을 그 면적으로 나눈 값. 기호 B .
5. 열과 냉각. 활동으로 마련된 무기 화합물, 비금속 고체인 세라믹과 금속의 조합으로 만들어진 물질.
6. 산소와 두 개 이상의 다른 원소들을 화학적으로 결합시켜 형성한 화합물.
7. 초전도 현상을 일으키지 않는 도체.

참고 자료

1. "초전도이야기. 초전도란?" 「한국초전도학회」, http://acom.s.ait.co.kr/~kss1/7s_2.html.
2. 최형순, "액체의 재발견 [2]: 영원히 얼지 않는 액체 헬륨 이야기." 「HORIZON」, 2021년 5월 7일. <https://horizon.kias.re.kr/17558/>.
3. A.C. Rose-Innes and E. H. Rhoderick, 「기초 초전도물리학」, 김영철, 정대영 옮김. 경지사, 1996.
4. "Comparison of Type - I and Type - II Superconductors." 「Electrical 4 U」, 2020. https://www.electrical4u.com/comparison-of-type-i-and-type-ii-superconductors/#google_vignette.
5. van Der Beek, "Flux pinning." HAL open science. 2020. <https://hal.science/hal-03049926/document>.
6. "What are Josephson junctions? How do they work?" 「scientific american」, 1997. <https://www.scientificamerican.com/article/what-are-josephson-juncti/>.

그림 출처

- 그림 1. 모아이문, "Superconductor(초전도체의 현상)" 「모아이문 & 문데폴 일상블로그」, 2017년 5월 12일 발행. <https://m.blog.naver.com/PostView.naver?isHttpRedirect=true&blogId=mhj4615&logNo=221003764396>
- 그림 2. "Magnetic Levitation." Classroom Physics Demos. <https://demos.smu.ca/demos/e-n-m/197-magnetic-levitation>.
- 그림 3. R Nave, "Characteristic Lengths in Superconductors." HyperPhysics. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Solids/chrlen.html>.
- 그림 4. "Comparison of Type - I and Type - II Superconductors." 「Electrical 4 U」, 2020. https://www.electrical4u.com/comparison-of-type-i-and-type-ii-superconductors/#google_vignette.
- 그림 5. "Flux Pinning." 「Wikipedia」, last modified August 15, 2023. https://en.wikipedia.org/wiki/Flux_pinning.

양자 역학으로 설명하는 초전도 현상



꼭지 1에서는 초전도체가 무엇인지, 초전도체는 어떤 특성을 가지는지 알아보았습니다. 전기 저항이 없어서 전류가 많이 흘러도 전력 손실이 일어나지 않는다고 하니, 정말 놀랍지 않나요? 그런데 초전도체는 어떻게 전기 저항이 0이 되는 걸까요? 그 원리를 양자 역학으로 설명할 수 있다고 하는데요. 초전도체 내에서 어떤 일이 일어나고 있는지 이번 꼭지에서 함께 알아보시다!

양자 역학의 기본 개념

초전도체의 원리에 대해 살펴보기 전에, 먼저 양자 역학의 기본 개념들을 알아볼까요? 물리학에서는 자연에 존재하는 입자를 페르미온(Fermion) 입자와 보손(Boson) 입자로 분류합니다. 입자를 분류하는 기준은 입자의 스핀 값과 파울리 배타 원리에 기반합니다. 스핀이란 입자가 지니는 물리량 중 하나로, 입자의 고유한 각운동량을 나타내는 개념입니다. 스핀은 양자 역학적 개념으로, 이름 자체는 회전한다는 뜻이지만 실제로 입자가 회전하는 것은 아닙니다. 개별 입자는 정수 또는 반정수² 스핀 값을 가집니다. 예를 들어, 전자의 스핀 값은 $+\frac{1}{2}$ 또는 $-\frac{1}{2}$ 입니다.

전자는 왜 부호가 다른 스핀 값을 가지는 걸까요? 이는 파울리 배타 원리 때문인데요. 파울리 배타 원리는 하나의 양자 상태에 두 개의 동일한 입자가 존재하지 못한다는 원리입니다. 예를 들어, 전자의 경

우 한 오비탈³에 최대 두 개의 전자까지 존재할 수 있으므로 파울리 배타 원리를 만족하기 위해서는 한 전자의 스핀 값이 $+\frac{1}{2}$ 일 때 다른 전자의 스핀 값은 $-\frac{1}{2}$ 이 되어야 합니다.

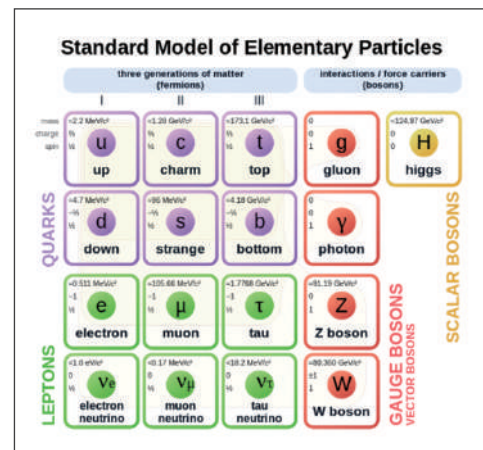


그림 1. 여러 가지 기본 입자의 분류

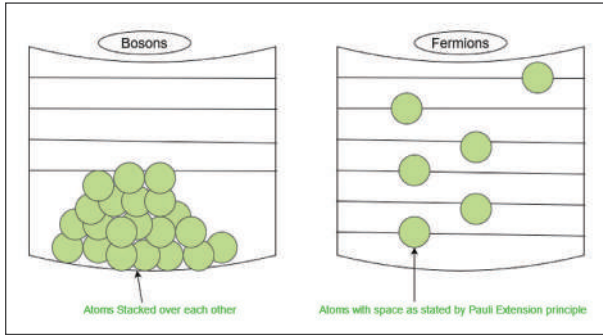


그림 2. 보손과 페르미온의 에너지 준위

전자처럼 스핀 값이 반정수이고 파울리 배타 원리를 따르는 입자를 페르미온이라고 합니다. 전자 이외에는 쿼크⁴와 렙톤⁵이 페르미온에 해당합니다. 반면 스핀 값이 정수이고 파울리 배타 원리를 따르지 않는 입자는 보손이라고 하고, 광자, 힉스 입자 등이 보손에 해당합니다. 보손 입자들은 파울리 배타 원리를 따르지 않기 때문에 여러 개의 입자들이 같은 양자 상태를 가질 수 있습니다.

BCS 이론

미국의 존 바딘, 리언 쿠퍼, 존 로버트 슈리퍼가 1957년 제안한 'BCS 이론'은 저온 초전도체 발견 이후 처음으로 초전도 현상의 원리를 미시적 관점에서 설명한 이론입니다. BCS 이론에 따르면, 저온 초전도체에서 전기 에너지의 손실이 일어나지 않는 이유는 물질 내에서 전자들이 쌍을 이루어 전하를 운반하기 때문이라고 합니다. 전자들은 모두 음전하를 띠기 때문에 서로 반발하는데, 어떻게 쌍을 이룰 수 있는 걸까요?

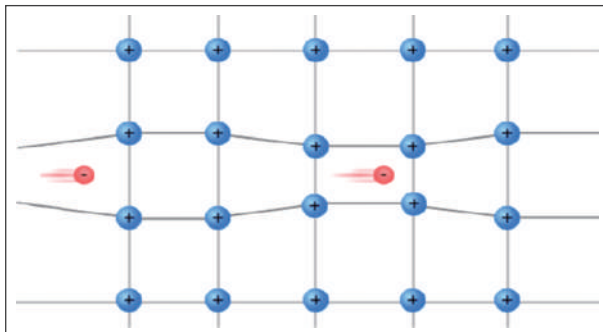


그림 3. 전자-포논 상호작용

금속 내에서 원자핵들은 규칙적인 배열을 이루고 있고, 그 사이를 전자들이 운동하며 전하를 운반합니다. 이때 원자핵의 규칙적인 배열을 그림 3과 같이 양이온 격자로 표현할 수 있습니다. 위 그림

에서 파란 입자가 원자핵, 빨간 입자가 전자인데요. 양이온 격자 사이에서 전자가 이동하면 원자핵, 즉 양이온이 전자의 인력을 받아 전자의 방향으로 이동하게 됩니다. 따라서 상대적으로 그 부분의 양이온 밀도가 높아지게 되고, 주변의 다른 전자가 인력에 의해 양이온 밀도가 높은 곳으로 끌려오게 됩니다. 이때 양이온 격자를 제외하고 두 전자의 움직임만 관찰한다면 마치 한 전자가 다른 전자를 끌어당기는 것처럼 보입니다. 이를 전자들이 '쿠퍼쌍'을 이룬다고 표현하는 것이죠.

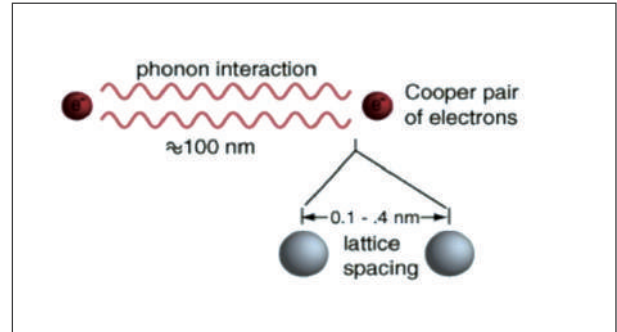


그림 4. 쿠퍼쌍의 전자 사이 거리와 양이온 격자의 간격

쿠퍼쌍은 두 전자가 직접 결합해 쌍을 이루는 것이 아니라, 양이온 격자로 발생하는 상호작용입니다. 이때 양이온 격자의 진동을 '포논'이라고 부르기 때문에 이 상호작용을 전자-포논 상호작용이라고 합니다. 실제로 쿠퍼쌍을 이루는 두 전자 사이의 거리는 100nm 정도로, 양이온 격자의 간격(Lattice Spacing)인 0.1 ~ 0.4 nm보다 훨씬 큼니다. 쿨롱 법칙에 의하면 전하 사이에 작용하는 힘은 전하 사이 거리의 제곱에 반비례합니다. 따라서 전자 사이의 반발력은 양이온과 전자 사이의 인력에 비해 아주 작아서 쿠퍼쌍을 형성할 때 거의 영향을 끼치지 않는 것이죠.

쿠퍼쌍이 전기 에너지의 손실 없이 전하를 운반할 수 있는 이유는 무엇일까요? 전에 살펴보았듯, 쿠퍼쌍을 이루는 각각의 전자들은 $+\frac{1}{2}$ 과 $-\frac{1}{2}$ 의 스핀 값을 가질 수 있기 때문에 두 전자의 스핀의 합은 $-1(-\frac{1}{2}-\frac{1}{2})$, $0(-\frac{1}{2}+\frac{1}{2})$, 또는 $1(\frac{1}{2}+\frac{1}{2})$, 즉 정숫값이 됩니다. 이 때문에 쿠퍼쌍은 보손처럼 행동할 수 있게 됩니다. 앞서 말했듯, 보손 입자는 여러 개의 동일한 입자들이 같은 양자 상태를 가질 수 있다는 특징이 있는데요. 이러한 특성 때문에 어떤 물질의 온도를 0K으로 낮추면 대부분의 보손 입자가 바닥 상태⁶의 에너지 준위를 갖게 됩니다. 이러한 현상을 '보스-아인슈타인 응축' 현상이라고 합니다. 쿠퍼쌍도 보손이므로 저온 초전도체 내에서는 모든 쿠퍼쌍이 바닥 상태의 에너지 준위, 즉 가장 낮은 에너지 준위에 있게 됩니다.

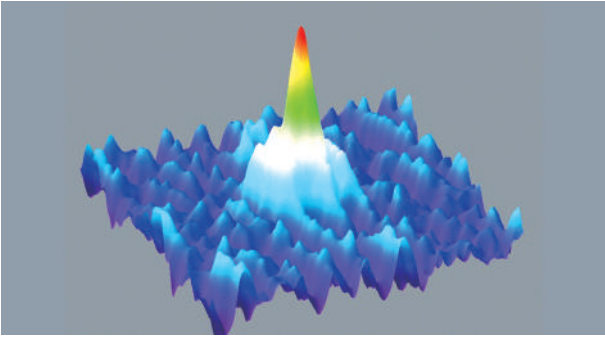


그림 5. 보스-아인슈타인 응축

도체에서 자유 전자가 전하를 운반할 때, 불순물 등과 충돌하면 에너지를 잃고 더 낮은 에너지 준위로 전이하게 됩니다. 이렇게 전류의 흐름을 방해하는 정도를 저항이라고 하며, 이 저항으로 인해 전기 에너지의 손실이 일어납니다. 그런데 저온 초전도체에서는 보스-아인슈타인 응축 현상으로 인해 전하를 운반하는 쿠퍼쌍이 이미 바닥 상태의 에너지 준위를 가지므로 쿠퍼쌍은 더 낮은 에너지 준위로 전이할 수 없습니다. 그렇기 때문에 쿠퍼쌍이 전기 에너지의 손실 없이 전하를 운반할 수 있습니다. 즉, 초전도체의 저항은 0이 되는 것이죠!

쿠퍼쌍의 결합과 임계온도

쿠퍼쌍은 약 10 K(-263.15 °C) 정도의 임계온도 이하에서 형성됩니다. 쿠퍼쌍을 이루는 전자들이 결합을 끊고 자유 전자가 되기 위해서는 에너지를 흡수하여야 하는데, 이때 흡수해야 하는 최소한의 에너지를 에너지 갭이라고 합니다. 에너지 갭은 온도의 의존성을 가지므로 온도(T)에 대한 함수 $\Delta(T)$ 로 표현할 수 있고 다음과 같이 근사하여 나타냅니다.

$$\Delta(T) = \Delta(0K) \tanh \left(1.74 \sqrt{\frac{T_c}{T} - 1} \right)$$

이 관계식에서 $\Delta(0K)$ 는 0K에서의 에너지 갭, T_c 는 임계온도를 나타냅니다. $\tanh^7$ 는 원점 근처에서 증가함수입니다. 즉, 초전도체의 온도가 임계온도에 근접할수록 $\frac{T_c}{T}$ 값이 감소하므로 $\tanh$ 함숫값이 점점 작아지고, 결과적으로 $\Delta(T)$ 의 값도 작아집니다. 쿠퍼쌍의 결합을 깨기 위해 흡수해야 할 에너지가 줄어든다는 뜻이죠. 따라서 임계온도에서는 에너지 갭이 0이 되고, 임계온도 이상의 온도에서는 쿠퍼쌍이 형성되지 못해 자유 전자가 전하를 운반하게 됩니다.

이번 꼭지에서는 BCS 이론을 통해 초전도체가 초전도성을 띠는 원리를 알아보았습니다. BCS 이론을 정립한 세 사람은 그 공로로 노벨상을 수상했지만 이 이론은 모든 초전도체를 설명할 수 있는 완벽한 이론은 아닙니다. BCS 이론은 쿠퍼쌍의 결합을 통해 초전도 현상이 일어나는 임계온도를 약 30 K ~ 40 K로 예측했으나, 1968년에 임계온도가 40 K 이상인 초전도체가 발견되었기 때문입니다. 고온 초전도체의 원리는 아직 규명되지 않았는데요. 다음 꼭지에서는 고온 초전도체란 무엇인지, 또 초전도체는 어떻게 활용되는지 살펴봅시다! 🍷

각주

1. 질량, 회전 반지름, 선속도의 곱으로, 물체의 회전운동의 세기를 나타내는 물리량.
2. 1/2, 3/2, 5/2 등과 같이 1/2의 홀수 배로 나타나는 수.
3. 원자핵 주변에서 전자가 존재할 수 있는 물리적 영역 또는 공간을 나타내는 함수.
4. 램톤과 더불어 물질을 이루는 가장 근본적인 입자. 예를 들어 양성자는 업쿼크와 다운쿼크 1개로 이루어짐.
5. 전자, 뮤온 등 가벼운 입자를 지칭하는 말.
6. 가장 안정한 상태에서의 에너지 준위, 즉 가장 낮은 에너지 준위.
7. 원점을 중심으로 하여 x가 양의 무한대로 갈수록 1에 수렴하고, x가 음의 무한대로 갈수록 -1에 수렴하는 함수.

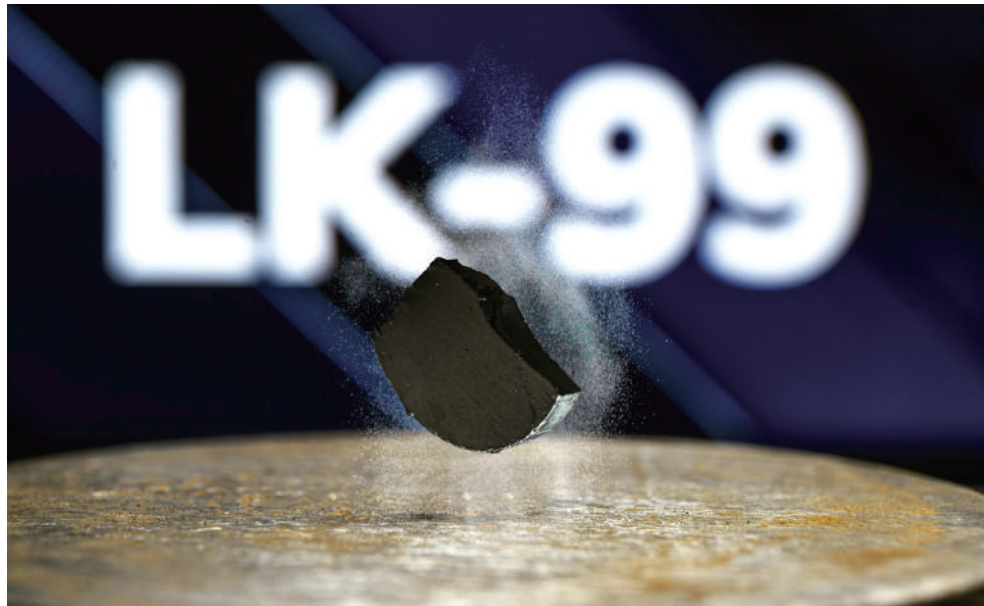
참고 자료

1. 김기덕. "고온 초전도의 시작 [2]: 구리 산화물 초전도체의 상도표." KIAS Horizon. 2022년 7월 8일. <https://horizon.kias.re.kr/21725/>.
2. 김영훈. "양자역학 개론." 광운대학교. 2009년 3월. 201-209쪽.
3. Dmytro Ledenyov. "Modelling and Experimental Investigation of Nonlinear Properties of YBa2Cu3O7 and NdBa2Cu3O7 Superconducting Films and Resonators for Applications in Microwave Circuits." James Cook University (Townsville, Australia) (2018) pp.30-31.
4. John Bardeen, Leon Cooper, and John Robert Schrieffer. "Theory of Superconductivity." Physical Review 108 (5) (1957) pp.1175-1204.
5. "Physicist Discovers Exotic Superconductivity." ScienceDaily. August 17, 2006. <https://www.sciencedaily.com/releases/2006/08/060817101658.html>.
6. Qisi Wang, Anna Böhm, and Laura Fanfarillo. "Nematicity in iron-based superconductors." Frontiers Media SA (2023) p.98.

그림 출처

- 그림 1. "Elementary particle." Wikipedia. n.d. https://en.wikipedia.org/wiki/Elementary_particle.
- 그림 2. "What is Plasma and Bose-Einstein Condensate?." GeeksforGeeks. March 31, 2023. <https://www.geeksforgeeks.org/what-is-plasma-and-bose-einstein-condensate/>.
- 그림 3. 여승현. "초전도체와 BCS 이론." KOSMOS. 2020년 3월 18일. <https://www.ksakosmos.com/post/초전도체와-bcs-이론>.
- 그림 4. 그림 3과 같음.
- 그림 5. "German scientists produce first Bose-Einstein condensate with calcium atoms." Phys.org. September 22, 2009. <https://phys.org/news/2009-09-german-scientists-bose-einstein-condensate-calcium.html>.

고온 초전도체와 LK-99, 그리고 초전도체의 미래



지금까지 초전도체란 무엇인지, 그리고 저온 초전도체의 원리에 대해 배워보았습니다. 그렇다면 자연스레 고온과 상온 초전도체에 대해서도 궁금하실 것 같습니다. 이번 꼭지에서는 고온 초전도체의 발견과 더불어 최근 큰 화제가 되었던 LK-99, 그리고 초전도체의 활용과 미래에 대해 알아보도록 하겠습니다.

고온 초전도체의 발견

1986년 스위스의 IBM 연구소의 베드노르츠(A. Bednorz)와 뮐러(Karl A. Muller)는 La-Ba-Cu-O 4가지 원소로 구성된 물질이 35K에서 초전도 성질을 가짐을 발견함으로써 고온 초전도 시대의 서막을 올렸습니다. 하지만 이들이 연구하던 물질은 금속 산화물이었기 때문에 절연체이거나 자성을 띠는 등 마티아스의 규칙¹⁾을 위배하는 연구 결과였습니다. 마티아스는 수백가지의 초전도체 합성에 성공한 과학자였기에, 이 규칙에 위배되는 연구 결과는 당연하게도 이론 물리학자들의 주목을 받지 못했습니다. 하지만 그들은 연구를 지속했고, 결국 임계온도의 이론적 한계였던 25K를 뛰어넘고 35K에서의 초전도 현상을 발표했습니다.

그림 1에서 볼 수 있듯이 25K를 넘고, 임계 온도가 수직으로 상승하고 있는 물성은 모두 Cu-O를 포함합니다. 이후 과학자들은 새롭게 발견된 이 고온 초전도체를 구리 산화물 초전도체라고 불렀습니다. 그렇다면 이 구리 산화물 초전도체에 대해 더 자세히 알아보도록 합시다.

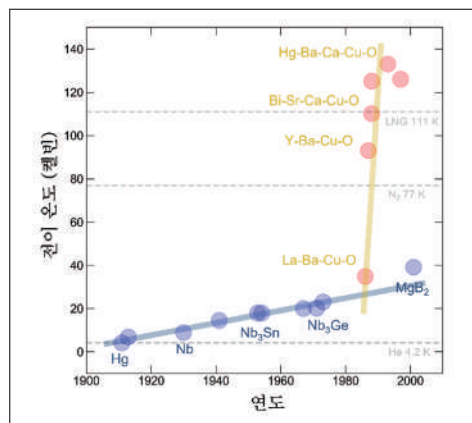


그림 1. 초전도 임계 온도

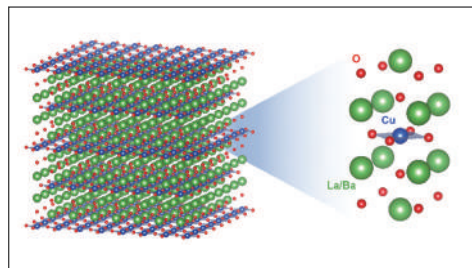


그림 2. $\text{La}_{2-x}\text{Ba}_x\text{CuO}_4$ 의 구조

구리 산화물 초전도체는 매우 복잡한 구조로 이루어져 있습니다. 그림 2를 보면 청색으로 표시된 구리와 적색으로 표시된 산소로 이루어진 Cu-O층과 녹색으로 표시된 La/Ba-O층으로 구성되어 있습니다. 화학에서는 물질의 조성을 변화시키며 가공할 때 주로 물질이 가진 전자의 농도를 조절하는데요. 이를 도핑(Doping)이라고 부릅니다. La-Ba-Cu-O에서는 Ba가 불순물 역할을 하도록 하여 $\text{La}_{2-x}\text{Ba}_x\text{CuO}_4$ 와 같은 화학식이 되도록 만듭니다. 화학식에 대한 설명을 조금 더 덧붙이자면, 모체 화합물 La_2CuO_4 에서 La^{3+} 일부를 Ba^{2+} 로 치환하며 다양한 고온 초전도체를 합성합니다. 다만 이렇게 치환하면 Cu-O층에서는 전자 한 개가 부족하게 되고, 그 자리에 정공이 생기는데요. 이 정공을 홀(Hole)이라 부르고, 이러한 화학적 가공 현상을 홀 도핑이라 합니다. 즉, 이러한 홀 도핑은 초전도성에 영향을 준다

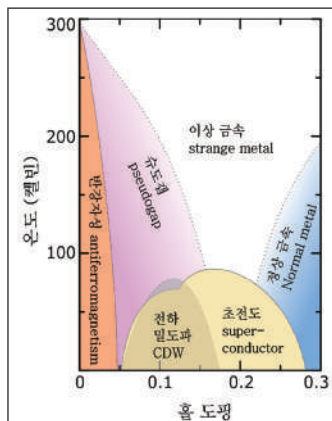


그림 3. 구리 산화물 초전도체의 상도표

는 것을 알 수 있었고, 이전에는 접근할 수 없었던 고온 초전도체의 상도표²에 대한 실험적 연구를 진행할 수 있게 됩니다.

더 복잡하다는 것을 한눈에 파악할 수 있습니다. 가로축은 홀 도핑, 세로축은 온도를 나타내는데요. 상도표에서 오른쪽으로 갈수록 물질에 Ba^{2+} 를 더 치환해 가며 실험을 진행한 결과입니다. 초전도 현상을 보이는 영역은 돔의 형태를 띠고 있는데요.

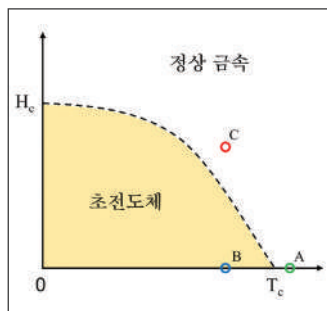


그림 4. 초전도체의 상도표

그림 4는 고온 초전도체 상도표로, 임계 온도와 자기장의 세기로 초전도체와 정상 금속을 구분합니다. 이에 반해 그림 3의 구리 산화물 초전도체의 상도표를 보면 훨씬

돔의 경계를 기준으로 왼쪽 영역을 덜 도핑된 영역(Underdoped), 오른쪽 영역을 과도하게 도핑된 영역(Overdoped), 그리고 해당 경계를 알맞게 도핑된 영역(Optimally Doped)라 합니다. 그럼, 다음 문단에서는 최근 큰 화제가 되었던 LK-99와 상온 초전도체에 대해 알아보시다.

상온 초전도체



그림 5.
LK-99의 초전도 현상

LK-99는 쿼텀에너지연구소에서 상온, 1기압(상압)에서 사용할 수 있는 초전도체라고 주장한 구조체로, 희토류가 아닌 범용 원소를 사용하기 때문에 전기·열전도성 뛰어나 전기 효율이 높습니다.

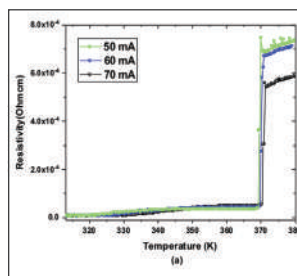


그림 6.
LK-99의 임계 온도(약 370K 이상) 그래프

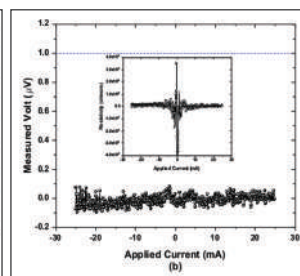
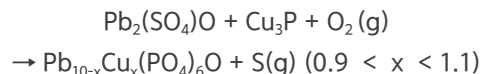


그림 7.
LK-99 박막에서 측정된 저항 0 자료

LK-99의 핵심적인 화학반응은 다음과 같은데요.



라나카이트³와 인화구리 결정을 진공 상태의 튜브 내에서 반응시켜 LK-99를 최종적으로 제조합니다. LK-99가 세계에 발표된 이후, 많은 국내외 연구기관에서 검증 실험을 진행했습니다. 많은 국민들은 꿈의 물질이 탄생할지도 모른다는 기대에 부풀어 있었습니다. 하지만 모두의 염원과 달리 초전도체가 아닐 것이라는 검증 결과만 계속해서 나오고 있습니다. 비록 원하던 결과는 아니었지만, 이를 계기로 전 세계에 상온 초전도체에 대한 관심을 새롭게 불러일으킨 것은 사실입니다. 앞으로도 관련 연구들에 지속적으로 관심을 기울이며 지켜볼 필요가 있습니다.

초전도체의 활용

상온 초전도체가 발명된다면 우리가 상상하는 것 이상으로 다양한 분야에서 활용될 수 있습니다. 그중에서는 대표적으로 SQUID가 있습니다. SQUID는 초전도체에서 일어나는 자속의 양자화와 조셉슨 효과 두 가지의 메커니즘에 의해 동작하는 자기 센서입니다. 이는 매

우 미세한(약 10^{-15} T) 자장을 측정할 수 있는데요. SQUID는 두 개의 조셉슨 접합⁴⁾이 초전도체를 통해 병렬로 연결된 구조를 가지며, 양단을 통해 인가 전류를 가해 SQUID 양단에 걸리는 전압이 이 초전도체 고리를 통과하는 자속에 의존하는 원리입니다.

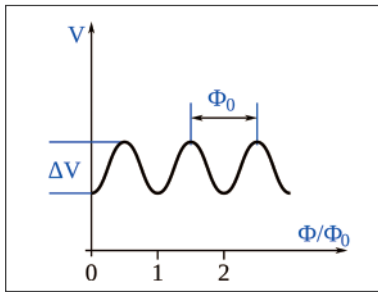


그림 8. SQUID 전압 측정

그림 8을 보면 반복되는 전압 출력은 SQUID를 관통하는 자속에 의존한다는 것을 알 수 있습니다. 이러한 특징으로 인하여 SQUID는 인간의 뇌나 심장 등에서 발생하는 자장을 측정하여 의료 진단에 활용할 수 있으며, 항공기 날개 등의 내부 균열을 탐지하고, 해저 폭발물과 지뢰 탐지에도 이용될 수 있습니다. 1980년 조셉슨 접합의 발달로 SQUID 센서가 새롭게 떠올랐지만, 저온 초전도체는 가공 과정이 필요한 액체 헬륨을 냉매로 사용해야 한다는 문제점이 있었습니다. 하지만 상온 초전도체가 발견된다면 상온에서 액체로 존재하는 물질을 냉매로 사용할 수 있기 때문에 다양한 시도가 가능합니다.

상온 초전도체의 발견은 토카막에 엄청난 발전을 가져올 수 있습니다. 토로이드⁵⁾구조에 자기 코일을 설치한 것을 토카막이라고 합니다. 토카막의 전하를 띤 입자가 움직이면 전류가 생기고 전자기 유도에 의해 자기장이 생기는데요. 전류의 진행 방향에 수직으로 자석을 설치하면 자기장이 생겨 플라스마⁶⁾ 입자 흐름이 토로이드의 각 부분을 골고루 지나가게 합니다. 즉, 플라스마가 토로이드에서 벗어나지 않도록 할 수 있는 것이죠. 본래 핵융합은 플라스마 상태를 지속적으로 만들어야 하기 때문에 초고온·고압 환경이 필요합니다. 다만 초고온·고압 환경은 전자석에 매우 강한 전류를 흘려야 하는데 전기 저항으로 인한 과열 때문에 연구적인 한계가 존재했습니다. 하지만 상온 초전도체가 개발된다면 위의 과열로 인한 문제를 해결할 수 있게 됩니다.

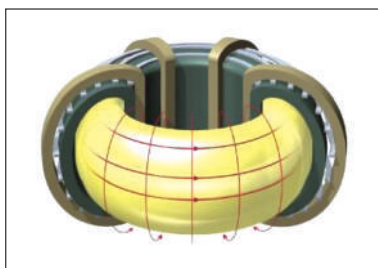


그림 9. 토카막 사진

이번 꼭지에서는 고온 초전도체와 상온 초전도체에 대해 알아보았고, 더불어 초전도체의 활용과 미래에 대한 소개를 해드렸습니다. BCS 이론 이후 초전도체의 연구는 극저온에서 고온, 고온에서 상온으로 점차 확대되었는데요. 최근 화제가 되었던 LK-99 연구가 보여준 것처럼 상온 초전도체의 발전과 관심은 점점 세계적으로 뻗어 나가고 있습니다. LK-99의 초전도체 진위보다 중요한 것은 많은 노력과 오랜 연구를 통해 언젠가 개발될 상온 초전도체를 위해 지속적인 관심을 가지는 것입니다. 마지막으로 이 글을 읽은 여러분도 실패를 두려워하지 않고 새로운 길을 개척하는 과학도가 되길 바랍니다. ☺

각주

1. 초전도체를 찾는 여섯 가지 규칙.
2. 특정 온도와 기압 등의 세기변수 하에서 물질의 상 사이의 평형상태를 나타낸 도표로, 특정한 상태에서 물질이 어떤 상을 가지게 되는지를 나타냄.
3. 황산납 형태의 광물로, 화학식은 $Pb_2(SO_4)_2O$.
4. 두 초전도체를 매우 가깝지만 붙지 않도록 위치시켜 만든 접합.
5. 전자 장치에서 인덕터로 사용되는 코일이 감겨진 원한체.
6. 강력한 전기장 혹은 열원으로 가열되어 전자, 중성입자, 이온 등의 입자들로 나누어진 상태.

참고 자료

1. 김기덕, "고온 초전도의 시작 [1]: 구리 산화물 초전도체", 「HORIZON」, 2022년 6월 16일, <https://horizon.kias.re.kr/21507/>
2. 김기덕, "고온 초전도의 시작 [2]: 구리 산화물 초전도체의 상도표", 「HORIZON」, 2022년 7월 8일, <https://horizon.kias.re.kr/21725/>
3. "인류의 새로운 에너지 혁명 - 초전도체를 이용한 인공태양 | 핵융합 발전, 초고온 플라즈마", 「YOUTUBE」, <https://www.youtube.com/watch?v=k1qc3KvJ2HA&t=719s>
4. "초전도이야기, 초전도란?", "한국초전도학회", http://acom.s.ait.co.kr/~kss1/7s_2.html
5. 허나영, "비틀리게 쌓기만 해도... 고온 초전도체 작동원리 베일 풀리나 「HelloDD」, 2022년 1월 24일, <https://www.hellodd.com/news/articleView.html?idxno=95720>
6. "LK-99 초전도체", "퀀텀에너지 연구소", 2023년 8월 1일 <https://web.archive.org/web/20230801044318/https://qcentre.co.kr/lk-99>
7. "LK-99", 「Wikipedia」, <https://ko.wikipedia.org/wiki/LK-99>
8. Que sais, "노벨상의 노다지, 초전도체(7)", 2020년 10월 24일 <https://que-sais2020.tistory.com/325>
9. sanxiyn, "LK-99 논문들에 대해" <https://hackmd.io/@sanxiyn/S1hejVXo3>

그림 출처

- 그림 1-4. 김기덕, "고온 초전도의 시작 [1] [2]: 구리 산화물 초전도체", 「HORIZON」, 2022년 6월 16일, 7월 8일, <https://horizon.kias.re.kr/21507/>
- 그림 5. Wikipedia, "LK-99", <https://ko.wikipedia.org/wiki/LK-99>
- 그림 6-7. 퀀텀에너지 연구소, "LK-99 초전도체", 2023년 8월 1일 <https://web.archive.org/web/20230801044318/https://qcentre.co.kr/lk-99>
- 그림 8. Wikipedia, "초전도 양자 간섭 장치", https://ko.wikipedia.org/wiki/%EC%B4%88%EC%A0%84%EB%8F%84_%EC%96%91%EC%9E%90_%EA%B0%84%EC%84%AD_%EC%9E%A5%EC%B9%98
- 그림 9. Wikipedia, "토카막" <https://ko.wikipedia.org/wiki/%ED%86%A0%EC%B9%B4%EB%A7%89>

2023 아벨상



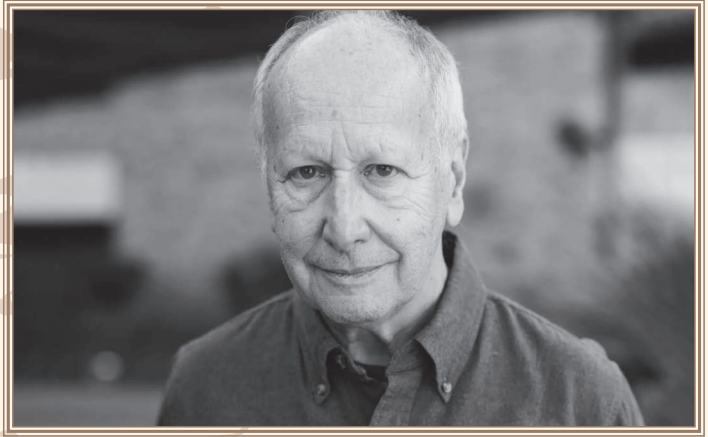
비선형편미분방정식 해의 정칙성에 관한 수학적 이론의 토대

(글) 포스텍 수학과 최범준 교수

이번 호 헬로노벨에서는 2023년 수학에서 가장 권위 있는 상 중 하나인 아벨상을 수상한 U.T. Austin 대학의 루이스 카파렐리(Luis A. Caffarelli) 교수의 업적 소개와 더불어, 막연하기만 한 비선형 편미분방정식의 수학 이론 연구란 어떤 것인지 알아보는 시간을 갖고자 합니다.

노르웨이의 대수학자 아벨(Niels Henrik Abel)의 이름을 딴 아벨상은 비교적 최근인 2002년 제정되었습니다. 필즈상과는 달리, 아벨상은 나이 제한 없이 수학자가 쌓은 평생의 업적으로 상을 수여합니다. 때문에 카파렐리 교수 및 이전 수상자들처럼 먼 타 분야의 수학자들도 “역시” 하며 인정하는, 사실상 현대 수학을 만 들고 확장하는 데 공헌한 역사적 인물들에게 상을 수여하며 아주 빠른 시간에 상의 권위를 확보했습니다.





Luis Caffarelli.
Photo credit: Nolan Zunk/University of Texas at Austin

편미분방정식이란 어떤 미지의 함수를 미분한 방정식이 만족해야 하는 조건을 표현한 것이고, 이와 관련된 연구는 해당 방정식을 만족하는 미지의 함수를 찾고 그 성질을 규명하는 것을 목표로 합니다. 쉬운 예로 직선 위에 정의된 함수 $u(x)$ 의 2계 미분에 관한 방정식 $u''(x) = 0$ 도 일종의 편미분방정식입니다. 미적분을 배운 독자라면 직선의 함수 $u(x) = ax + b$ 가 해당 방정식을 모든 점 x 에서 만족하는 미분방정식의 해가 된다는 것을 알 수 있습니다. 반대로 해당 방정식의 해는 $u(x) = ax + b$ 꼴 외에는 존재할 수 없다는 사실도 어렵지 않게 보일 수 있습니다.

물리에 관심 있는 학생이라면 $u''(x) = -u(x)$ 라는 미분방정식도 풀 수 있습니다. 잘 떠오르지 않는다면 한번 방정식의 함수와 변수의 이름을 u, x 에서 x, t 로 각각 바꿔봅시다. $x''(t) = -\frac{k}{m}x(t)$ 는 용수철과 같은 단진자의 운동방정식으로 임의의 상수 A 와 θ_0 를 통해 $x(t) = A \sin\left(\sqrt{\frac{k}{m}}t + \theta_0\right)$ 꼴의 해를 갖습니다. 처음 시간의 위치 $x(0)$ 와 속도 $x'(0)$ 를 알면 해당 상수들을 구해 $x(t)$ 를 찾을 수 있습니다. 이전 문단의 질문처럼 이번 방정식의 해도 반드시 방금 소개한 sine 함수의 꼴 중 하나여야 할까요? 놀랍게도 정확히 이것이 고등학교 시절 자칭 물리 꿈나무였던 저를 고뇌에 빠트린 질문이었습니다. 며칠을 고민한 끝에 수학 선생님을 찾아가더니, 선생님은 의미심장한 미소를 지으며 “그것의 답은 비싼 등록금을 내고 대학교에 가야 배울 수 있다”라고 하셔서 저를 수학 전공으로 이끈 시작이었습니다. (참고로 문제의 답은 ‘그렇다’이고 대학에서 배울 수 있지만 포항의 P 대학교처럼 비싼 등록금이 필요하지 않을 수도 있습니다.)

농담 같은 이 일화 속에는 편미분방정식을 대하는 물리학, 과학, 공학자와 수학자의 결정적인 관점의 차이가 담겨있습니다. 물리학 입장에서 진자의 운동은 초기 조건이 그 이후의 운동을 유일하게 결정하는 것이기 때문에 해당 방정식의 해의 유일성은 그다지 큰 문제가 아닙니다. 더욱이 물리학에서 방정식은 실제 현상을 적당히 묘사한 근사적 모델 정도로 인식하는 것도 이러한 반응의 이유 중 하나입니다. 이에 반해 수학에선 미분방정식이 물리, 자연에서 유래했다고 하더라도 결과적으로는 방정식 자체에 관한 이론에 관심을 둡니다. 이러한 차이는 미분방정식이 자연현상의 묘사뿐 아니라 기하학, 위상수학과 같은 엄밀함을 요구하는 다른 수학 분야에 이용되는 점에도 기인합니다. 이는 수학자들이 편미분방정식 해의 (수학적)존재성이나 후술할 정칙성과 같은 이론 규명을 중요한 과업으로 보는 이유이기도 합니다.

카파렐리 교수의 주요 업적인 정칙성(Regularity) 이론은 '과연 방정식의 해가 몇 번이 나 미분가능하고 매끄러운 함수인가'에 관한 연구입니다. 대중들에게 100만 불 상금의 밀레니엄 문제로 익히 알려진 나비에-스토크스(Navier-Stokes) 방정식 문제도 과연 유체의 흐름을 나타내는 이 방정식의 해가 항상 매끄러운 함수로 나타나는가에 관한 정칙성 문제입니다. 카파렐리 교수의 주요 업적은 자유경계(Free Boundary)문제와 몽쥬-암페어(Monge-Ampere) 방정식에서 정칙성 이론을 개발한 것에 있습니다.

대표적인 자유경계 문제의 예를 들어보겠습니다. 가령 물건과 같은 유한한 3차원의 영역을 비닐과 같은 2차원 막으로 밖에서 감싸는 상황을 생각해 봅시다. 어떻게 감싸야 막의 면적을 최소화하면서, 다시 말해 비닐을 최대한 적게 사용하면서 물건을 감쌀 수 있는지 질문할 수 있습니다. 학계에선 이를 일반적으로 'Obstacle Problem'이라 하는데 오늘 우리는 이를 '포장문제'라 명명하겠습니다. 사고실험을 통해 최적의 포장법을 생각해 보면, 우리는 적어도 막의 일부가 물건과 닿는 부분이 있어야 하는 것을 압니다. 따라서 감싸는 막이 물건에 닿지 않는다면, 그림 1과 같이 막의 크기를 줄여서 더 작은 넓이로 물건을 포장할 수 있습니다.

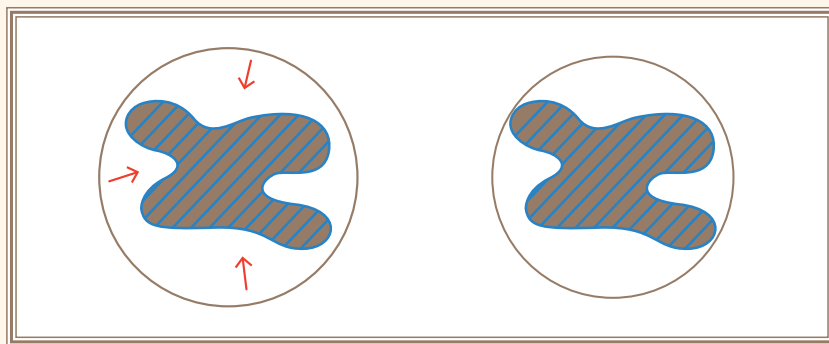


그림 1. 감싸는 막이 물체와 닿지 않는 경우 더 적은 면적으로도 물체를 감싸도록 줄일 수 있다.

하지만 그렇다고 물건의 모든 경계가 막과 닿을 필요는 없습니다. 예를 들어, 그림 2에서처럼 공간을 남기고 감싸는 것이 더 효율적일 수 있습니다.

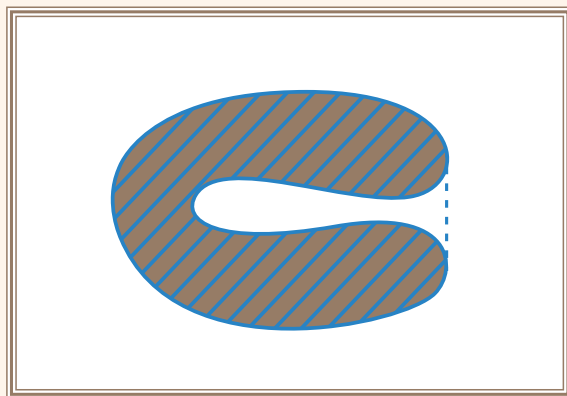


그림 2.
안쪽 푸른 가장자리를 따라 감싸는 것보다 점선을 따라 감싸는 것이 효율적이다.

이런 최적의 포장법이 정확히 어떤 방법인지 식으로 표현하는 것은 일반적으로 불가능하지만, 현대의 편미분방정식 이론은 이런 최적의 포장에 있다는 존재성을 보일 수 있습니다.

자유경계란 그림 3과 같이 최적의 2차원 막(곡면)이 물건의 가장자리와 닿은 부분과 안 닿은 부분을 나누는 경계 곡선을 말합니다.

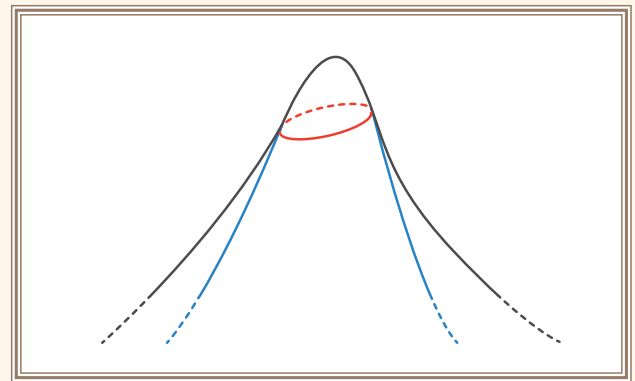


그림 3.
일부만을 확대해 그린 안쪽 물체(파란색)를 감싸는 최적의 포장(검은색)이 파란 영역과 접하는 영역의 경계 곡선(붉은색)이 자유 경계에 해당한다.

이전의 편미분방정식 이론은 이러한 경계가 문제의 조건으로 주어졌을 때 넓이가 최소인 막이 어떻게 생겨야 하는지는 수학적으로 설명할 수 있었습니다. 하지만 문제 자체에 의해 경계가 해의 일부로 나타나는 해당 경우는 새로운 도전이었습니다. 포장문제뿐 아니라 겨울철 호수 표면의 얼음과 물의 경계면의 위치와 모양에 관한 이론 또한 자유경계 문제에 해당합니다. 카파렐리 교수의 연구는 자유경계가 가질 수 있는 최적의 정착성을 유도하는 일반적인 방법론을 제시해 이론의 발전에 기여했습니다.

오늘은 직관적으로 이해할 수 있는 자유경계 문제를 대표적으로 살펴보았지만, 카파렐리 교수의 연구는 편미분방정식 전반에 지대한 영향을 끼쳤습니다. 열이나 유체의 확산 및 평형과 같은 현상부터 끈 이론 등 이론물리 전개의 배경이 되는 칼라비-야우 다양체(Calabi-Yau manifold)까지 말입니다. 이렇게 다양한 학문의 발전에 큰 영향을 끼침으로써 해당 방정식 이론은 현대 수학의 빛나는 성과로 자리매김하였습니다.☺

카멜레온처럼 피부색을 바꿀 수 있는 인공 전자 피부

어릴 적 상상 속 물건이었던 투명망토, 다들 한 번쯤은 사용해 보길 바랐을 것 같은데요. 이를 실제로 구현할 수 있는 기술이 개발되었다고 합니다. 포스텍 전자전기공학과 최수석 교수를 비롯한 연구팀은 카멜레온의 피부처럼 색을 마음대로 바꿀 수 있는 인공 전자 피부 기술을 최초로 개발했습니다. 이 기술에는 카이랄 구조¹를 가지는 광학 탄성체(CPE, Chiral Photonic Elastomers)가 사용되었습니다. 연구팀이 제작한 CPE는 나선형 구조의 길이에 따라 중심 파장이 조절되고, 이에 해당하는 색을 표현합니다.² 때문에 신축 정도에 따라 나선형 구조의 길이가 변해 표현하는 색이 변화합니다. 기존 전자 피부 연구에서는 피부가 단일 색상만을 나타낼 수 있었습니다. 하지만 연구팀은 피부 내 CPE의 탄성 계수를 서로 다르게 조절함으로써 이 한계를 극복했습니다. 탄성 계수의 차이로 인하여 CPE에 동일한 힘을 가하여 신축하더라도 그 신축 정도가 다르기 때문에 피부는 다중 색상을 표현할 수 있는 것이죠. 또한 이 CPE는 전기적인 힘이나 신호를 받아 수축하거나 이완하는 전기적 신축성이 있어 전기적인 신호를 통해 원하는 색으로 변화시킬 수 있습니다. 초기 중심 파장을 빨간색에서 근적외선³으로 조정하여 광학 탄성체를 눈에 보이지 않는 상태로 만들고 전기적인 신호를 통해 신축시켜 눈에 보이는 상태로 전환되도록 하는 등, 투명도 제어에도 성공했다고 하는데요. 다양한 색을 동시에 표현하며 투명도도 제어할 수 있는 인공 전자 피부 기술이 차세대 디스플레이, 암호화 등 다양한 응용 연구에 널리 적용될 미래가 기대되네요!

[각주]

1. 오른손과 왼손처럼 서로 겹쳐지지 않는 광학상태를 가지는 구조. 분자의 회전 비대칭성을 의미함.
2. 빛의 파장은 색을 결정함. 빛의 파장대가 바뀌면 눈에 보이는 색이 바뀌게 됨.
3. 적외선 중 가시광선에 가까운 부분의 광선. 가시광선과 달리 사람의 눈으로 볼 수 없음.

[참고 자료 & 그림 출처]

- Seungmin Nam, Dahee Wang, Chaehyun Kwon, ~ and Su Seok Choi. "Biomimetic Multicolor-Separating Photonic Skin using Electrically Stretchable Chiral Photonic Elastomers." Advanced materials 35, no. 31 (2023).

그림 1. CPE를 눈에 보이지 않는 상태에서 보이는 상태로 전환하는 모습



콘크리트로 전기를 공급하는 시멘트 배터리

현재 전기차 상용화를 가로막고 있는 장벽 중 하나는 충전소의 부족입니다. 그런데 이 문제를 해결할 기술이 개발되었다고 합니다. 미국 매사추세츠공대(MIT) 토목환경공학과 연구팀은 카본 블랙⁴과 시멘트를 이용한 슈퍼커패시터를 개발하였습니다. 슈퍼커패시터는 이온이 전극 면에 흡착함으로써 에너지를 충전하는 축전기로, 높은 에너지 저장량을 자랑합니다. 축전기에 저장되는 전력의 양은 판의 표면적에 비례합니다. 따라서 만약 콘크리트를 재료로 슈퍼커패시터를 제작하여 건축에 사용한다면 굉장히 많은 에너지를 저장할 수 있을 뿐 아니라, 어디에서든 충전이 가능해지죠. 하지만 콘크리트의 주요 성분인 시멘트는 전기 전도성이 약하다는 문제점이 있었습니다. 이를 극복하기 위해 기존의 건축용 슈퍼커패시터는 그래핀 등 전도성이 높은 탄소와 시멘트를 섞어 혼합물의 전도성을 높였으나, 가격이 비싸 대량 생산이 어려웠죠. 그래서 MIT 연구팀은 같은 탄소지만 가격이 저렴한 카본 블랙, 시멘트 가루, 물을 섞어 슈퍼커패시터를 제작했습니다. 물과 잘 결합하는 시멘트와 달리, 카본 블랙은 물을 밀어내고 서로 뭉침으로써 전기가 잘 통할 수 있는 길을 만듭니다. 이 시멘트 배터리를 45㎡ 크기로 제작할 수 있다면, 한 가정 이 하루 동안 소비하는 양의 에너지를 저장할 수 있다고 합니다. 연구팀은 아직은 단추 크기인 장치를, 크고 충분한 성능을 가진 장치로 발전시키기 위해 노력하고 있습니다. 연구가 성과를 거두어 어디서든 전자제품을 충전할 수 있는 시대가 열른 열렸으면 좋겠습니다!

[각주]

4. 탄화수소의 불완전연소 또는 열분해를 통해 생성된 그늘음 형태의 미세한 분말 물질.

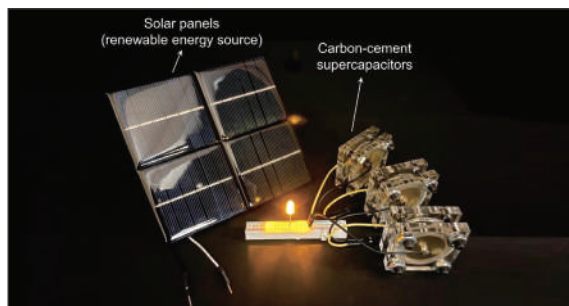
[그림 출처]

- David L. Chandler. "MIT engineers create an energy-storing supercapacitor from ancient materials." MIT News. July 31, 2023. <https://news.mit.edu/2023/mit-engineers-create-supercapacitor-ancient-materials-0731>.

[참고자료]

- Nicolas Chanut, Damian Stefaniuk, James C. Weaver, ~ and Franz-Josef Ulm. "Carbon-cement supercapacitors as a scalable bulk energy storage solution." Proceedings of the National Academy of Sciences of America. 120, no. 32 (2023).

그림 2. MIT 연구팀이 개발한 시멘트-카본 블랙 슈퍼커패시터 시제품



알코올 중독 원숭이 유전자 치료 후 음주량 90% 감소

사람뿐만 아니라 원숭이도 알코올 중독에 빠질 수 있다는 사실, 알고 계셨나요? 이러한 알코올 중독 원숭이의 알코올 섭취량을 90% 이상 줄일 수 있는 연구 결과가 나왔습니다. 미국 오리건 보건과학대학, 그리고 오리건 영양류 국립연구센터 교수팀은 뇌수술을 통해 유전자를 알코올 중독인 원숭이의 뇌에 전달하는 치료법으로 알코올 섭취를 극적으로 줄였다고 합니다. 유전자 치료법의 대표적인 방식은 인체에 무해한 바이러스에 치료용 유전자를 삽입해 체내의 표적기관에 전달하는 것인데요. 연구팀은 이 방식을 이용해 4% 알코올을 습관적으로 마시는 4마리의 원숭이의 뇌복측개피영역⁵에 해가 없는 바이러스(AAV)⁶를 전달체로 도파민성 뉴런 기능을 향상하는 인간 교세포 유래 신경성장인자(AAV2-hGDNF)⁷를 만들어 내는 단백질 유전자를 주입했습니다. 알코올 중독에 빠지게 되면 평소 뇌의 도파민 방출량이 줄어들어 우울감을 유발하고, 그 우울감을 해소하기 위해 다시 알코올을 찾게 됩니다. 도파민을 방출하는 뉴런의 기능을 활성화하는 GDNF를 암호화하는 유전자를 주입한 결과, 치료받은 원숭이들의 뇌에서는 도파민이 지속해서 과잉 발현되며 알코올을 섭취하지 않아도 충분히 도파민이 분비되는 것을 확인할 수 있었습니다. 그 결과 원숭이의 알코올 섭취량이 90% 이상 감소했으며 혈중알코올농도가 매우 낮게 측정되었다고 합니다. 단, 이 치료법은 수술을 통해 뇌를 영구적으로 변화시키기 때문에 다른 일반적인 치료법이 효과가 없는 가장 심한 알코올 사용 장애를 치료하는 데 유용할 것이라고 하네요. 이 기술이 발전되어 일반적인 치료법으로는 치료 불가능했던 환자들이 치료받는 날이 찾아오길 바랍니다.

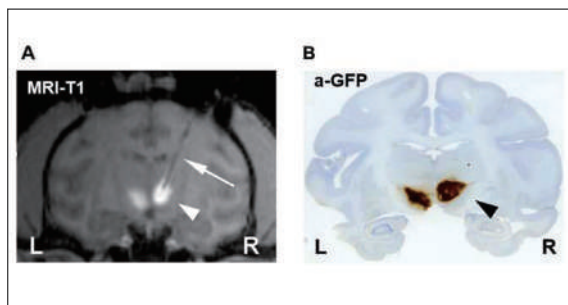
[각주]

5. 뇌간 맨 위에 위치한 영역. 도파민을 합성해 온몸으로 전달하여 동기부여, 보상, 쾌락 등에 관여함.
6. 아데노연관바이러스. 감염력은 있으나 병원성이 거의 없어 유전자치료에서 DNA 운반체로 사용됨.
7. 많은 종류의 뉴런의 생존을 강력하게 촉진하는 작은 단백질. 교세포에서 분비되는 GDNF 유전자에 의해 암호화됨.

[참고 자료 & 그림 출처]

- Matthew M. Ford, Brianna E. George, Victor S. Van Laar, ~ and Krystof S. Bankiewicz. "GDNF gene therapy for alcohol use disorder in male non-human primates." *Nature Medicine* 29 (2023): 2030-2040.

그림 3. AAV를 이용하여 복측개피영역에 유전자를 전달하는 시술의 시범 시술



양자컴퓨터도 풀어낼 수 없는 하이브리드 양자 기반 보안키

양자컴퓨터는 얽힘, 중첩과 같은 양자역학적 현상을 활용하여 자료를 처리하는 기계입니다. 양자 컴퓨터는 빠른 연산 능력을 바탕으로 기존 암호화 방식⁸을 무용지물로 만들 수 있다고 합니다. 때문에 이에 대비하는 것이 시급한 문제로 대두되고 있는데요. 구글은 스위스 취리히 연방 공과대학교 연구진과 함께 양자 기술을 활용한 해킹 공격으로부터 데이터를 보호할 수 있는 양자 기반 보안키를 개발했습니다. 이 양자 보안키는 기존 암호화 기술인 ECDSA 알고리즘⁹과 최신 양자 암호 알고리즘 중 하나인 다이리튬(Dilithium)¹⁰을 함께 사용하는 하이브리드 방식의 보안키라고 합니다. 따라서 하나의 보안키로 기존 ECC 기반 보안 기술과 미래의 양자 기반 보안 기술에 모두 대응할 수 있습니다. 또한 두 가지 보안 서명을 중첩함으로써 정보를 암호화할 때 두 알고리즘을 모두 이용하기 때문에 복합적인 공격에 대해서도 더욱 안전하게 데이터를 보호할 수 있다고 합니다. 특히 실물 형태의 휴대용 무선 보안키에도 적용하기 위해 20KB의 작은 메모리에서도 다이리튬 알고리즘이 작동할 수 있도록 최적화하는 것에도 성공했다고 합니다. 이로 인해 양자 기술을 이용한 해킹 공격에 휴대용 기기들도 대응할 수 있게 된 것이죠. 구글은 향후 이 새로운 양자 보안키 기술이 온라인 환경에서 비밀번호를 대체하는 인증 방식 기술 표준인 FIDO2 사양¹¹의 일부로 표준화되어 주요 웹 브라우저에서 지원되는 것을 목표로 개발을 진행하고 있다고 합니다. 이 기술을 통해 양자컴퓨터가 안전하게 실용화될 수 있길 바랍니다.🔒

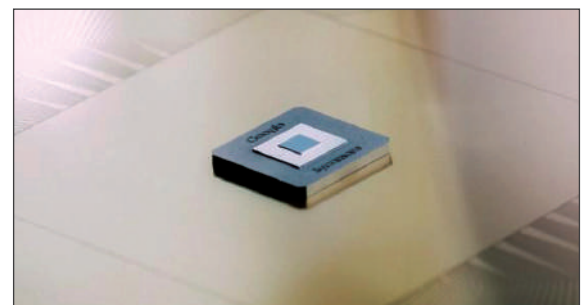
[각주]

8. 현재 보안키는 복잡한 수학적 난제를 기반으로 정보를 암호화함.
9. 타원 곡선 암호를 전자서명에 적용시킨 암호 알고리즘. 비트코인, 이더리움 등의 암호화폐 거래 시 정당한 소유주만이 자금을 쓸 수 있도록 하기 위해 사용됨.
10. 미국 국립 표준 기술 연구소가 양자 내성 암호의 표준화 사업에서 선정한 4종의 알고리즘 중 하나. 전자 서명 분야에서 표준 알고리즘으로 확정됨.
11. 아이디와 비밀번호 대신 지문, 홍채, 안면인식 등 생체인식과 OTP 등의 인증 체계를 지원하는 인증 시스템.

[참고 자료 & 그림 출처]

- Diana Ghinea, Fabian Kaczmarczyk, Jeniffer Pullman, ~ Jean-Michel Picod. "Hybrid post-quantum signatures in hardware security keys." *Applied Cryptography and Network Security Workshop* (2023).

그림 4. 구글의 양자 프로세서 모습



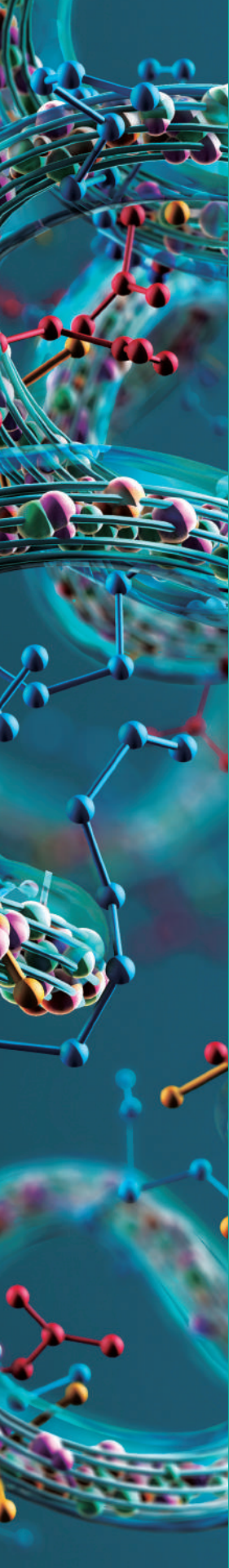
포스텍 기능성 생체 분자 재료 연구실

POSTECH
Biomolecular Materials Laboratory

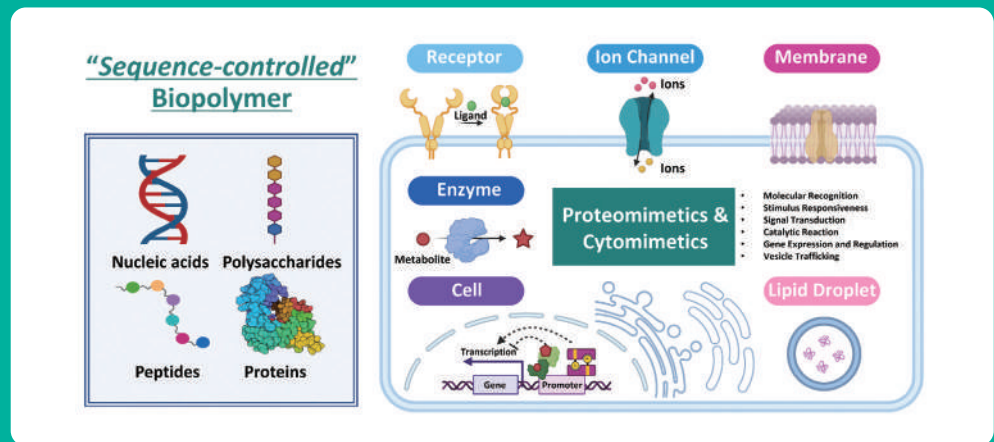
(글) 포스텍 신소재공학과 오승수 교수



☞ <랩큐멘터리> 영상에서 더 많은 이야기 만나보기

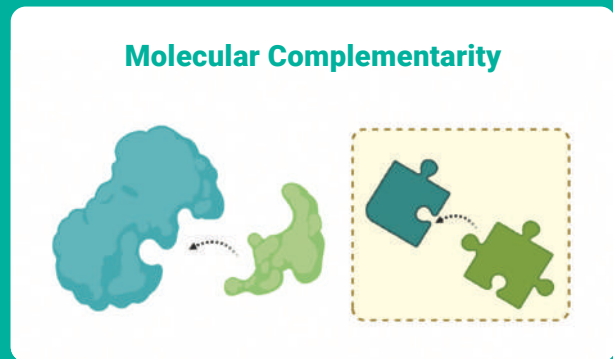


모든 생명체는 구조적, 기능적 기본 단위인 세포를 통해 '생명 유지'라는 놀라운 현상을 이뤄내고 있습니다. 단백질은 세포의 생명 현상 유지를 위한 세포 내 핵심적 요소로서 유전정보의 복제/전달/교체, 효소 촉매 반응, 목표 분자인식, 물질 출입 통제와 조절 등 매우 다양하고 유익한 생물학적 기능을 수행하며, 특히 인간의 경우 무려 2만 개에 달하는 서로 다른 단백질이 세포 내 존재합니다.



그렇다면 이러한 다양한 기능들은 단백질이라는 아미노산 기반의 선형 생체 고분자(Linear Biopolymer)만의 고유한 특성일까요? 단백질이 다양한 생물학적 기능을 수행하는 원리를 이해한다면 다른 생체 고분자를 이용하여 그 기능들을 재현해 내거나 심지어는 단백질의 기능 그 이상을 수행할 수도 있습니다. 이를 위해 포스텍 신소재공학과와 기능성 생체 분자 재료 연구실은 오승수 교수의 지도하에 단백질 모방학(Proteomimetics)과 세포 모방학(Cytomimetics)이라는 창의적이고 도전적인 분야에서 선도적 연구를 수행하고 있습니다.

20종류의 아미노산으로만 이루어진 2만 개의 서로 다른 단백질이 각각 고유의 기능을 수행한다는 것은 참으로 신기하기만 합니다. 이는 단백질이 고유한 접힘 구조(Protein Folding)에 따라 독특한 3차원 나노구조를 갖기 때문입니다. 독특한 3차원 구조는 퍼즐 맞추기처럼 다른 3차원 구조와 상보적인 상태, 즉 분자적 상보성(Molecular Complementarity)을 이룰 수 있고, 항체가 항원을 인식하듯 분자 인식(Molecular Recognition)의 구동 원리가 됩니다. 놀랍게도 이러한 분자적 상보성을 위한 3차원 나노구조는 아미노산이 아닌 핵산(DNA, RNA 등)과 당류(탄수화물 등)와 같이 서열 조절이 가능한 다른 유형의 생체 고분자(Sequence-Controlled Biopolymer)에 의해서도 똑같이 구현될 수 있습니다.

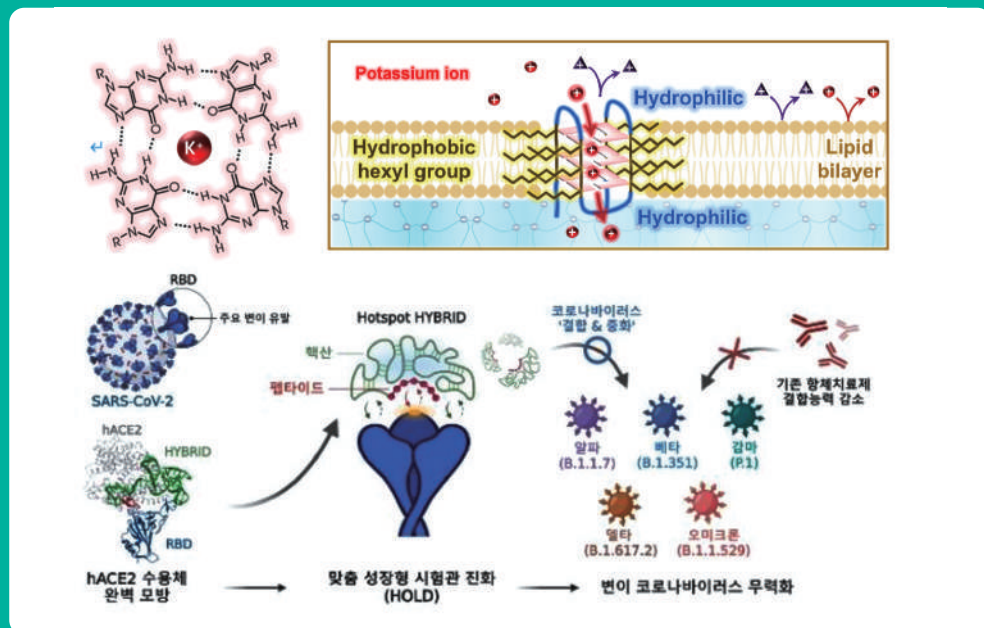


분자 인식(Molecular Recognition)을 가능하게 하는 3차원 나노구조들의 분자적 상보성(Molecular Complementarity).

이러한 분자적 상보성을 단백질이 아닌 다른 재료를 통해 구현하기 위해 합리적 분자 설계(Rational Design)¹와 시험관 분자 진화(In Vitro Selection)²라는 신개념 기술을 적극 활용할 수 있고, 그 원리는 생각보다 간단합니다. 기념행사에서 동판에 손도장을 남기는 핸드프린팅을 종종 하고는 하는데, 동판뿐만 아니라 석고, 찰흙, 시멘트 등 다양한 재료에도 손 모양과 상보성을 갖는 자국, 즉 각인(Imprinting)을 만들어 낼 수 있습니다. 결국 분자 세계에서의 각인(Molecular Imprinting)이라는 과정을 수행할 수 있다면, 서열 특이적 생체 고분자에 대상 분자의 상보성을 새길 수 있습니다.

분자적 상보성의 대상은 정말 다양합니다. 항원에 대하여 분자 각인을 수행하면 인공 항체가 탄생하고, 리간드에 대해서는 인공 수용체가 탄생할 수 있습니다. 분자 각인에 촉매적 활동을 더한다면, 기질을 인식하는 인공 효소로 작동할 수 있고, 이 밖에 이온을 인식해 그 흐름의 방향성을 제어할 수 있다면 인공 이온 채널도 충분히 구현해 낼 수 있습니다. 이 밖에 분자 생물학과 합성 생물학의 기술과 융합하면 인공 소기관과 인공 세포를 재창조해 낼 가능성을 갖습니다.

DNA, RNA와 같은 핵산을 이용해서도 기능적으로 항체와 유사한 생체 분자를 만들 수 있는데, 이를 압타머(Aptamer)라고 합니다. 기능성 생체 분자 연구실에서는 이러한 압타머가 펩타이드(Peptide)와 융합하여, 끊임없이 진화하는 다양한 변이의 코로나바이러스에도 보편적 중화 효과를 나타내는 중화 치료제(Neutralizer)로써 활용 가능함을 세계 최초로 보고한 바 있습니다. 코로나바이러스는 우리 몸에 침투할 때 세포막의 hACE2 수용체와 강한 상호작용을 하며 침투하는데, 이때 바이러스와 결합하는 hACE2의 주요 결합 부위인 펩타이드와 핵산 물질을 결합한 하이브리드 압타머(Hybrid Aptamer)라는 새로운 개념을 도입한 결과입니다. 이를 통해 개발한 신개념 물질은 전염력이 가장 높았던 오미크론 변이뿐만 아니라 지금까지도 계속되는 코로나바이러스의 변이에도 지속적인 중화 효과를 보이고 있고, 독감을 포함한 다양한 바이러스에 대항하는 혁신적 방법론으로 인정받아 관련 내용은 국제 학술지 '사이언스 어드밴시스'에 게재됐습니다.





핵산 물질인 압타머는 단백질과 같은 거대 분자뿐만 아니라 이온처럼 크기가 작은 물질에도 특이적으로 결합할 수 있습니다. 칼륨 이온이 존재할 때, DNA 염기 중 하나인 구아닌(Guanine)은 사중 나선 형태로 특징적 구조를 형성할 수 있고, 이러한 구조가 지질 이중막을 가로질러 방향적으로 배열되면 칼륨 이온을 선택적으로 통과시키는 이온 채널로서 동작할 수 있습니다. 이렇게 탄생한 새로운 인공 투과막은 물 분자, 음이온 및 다원자 양이온의 투과를 100% 차단할 뿐만 아니라 상대적으로 크기가 작은 리튬 이온의 투과도에 비해 칼륨 이온을 5배 이상 투과하는 놀라운 특성을 보였습니다. 이러한 나노 두께의 이온 선택 투과막은 국제 학술지 '어드밴스드 머티리얼즈'에 올해 게재되었으며, 다양한 이온에 특이적 구조를 방향적으로 배열하여 리튬이나 코발트와 같이 자연계에 존재하지 않지만 에너지 분야의 핵심이 되는 이온에 대한 이온 채널도 개발하고자 야심 찬 연구가 진행되고 있습니다.

이외에도 기능성 생체 분자 연구실은 핵산 기반의 인공 효소인 뉴클레오자임(Nucleozyme) 연구, 인지질 대신 단백질을 이용한 인공 세포막 연구, 세포 신호를 조절할 수 있는 인공 합성 성장인자 연구와 같이 생체 내 많은 구성 요소를 모방하려는 창의적 시도를 하고 있습니다. 더불어, 분자인식 기반의 초정밀 바이오 결합 기술을 이용한 항체 약물 결합체(Antibody-Drug Conjugate) 연구, DNA와 같은 생체 고분자의 초정밀 3D 나노 프린팅 연구와 같이 다양한 응용 분야로의 확장도 끊임없이 모색하고 있습니다. 전통적인 재료의 시대를 뛰어넘어 새로운 분자 재료의 시대를 개척하기 위한 도전적이고 창의적인 연구를 진행하고 있으니, 관심있는 학생들은 언제든지 활짝 열려 있는 연구실의 문을 용기 있게 두드리길 바랍니다. ☺

각주

1. 시뮬레이션을 토대로 분자의 거동을 예측하고 이에 따라 특정 기능을 갖는 새로운 분자를 디자인하는 생체 분자 공학 전략.
2. 다윈의 진화론에 기반하여 매우 다양한 구조의 분자들 가운데 경쟁을 통해 특정 기능을 갖는 분자들만이 생존하도록 스크리닝을 유도하는 전략.

알림의 생생한 이야기

ALIMI ON AIR



알리미의 학과 생활 V-LOG

전국의 포스테키안 구독자 여러분, 안녕하세요!

쌀쌀한 가을이 저물고 어느덧 추운 겨울이 한창이네요. 벌써 한 해의 끝이 다가오고 있다는 것이 실감 나지 않는데요. 여러분은 어떠한 해를 보내셨나요?

연말이 다가오면 매년 시원섭섭한 감정이 들지만, 대학생들에게는 그토록 기다리던 종강이 다가오고 있다는 의미이기도 합니다. 이번 알리미 ON AIR에서는 2023학년도 2학기부터 학과에 진입한 2학년 알리미들과 무은재학부생으로서의 1년을 마무리한 1학년 알리미들의 한 학기 되돌아보며 여러분들에게 알리미의 학과 생활을 소개해 드리고자 합니다!

포스텍에 입학한 신입생들은 무은재학부생으로 출발하여 이공계 학도로서 기초소양을 쌓은 뒤, 2학년 2학기부터 학과에 진입하여 본격적으로 자신의 전공을 공부하게 됩니다. 예비 포스테키안 여러분! 포스텍에 입학하게 된다면 여러분이 경험하게 될 학과 생활을 이 영상을 통해 간접적으로 체험할 수 있다면 좋겠습니다.📺

이공계특성화대학 포스텍에서의 학과 생활이 궁금하다면?

2024년 4월 12일, 옆의 QR 코드를 찍어 보세요!



운동, 행복을 찾는 이야기

안녕하세요. 저는 포항공과대학교 조정부의 부원이자 전자전기공학과에 재학 중인 최정윤입니다. 뛰어난 포스테키안들 속에서 저는 그저 평범한 공대생이지만, 저의 조그만 취미 생활을 이야기할 기회를 주심에 감사드리며 포스테키안 독자분들께 제 이야기가 작은 울림이 될 수 있기를 바랍니다.

(글) 전자전기공학과 19학번 최정윤

여러분은 어디에서 행복을 찾고 있나요? 우리의 삶 속에는 행복을 느끼게 하는 세 가지 조건이 있다고 합니다. 첫 번째는 내가 주변 상황을 통제할 수 있다고 느끼는 통제감, 두 번째는 어찌보나 나는 내가 된 것 같다고 느끼는 성장감, 세 번째는 타인과 연결되어 있다고 느끼는 사회적 소속감입니다. 세상이 학업 성적이라는 하나의 변수로만 이루어져 있다면 시험 성적을 자신의 발전 지표로 삼아 하나의 과업만을 통제해 가며 괜찮은 삶을 살고 있다고 만족할지도 모릅니다. 그러나 대학생이 되어 마주한 세상은 수없이 다양한 일들과 예기치 못한 사건의 연속이었습니다. 1학년을 마칠 때 꽤 높은 학점을 받았었고 앞으로 나아갈 방향도 '열심히 공부에 매진해서 박사가 되는 것'으로 정했었습니다. '공부를 정말 좋아하는가?', '연구가 정말로 하고 싶은가?'라는 중요한 질문에는 답하지 않은 채 사회가 정해 놓은 성공에 저를 맞추기 위해 스스로를 기만해 왔습니다. 당연하게도 이런 방식의 동기부여는 오래가지 못했고 진정한 나의 꿈을 위해 노력하고 있는 것이 아

니라는 것을 깨닫자 깊은 우울감에 빠졌습니다. 여기에 팬데믹으로 인한 고립감과 높아지는 전공과목 난이도가 더해져 저는 결국 3학년 1학기에 중도 휴학을 결심하게 됩니다. 몇 달간은 방에 누워 무기력하게 시간만 보내다 문득 1학년 때 조정부에서 힘든 운동을 마치고 땀에 흠뻑 젖었을 때 느낀 성취감과 상쾌함이 떠올랐습니다. 그 생각이 든 후, 사람이 없는 새벽이나 밤에 밖에 나가서 뛰기 시작했고 그때부터 저는 운동과 떼려야 뗄 수 없는 관계가 되었습니다.

휴학 신청을 하고 맞은 여름방학은 무척 길었습니다. 이 기간을 활용해 저는 야외에서 달리는 것 외에 다른 운동을 배워보고 싶었습니다. 당시 3대 500مم이나 헬스가 유행하기도 했고, 어릴 때 힘이 세다는 소리를 많이 들었던 것이 생각나 가장 먼저 역도를 배웠습니다. 사람마다 각자 조금씩 더 잘하는 것이 있는데, 힘이 또래보다 센 저는 실력이 금방 늘어 웨이트 트레이닝에 빠져들

1.2.3. 부산장보고기조정대회





4. WPC 파워리프팅 챔피언십 5. 해변마라톤 6. 철강마라톤

게 되었습니다. 운동을 통해 그동안 공부를 하며 느끼기 어려웠던 성취감과 매일 발전하는 기분을 느낄 수 있었습니다. 물론 운동에서도 매일 같이 성장할 수만은 없다는 사실을 깨닫게 된 것은 더 나중의 일이었지만, 취미생활을 통해 더 행복한 삶을 만들 수 있다는 것을 배웠습니다. 또한 세상에는 마음대로 통제할 수 없는 일이 대부분인데, 운동을 하면서 내 몸 하나만 큼은 원하는 대로 움직일 수 있다는 점이 매력적으로 다가왔습니다. 역도 말고도 스쿼트, 벤치프레스, 데드리프트의 3대 운동 중량을 합산해 겨루는 종목인 파워리프팅에도 관심을 갖고 연습을 거듭했는데, 이듬해 WPC 파워리프팅 챔피언십에 참여해 3대 합계 280으로 체급 4위라는 기록을 얻을 수 있었습니다. 복학한 후에도 꾸준히 운동해 나갔고 운동에 진심인 저의 열정을 공식적으로 남기기 위해 생활스포츠지도사 자격증도 취득하였습니다. 공부하면서 쉽게만 얻을 수 없었던 성취감을 취미인 운동에서 찾을 수 있었고, 이는 건전하게 스트레스를 해소할 방법이 되어 학업에도 긍정적 요소로 작용하였습니다.

제 대학 생활에서 빼놓을 수 없는 것이 조정부 활동입니다. 조정은 한국에서는 생소한 스포츠로 여러 명이 노를 저어 물 위에서 속도를 겨루는 스포츠입니다. 강한 신체와 정신력, 그리고 무엇보다도 팀워크를 매우 필요로 하는 종목이기 때문에 해외 명문 대학의 상징으로도 여겨집니다. 조정을 하며 운동해서 얻는 즐거움뿐만 아니라 팀원 간의 끈끈한 유대감에서도 행복을 느낄 수 있습니다. 훈련은 학교 옆 형산강에서 진행되는 수상 훈련과 체력 훈련으로 나뉩니다. 훈련의 강도는 점차 강해지는데 여름합숙 때 그 정점을 찍습니다. 합숙하는 동안 하루하루가 자기 자신을 뛰어넘는 날이 되고 매 순간 '내가 할 수 있을까?'라는 질문과 스스로에 대한 의심으로 가득 찹니다. 때론 피땀 흘려 노력했음

에도 좋지 못한 경기 결과를 얻기도 합니다. 이 모든 것을 버텨낼 수 있게 하는 것은 단순히 성취감뿐만 아니라 새벽 훈련을 갈 때 볼 수 있는 그림 같은 하늘 풍경, 강 물결에 부서지는 황금빛 햇살, 훈련이 끝나고 다 같이 먹는 밥, 함께 웃으며 나누는 이야기들, 시합 전날 긴장하고 있는 팀원을 다독이는 따뜻한 대화 같은 것들입니다. 이처럼 조정부 활동을 통해 함께하는 것의 즐거움과 힘든 상황 속에서 행복을 찾는 법을 배울 수 있었습니다.

졸업을 앞두고 대학 생활을 돌이켜 봤을 때, 행복을 찾으려는 의식적인 노력으로 힘들 때 다시 일어설 수 있었습니다. 앞서 이야기한 것과 같이 저는 운동을 통해 성취감과 삶에 대한 통제감을 얻으면서, 조정부 친구들과 함께 운동하며 행복을 찾았습니다. 꼭 운동이 아니더라도 사람마다 행복을 찾는 방법은 다양합니다. 그렇지만 돈이 아까워서, 시간이 아까워서 행복을 찾기를 포기한다면 어려움이 닥쳤을 때, 또는 삶이 공허할 때 살아갈 이유를 찾기 힘들 것 같다고 생각합니다. 여러분도 꼭 꼭 빠져들 수 있는 취미를 찾았으면 좋겠습니다.

학교생활이 답답할 때 주변을 둘러보면 포항에서도 다양한 스포츠 활동을 즐길 수 있습니다. 저는 포항에서 열리는 '포항해변마라톤'과 '철강마라톤' 두 개의 마라톤에 참가했는데, 송도 해수욕장과 영일만의 바닷바람을 맞으며 사람들과 함께 달리는 경험은 잊지 못할 추억이 되었습니다. 주로에서는 걷다 뛰다 하며 친구와 풍경을 즐기는 사람, 자신의 기록을 위해 집중하는 사람, 자신만의 페이스로 꾸준히 가는 사람처럼 다양한 사람을 마주칠 수 있습니다. 100명의 사람이 있으면 100종류의 달리기가 있듯이 누가 정해 놓은 방법이 아닌 자신만의 인생이라는 마라톤을 행복하게 달려 나가기 바랍니다. ☺



심혈관 위험평가 소프트웨어 Reti-CVD 검사 시연

의료 인공지능 전문가를 향해서

(글) 컴퓨터공학과 18학번 김현민

안녕하세요 포스테키안 구독자 여러분, 포스텍 컴퓨터공학과 18학번 김현민입니다. 저는 학교생활을 하며 메디웨일이라는 스타트업에서 의료 인공지능을 연구하고 있습니다. 여러분께 의료 인공지능 분야를 소개해 드리고, 간략한 회사 생활 그리고 대학 생활을 하며 느낀 점들을 공유해 드리고자 합니다.

의료 인공지능이란?

의료 인공지능은 방대한 의료 데이터를 분석하고 패턴을 찾아내어 질병의 진단과 치료를 돕고 전반적인 의료 시스템의 개선을 돕는 분야입니다. 대표적으로 심정지 발생 위험도를 예측하는 뷰노의 '딥카스', 유방암이나 폐질환 영상 판독 보조 소프트웨어 '루닛 인사이트'가 있고, 컴퓨터가 데이터를 처리하기 때문에 사람에 비해 진단 속도가 빠르고 지치지 않는다는 장점이 있습니다. 또한 루닛이 란셋 디지털 헬스(The Lancet Digital Health)에 발표한 논문에 따르면, 두 명의 영상의학과 전문의가 유방암 판독을 이중으로 하는 것보다 루닛 인사이트와 전문의 1명이 판독한 결과가 더 정확했다고 합니다. 이러한 의료 인공지능의 정확하고

빠른 진단은 의료자원의 효율적인 활용을 도와주고 전반적인 의료 시스템의 개선을 가져올 수 있습니다.

의료 인공지능 분야를 택한 이유

고등학생 때 실시간으로 알파고 이세돌 대국을 보았을 때의 충격이 아직도 생생합니다. 이세돌 기사님이 패배하는 것을 보며 인공지능이 게임 체인저가 될 것을 확신했고 이 사건이 인공지능 분야를 택하는 계기가 되었습니다. 인공지능에도 여러 분야가 있는데요. ChatGPT와 같은 자연어 처리 분야, 얼굴인식이나 자율주행과 같은 컴퓨터 비전 분야가 대표적입니다. 그중에서 저는 의료 인공지능 분야를 택했고, 세 가지 이유가 있었습니다. 제가 좋아하고 흥미가 있는 분야이자 잘할 수 있는 분야, 그리고 시장성이 있는 분야라는 세 조건을 만족시키는 것이 의료 인공지능이었기 때문입니다. 부가적으로 설명하자면, 이루다¹, ChatGPT와 같은 서비스들은 재미있고 편리하지만 수익 창출은 어려워 보였습니다. 반면 의료 분야는 필수적이며 의사와 환자라는 사용자와 사용 대상이 명확해서 시장성이 더 좋다고 생각했습니다.

메디웨일 합류와 성장

메디웨일은 안저(동공을 볼 때 확인되는 안구의 안쪽면) 이미지를 통해 미래 질환의 발생 위험을 분석하고 예측하는 인공지능을 개발하는 기업입니다. 대표적인 제품으로는 심혈관 위험평가 소프트웨어 Reti-CVD가 있습니다. 어르신들께서 무릎이 쑤시면 비가 올 것 같다고 말하는 것과 유사하게 눈을 통해 심장 건강을 추측할 수 있다는 이야기가 오래전부터 있었습니다. 지금까지 심혈관 위험평가는 경동맥 초음파 또는 심장 CT 촬영을 통해 이루어져 왔습니다. 기존 경동맥 초음파는 정확도가 낮으며, 심장 CT 촬영은 비교적 높은 가격과 촬영 과정이 번거롭다는 단점이 있었습니다. 메디웨일은 인공지능을 통해 안저 이미지와 심장 건강의 상관관계를 정량화했고, 해당 기술은 심장 CT를 통해 측정한 심혈관 칼슘 스코어와 동등한 유효성이 있음을 The Lancet Digital Health라는 저널에서 발표했습니다. 이에 올해 평가 유예 신의료 기술로 선정되어 현재는 닥터는 Reti-CVD라는 이름으로 대형 병원과 개인병원에서 사용되고 있습니다.

대표님과는 학교 선후배 관계로, 메디웨일 합류 이전부터 알고 지내다가 신기한 연구를 하신다는 이야기를 듣고 2022년 1월에 연구에 합류하게 되었습니다. 저는 Reti-CVD 성능 향상과 안저 이미지를 통한 공팔 위험도 예측 모델인 Reti-KD 개발을 맡고 있고, 의료 인공지능의 특성으로 발생하는 여러 문제를 해결하고자 연구하고 있습니다. 전문 의료 장비를 통해 데이터를 취득하기 때문에 녹음기나 일반 카메라로 취득하는 데이터에 비해 양이 적고, 의료 지식을 가진 전문 인력이 레이블링 해야 하기 때문에 레이블이 있는 데이터도 적습니다. 또한 의료 장비 제조사에 따른 호환성 문제로 인해 많은 어려움을 겪기도 했습니다.

국방 AI 경진대회 수상



회사에서 근무하면서 국내의 여러 인공지능 대회에도 출전했는데, 이때 쌓은 경험들이 위 문제들을 해결하는 데 큰 도움이 되었습니다. 대회에 참가하여 실제 데이터를 다루고 해결 방법을 고민하는 것 자체도 큰 경험이었지만, 다른 참가자들과 접근 방법을 논의하고 공유하면서 크게 성장할 수 있었습니다. 그 결과 회사 내부적으로도 의미 있는 성과가 나왔고 올해 의료 영상 분야에서 권위 있는 학술대회인 MICCAI에서 주최한 MMAC(Myopic Maculopathy Analysis Challenge, 근시성 황반병증 분석 관련)에서 3위라는 성과도 거둘 수 있었습니다.



MICCAI MMAC Challenge 수상

대학 생활을 되돌아보며

지금까지 학술적으로 열심히 활동할 수 있었던 것은 1~2학년 때 했던 다양한 경험 덕분입니다. 극 초창기 스타트업에도 합류해 보고 입대 전에는 무작정 캐리어를 끌고 제주도에 가서 한 달간 살다 오기도 했습니다. 특히 스타트업 관련 활동을 한 것이 영향이 컸는데, 당시 창업에 관심이 많아 스타트업 대표님들의 피칭을 많이 들으며 자연스럽게 분야에 대한 시장성도 생각해 보게 되었습니다. 그렇기에 학업, 전공과 무관한 경험도 가치가 있다고 강조하고 싶습니다. 스티브 잡스의 "Connecting the dots"라는 말처럼 우연히 접한 경험들이 커다란, 새로운 기회로 이어질 수 있기 때문입니다.

마지막으로 지금까지 성장하는 데는 많은 분들의 도움이 있었기에 가능했습니다. 인공지능 분야로 첫 발걸음을 내딛는 데 도움을 주신 포스텍 박수하 교수님, 컴퓨터 비전 연구실 김성연 선배님 그리고 끊임없는 학문적 조언을 해주시는 메디웨일 남현섭 CTO님, NUS 임형택 교수님, 포스텍 김원화 교수님께 이 자리를 빌려 깊은 감사를 전합니다. 🙏

각주

1. 스캐터랩에서 개발한 페이스북 메신저 채팅 기반의 인공지능 챗봇

우당탕탕

포스테키안의 하루

#입학

분반 친구들과 함께 게임도 하고 학교 응원가도 배웠고,



안녕하세요, 이번 포스테키안부터 만화 코너를 맡은 생명과학과 이에린입니다!



캠퍼스 투어와 동아리 탐방을 하면서



떨면서 입학 면접을 본 게 엇저께 같은데 포스테키안의 일상을 그리다니 기분이 묘하네요 ㅎㅎ



들뜬 마음에 빨리 대학 생활을 즐기고 싶었던 기억이 나네요.



입학 통보를 받고 새내기새로배움터를 진행했는데요,



여러분은 입학 후 이루고 싶은 캠퍼스 로망이 있나요?



우당탕탕

포스테키안의 하루

#동아리

동아리 친구들과 여행도 가고 맛있는 것도 많이 먹으러 다니기도 합니다!



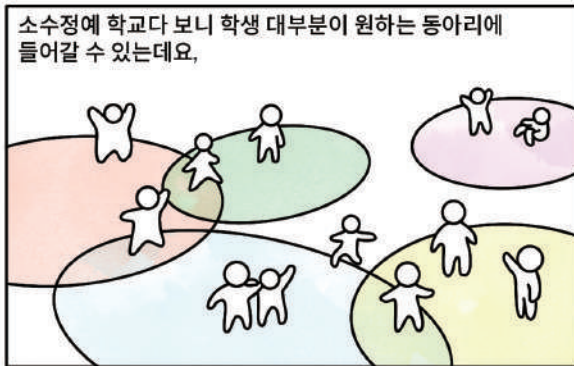
동아리는 대학 생활의 꽃이라고 하죠



연극, 운동, 사진, 뮤지컬, 춤, 악기 등 다양한 활동을 전문적으로 배울 수도 있고,



소수정예 학교다 보니 학생 대부분이 원하는 동아리에 들어갈 수 있는데요,



여러 경험을 하면서 소중한 추억을 쌓을 수 있습니다!



동아리를 통해 지금까지 공부하느라 못 즐겼던 취미 생활도 즐길 수 있고,

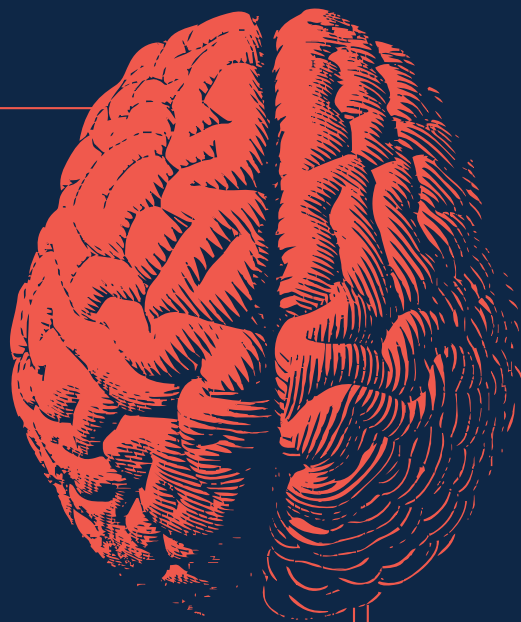


여러분은 대학교에 입학하면 어떤 동아리에 들어가고 싶으신가요?





연구 대상이 된 신체 조직,



무단으로 사용했던 거라고?



(글) 무은재학부 23학번 29기 알리미 황현준

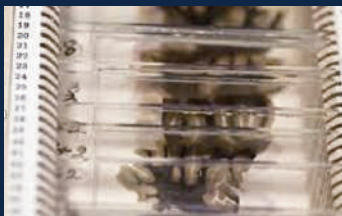
21세기에 들어 생명과학은 눈부신 발전을 이루어 내고 있습니다. 인간은 유전공학 분야에서 CRISPR-Cas9을 통해 DNA를 조작할 수 있게 되었고, 합성 생물학 분야에서는 높은 정확성으로 복잡한 생물학적 시스템을 설계할 수 있게 되었습니다. 이 같은 생명과학의 발전은 식량, 의료, 환경보존 등 많은 분야에서 인류에게 새로운 시대를 열어 주고 있습니다. 그러나 생명과학의 눈부신 발전 뒤에는 무시되었던 윤리적 문제들도 있습니다. 인류의 발전을 위해서라는 명목으로 죽은 사람의 신체 조직을 무단으로 연구한 사례가 있다는 사실, 충격적이지 않나요? 그럼, 본인의 동의 없이 신체 조직을 연구한 사건에 대해 알아보도록 하겠습니다!



조각난 채 연구된 아인슈타인의 뇌, 본인은 원하지 않았다고?

여러분은 천재 과학자라고 하면 누가 떠오르시나요? 저는 알베르토 아인슈타인이 떠오릅니다. 아인슈타인은 특수 상대성 이론, 일반 상대성 이론을 발표하여 시간과 공간에 대한 기존의 관념을 뒤바꾸고, 광전효과를 설명하는 등의 업적으로 많은 사람에게 존경받았습니다. 높아진 명성만큼 수많은 이들은 아인슈타인의 지능에 대한 궁금증을 가지기 시작했습니다. 아인슈타인 본인도 그 호기심 어린 시선을 알고 있었고, 사후 자기 몸이 연구되는 것을 원치 않았던 그는 가족들에게 화장을 당부했습니다. 시간이 지나 아인슈타인의 죽음 후, 가족들은 그가 바란 대로 화장을 치렀습니다. 그런데 몇십 년 뒤 깜짝 놀랄만한 일이 일어납니다. 바로 아인슈타인의 뇌가 발견된 것입니다!

아인슈타인의 뇌를 훔쳐 간 사람은 다른 아인슈타인의 부검을 맡았던 프린스턴 병원의 의사, 토마스 하비 박사였습니다. 그는 “세상을 뒤집어 놓은 천재의 뇌는 얼마나 다를까?”라는 탐구심을 참을 수 없었다고 합니다. 토마스 하비 박사는 아인슈타인의 뇌를 분석하는 것이 과학과 인류에 대한 책무라고 주장했습니다. 박사는 분노한 유가족들을 과학적 목적으로만 뇌를 사용하겠다는 조건으로 설득했고, 결국 정식으로 아인슈타인의 뇌를 소유하게 되었습니다.



아인슈타인의 뇌는 일반인과 무엇이 달랐을까요? 이를 알아내기 위해 토마스 하비 박사는 뇌를 240조각으로 잘게 쪼개 전 세계의 연구자들에게 보냈습니다. 아인슈타인의 뇌는 1,200g으로, 일반인 남성 뇌의 무게가 1,400g 정도인 것에 비하면 가벼운 편이었습니다. 아인슈타인의 뇌에서 특이한 점은 공간 지각 능력, 수학적 사고의 역할을 하는 두정엽(Parietal Lobe)이 일반인보다 15~30%가량 컸다는 것입니다. 두정엽 외에도 전두엽(Frontal Lobe)과 후두엽(Occipital)의 여러 영역에서 주름이 많고 굴곡이 복잡하게 형성되어 있다는 것을 확인할 수 있었습니다. 의외로 가장 차이가 클 것으로 예상되었던 뉴런(Neuron)에서는 큰 차이가 없었습니다. 다만, 뉴런의 기능을 지원하는 신경아교세포¹(Glia Cell)가 일반인보다 더 많았다고 합니다. 이런 연구는 끊이지 않고 이어져 지금까지도 아인슈타인의 뇌에 대한 연구논문이 발표되고 있습니다. 하지만 인류를 위해 평생토록 연구했던 천재 과학자에게 고인이 되어서까지 일방적인 희생을 강요하는 것이 옳을까요?

그림 1.
포름알데하이드에 박제된 아인슈타인의 뇌(상), 240개로 조각난 뇌(하)

의료 발전에 크게 기여한 헬라 세포, 과학계의 인종차별이라고?

1951년 미국 존스 홉킨스 병원에서 헨리에타 랙스라는 환자가 자궁 경부암을 치료받고 있었습니다. 병원에서 그녀를 치료하던 의사들은 놀라운 사실을 발견합니다. 그녀의 자궁 암세포 조직이 몸 밖에서도 끊임없이 분열하는 것이었습니다! 헨리에타 랙스는 결국 세상을 떠났지만, 연구자들은 그녀의 치료 과정에서 채취한 세포를 무단으로 사용하기 시작했습니다. 연구자들은 환자의 이름과 성을 두 글자씩 따서 헬라(HeLa) 세포라는 이름을 붙이고 이 세포를 계속해서 배양했습니다. 인간에게서 불멸의 세포주² (Cell Line)가 처음으로 만들어지는 순간이었습니다.

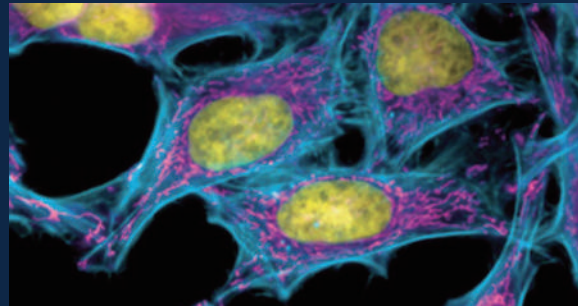


그림 2. 헨리에타 랙스(좌), 헬라 세포(우)

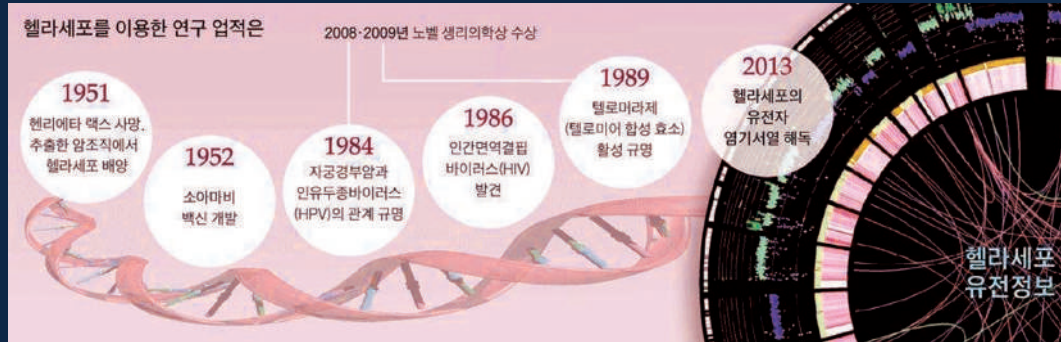
헬라 세포는 동일한 조건에서 다양한 실험을 해야 하는 생명과학 분야에서 무척 중요한 재료였습니다. 끊임없이 분열하고 가혹한 환경에서도 잘 성장하며 발달과 특성이 일관적이어서 예측이 쉽기 때문입니다. 이러한 이유로, 그녀의 몸에서 추출된 세포는 과학사적으로 엄청난 역할을 하게 됩니다. 이 사실을 가장 확연히 보여주는 지표는 지금까지 배양된 헬라 세포의 무게와 헬라 세포를 이용한 연구 논문 수입니다. 현재까지 배양된 헬라 세포의 무게는 무려 5,000만 톤이며 연구 논문 수는 6만여 편이나 된다고 합니다.

그렇다면 헬라 세포는 어떻게 끊임없이 분열할 수 있을까요? 이는 세포주기에 관여하는 단백질 인자에 돌연변이가 발생하기 때문입니다. 세포주기를 끝내는 단백질 인자가 돌연변이에 의해 억제됨으로써 세포주기가 지속되는 것이 헬라 세포가 증식을 끊임없이 하는 이유입니다. 이런 특성 덕분에 헬라 세포는 암, 바이러스 증식, 유전자 조절, 단백질 합성, 약제의 효과 확인 등 다양한 연구에서 사용되었습니다. 이처럼 헬라 세포주는 70년 가까이 증식을 이어오며 최초의 소아마비 백신, 최초의 체외 수정법, 최초의 복제 세포 개발 등에 기여하여 전 세계 의학과 생명과학에 혁명을 일으켰습니다.

각주

2. 균일한 조직에서 유래된 세포집단으로 동일한 유전적 특성을 가지는 세포 계통.

그림 3. 헬라세포를 이용한 연구 업적



그러나 헬라 세포는 뚜렷한 장점과 함께 커다란 윤리적 문제도 가지고 있었습니다. 헬라 세포는 최초의 불멸 세포주임과 동시에 최초로 세포 기증자의 동의 없이 사용된 세포입니다. 그렇다면 과학자들은 왜 이 문제를 짚고 넘어가지 않았을까요? 그것은 헨리에타 랙스가 가난한 흑인 여성이었기 때문입니다. 이는 과학계 인종차별의 일종으로 그 당시에는 흑인 또는 여성의 실험 세포와 조직을 허락 없이 사용하는 것이 흔한 일이었다고 합니다. 이러한 이유로 그녀의 동의 없이 세포주가 무단 사용되었다는 문제점이 있었음에도, 헨리에타 랙스의 유가족들은 지난 70년 동안 어떠한 보상도 받지 못했습니다. 피험자의 동의 여부, 생물학 데이터 소유권 등의 권리가 중요시되기 시작한 최근에서야, 유가족들은 법적으로 보상받을 수 있게 되었습니다.

윤리 문제들은 우리가 현대 의학과 생명 과학의 발전과 함께 직면하게 된 중요한 고민 중 하나입니다. 헬라 세포와 아인슈타인의 뇌는 연구 성과를 공유하기 위해 당사자의 동의 없이 의료기록이 공개되거나 유전자 정보가 온라인에 발표되기도 했습니다. 개인의 생체 데이터가 동의 없이 공개되는 일은 앞으로 있어서는 안 될 일입니다. 우리는 과학과 기술의 발전이 더 나은 미래를 만들 수 있도록 노력해야 할 뿐만 아니라, 모든 존재의 존엄성을 존중하는 가치관을 가져야 합니다. 올바른 과학 발전을 위해 우리 함께 노력해 봅시다! 🌱

참고 자료

1. 윤신영. "세포로 의학 발전에 공헌한 헨리에타 랙스의 불멸의 삶." 「동아사이언스」. 2020년 9월 11일. <http://m.dongascience.com/news.php?idx=39654>.
2. Verginia Hughes. "The Tragic Story of How Einstein's Brain Was Stolen and Wasn't Even Special." 「National Geographic」 April 21, 2014. <https://www.nationalgeographic.com/science/article/the-tragic-story-of-how-einsteins-brain-was-stolen-and-wasnt-even-special>.
3. Zielinski Sarah. "Henrietta Lacks' 'Immortal' Cells." 「Smithsonian」. January 22, 2010. <https://www.smithsonianmag.com/science-nature/henrietta-lacks-immortal-cells-6421299/>.

그림 출처

- 그림 1. 이준엽. "아인슈타인 뇌 240조각 분석해보니... '충격'." 「MBN뉴스」. 2017년 3월 3일. <https://m.mbn.co.kr/news/society/3157096>.
 人民网. "美 박물관에 전시된 아인슈타인 뇌 조각 '세상에 이런 일이'." 「머니투데이」. 2015년 5월 15일. <https://news.mt.co.kr/mtview.php?no=2015052611158875283>.
- 그림 2. 변희연. "생명 구한 흑인 여성의 '불멸 세포', 72년만에 보상받는다." 「조선경제」. 2023년 8월 3일. <https://www.chosun.com/economy/science/2023/08/02/YZXCYYE2GVCXRITBRBMBVSKBEA>.
- 그림 3. 김한별. "인류가 빛진 헬라세포 ... 불멸의 삶 2막 열리다." 「중앙일보」. 2013년 8월 12일. <https://www.joongang.co.kr/article/12285947#home>.

생명과과학과가 본 카페

(글) 화학공학과 22학번 28기 알리미 사수현

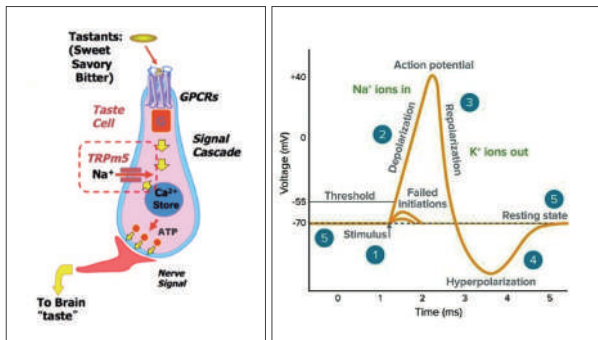
'얼죽아'라는 말 들어본 적 있지? '얼어 죽어도 아이스 아메리카노'라는 뜻으로, 아무리 추워도 아이스 아메리카노를 고집하는 사람들을 이렇게 부르곤 해! 왜 아이스 커피를 고집하는 걸까? 흠... 온도에 따라 커피의 맛이 달라지더라도 하는 걸까?

인간은 기본적으로 단맛, 짠맛, 쓴맛, 신맛, 감칠맛 5개의 맛을 느낄 수 있어. 맛은 50~100여 개의 미각세포가 모인 미뢰로부터 인식돼. 미뢰는 총 3가지 종류의 미각세포로 이루어져 있는데, 미각세포에는 미각 수용체가 들어있어. 맛을 갖는 화학 물질이 미각 수용체를 통해 미각세포로, 미각세포에서 뇌로 자극이 전달되어 맛을 느끼는 거지.

특히 쓴맛, 단맛, 감칠맛은 II형 미뢰세포 안에 있는 미각 수용체로부터 인식되고, Ca^{2+} 이온 농도에 의존적인 양이온 통로인 TRPM5를 사용하는 등 유사한 인식 과정을 거쳐. 좀 더 자세히 알아볼까? 먼저, 쓴맛, 단맛, 감칠맛을 가진 물질이 그 맛을 감지하는 G단백질 연결 수용체에 의해 인식돼. 이후 이 인식에서 시작된 신호 전달 과정을 거쳐 Ca^{2+} 이온이 소포체로부터 방출되면 높아진 Ca^{2+} 이온 농도를 인식한 TRPM5가 열리는 거야. 그리고 열린 TRPM5를 통해 Na^+ 이온이 외부로부터 유입되면서 활동전위²가 발생하고 탈분극³이 일어나.

그림 1. II형 미뢰 세포에서의 신호전달 경로

그림 2. 활동전위 그래프



이렇게 세포 내부 전위가 바뀌면, 전위에 따라 ATP⁴를 투과시키는 통로가 열리고 ATP가 방출되어 뇌로 신호가 전달돼. 그러면 우리는 맛을 느낄 수 있는 거지!

그런데 이 경로에서 가장 핵심적인 양이온 통로 TRPM5는 15~35℃ 사이에서 잘 개방되는 경향이 있어. 여러 미각세포 중 이 통로가 열리는 세포의 비율이 늘어나면 자극이 더 잘 전달되겠지? 즉, 이 범위보다 온도가 높아지거나 낮아지면 열리는 TRPM5의 수가 적어져 자극이 잘 전달되지 않고, 결국 쓴맛을 제대로 느끼지 못하는 거야! 아마도 우리는 커피의 쓴맛을 피하려고 아예 뜨겁거나 차가운 커피를 마시게 된 게 아닐까? 그럼 난 덜 쓴 아이스 아메리카노 먹으러 가야겠다!

[각주]

1. 동물세포의 세포막에서 Ca^{2+} 등에 의해 작동하는 이온 통로 단백질들의 그룹인 TRP(Transient Receptor Potential) family 중 하나.
2. 흥분성 세포(근육세포, 신경세포 등)가 역치 이상의 자극에 의해 흥분했을 때 발생하는 막전위(막 내부와 외부 사이의 전위차)의 일시적인 변화.
3. Na^+ 이온 통로의 개방으로 Na^+ 이온이 세포 내부로 유입되며 세포 내부의 전위가 분극 상태의 휴지 전위인 -70mV를 벗어나는 현상.
4. 세포 내에서 다양한 생명 활동에 필요한 에너지를 공급하는 화합물. 이 글의 경우에서처럼 신경계에서 신경전달물질로 이용되기도 함.

[참고 자료]

1. Ye MK. "Physiology of Olfaction and Gustation : Focused on Receptor Cells." J Clin Otolaryngol Head Neck Surg 31(2020):133-138.
2. Liman ER. "Thermal gating of TRP ion channels: food for thought?" Sci STKE. 326 (2006 Mar 14) pe 12
3. Taruno, Akiyuki. 2018. "ATP Release Channels" International Journal of Molecular Sciences 19, no. 3: 808

[그림 출처]

- 그림 1. Solemme, Role. "Redpoint Bio : Adventures in Taste (2004-2011)." Beta-Sheet.org. Apr. 1. 2019. <http://www.beta-sheet.org/page57/page52/index.html>
- 그림 2. "활동전위란?". Molecular Devices. <https://ko.moleculardevices.com/applications/patch-clamp-electrophysiology/what-action-potential>



물리학과가 본 카페

(글) 신소재공학과 22학번 28기 알리미 윤정현

어? 이게 뭐지? 잠시 화장실에 다녀왔는데 조금 전에 시킨 카페라테에 여러 개의 층이 생겼잖아? 자세히 보니 위에서 아래로 갈수록 색깔이 점점 얼어지네! 이 현상은 왜 일어나는 걸까?



그림 1. 카페라테에 여러 개의 층이 만들어지는 과정

2017년 프린스턴대 하워드 스톤 교수의 연구 결과에 따르면, 카페라테가 여러 층을 이루는 이유는 바로 '이중 확산 대류' 때문이라. 먼저 대류란, 액체나 기체 같은 유체에 밀도 차가 생겼을 때 중력의 영향으로 유체가 이동하는 현상을 말해. 밀도 차는 대표적으로 두 유체의 온도가 다르거나 조성이 다를 때 발생하지. '이중 확산 대류'란 밀도 차를 유발하는 원

인이 두 가지일 때 일어나는 대류야. 대표적인 예시로 해류의 발생을 들 수 있는데, 해수가 잘 섞이지 않고 고유의 성질을 유지하며 복잡한 해류를 만들 수 있는 이유가 바로 수온 차(온도 차)와 염분 차(유체 조성 차이)에 의한 이중 확산 대류이지.

연구진은 층이 여러 개인 카페라테도 이중 확산 대류에 의한 것이라고 해석했어. 우유에 에스프레소를 부으면 에스프레소가 우유를 뚫고 들어가다가 밀도가 큰 우유의 부력을 받고 하강을 멈추게 되는데, 이 과정에서 혼합이 일어나 연속적인 농도 차를 보이는 중간 지대가 만들어져.

바로 이 중간 지대에서 카페라테의 각 층이 만들어지는데, 각 층을 '순환 단위'라고 불러. 순환 단위는 이중 확산 대류가 일어나는 단위를 말하지. 각 순환 단위의 외곽에 위치해 유리잔에 가까운 액체는 열전도²에 의해 열을 빼앗기며 온도가 낮아져 밀도가 높아지고, 중력에 의해 아래로 내려가. 아래로 내려간 액체는 밀도가 더 높은 아래쪽 액체의 부력으로 인해 하강을 멈춰 유리잔에 먼 안쪽으로 방향을 틀고, 다시 온도가 높아진 액체는 상승하면서 색깔이 다른 각 층, 순환 단위가 만들어지는 거야.

층층이 나뉜 모습이 예쁜긴 하지만, 라테를 마시려면 다시 섞어줘야겠지? 원리를 알고 마시니 더욱 맛있는 것 같아.

[각주]

1. 유체에 잠긴 특정 대상(고체, 액체, 기체 등)의 상·하면에 작용하는 중력 방향의 압력 차이만큼 대상을 위로 밀어 올리는 힘.
2. 열이 고온 부분에서 저온 부분으로, 중간 물질을 통해서 이동하는 현상.

[참고 자료]

1. 강석기. "[강석기의 과학카페] 카페라테의 유체역학." 『동아사이언스』, 2018년 01월 02일
2. Xue. Nan. et al. "Laboratory layered latte." Nature communications 8 no.1 (2017): 1960.

[그림 출처]

그림 1. Xue. Nan. et al. "Laboratory layered latte." Nature communications 8 no.1 (2017): 1960.

화학공학과가 본 카페

(글) IT융합공학과 22학번 28기 אלימי יאירי

공부할 땐 시원한 아메리카노 한 잔이 필수지! 난 카페인에 민감해서 디카페인으로 주문해야겠어. 음... 그런데 디카페인 커피를 만들 때 카페인을 어떻게 제거하는 걸까? 다양한 카페인 추출 방법이 존재하지만, 그중 많이 사용되는 방법은 초임계 이산화탄소를 이용한 방법이야. 초임계 이산화탄소는 무엇일까? 먼저 초임계 유체에 대해 알아보자! 아래 상평형 그림은 한 물질이 특정 온도와 압력에서 가질 수 있는 상¹과 상평형²에 대한 정보를 나타내고 있어. 그림을 보면 고체, 액체와 같이 하나의 상만 존재하는 영역이 있지. 그리고 두 영역의 경계를 나타내는 선이 있는데, 경계선은 두 상이 공존하는 범위, 즉 두 상이 상평형을 이루는 온도와 압력을 나타내. 선을 따라 압력이나 온도가 변하면 두 상 모두 안정하게 존재하지만, 선을 넘어가는 순간 다른 상으로 전이되는 거지! 상평형 그림에서 주목할 것은 바로 점 C, 임계점(Critical Point)이야. 그림에서 볼 수 있듯이 임계점의 온도와 압력의 조건을 넘게 되면 액체와 기체 사이의 상전이가 일어나지 않고, 기체도 액체도 아닌 초임계유체(Supercritical Fluid) 상태로 존재해. 초임계유체는 하이브리드 상태로서 액체와 기체 중간 정도의 고유한 물리적 성질을 가지게 되는 거야!

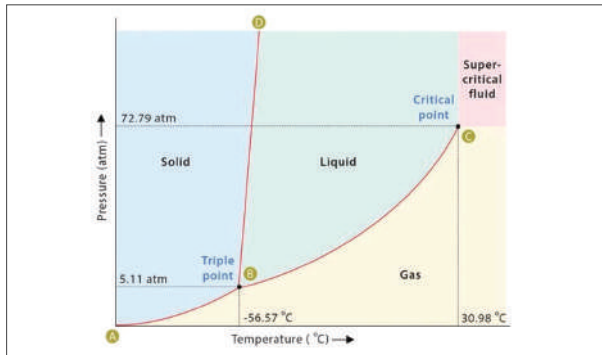


그림 1. 이산화탄소의 상평형 그림

그럼 초임계 이산화탄소는 카페인 추출 과정에서 어떻게 사용될까? 먼저 초임계 이산화탄소의 특성을 알아보자. 이산화탄소는 약 31°C, 72.79 atm에 비교적 쉽게 초임계 상태에 도달해. 초임계 이산화탄소는 용해력이 있어 카페인을 녹이는 용매로 작용하고, 계면과의 표면장력³도 0에 수렴해 미세 공간으로의 침투성도 좋아. 동시에 기체의 특성도 가져 확산성도 뛰어나지. 생커피콩에 압력을 가한 상태로 증기를 쏘아 주면 공이 부풀고 표면적이 증가해 카페인을 제거하기 쉬운 상태가 돼. 부푼 콩을 초임계 이산화탄소에 담그면, 작은 표면장력을 가진 이산화탄소가 빠르게 침투해 카페인을 최대 99%까지 용해하게 돼. 이후 용해된 카페인을 활성탄⁴에 의해 흡착되어 분리된 후 제거되는 거지! 내가 마시는 커피 속에 이런 원리가 있었구나~ 어? 주문한 커피가 벌써 나왔네! 이젠 진짜 공부하러 가야겠다~

[각주]

1. 일정한 물리적 성질을 가지는 균일한 물질계. 고체, 액체, 기체가 대표적.
2. 2개 이상의 상이 공존하여 열역학적으로 평형을 이루는 상태.
3. 액체 분자가 최소한의 표면적을 유지하는 방향으로, 분자 내부로 끌어 당겨지는 힘을 표면에서 측정한 것. 그래서 표면장력이 큰 물체 위에 표면장력이 작은 물체가 놓이게 되었을 때, 표면장력이 큰 물체에 표면장력이 작은 물체가 흡수되기도 함.
4. 미세공이 잘 형성된 비정질 탄소로서, 표면에 존재하는 탄소 원자의 작용기가 주위 물질에 인력을 가하여 흡착하는 성질이 있음.

[참고 자료]

1. "초임계 유체 Supercritical fluid, SCF." happy8earth.tistory.com. 2014년 5월 26일 수정, 2023년 9월 27일 접속, <https://happy8earth.tistory.com/308>.
2. "[과학과 놀자] 디카페인 커피 일등공신은 이산화탄소." 생글생글. 2023년 2월 13일 수정, 2023년 9월 27일 접속, <https://sgsg.hankyung.com/article/2023021079731>.
3. 이윤우, "새로운 세계로의 여행: 임계점을 넘어서", 서울대학교

[그림 출처]

- 그림 1. Bhuyan, Satyam. 2023. "Carbon Dioxide (CO2) Phase Diagram." Chemistry Learner. April 12. <https://www.chemistrylearner.com/co2-phase-diagram.html>.

기계공학과가 본 카페

(글) 무은재학부 23학번 29기 알리미 박태준

카페에 왔으니까 사진 찍고 SNS에 올려야지! 핫 추워서 손이 떨리네... 그런데도 방금 찍은 사진이 흔들리지 않는 이유는 뭘까? 그것은 바로 스마트폰에 탑재된 자이로 센서 때문이야

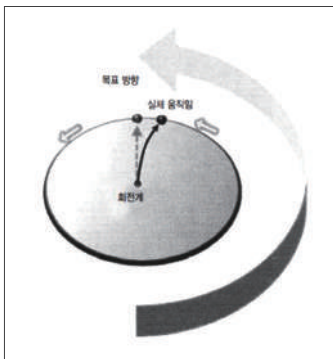


그림 1. 코리올리 힘에 의한 물체의 움직임

을 보면서 쉽게 이해해 볼까? 그림 1은 회전하는 원판과 중심에 동그란 공이 있고, 회전하는 원판 위에서 공을 관찰하는 상황이야. 공은 목표 방향으로 점선 화살표를 따라 운동했지만, 목표한 지점에 도달하지 않고 다른 곳으로 갔지? 이때 공이 휘어져 운동하는 것처럼 보이는데, 이런 현상이 발생하는 이유가 바로 물체의 운동 방향에 대해 수직으로 작용하는 코리올리 힘 때문이야

자이로 센서를 알아보기 위해 먼저 코리올리 힘에 대해 알아보자! 코리올리 힘이란 전향력이라고 부르기도 하는데, 회전하는 좌표계 위의 운동하는 물체에 작용하는 가상의 힘이야. 회전하는 좌표계에서 물체를 직선 운동시키면 코리올리 힘이 나타나게 돼. 그림

스마트폰의 손 떨림 방지 기능에 중요한 역할을 하는 MEMS 자이로 센서에 이 코리올리 힘이 이용돼! MEMS 자이로 센서의 중심에는 작은 검출 질량(Resonating Mass)이 존재해. 그림 2를 보면 알 수 있듯이, 이 검출 질량이 특정 축을 중심으로 회전하게 되면 검출 질량의 운동 방향과 수직인 방향으로 코리올리 힘이 발생하겠지? 그러면 스마트폰이 회전에 따라 발생하는 코리올리 힘으로 인해 스프링에 연결된 검출 질량이 진동하고, 스프링이 수축, 팽창하며 내부-외부 프레임 사이의 거리가 변화해. 프레임 사이에 전극이 탑재되어 있는데, 프레임 사이의 거리 변화에 따라 이 전극의 전기용량이 변해. 이를 감지하는 것으로 코리올리 힘을 검출하고, 스마트폰의 각속도를 얻을 수 있어. 각속도를 알게 되면, 스마트폰이 3차원 공간 속 얼마나 회전하고 움직이는지에 대한 정보를 얻게 되니 카메라의 위치를 조절하는 데 사용할 수 있는 거야. 즉, MEMS 자이로 센서는 미세 구조물의 진동을 검출해 물체의 회전 정도를 측정할 수 있는 진동식 자이로 센서인 거지. 저 조그만 장치가 스마트폰 사진의 비결이려니! 어때, 신기하지 않니? 그럼 나는 인생샷들 좀 마저 건지러 가봐야겠다~

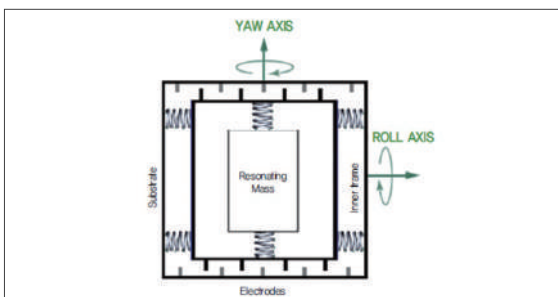


그림 2. MEMS 자이로 센서 구조

[참고 자료]

1. 김용훈, "물체의 방위 변화를 인지하는 '자이로 센서(Gyro sensor)'," 「LG CNS 블로그」, 2016.05.13. <https://www.lgcns.com/blog/it-trend/19957/>.
2. 권순각, 김홍준, "스마트폰 자이로센서를 이용한 시각장애인용 광학문자인식 방법," 「한국산업정보학회 논문지」 21, no.4 (2016): 16.

[그림 출처]

- 그림 1. "<특집: 최근의 코리올리식 유량계와 그 응용>코리올리식 유량계 최신 동향," 「EZ-JAPAN」, 2020.10.26. http://자동제어계측.kr/bbs/board.php?bo_table=101&wr_id=3912&sca=기획특집&page=6.
- 그림 2. Majid Dadafshar, "Accelerometer and Gyroscopes Sensors: Operation, Sensing, and Applications," 「AEM」, 2014.05. <https://www.autoelectronics.co.kr/article/articleView.asp?idx=1374>.

1 레이놀즈수

(글) 무은재학부 23학번 29기 אלימי 박다현

여러분, 수도꼭지에서 물이 나오는 모습을 상
상해 보세요. 수도꼭지를 조금만 열었을 때
는 매끈한 물기둥이 만들어지다가, 완전히 물
을 틀었을 땐 울퉁불퉁한 물기둥으로 변합니
다. 같은 물이지만 상황에 따라 유체¹⁾의 흐름
에 차이가 있죠? 지금부터는 유체 흐름의 종
류와 이를 구분하는 척도인 레이놀즈수에 관
해 알아보겠습니다.

점성이 있는 유체의 흐름에는 층류(Laminar
Flow)와 난류(Turbulent Flow)가 있습니다. 수
도꼭지를 조금 열었을 때 만들어지는 매끈한
물기둥이 바로 층류인데요. 층류는 유체 입
자들이 질서정연하게 움직이므로 안정적인
흐름을 보입니다. 반대로 난류는 유체 내부
에서 회전과 혼합이 빈번하게 발생하여 입자
들이 불규칙하게 흐릅니다. 수도꼭지를 완전
히 열었을 때 나오는 울퉁불퉁한 물기둥이 난
류 상태이죠. 그렇다면 층류와 난류는 어떻
게 구분할 수 있을까요? 레이놀즈수(Reynolds
Number)가 이를 구분하는 척도가 됩니다. 레
이놀즈수는 기호로 Re 로 표기하며 유체역학
에서 중요하게 사용되는 무차원수 중 하나
입니다. 무차원수는 말 그대로 차원과 단위
가 없는 수를 말하는데요. 무차원수를 이용해
서 레이놀즈수를 유도해 보겠습니다. 먼저 레
이놀즈수는 나비에-스토크스 방정식(Navier-
Stokes Equations)에서 시작됩니다. 뉴턴유체²⁾
에 대한 나비에-스토크스 방정식은 아래와
같은데요. 유체역학에서 사용되는 대표적인
방정식으로 유체의 운동을 해석하기 쉽도록
뉴턴 제2 법칙 $F = ma$ 를 뉴턴유체의 운동량
을 기준으로 변형한 것입니다.

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right)$$

유체는 고체와 달리 압력의 영향을 받아 흐른
다는 특징이 있습니다. 또한 점성이 있어 유
체 내부에 점성응력³⁾이라는 힘이 발생합니다.

따라서 유체의 운동을 설명하기 위해서는 압
력과 점성응력을 추가로 고려해 줘야 합니다.
나비에-스토크스 방정식을 살펴보면 좌변은
 ma , 즉 관성⁴⁾에 의해 운동하는 항을 의미하고
우변의 항 $-\frac{\partial p}{\partial x}$ 는 압력에 관련된 항, 마지막
으로 $\mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right)$ 는 점성응력에 관련된 항입
니다. 이제 방정식의 물리량들을 편리하게 분
석할 수 있도록 물리량의 단위를 제거하는 무
차원화를 수행해 볼까요? 무차원화를 위해 u ,
 x , p , v , y 자리에 무차원수 u^* , x^* , p^* , v^* , y^* 를
대입하고 식을 정리합니다.

$$u^* = \frac{u}{U} \quad x^* = \frac{x}{L} \quad p^* = \frac{p}{\rho U^2} \quad v^* = \frac{v}{U} \quad y^* = \frac{y}{L}$$

$$\frac{\rho U^2}{L} \left(u^* \frac{\partial u^*}{\partial x^*} + v^* \frac{\partial u^*}{\partial y^*} \right) = -\frac{\rho U^2}{L} \frac{\partial p^*}{\partial x^*} + \frac{\mu U}{L^2} \left(\frac{\partial^2 u^*}{\partial x^{*2}} + \frac{\partial^2 u^*}{\partial y^{*2}} \right)$$

앞서 언급했듯 좌변은 관성에 의해 운동하는
항을 의미하므로 해당 항 앞의 계수 $\frac{\rho U^2}{L}$ 는 관
성 효과를 대변하는 수가 됩니다. 그리고 유
체의 점성으로 인해 점성응력이 발생하기 때
문에 우변의 두 번째 항 앞의 계수 $\frac{\mu U}{L^2}$ 는 점
성 효과를 대변합니다. 이때 레이놀즈수는 관
성효과와 점성효과와의 비로 정의되기 때문에
아래와 같이 나타낼 수 있습니다.

$$Re = \frac{\text{관성효과}}{\text{점성효과}} = \frac{\rho U^2}{L} \times \frac{L^2}{\mu U} = \frac{\rho U L}{\mu}$$

ρ : 밀도 U : 평균 속도 L : (ex 관의) 길이

앞서 레이놀즈수가 무차원수라고 했었죠? 방
정식의 양변을 $\frac{\rho U^2}{L}$ 로 나눠주면 가장 마지막
항에 관성 효과와 점성 효과로 이루어진 곱
 $\frac{L}{\rho U^2} \cdot \frac{\mu U}{L^2}$ 을 제외하고 모두 무차원수임을 확
인할 수 있습니다. 따라서 이 둘의 비인 레이
놀즈수 역시 무차원수가 되어야 하죠!

$$u^* \frac{\partial u^*}{\partial x^*} + v^* \frac{\partial u^*}{\partial y^*} = -\frac{\partial p^*}{\partial x^*} + \frac{1}{Re} \left(\frac{\partial^2 u^*}{\partial x^{*2}} + \frac{\partial^2 u^*}{\partial y^{*2}} \right)$$

이렇게 유도해 낸 레이놀즈수를 통해 어떻게
층류와 난류를 구분할 수 있을까요? 즉, 층류

는 일반적으로 레이놀즈수가 2100 미만이면
층류, 4000 이상이면 난류로 구분합니다. 하
지만 층류, 난류로 완전히 구분되지 않는 구
간도 있습니다. 레이놀즈수가 2100~4000인
구간에서는 유체가 층류에서 난류 사이의 연
속적인 양상을 모두 가질 수 있지요. 그럼에
도 레이놀즈수는 유체역학에서 굉장히 중요
하게 사용되는 수입니다. 특히 석유, 가스 등
의 유체를 다루는 산업현장에서는 유체가 어
떤 흐름을 보일지 미리 판단하는 것이 중요
합니다. 이때 레이놀즈수를 이용하면 유체가
어떤 흐름을 보일 것인지 쉽게 파악할 수 있
겠죠?

지금까지 층류, 난류 그리고 레이놀즈수에 대
해 알아보았는데요. 레이놀즈수에 대해 더 자
세히 공부해 보고 싶은 구독자분들은 파이프
속 유체의 운동이나 덤플효과 등에 대해 찾아
본다면 레이놀즈수를 더욱 깊이 이해할 수 있
을 거예요! 📖

[참고 자료]

1. "난류와 층류." 「네이버 백과사전」, n.d.
<https://terms.naver.com/entry.naver?docId=6174314&cid=64516&categoryId=64516>.
2. "레이놀즈수." 「위키피디아」, 2023년 9월 7일.
<https://ko.wikipedia.org/wiki/레이놀즈수>.
3. 완속. "레이놀즈수 유도(Derive Reynolds Number)." 2018
년 12월 6일. <https://egg-money.tistory.com/15>
4. 윤여진. "유체역학(Fluid Mechanics)." 「kocw」, 2013년.
<http://contents2.kocw.or.kr/KOCW/document/2013/konyang/yoonyeojin/1.pdf>.
5. "Non-dimensionalization and scaling of the Navier-Stokes equations." Wikipedia. February 4, 2023. https://en.wikipedia.org/wiki/Non-dimensionalization_and_scaling_of_the_Navier-Stokes_equations.

[각주]

1. 고체에 비해 형상이 일정하지 않아 변형이 쉽고 자유로이 흐
를 수 있는 액체, 기체, 플라스마를 총칭하는 말.
2. 유체에 작용하는 전단응력이 전단변형률에 선형 비례하는 유
체. 즉, 균일한 점도를 가지는 유체.
3. 점성에 의해 유체 입자 사이에 발생하는 마찰력.
4. 물체 통성의 하나로 물체가 외부의 힘을 받지 않는 한 정지 또
는 운동의 상태를 지속하려고 하는 성질.

2 고체의 결정 구조와 공간 채움률

(글) 반도체공학과 23학번 29기 알리미 김세현

고체는 입자 사이의 거리가 매우 가깝고 일정한 부피와 모양을 가지기에 고체를 이루는 입자는 기체를 이루는 입자와 달리 제자리에서 진동 운동만 할 수 있습니다. 따라서 고체를 해석할 때 입자의 운동이 아닌 입자의 배열에 주목합니다. 특히, 금속은 원자 간에 주기적이고 반복적인 배열이 존재하는데요. 이렇게 원자들이 규칙적인 3차원 패턴을 형성하면 이를 결정질 재료라고 부릅니다. 그렇다면 어떤 방식으로 결정 격자 안에 빈 공간을 최소화하며 금속 원자를 쌓을 수 있을까요? 원자를 쌓는 방법에 따라서 금속의 구조는 단순입방구조, 체심입방구조, 면심입방구조 등으로 나뉩니다. 공간 채움률은 단위세포 내에 입자가 채워진 비율을 퍼센트 단위로 나타낸 것으로, 이 개념을 활용하면 어떤 구조가 가장 효율적으로 채워진 구조인지 알아낼 수 있습니다.

1. 단순입방구조 Simple Cubic

우선 단순입방구조부터 살펴보겠습니다. 가장 단순한 구조로 그림 1과 같이 정육면체의 8개 꼭짓점에 원자가 위치해 있습니다.

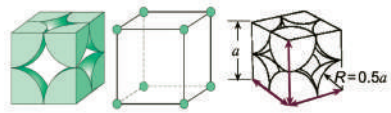


그림 1. 단순입방구조(좌) 단순입방구조에서 단위세포 한 변의 길이와 원자 반지름 사이의 관계(우)

공간 채움률을 구하는 공식은 아래와 같습니다.

$$\text{공간 채움률(\%)} = \frac{\text{단위세포 내 원자가 차지하는 부피}}{\text{단위세포의 부피}} \times 100$$

여기서, 단위세포 내의 원자는 모두 완전한 구형으로 가정합니다. 공간 채움률을 구하기 위해서는 단위 세포의 한 변의 길이(a)와 입자 반지름(R) 사이의 관계를 식으로 표현해야 합니다. 그림 1을 보면, 단위세포의 한 변은 원자 반지름 2개가 맞닿아 구성되므로, 반지름 $R = 0.5a$ 로 표현됩니다. 단순입방구조의 단위세포당 원자의 수는 1개입

니다.² 따라서 공간 채움률은 아래와 같이 계산할 수 있습니다.

단순입방구조의 공간채움률(%)

$$= \frac{1(\text{단위 세포당 원자 수}) \times \frac{4}{3} \pi (0.5a)^3 (\text{원자 하나의 부피})}{a^3 (\text{단위 세포의 부피})} = 52(\%)$$

2. 체심입방구조 Body-Centered Cubic

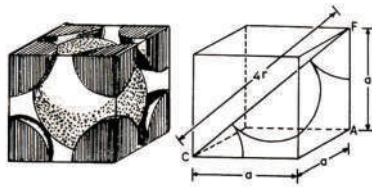


그림 2. 체심입방구조(좌) 체심입방구조에서 단위세포 한 변의 길이와 원자 반지름 사이의 관계(우)

체심입방구조는 단위세포의 중심에 있는 체심 원자가 각 모서리의 원자들과 접해 있는 구조입니다. 단위세포에는 2개의 원자가 존재합니다.³

단위세포 한 변의 길이와 원자 반지름 사이 관계를 생각해 봅시다. 그림 4를 보면 정육면체의 대각선을 4개의 원자 반지름이 맞닿아 구성하고 있습니다. 따라서 $4r = \sqrt{3}a$ 라는 관계식을 얻을 수 있습니다. 이 정보를 이용해 단순입방구조와 같은 방식으로 공간 채움률을 계산하면 68%가 나옵니다.

3. 면심입방구조 Face-Centered Cubic

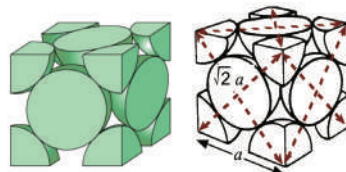


그림 3. 면심입방구조(좌) 면심입방구조에서 단위세포 한 변의 길이와 원자 반지름 사이의 관계(우)

면심입방구조는 면 중심의 원자가 각 모서리의 원자들과 접촉하고 있는 구조입니다. 단위 세포에는 4개의 원자가 존재합니다.⁴

그림 3의 오른쪽 그림을 보면 단위세포 한 면의 대각선 위에 원자 반지름 4개가 맞닿아 있습니다. 따라서 $4R = \sqrt{2}a$ 이고 이에 따라 계산한 공간 채움률은 74% 입니다. 면심입방구조는 동일 입자들이 형성하는 결정구조 중 가장 채움률이 높은, 조밀한 구조인데요. 그래서 이 구조를 최조밀 구조라고 부르기도 합니다. 면심입방구조만이 최조밀 구조인 것은 아닙니다. 이 글에서 나오지 않은 육방밀집구조의 공간 채움률도 74%로 역시 최조밀 구조라고 할 수 있죠!

우리는 공간 채움률, 틈새 자리와 같은 개념들을 통해서 물질의 특성 뿐만 아니라 이온의 구조도 예측할 수 있습니다. 고체 결정 구조에서 공간 채움률을 이용하면 물질의 밀도와 질량을 계산할 수 있으며, 틈새 자리를 알면 크기가 큰 입자를 규칙적으로 배열한 뒤 크기가 작은 이온이 그 사이에 어떻게 들어가는지 알 수 있습니다. 오늘 이 글을 읽고 고체의 결정 구조에 흥미를 가지게 된 친구들은, 틈새 자리에 대해 더 공부해보는 것은 어떨까요?🔗

[참고 자료]

1. William D. Callister Jr. and David G. Rethwisch. Materials Science and Engineering An Introduction. 9th ed., WILEY, 2014.
2. onsaem9134. "고체의 결정 구조 (1) :: 입방 정계." 「생명과학은 낭만으로 하는 거예요」. 2017년 9월 23일. <https://onsaem9134.tistory.com/29>.

[그림 출처]

- 그림 1. 참고 자료 1과 같음.
그림 2. 「나노 화학」 3. SC(단순입방구조), FCC(면심입방구조), BCC(체심입방구조)의 총진율." 2015년 11월 24일. <https://choid.tistory.com/30>.
그림 3. 참고 자료 1과 같음.

[각주]

1. 고체 안에서 원자들은 규칙적인 배열을 하고 있으므로 반복되는 단위가 있음. 이처럼 반복되는 가장 작은 단위를 단위세포라고 함.
2. 각 꼭짓점마다 8등분된 원자가 있음. 8(꼭짓점 개수) * 1/8개 (8등분된 원자는 개당 1/8을 차지하므로) = 1개.
3. 각 꼭짓점마다 8등분된 원자가 있음. 또, 중심에는 온전한 1개의 원자가 있음. 즉, 단위 세포당 원자의 수는 $8 * 1/8 + 1$ 개 = 2개.
4. 각 꼭짓점마다 8등분된 원자가 있음. 또, 육면체의 각 면에 2등분된 원자가 있음. 즉, 단위 세포당 원자의 수는 $8 * 1/8 + 6 * 1/2$ 개 = 4개.

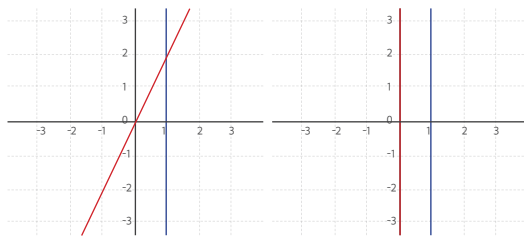
사영공간, 기하학에서 무한대를 다루는 방법

(본) 무은재학부 23학번 김원정

많은 이들이 유클리드 공간에 익숙할 것이다. 유클리드 공간은 실수 n 개로 구성된 순서쌍들의 집합으로 정의되는 공간으로, 보통 R^n 으로 표기하며 $n = 3$ 인 경우 이는 우리에게 친숙한 3차원 공간이다. 유클리드 공간에서의 기하학을 유클리드 기하학이라 부르며, 고등학교 교육과정에서 배우는 기하학은 전부 여기에 해당한다. 그러나 유클리드 기하학에는 한 가지 결점이 있는데, 직선 등의 도형을 다루기 위해 무한대의 개념을 사용하지만, 막상 유클리드 공간 그 자체는 무한대를 원소로써 가지지 않는다는 점이다.

이러한 이유에서, 대수기하학에서는 유클리드 공간 대신 사영 공간(Projective Space)을 도입하여 이론을 전개한다. 사영 공간이란, 유클리드 공간에서 원점을 지나는 직선을 하나의 원소로 간주하여 얻어지는 공간이다. 다시 말해, 사영 공간의 원소는 유클리드 공간의 부분집합 $\{cx \mid c \neq 0, x \neq (0, 0, \dots, 0)\}$ 이며¹, $x = (x_0, x_1, \dots, x_n)$ 일 때 이를 간단하게 $[x_0 : x_1 : \dots : x_n]$ 으로 표기한다. 유클리드 공간과는 달리 사영 공간의 원소를 나타내는 방법은 유일하지 않다는 점에 주의하자. 예를 들어 $n = 1$ 일 때, $[1:2] = [2:4]$ 이다. $n + 1$ 차원 유클리드 공간으로 만든 사영공간은 RP^n 으로 표기하고 n 차원 사영공간이라고 부른다. 이를 n 차원으로 표기하는 이유는, 이 공간이 n 차원 유클리드 공간에 무한점을 추가한 것과 비슷하게 작동하기 때문이다.

RP^1 을 예시로 들어 보자. 이 공간은 2차원 평면에서 원점을 지나는 모든 직선들의 집합이며, 원소는 $[a:b]$ 꼴로 표기할 수 있다. $a \neq 0$ 일 때, 이 원소는 $[1:\frac{b}{a}]$ 로도 표기할 수 있으며, 이는 실수와 일대일 대응된다. 2차원 평면에 직선 $x = 1$ 을 그었을 때, $[a:b]$ 와 이 직선의 교점이 생기는 것을 생각하면 이해하기 쉬울 것이다. 한편 $a = 0$ 일 때를 살펴보면, 이때의 원소는 $[0:1]$ 로 유일하며, 직선 $x = 1$ 과는 평행하여 만나지 않는다. 이 원소가 바로 무한점에 해당한다.



(좌: $[1:2]$ 와 $x = 1$ | 우: $[0:1]$ 과 $x = 1$)

이제 사영공간에서의 다항식에 대해 살펴보자. 사영공간에서는 원소의 (0이 아닌) 상수배는 자기 자신과 동일하기 때문에, 다항식의 근이 의미를 가지려면 다항식이 동일한 차수를 가진 항들로만 구성되어야 한다. 이를 동차 다항식이라 한다. 유클리드 공간에서의 포물선의 식을 사영평면(2차원 사영공간)에서의 동차 다항식으로 만들어 보자.

$$x^2 - 2y = 0$$

x, y 만으로 구성된 이 식에 적절한 차수의 z 를 곱해, 모든 항의 차수를 최고 차수와 같은 2로 맞추어 주면 된다. 이 과정을 동차화라고 한다.

$$x^2 - 2yz = 0$$

이 다항식이 사영평면에서 나타내는 도형을 사영평면에서의 포물선으로 받아들일 수 있다. 이제 다음과 같은 선형변환^{2,3}을 거친 뒤,

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$$

$$x'^2 + y'^2 - z'^2 = 0$$

$z = 1$ 을 대입해 동차화된 다항식을 일반적인 다항식으로 되돌릴 수 있다. 이를 역동차화라고 한다.

$$x'^2 + y'^2 - 1 = 0$$

그리고 이렇게 얻어진 다항식은 원을 나타낸다.

즉, 기존의 유클리드 공간에서는 선형변환으로 포물선과 원 사이를 오갈 수 없었지만, 무한점을 포함하는 사영평면에서는 이것이 가능해진다. 이를 더 일반화하여 사영평면에서는 임의의 이차곡선이 어떤 종류로든 변환될 수 있다고 짐작할 수 있으며 실제로도 그러하다. 이는 이

차식으로 나타낼 수 있다는 점만 제외하면 서로 이질적인 형태와 성질을 갖는, 유클리드 평면에서의 이차 곡선들과는 대조적이다. 무한대를 기하학에 끌어들이는 과정을 통해, 우리는 모든 이차곡선을 일괄적으로 다룰 수 있게 되었다.

사영공간의 유용함은 이것뿐만이 아니다. 유클리드 평면에서 다항식으로 정의되는 곡선 두 개를 가져왔을 때, 이들의 교점의 개수는 일반적으로 예측하기 어렵다. 예를 들어 두 개의 서로 다른 삼차곡선을 가져왔을 때, 이들 사이의 가능한 교점의 개수는 0개부터 9개까지 다양하다. 그러나 만약 이 곡선이 정의된 공간이 2차원 복소사영평면⁴이라면, m 차 곡선과 n 차 곡선의 교점은 중근을 고려하여 mn 개이다. 이를 '베주의 정리'라고 한다. ❶

[각주]

1. 직선에서 굳이 원점을 빼 주는 이유는, 이 공간을 엄밀하게 구성하는 과정에서 원점이 문제가 되기 때문이다. 즉, 모든 직선이 원점을 지나므로 굳이 넣을 이유가 없다' 정도로 알아 두자.
2. 이를 사영 변환이라고 부름.
3. 선형변환이란, 일차함수를 일반적인 n 차원 공간에 대해 일반화한 개념이라 할 수 있으며,
$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & x_1 \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \cdots \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \cdots \end{pmatrix}$$
로 정의됨. 예를 들어, $\begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} ax + by \\ cx + dy \end{pmatrix}$ 임.
4. 사영공간을 구성하는 과정을 복소공간 C^n 에도 똑같이 적용할 수 있으며, 이를 통해 얻어진 공간을 복소사영공간이라고 함.

[180호 문제]

Q1. 쌍곡선 $x^2 - y^2 - 1 = 0$ 과 원 $x^2 + y^2 - 1 = 0$ 사이의 사영 변환을 찾아라.

Q2. R^1 의 선형 변환(1차 함수 $y = cx$)은 0이 아닌 한 점의 함숫값에 의해 완전히 결정된다. RP^1 에서 사영 변환을 완전히 결정하기 위해서는 적어도 몇 개의 점에서의 함숫값이 필요한가? (힌트: 사영 공간상에서 우리가 알 수 있는 것은 크기를 제외한 방향뿐이다.)

▶ 글로 이해가 안 된다면?
2024년 3월 15일 공개되는 해설 영상에 집중!



[정답자] 한성과학고등학교 2학년 김류빈

- * MARCUS에는 포스텍 수학동아리 MARCUS가 제공하는 수학 문제를 실습니다. 정답과 해설은 다음 호에 나옵니다.
- * 이번 호 문제는 2024년 3월 14일(목)까지 알리미 E-MAIL (postech-alimi@postech.ac.kr)로 풀이와 함께 답안을 보내주세요.
- * 정답자가 많을 경우, 간결하고 훌륭한 답안을 보내주신 분들 중 추첨을 통하여 포스텍의 기념품을 보내 드립니다. (학교/학년을 꼭 적어 주세요.)

[179호 문제 답]

Q1. Theorem을 증명해 보자.

A1. 임의의 함수 $\eta(x)$ 에 대하여 $y(x) = Y(x) + \epsilon\eta(x)$ 라 하자.

$Y(x)$ 를 임의의 $\eta(x)$ 의 ϵ 배만큼 변형시켰다고 생각해도 무방하다.

그리고 $I = \int_{x_1}^{x_2} F(x, y, y') dx$ 에서 경계는 변하지 않게 변형을

주어야 하므로 $\eta(x_1) = \eta(x_2) = 0$ 이다. I 가 극값을 갖기 위해서는

$\frac{\partial I}{\partial \epsilon} = 0$ 이어야 한다. 적분 안에서 ϵ 에 대해 미분하면

$$\frac{\partial I}{\partial \epsilon} = \int_{x_1}^{x_2} \left(\frac{\partial F}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial \epsilon} + \frac{\partial F}{\partial y'} \frac{\partial y'}{\partial \epsilon} \right) dx = \int_{x_1}^{x_2} \left(\frac{\partial F}{\partial y} \eta(x) + \frac{\partial F}{\partial y'} \eta'(x) \right) dx \text{ 이다.}$$

부분적분에 의해 $\int_{x_1}^{x_2} \frac{\partial F}{\partial y'} \eta'(x) dx = \left. \frac{\partial F}{\partial y'} \eta(x) \right|_{x_1}^{x_2} - \int_{x_1}^{x_2} \frac{d}{dx} \left(\frac{\partial F}{\partial y'} \right) \eta(x) dx$

$$= - \int_{x_1}^{x_2} \frac{d}{dx} \left(\frac{\partial F}{\partial y'} \right) \eta(x) dx \text{ 이므로 } \frac{\partial I}{\partial \epsilon} = \int_{x_1}^{x_2} \left(\frac{\partial F}{\partial y} - \frac{d}{dx} \left(\frac{\partial F}{\partial y'} \right) \right) \eta(x) dx$$

이다. 임의의 $\eta(x)$ 에 대해 정적분의 값이 항상 0이어야 하므로

$$\frac{\partial F}{\partial y} - \frac{d}{dx} \left(\frac{\partial F}{\partial y'} \right) = 0 \text{ 이다.}$$

Q2. 중력장 속의 물체가 주어진 한 점에서 출발하여 주어진 다른 점으로 내려올 때, 가장 짧은 시간이 걸리는 경로를 본문의 내용을 이용해 찾아보자. 에너지 보존 법칙을 이용해 속도를 표현하는 것이 우선이다.

A2. y 축 방향이 아래, x 축 방향이 오른쪽인 평면에서 $+y$ 방향으로 중력이 작용한다. 시작점은 원점, 도착점은 (x_1, y_1) 이다($y_1 > 0$).

역학적 에너지 보존에 의해 $v = \frac{ds}{dt} = \sqrt{2gy}$ 이고 $ds = \sqrt{1+y'^2} dx$

이므로 $dt = \frac{\sqrt{1+y'^2}}{\sqrt{2gy}} dx$ 이고 $T = \frac{1}{\sqrt{2g}} \int_0^{x_1} \frac{\sqrt{1+y'^2}}{\sqrt{y}} dx$ 이다.

x 변수가 없으므로 적분변수를 변환하자. $x' = \frac{dx}{dy} = \frac{1}{y'}$ 이라 하면

$dx = x' dy$ 이다. 따라서 $T = \frac{1}{\sqrt{2g}} \int_0^{y_1} \frac{\sqrt{x'^2 + 1}}{\sqrt{y}} dy$ 이다. x 와 y 를 바꾸어

오일러 방정식을 적용하면 $\frac{\partial F}{\partial x} - \frac{d}{dy} \left(\frac{\partial F}{\partial x'} \right) = 0$ 이다. $\frac{\partial F}{\partial x} = 0$ 이고

$$\frac{d}{dy} \left(\frac{\partial F}{\partial x'} \right) = \frac{d}{dy} \left(\frac{x'}{\sqrt{y} \sqrt{x'^2 + 1}} \right) \text{ 이므로 } \frac{x'}{\sqrt{y} \sqrt{x'^2 + 1}} = \text{const.} \frac{x'}{\sqrt{y} \sqrt{x'^2 + 1}} = \sqrt{c}$$

(c 는 상수)라고 하자. 식을 정리하면 $x' = \frac{\sqrt{cy}}{\sqrt{1-cy}}$ 이다.

$$cy = \sin^2 \frac{\theta}{2} = \frac{1}{2} (1 - \cos \theta) \text{로 치환하면 } dy = \frac{1}{c} \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{\theta}{2} d\theta$$

$$\text{이므로 } dx = \frac{1}{c} \sin^2 \frac{\theta}{2} d\theta = \frac{1}{2c} (1 - \cos \theta) d\theta \text{이고}$$

$$x = \frac{1}{2c} (\theta - \sin \theta) + C' (C' \text{은 상수}) \text{이다. 곡선이 원점을 지나므로}$$

$$x = y = 0 \text{이기 위해 } C' = 0 \text{이다.}$$

$$\text{따라서 } x = \frac{1}{2c} (\theta - \sin \theta), y = \frac{1}{2c} (1 - \cos \theta) \text{이다. 이는 사이클로이드 곡선의 매개변수 방정식이다. 그러므로 최속 강하 곡선은 사이클로이드 곡선이다.}$$

고민, 성장의 시작

(글) 무은재학부 23학번 29기 알리미 윤현서

여러분, 안녕하세요! 어느덧 2023년도 끝나가고, 여름의 무더위가 그리워지는 한겨울 날씨가 찾아왔습니다. 다들 연말을 잘 보내고 계시나요? 며칠 전 저는 오랜만에 집을 다녀왔는데, 무심코 제가 다녔던 고등학교 하굣길을 지나게 되었어요. 고등학생 시절 이런저런 고민으로 같은 길을 정말 천천히 곱씹으며 걸었던 기억이 나는데요. 오늘은 그때의 기억을 떠올려 저처럼 인생 처음으로 오랜 시간, 깊은 고민에 빠져 있을 고등학생 여러분께 꼭 해주고 싶은 이야기들을 준비해 봤어요. 저의 이야기가 여러분에게 조금이나마 도움이 되었으면 하는 바람입니다.

저는 이성적인 성격과 쉽게 포기하지 않는 끈기가 저의 가장 큰 장점이라고 생각하는 사람이었어요. '노력하지 않는 천재는 없다.'라는 말을 굳게 믿었거든요. 시간이 지나면서 감정 기복이 크지 않은 제 성격이 힘든 공부를 계속할 수 있도록 돕는 원동력을 깨닫고, 자기만족에 취해 있던 시기가 있었습니다. 그 덕분일까요? 아쉬운 결과라도 최선을 다했다면 그 과정에 만족하고 저 스스로를 복돋아 주었어요. 지금은 과거의 제가 최선을 다하지 않았으며, 그때의 만족은 좋지 않은 결과를 회피하고자 택한 가짜 만족이었다는 걸 알지만요. 대학 입시는 저와 무관한, 그저 먼일이라고 생각했기에 가능했던 안일한 학교생활이었습니다. 그리고 마침내, 저는 눈 깜짝할 사이에 고등학교 3학년이 되었습니다.

저에게 '고등학교 3학년'이 주는 부담감과 압박감이 유독 컸어요. 학생이라면 누구나 하는 성적 고민을 고등학교 생활 중 가장 중요한 3학년 2학기 때 몰아서 하느라 날마다 새로운 걱정거리가 넘쳐났고, 그 과정에서 저의 장점이었던 이성적인 성격이 서서히 무너지기 시작했죠. '나는 내신이 높지 않은데 이 학교 경쟁률이 갑자기 높아지면 어떡하지?', '내가 면접장에서 한 문제도 못 풀면 어떡하지?'와 같은 막연한 걱정 때문에 머릿속이 복잡해졌고, 당장 해야 할 공부에 집중하지 못한 날들도 많았습니다.

비슷한 고민을 오래 하다 보니 문득 고민의 끝을 바라보게 되더라고요. '내가 답이 없는 고민에 시간을 허비하고 있는 건 아닐까?'하는 생각이 들었고, 당장 해결할 수 없는 문제에 빠져 있는 것은 시간 낭비임을 깨달았습니다. 이후 저는 입시를 방해하는 요소를 없애기 위해 일상 루틴을 재정비하기로 다짐했어요.

가장 먼저 일기를 쓰기 시작했습니다. 입시에는 성적과 생활기록부처럼 제출 이후 더 이상 바꿀 수 없는 요소가 존재하는데요. 바꿀 수 없기에 더 불안하고, 본인의 상대적 위치를 가늠하기 어려운 이 상황이 제 걱정의 시작이라고 생각했어요. 그래서 사소하지만, 일기를 통해 하루를 되돌아보면서 주어진 시간을 내 의지로 잘 활용했다는 만족감, 통제할 수 있는 시간을 더 알차게 보내고자 하는 의지를 가질 수 있었습니다. 같은 맥락에서 매일 아침 작성하던 플래너를 저녁에 쓰기 시작했어요. To-do list가 아니라 Done list를 말이지요. 아침에 계획한 것을 완수하지 못했다는 아쉬움보다 오늘 내가 해낸 것에 대한 성취감에 집중했습니다. Done list를 적는 습관이 시간이 지나 시험 전, 면접 전 가장 긴장될 때 그동안의 생활을 돌아보며 스스로를 믿을 수 있는 명확한 근거가 되어주더라고요.

입시는 학업 역량뿐만 아니라 성인이 되기 전 본인의 선택에 대한 책임과 사고의 깊이까지 성장시킬 수 있는 소중한 기회라고 생각해요. 고등학생 때의 저와 비슷한 고민을 하고 계신 분들이 있다면, 아직 해결책을 찾지 못했더라도 괜찮아요. 고민의 과정 또한 여러분의 내면을 성장시키고 있기 때문이지요. 대신 조급한 마음은 뒤로 하고 내면의 소리에 귀 기울여 보세요. 그럼 어느새 고민의 실마리가 보이고, 여러분만의 해결책을 찾을 수 있을 거예요! 마지막으로, 제가 여러분을 믿고 응원하는 만큼 여러분도 언제나, 그 누구보다 자기 자신을 열렬히 응원해 주길 바랍니다. 그럼 저는 이런 겨울을 지나 몸도 마음도 멋지게 성장할 여러분의 모습을 기대하겠습니다.☺

어른이 되기 위한 과정

(글) 무은재학부 23학번 29기 אלימי 이현민

어느덧 2023년 막바지를 향해 달려가고 있네요! 이번 해는 여러분이 연초에 세웠던 목표를 잘 이루었던 해였나요? 얼마 남지 않은 2023년 잘 마무리하셨으면 좋겠습니다. 연말이 다가오니 제 학창 시절이 떠오르는데요. 지금 와서 제 고등학교 시절을 되돌아보니 후회되는 점도 있고, 각별한 노력을 기울여 좋은 결과를 얻은 경험도 떠오릅니다. 그래서 그 경험을 공유하며 여러분들의 고등학교 생활에 자그마한 도움을 주기 위해 고등학교 시절 놓치면 안 되는 것들에 대해 이야기하고자 합니다.

첫 번째는 친구 관계입니다. 저는 학창 시절 당시 공부만큼 인간관계 또한 중요하다고 생각했었습니다. 고등학교 생활을 할 당시에 많은 친구들이 주변 친구들을 동료가 아닌 경쟁자로 생각하고 있었습니다. 하지만, 친구들을 경쟁자로 대하기 시작하면 진심으로 다가가기가 어려워지고, 결국 친구들과의 관계에 악영향을 미칠 수 있다는 생각이 들었습니다. 그래서, 저는 친구들을 힘든 생활을 함께 이겨낼 동료로 생각했어요. 고등학교 시절은 항상 고민이 많을 시기이기에 고민이 깊어질 때마다 스스로없이 친구들에게 저의 얘기를 해주었습니다. 그 과정에서 해결 방안을 찾기도 하고 치열한 고등학교 생활 속에서 소소한 즐거움을 찾아보곤 했죠. 나중에 친구들과 만나면 얘기할 수 있는 추억거리를 만드는 것은 너무나도 소중한 순간이니 자주 남겨보시길 바랍니다. 학창 시절 동안 인간관계를 어떻게 만들어 가야 하는지, 그리고 어떤 부분을 꼭 조심해야 하는지를 미리 배워나간다면 성인이 되었을 때 더 성숙한 사람이 되어 있을 거예요.

둘째로 관계라는 키워드 속에서 또 한가지 중요하게 여겨야 할 점은 부모님과의 관계입니다. 저는 본가와 고등학교 사이의 먼 거리를 통학했기 때문에 학교 일과가 끝난 후 부모님께 데리러 와달라고 하였고 항상 독사실에 가기 전 사소한 부탁을 하곤 했습니다. 부모님의 배려는 점점 당연하게 여겨졌고, 요구사항만 많아지다 보니, 부모님과의 마찰을 피할 수 없었습니다. 결국 부모님과의 진지한 대화를 통해 제가 잘 되길 바라며 베풀어주신 부모님의 희생을 당연히 여겨서는 안된다는 점을 깨닫게 되었습니다. 항상 부모님의 노력을 감사하게 생각하며 표현하려고 해주세요. 여러분이 부모님을 향한 감정을 잘 표현할수록 부모님께서도 뿌듯한 마음에 여러분을 위해 최선을 다해주실 것이고, 자연스럽게 부모님과의 관계도 원만해질 거예요.

마지막으로, 꿈과 목표를 확실하게 잡으면 좋겠습니다. 중학교 시절의 저는 주변에서 주는 압박에 수동적으로 공부를 하다 보니 공부의 효과가 별로 좋지 못했습니다. 하지만 중학교 3학년 때, 과학 잡지를 읽다가 연구원이 되고 싶다는 꿈을 가진 순간부터 제가 어떻게 하면 꿈을 이룰 수 있을지 방법을 모색하기 시작했습니다. 확실한 목표가 정해지니, 최종점을 향하는 과정에서는 열심히 공부하는 것이 필수적이라 판단하여 의지를 갖고 달려 나갈 수 있었습니다. 본인의 목표를 설정한 사람은 목표를 이루기까지의 과정이 고될지라도 방향이 정해져 있기에 자신을 이끄는 원동력이 존 재한다고 생각해요. 노력하다가 꿈이 바뀌더라도 하나의 목표를 이루기 위해 열심히 노력한 경험은 분명히 인생에서 큰 도움이 될 것입니다.

학창 시절 당시에는 나는 왜 공부하며 정해진 사회의 길에 따라가야 하는지 의구심이 많이 들었습니다. 하지만 지나고 보니 모든 과정에서 분명 배울 것이 있고 결국 어른이 되기 위한 과정들이라는 것을 깨달았습니다. 비록 지금은 우여곡절도 많고 힘들 테지만, 여러분이 성장하는 과정이라 생각하며 하루하루를 열심히 살아갔으면 좋겠어요. 여러분을 항상 응원합니다! 화이팅! 🍀





Alimi 29th



POSTECHIAN REVIEW

독자 여러분의 의견을 기다립니다.

<POSTECHIAN>을 만드는 알리미에게 여러분의 이야기는 큰 힘이 된답니다.
앞으로도 꾸준히 알리미를 응원해 주세요. 채택된 주인공에게는 소정의 기념품을 보내 드립니다.

✦ 강 경 민 ✦

우석여자고등학교 2학년

<공대생이 보는 세상>에서 '각 학과가 본 헬스장'이라는 주제가 굉장히 인상 깊었습니다. 저는 평소에도 무언가를 다양한 관점으로 보는 것을 좋아하는데, 헬스장에 적용된 다양한 과학을 파악할 수 있어 좋았습니다! 또한 알스토리는 현재 고등학생인 저에게 공부에 대한 동기를 다시 한 번 불어넣어 주어 좋았습니다!

✦ 변 주 은 ✦

서천고등학교 3학년

창업에 대한 정보가 부족해 막막했는데, <알리미가 만난 사람>을 통해 성공적으로 창업하신 선배님의 이야기를 전해 들을 수 있어 큰 도움이 되었습니다!

[구독자 참여 이벤트 일정]

알리미가 쓴다 : 2024년 3월 15일까지 구글 폼에 정답을 등록해주세요.
(<https://me2.do/FcuYaUAa>)

마르쿠스 : 2024년 3월 14일까지 postech-alimi@postech.ac.kr 로 정답을 보내주세요.

고등학생 기자단 포커스 : 2023년 12월 31일까지 아래의 URL를 통해 신청해주세요.
(<https://docs.google.com/forms/d/1wLHE8vbA2yNZPGC55x-78Gty9-sBQqOf01LbLvAkyJK/edit>)

알리미가 쓴다



포커스



포스테키안 구독자 여러분! 안녕하세요, 28기 알리미 윤정현입니다. 선배들의 글을 참고해 가며 포스테키안 첫 원고를 작성하던 수습 알리미가 1년 반이라는 시간이 지나 어느덧 알리미를 이끌고 후배들을 가르치는 회장단이 되었습니다. 제게 지난 1년 반은 '책임감'을 배우는 시간이었습니다. 포스테키안에 적히는 한 문장, 한 문장이 포스텍을 지망하는 여러분에게 어떤 영향으로 다가올지 항상 고민하면서요. 처음에는 이 책임감의 무게에 짓눌렸지만, 알리미 활동을 통해 맡은 역할에 최선을 다하면 결과는 늘 따라온다는 것을 깨달았습니다. 2년 전의 제가 그랬듯이, 입시를 준비하는 여러분도 '책임감'이라는 단어가 주는 무게감이 무척이나 크게 다가올 것 같습니다. 하지만 여러분, 여러분의 모든 선택에서 후회가 남지 않도록 최선을 다했다면 결과에 대한 걱정은 조금 덜어보는 건 어떨까요? 2023년이 얼마 남지 않은 만큼, 남은 시간이 여러분들에게 후회 없는 시간이 되길 바라며, 알리미는 언제나 여러분들을 응원하겠습니다!

신소재공학과 22학번 28기 알리미 **윤정현**

포스테키안 구독자 여러분 안녕하세요! 저는 무은재학부 23학번 29기 알리미 조민서입니다. 작년 이맘때쯤 저는 입시를 마무리하고 결과만을 애타게 기다리고 있었답니다. 그랬던 제가 포스텍에 입학하고 알리미로 활동하며 1년을 보내다니, 시간이 정말 빠른 것 같아요! 저는 올해 포스텍 새내기로서의 대학 생활에 적응하고 새로운 사람들도 많이 만나면서 잊지 못할 시간을 보냈는데요. 여러분의 한 해는 어떠셨나요? 힘든 입시를 준비하며 마음고생했을 친구들도, 저마다의 한 해를 씬없이 달려온 친구들도 정말 수고 많으셨어요! 내년에는 여러분 모두에게 행복한 일들이 더욱 많기를 바랍니다. 추운 겨울 건강 유의하시고 남은 올해도, 다가올 2024년도 항상 응원하겠습니다! 포스텍에서 만날 날을 기다리게요!

무은재학부 23학번 29기 알리미 **조민서**

포스테키안 구독자 여러분, 안녕하세요! 무은재학부 23학번, 29기 알리미 김세민입니다! 우여곡절이 많았던 2023년도 어느새 끝을 향해 달리고 있네요. 포스테키안을 작성하다 보면, 문득 포스텍을 꿈꾸며 시간 가는 줄 모르고 포스테키안을 읽던 몇 년 전의 제가 떠오릅니다. 어느덧 포스텍 학생이 되고, 포스테키안에 어떤 내용이 담기면 좋을지 열심히 고민하는 제 모습이 아직도 꿈만 같고 실감이 잘 나지 않기도 해요. 흥미롭고 유익한 글을 작성함으로써 여러분에게 한 발짝 더 다가갈 수 있어 정말 뿌듯하고 보람 잡니다. 앞으로도 재미있는 포스테키안을 작성하며, 구독자 여러분에게 펼쳐질 화창한 날들을 응원하겠습니다!

무은재학부 23학번 29기 알리미 **김세민**

편집후기

2023 포스텍 이공계 진로 설계 안내서 N° 180

포스테키안 독자 여러분 안녕하세요! 저는 29기 알리미 황현준입니다. 어느덧 포스텍의 알리미로서의 1년이 지났네요. 여러분에게 도움이 되는 글을 기획하고 작성할 수 있다는 것이 너무나 보람찬 일인 것 같아요! 여러분 시험과 입시에 대한 압박으로 많이 힘들진 않나요? 저도 고등학교 생 때 미래에 대한 걱정으로 잠 못 이루는 날이 많았어요. 쉽지 않았지만 긍정적인 마음을 가지는 게 걱정을 줄이는 데 도움이 많이 될 것이라 생각해요! 저도 긍정적인 생각으로 제 마음을 가꾸어 나가며 공부한 결과 포스텍에 올 수 있었고, 현재 생활에 정말 만족하며 지내고 있습니다! 포스테키안을 읽으면서 여러분 모두 기운 났으면 좋겠습니다! 우리 꼭 포스텍에서 만나요~!

무은재학부 23학번 29기 알리미 **황현준**

POSTECHIAN IS PUBLISHED BY POSTECH

POSTECHIAN은 포스텍 학생홍보봉사단체 <알리미>가 직접 기획, 제작하는 과학 잡지입니다. 이공계 분야 진로를 꿈꾸는 고교생들에게 최신 과학 동향과 연구 관련 정보를 제공하고 있으며 180호에 달하는 전통을 자랑하고 있습니다. 과학에 관심있는 분이라면 누구라도 POSTECHIAN의 독자가 되실 수 있습니다. 구독을 원하시면 POSTECH 입학팀 카카오톡채널에서 신청해 주세요.



포스텍이 궁금해? 링크 모음

POSTECH