

# POSTECHIAN

포스텍 이공계 진로 설계 안내서

no.181 / 2024



말탄심

강원도 정선군 IBS 예미랩



기획특집

우주 개발



포리미프

공대생이 작곡가가 되기까지

# Thinking ZONE



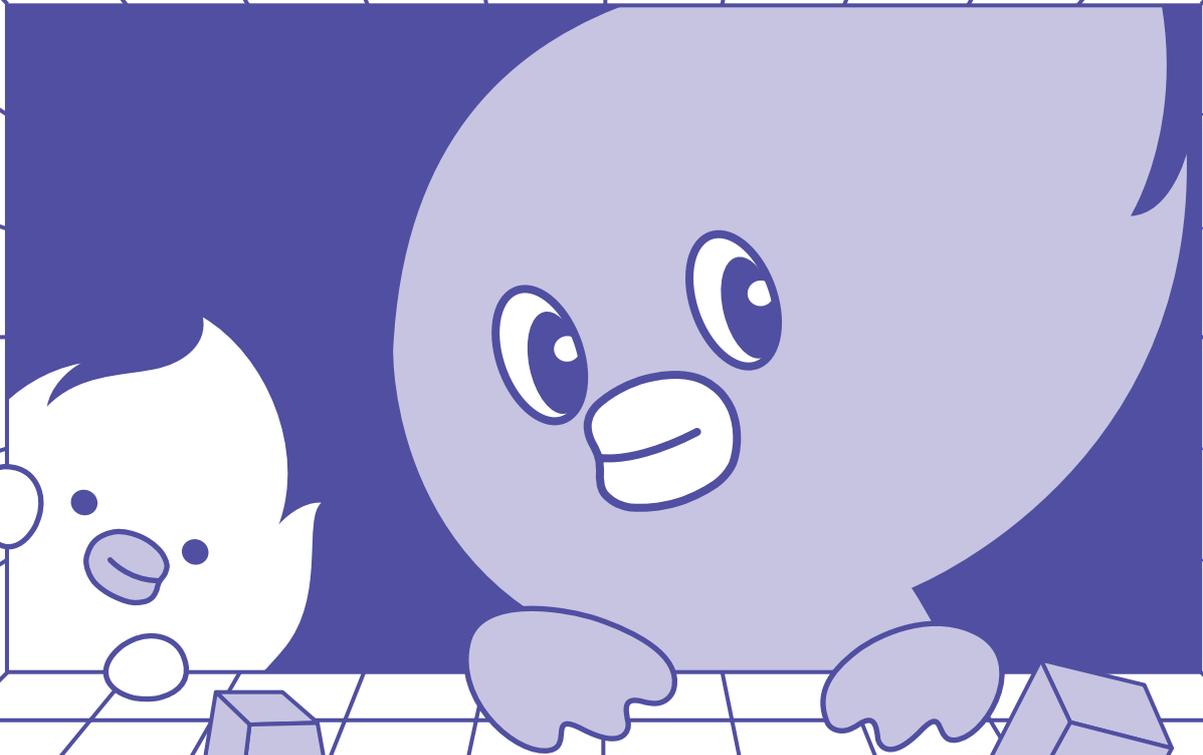
## 우주쓰레기

사람이 머문 자리에 남은 쓰레기가 우주에도 남고 있다는 사실 알고 계시나요?

우주쓰레기는 우주에 떠다니는 쓰레기로, 다시 활용되지 않는 모든 인공 물체를 말하는데요. 인간이 우주로 보낸 로켓에서 분리된 부스터, 수명이 끝난 인공위성, 그 외 파편이나 부품, 누출된 냉각재 등이 있습니다. 대기가 없는 우주 속 쓰레기는 소멸하지 않을뿐더러 우주쓰레기와 다른 위성이 충돌하면 새로운 파편이 생기기 때문에 우주쓰레기는 계속 늘어나는 상황입니다. 이렇게 증가한 우주쓰레기는 우주 진출 경로를 막을 수도 있으며, 지구로 불시착해 위험할 수 있습니다. 우주쓰레기를 처리하기 위해서 직접 쓰레기를 잡거나 궤도를 바꾸어 대기권으로 가져오는 방법 등을 활용하고 있지만, 우주 개발이 본격화되며 증가할 쓰레기를 처리할 새로운 방안이 필요합니다. 우주쓰레기를 추적·감시하고, 우주쓰레기로 인한 여러 위험을 줄일 수 있는 기술을 개발할 수 있도록 우리가 우주쓰레기 문제에 대해 지속해서 관심을 두는 것 또한 중요할 것 같습니다!

HELLO

POSTECHIAN!



QUEST

지금 바로 '포스텍 입학팀' 채널을 추가하세요!

TALK 카카오톡 실행 ▶ 🔍 상단 검색창 터치 ▶

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



# 예비 포스텍이안들에게 알리미가 쓴다!

과학 기술을 사랑하며 글로벌 리더의 꿈을 키우는 당신이라면 꼭 읽어  
봐야 할 잡지, POSTECHIAN 독자 여러분 반갑습니다. 앞으로 더욱  
풍성하고 알찬 '이공계 진로 설계 안내서'를 만들고자 여러분의 의견을  
POSTECHIAN 제작에 반영하러 합니다.

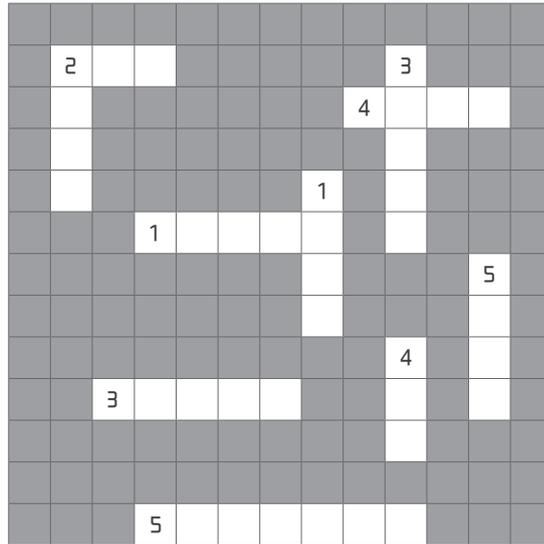
7월 7일까지 링크에 접속해 아래 단어 퍼즐의 답을 맞히고(필수) 설문에  
참여해 주시면 추첨을 통해 소정의 선물을 드릴 예정입니다. 여러분의 많  
은 참여와 유익한 의견을 기다립니다.



<https://forms.gle/8K4V5krE7fgpve3s7>

- 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

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



## 가로 퍼즐

1. 전자 또는 정공이 존재할 확률이 1/2이 되는 준위
2. 한 종류의 원자뿐만 아니라 여러 원자들의 배열순서나 배열구조가 달라 성질이 다른 물질
3. 공전하는 두 개의 천체 사이에서 중력과 탐사선의 원심력이 상쇄되어 실질적으로 중력의 영향을 받지 않게 되고 늘 일정한 위치에 있을 수 있는 지점
4. 작은 분자들이 서로 결합하여 거대한 고분자를 만드는 반응
5. 열적평형상태에서 페르미온이 보이는 통계적 분포

## 세로 퍼즐

1. 크기가 1이며 다양한 벡터의 기본 단위가 되는 벡터
2. 아무런 변화가 없는 조각이지만 수학적 완결성을 위해 포함되어야 하는 대칭 조각
3. 여러 개의 구성 입자가 결합하여 이루어진 체계에서 이들 결합을 끊어 구성 입자로 분리하는 데 필요한 에너지
4. 0과 1이라는 두 개의 숫자만을 사용하여 수를 나타내는 진법
5. 핵융합 반응이 외부 에너지 투입 없이 스스로 유지될 수 있는 상태



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



# CONTENTS

포스텍 이공계 진로 설계 안내서  
no.181 / 2024

발행일 2024. 4. 26.

발행인 김성근

발행처 포항공과대학교 입학팀

경북 포항시 남구 청암로 77

편집주관 오민진 강수향

편집기획 사수현 이유리 조소혜

편집위원 포스텍 알리미

디자인 & 제작 |주|디자인플림

t. 051-202-9201

f. 051-202-9206

정가 5,000원



포스텍 입학팀 홈페이지 바로가기  
<https://adm-u.postech.ac.kr>

## 06

포스텍 에세이

배움의 길, 성장의 길

## 10

알리미가 만난 사람

김도희 선배님과 인터뷰

## 14

알턴십 : 알리미의 일일 인턴 체험기!

강원도 정선군 IBS 예비팀

## 18

고등학생 기지단 포커스

오명철 교수님을 만나다!

## 22

기획특집

우주 개발

## 32

헬로노벨

아직 가보지 못한 자연의 영역 속으로

## 36

최신기술소개

제4의 상 '네마틱' 최초 관측 /

그래핀 반도체의 발견 /

공포 기억을 조절하는 신경 세포 확인 /

유기 광소자 라이다 센서 개발

## 38

포스텍 연구실 탐방기

Welcome to MARCH Lab!

MARCH Lab | Robotics & Bionics

## 42

CES &

NOBEL WEEK

## 43

ALIMI ON-AIR

NEW RC: 포스텍 알리미의

기속사 소개 V-LOG

## 44

프라이프

공대생이 작곡가가 되기까지

## 46

크리에이티브 포스테키안

공학도로서의 삶

## 48

포스텍 카툰

우당탕탕 포스테키안의 하루

기속사(RC) / 폭풍의 언덕

## 50

사이언스 블랙박스

범인은 언제나 흔적을 남긴다!

완전 범 죄를 막는 수사의 비밀

## 54

공대생이 보는 세상 + 문구점

생명과학과 / 화학과 /

컴퓨터공학과 / 물리학과

## 58

지식더하기

① 분자의 대칭성

② 반도체 내 캐리어 농도

## 60

마르쿠스

라그랑지안 역학

## 62

알스토리

① 자기중심적 성장의 시작 : 나만을 향한 수험

② 나의 과거는 결국 아름다웠다

## 64

포스테키안을 만든

알리미를 소개합니다!

## 66

독자서평

편집후기



# 배움의 길, 성장의 길

글 포스텍 인문사회학부 이종식 교수

포스텍 학생홍보봉사단체로 활동하고 계시는 학생들로부터 어려운 글을 한 편 청탁 받았습니다. 포스텍 입학에 희망하는 전국 팔도의 고교생, 포스텍의 여러 구성원, 더 나아가 일반 독자까지도 염두에 두고 학문에 대한 견해를 소개하는 글을 써달라는 것이었습니다. 다양한 독자들에게 고르게 가 닿을 수 있는 글을 쓰는 어려움은 차치하고서라도, 평소 학술 활동에 대해 무슨 대단한 철학을 버렸을 리 만무한 저 같은 범속한 연구자에게는 '학문에 대한 견해'라는 주제 자체가 상당히 버겁게 느껴졌습니다. 그럼에도 십수 년째 '학계'라는 곳에 몸담고 있고, 몇 해 전부터는 포스텍 학생들의 배움을 돕는 선생 역할을 하고 있으니, 이참에 공부하며 성장하는 삶에 대한 제 생각을 정리하여 기록으로 남겨두는 것도 뜻이 있는 일이겠거니 싶었습니다. 고민의 결과를 다음 세 가지 키워드에 담아 공유합니다.

## 첫 번째 키워드는 '우연'입니다.

제 학문의 역정을 되돌아볼 때, 가장 먼저 떠오르는 말이기도 합니다. 그만큼 '우연히' 주어진 계기에 이끌려 '우연히' 생각하지 못했던 방향으로 인도되었던 경험이 많았습니다. 학창 시절 저는 제가 무언가 새로운 것을 창조하는 것을 좋아하는 사람인 것 같다고 생각했습니다. 막연한 마음에 눈에 보이는 새로운 건물을 짓는 것과 관련이 있는 건축학을 전공으로 택하면 좋겠다고 생각했습니다. 그리고 이러한 뜻을 간간히 주변 사람들에게 이야기하고 다녔습니다. 그러던 어느 날 이제는 정확히 누구였는지 기억도 안 나는 어느 친구가 왜 눈에 보이는 것만 만들려고 하냐고 물었습니다. 우연히 들었던 그 질문이 그날 이후 제게 하나의 화두가 되었습니다. 그리고 보이지 않는 것을, 다시 말해 어떠한 생각과 관점을 새로이 만드는 일이 더 재미있을 것 같다는 나름의 결론을 얻었습니다. 그렇게 저는 건축학 대신에 인문학을, 그중에서도 역사학을 전공하게 되었습니다.

역사학도로서 공부를 이어나가는 과정에서도 중요한 순간마다 저는 우연을 믿어보기로 했습니다. 석사과정 때는 사회경제사라는 분야를 주로 공부했습니다. 현재의 우리도 그러하듯, 역사 속 인물들에게도 '먹고 사는 문제'가 제일 중요하리라 여겼던 것입니다. 그렇게 농업, 먹거리, 환경에 대한 공부를 하다가 '우연히' 농약, 화학비료, 트랙터, 품종개량 종자 같은 과학 기술적 요소가 중요하다는 데 생각이 미쳤습니다. 그렇게 박사과정 때는 전공을 과학사로 틀게 되었습니다. 그렇게 어쩌다 늦은 나이에 이역만리異域萬里<sup>1</sup>에서 외국인 학부생들과 일반생명과학이나 유전학 개론 같은 수업을 듣고 있는 저를 발견했습니다. 그렇게 크고 작은 우연의 연쇄를 거듭하다가 전혀 인연이 없을 것만 같았던 포스텍에 부임해 과학사를 가르치는 일까지 생겼습니다.

포스텍 인문사회학부 이종식 교수



1. 다른 나라의 아주 먼 곳

'진로'라는 것은 적어도 저한테는 '상담'이나 '설계'의 대상이라기보다는 우연의 바다 위를 항해하는 느낌에 가까웠던 것 같습니다. 출발지, 경로, 도착지를 모두 인지하고 결정한 상태에서 나아가는 길, 진로(進路)도 물론 훌륭합니다. 그러나 종종 우리는 출발지, 경로, 경유지, 도착지를 잘 알지 못한 채, 직접 경험하지 못한 채, 그저 나아감 자체를 감당하며, 우연히 진로상에 추가된 변수나 선택지를 놓고 임기응변하며 발걸음을 내디뎌야 할 때도 있는 것 같습니다. 우연은 무지, 낯설, 불안을 주기도 하지만, '지금까지의 나'라는 관성으로부터 가장 자유로운 도약을 가능케 하기도 합니다. 매번 우연을 과신하는 도박을 할 필요는 없겠지요. 그러나 우연에 지나치게 개방적이지 못한 태도를 취할 경우, 우리의 정신과 삶은 예측 가능한 범위 너머로 뻗어나가기 어려워지고 말 것입니다.

**배우며 성장하는 삶에 관한 제 두 번째 키워드는 '감당'입니다.**

나이를 불문하고 인생에 배움은 끝이 없다고들 합니다. 그러나 이 글의 독자 중 다수는 10대나 20대라고 전제할 때, 여러분이 현재 살고 계시는 삶의 단계는 특히나 '배움'과 '깨우침'이 추가 되는 시절입니다. 여러분들 가운데 대부분은 '대학'이라는 공간을 곧 경험하게 되시거나 이미 경험하는 중이실 것입니다. 문자 그대로 대학(大學)에서의 '큰 공부'는 여러분들이 배우고 깨우쳐 자신의 전문성을 끌어올리고 동시에 생각과 마음의 폭을 넓히게끔 도움을 제공하는 데 그 존재 이유가 있습니다.

그런데 이러한 '큰 공부'에는 남이 대신해 줄 수도 없고 그저 요행을 바랄 수도 없는, 온전히 자기가 책임지고 짊어져야 하는 부분이 반드시 있기 마련입니다. 부모님, 담임선생님, 과외 선생님, 학원 선생님, 교수님, 심지어 ChatGPT까지, 우리 주변에 훌륭한 공부 도우미가 아무리 많더라도, 이 사실은 변하지 않습니다. 해야 할 때에, 해야 할 것을, 버겁더라도 회피하지 않고 온전히 직면하여, 완벽하게는 아닐지라도 어떻게든 해내고, 그로부터 오는 결과에 보람을 느끼거나 자존감을 굳게 세우고, 혹 그 결과에 아쉬움이 있더라도 당당하게 책임을 지고 그다음 도전을 이어가는 태도가 매우 중요하고 또 소중합니다. 배움과 성장에 관한 한 '감당'의 과정이 멋들어진 결과보다 훨씬 더 본질적일 수 있습니다. 시험에서 부정행위를 하여 높은 결과를 받은 학생을 두고, 학기 말 과제를 생성형 인공지능에 전적으로 의존하여 그럴듯하게 작성해 A+ 학점을 받은 학생을 두고, 긍정적인 배움과 성장의 경험이 존재했기를 기대할 수는 없는 노릇입니다. 다른 연구자의 업적을 표절하거나 정당하게 활용하지 않은 채 단기간 안에 다량의 연구 성과를 거두는 연구자를 두고 학문을 논할 수 없습니다. 시험에서의 고득점, 높은 학점, 빠르고 많은 연구 성과라는 '결과'에만 집착한 나머지 감당의 '과정'을 살아내 본 적이 없는 사람은 언제나 초조하고 비굴할 수밖에 없습니다. 온전히 내 몫을 감당해 본 사람만이 느낄 수 있는 떳떳함과 명예로움을 모르기 때문입니다.

진로 고민



대학원 과정



일본 하버드 대학교 박사과정





함께한 화학과 22학번 김유빈 알리미와 컴퓨터공학과 22학번 박기현 알리미

**마지막 세 번째 키워드는 ‘명실상부名實相符’입니다.**

여기서 ‘명(명목)’은 타이틀, 학력, 직업, 직위, 자격증, 시험 점수 같은 것들입니다. 즉각적이고 비교 가능합니다. 반면, ‘실(실제)’은 덜 직관적이고 대체로 다른 사람과 비교할 수 없는 것들입니다. 실력, 전문성, 인품, 경륜, 깊이 같은 말로 몽뚱그려 표현할 수 있을 것 같습니다. 오늘날 많은 사람이 ‘명’의 무한 상승만을 추구하며 사는 것 같습니다. 일원화되고 수치화되고 등급화된 ‘명’의 사다리 위에 모든 사람을 밀어 넣고 오로지 서로 위냐 아래냐를 따지는 일에만 몰두하는 것도 같습니다. 사실 진정으로 성장하는 삶에는 이러한 ‘명’의 ‘상승’과 더불어 반드시 ‘실’의 ‘성숙’도 필요합니다. 여러분이 ‘명’만을 좇기보다는 ‘명’과 ‘실’을 모두 가꾸며 살고자 할 때, 더 온전한 자기완성을 도모할 수 있으리라 믿습니다. 반대로 ‘명’의 투쟁에 지쳐 자기 자신밖에 모르는 ‘실’의 세계 안으로 마냥 가라앉아서도 안 될 것 같습니다. ‘명’으로 번역되지 못한 ‘실’은 타인이 알기 쉽지 않습니다. ‘실’만을 추구하는 삶을 살 경우, 다른 사람들이, 세상이 나의 능력과 가치를 몰라준다는 원통함에 빠지기 쉽습니다. 따라서 저는 여러분과 제가 배움과 성장을 거듭하며 ‘명’과 ‘실’을 서로 완전히 일치시키지는 못하더라도, 양자를 서로 최대한 부합하게 챙겨갈 수 있는 지혜로운 삶을 살 수 있기를 바랍니다. 그렇게 정신의 구멍이 없고 자신과 타인에게 너그러운 ‘학인學人’의 삶을 힘닿는 데까지 살아나갈 수 있기를 응원합니다. ☺



5월 10일,  
에세이와는 다른 매력의  
이중석 교수님을 만나보세요!

금도희 선배님과과의 인터뷰  
무엇을 할 때 시간 가는 줄 모를 정도로  
재미있는지 생각해 보세요.



여러분의 꿈은 무엇인가요? 대학교에 입학하고 학교생활을 하다 보면, 많은 학생이 '연구'와 '창업'이라는 진로의 갈림길 앞에서 깊은 고민을 하곤 합니다. 이번 181호 <알리미가 만난 사람>에서는 포스텍에서 박사 학위까지 취득하시고, 이후 2019년 포브스가 선정한 30세 이하 글로벌 리더로 선정되신 버블리의 CEO 금도희 선생님의 이야기를 담아보았습니다. 그럼, 우리 함께 금도희 선생님을 만나볼까요?

글 무은재학부 23학번 29기 알리미 김세민

**#1 전국에 있는 포스테키안 구독자들에게 자기소개 부탁드립니다.**

안녕하세요. 저는 포스텍 신소재공학과 학부는 09학번, 대학원은 13학번으로 졸업한 12분반 금도희입니다.

**#2 현재 하고 계신 일을 간단히 소개해 주세요.**

저는 2013년부터 2017년까지 석사, 박사 학위 동안 연구했던 스텐트<sup>1</sup>, 내시경, 혈당 관련 기기 등 다양한 의료 기기를 실제 제품으로 만들기 위한 연구를 진행하고 있습니다. 그리고 2018년에 박사를 졸업한 뒤로는 국외에 있는 글로벌 메디컬 기업들과 함께 일하며 새로운 유형의 의료 기기를 개발하고 양산하는 일을 주된 업무로 맡고 있습니다.

**#3 석사, 박사 과정을 거치며 얻은 다양한 아이디어를 기반으로 '버블리'를 창업하셨다고 들었습니다. 연구 과정에서 어떻게 다양한 특허 아이템들을 떠올릴 수 있었는지, 그리고 그 과정에서 포스텍에서의 생활이 어떤 도움을 주었는지 궁금합니다.**

보통 논문을 쓰다 보면 동기들, 선배들과 여러 논문을 읽어보게 되는데요. 저는 특이하게 책이나 논문을 통하여 아이디어를 얻기보다는 국내외 전시 또는 학회 활동을 많이 참석하며 최신 연구 동향을 직접 보고 들으면서 아이디어를 구체화하곤 했습니다. 그래서 주기적으로 배낭을 메고 포항을 떠나 서울, 미국, 유럽 등에서 열리는 유명 학회, 전시, 창업 행사, 창업 대회 등에 적극적으로 참석했습니다. 포스텍이 지원해 준 여러 기회를 놓치지 않고 다양한 행사를 경험해 보았던 것이 큰 도움이 된 것 같아요.

**#4 선배님께서 지난 2019년 포브스가 선정한 30대 이하 글로벌 리더로도 선정되실 만큼 뛰어난 성과를 거두어 오셨는데요. 선배님만의 특별한 원동력에 대해 말씀해 주세요.**

저는 9년 동안 포스텍에서 생활하며 박사과정까지 이수하지 못했다면 이러한 영광 또한 누리지 못했을 것입니다. 물론 공부해야 할 새로운 내용들도 많고, 많은 학점을 이수하다 보니 가끔은 하기 싫어질 때도 있었습니다. 끝이 보이지 않으니, 너무 긴 여정이 아닌가 하는 스트레스를 받기도 했어요. 가장 예쁜 청춘 시기를 연구에 매진하며 보내다 보니 하루하루를 재미있고 보람차게 보내는 것이 자연스레 제 목표가 된 것 같아요. 시험과 평가에 치질 때도 많았지만, 아기자기한 캠퍼스에서 친구들과 재미있는 시간을 보내고, 해가 지면 교내 주점 '통나무집'도 종종 방문하고, 틈나면 운동도 열심히 해보고, 근처 바닷가에서 드라이브도 하면서 열심히 연구와 공부에 매진하다 보니 어느새 졸업이 다가와 있더라고요. 제가 욕심이 많은 성향이고 독하게 노력한 것도 있지만, 무엇보다 하루하루를 즐기자는 마인드가 좋은 운을 가져다줄 수 있는 원동력이 된 것 같아요.

1. 혈관의 내강을 벌리는 기구

**#5 선배님께서 연구하고 계시는 스마트 의료기기가 굉장히 실용적인 분야로 보이는 데요. 이러한 기술들을 주제로 삼아 창업을 결심하게 된 계기를 여쭙고 싶습니다.**

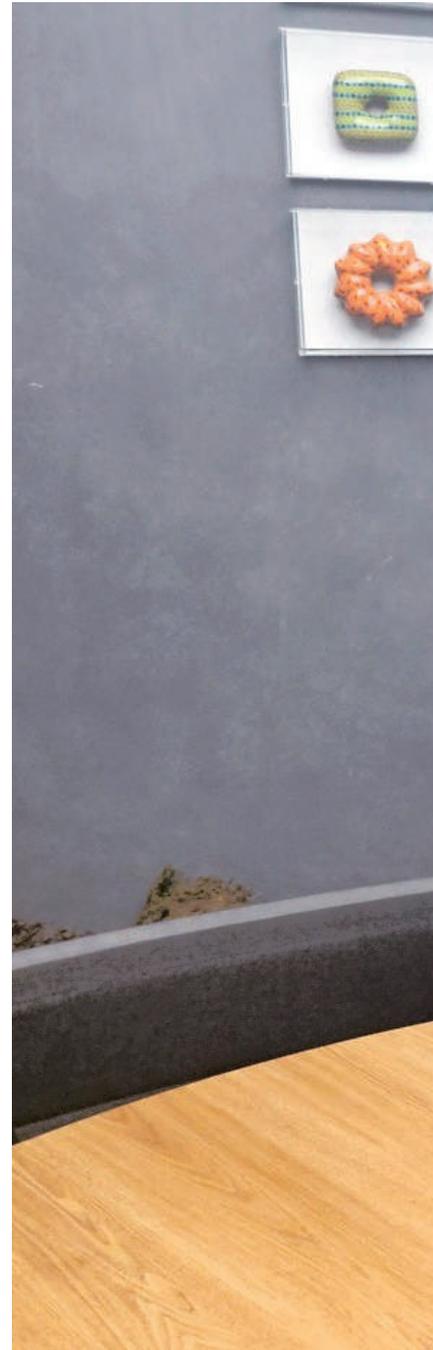
우선 재미있을 것 같았어요. 그리고 영원히 필요할 거라고 생각되는 학문을 선택해서 오랫동안 누군가에게 도움이 되는 일을 하고 싶었기에, 흥미와 재미를 모두 느낄 수 있는 스마트 의료기기 분야로 파고들었던 것 같아요. 대학원에 들어가기 전까지는 창업을 고려한 적이 없었는데, 2013년 대학원 입학 후 해당 분야를 공부하던 중, 2016년~2017년 쯤에 창업 붐이 불었어요. 마침 제가 연구하고 있는 아이템이 상업화를 진행하는 데 유리한 부분이 많다 느꼈고, 그래서 “창업을 해보자!”하고 결심하게 되었어요. 여러 방면에서 노력하다 보니 경진대회에서 상을 받기도 했고, 그러면서 가지고 있던 사업 아이템이 자연스럽게 확장되지 않았나 싶어요.

**#6 학부 졸업 후 대학원에서 연구를 진행하시며 버블러를 창업하셨고, 버블러의 CEO이신 동시에 타 기업에서의 연구원 또한 병행하고 계신 선배님이 정말 대단하게 느껴집니다. 창업과 연구를 진로로써 고민하는 후배들에게 조언 부탁드립니다!**

무엇보다 하고 싶은 일과 자신 있는 일을 선택하는 것이 가장 중요한 것 같아요. 어떤 일을 하게 되건, 대학교와 대학원을 졸업하고 난 후에는 매일 ‘일’에 부딪치게 됩니다. 인생에서 10년에서 20년 동안 공부를 했다면, 은퇴하기 전까지 40년에서 50년은 직장을 다니기 때문에, 정말 긴 시간 동안 책임감을 가지고 일에 임하게 될 텐데요. 앞으로 인생에서 상당히 많은 부분을 차지할 ‘일하는 시간’이 최대한 나에게 행복하고, 내가 즐길 수 있는 시간이 되도록 나 자신이 어떤 것을 잘하고, 어떤 것을 할 때 시간 가는 줄 모를 정도로 재미있는지를 생각해 보시면 좋을 것 같아요. 그리고 어떤 분야에 소속되더라도 꾸준히 인정받고 좋은 사람들과 일할 기회를 얻을 수 있도록, 어디에도 뒤처지지 않을 정도로 본인의 실력을 단단히 다지는 것이 중요하다고 생각합니다. 나만의 강력한 무기와 브랜드를 잘 준비하셔서, 자신이 선택한 ‘내가 살고 싶은 삶’을 즐길 수 있으면 좋겠습니다.

**#7 마지막으로 이공계 진로를 꿈꾸며 이 글을 읽을 포스테키안 구독자들에게 한 말씀 부탁드립니다.**

포스텍을 비롯한 대학교에서 여러 좋은 기회들을 얻으면서 자기 자신을 믿고, 최고의 아웃풋을 만들어 보세요. 멋진 포트폴리오를 가지고 있다면 해외, 국내 상관없이 어디에서든 좋은 성과를 낼 수 있을 것입니다. “나만의 무기”를 확실하게 준비할 수 있는 환경을 찾아서, 여러분이 더욱 강한 사람으로 성장할 수 있었으면 좋겠습니다.





포스텍에서 오랫동안 공부하며 얻은 아이디어를 바탕으로 연구와 창업에서의 성과를 모두 이루신 금도희 선배님. 인터뷰를 진행하면서, 수많은 진로의 갈림길에 선 저에게도 앞으로의 계획을 진지하게 고민해 볼 수 있는 유익하고 소중한 시간이었습니다. 여러분도 과연 본인만이 가질 수 있는 무기는 무엇일지 고민하고, 그것을 발휘할 진로 분야를 찾아보시는 건 어떨까요? 바쁘신 와중에도 포스테키안 구독자 여러분을 위해 시간을 내 주신 금도희 선배님께 다시 한번 감사의 말씀을 전하며 글을 마칩니다. ☺

산골짜기 지하 1,000 m에 세워진  
과학자들의 놀이터



## 강원도 정선군 IBS 예미랩

글 반도체공학과 23학번 29기 알리미 김세현



## # '예미산 아래 지하 1,000 m 실험실에서 우주의 기원을 밝히다', 강원도 정선군 예미랩

안녕하세요, 포스테키안 구독자 여러분! 알리미가 교내외 유명 기업 및 연구실을 탐방하는 알탄십이 열두 번째 이야기로 돌아왔습니다. 혹시 암흑물질<sup>1</sup>에 대해 들어본 적 있으신가요? 저는 지구과학 시간에 존재 여부도 불분명한 데다가 특성도 알려지지 않은 채 우주를 가득 메우고 있는 물질이라고 배웠던 기억이 납니다. 한국도 2003년부터 지하 600 m 양양 지하실험실을 활용, 이 미지의 물질을 탐색하기 위한 연구를 수행하고 있었습니다. 그리고 최근 더 큰 규모의 실험을 위해 지하 1,000 m에 거대 지하실험실이 설립되었다고 합니다. 미스터리한 물질을 발견하기 위해 실험실을 짓고 연구하고 계시는 분들이 있구나, 놀랍지 않으신가요? 저와 박다현 알리미가 강원도 정선군 예미랩으로 직접 찾아가 보았습니다!

## # 세대를 이은 연구가 진행된다

정선군 신동읍은 고즈넉하고 경치가 예쁜 작은 마을이었는데요. 그곳에서 저희를 안내해 주실 소중호 박사님을 만나 예미랩으로 이동했습니다. 예미랩은 지상 연구소와 지하 연구소로 나뉘어 있습니다. 폐교된 학교를 개조하여 지상 연구소로 사용하고 있었는데, 그곳에서 예미랩의 깊은 이야기를 들을 수 있었습니다. 대한민국의 천재 물리학자, 이휘소 박사님을 아시나요? 그는 물리학의 불모지였던 대한민국에서 태어나 물리학 분야에서 많은 업적을 남기고 전 세계적으로 큰 인정을 받았습니다. 특히 암흑물질의 후보 중 하나인 WIMP<sup>2</sup>를 제안했는데요, 수십 년이 지난 지금 그의 정신을 이은 제자들이 이곳 예미랩에서 WIMP의 존재를 실험적으로 증명하기 위한 연구를 진행하고 있습니다. 그러니 예미랩은 책임자 물리학 실험의 불모지에서 여러 과학자가 꽃피운 열정과 그 정신이 고스란히 전해져 내려오고 있는 곳이라 볼 수 있겠죠? 소중호 박사님께서서는 자신과 같이 물리에 푹 빠진 사람들이 예미랩에 모여 각자의 연구에 몰두한다면 다음 세대에는 세계를 놀라게 할 연구 성과가 나올 것이라 확신하셨는데요, 어쩌면 예미랩에서 노벨상 수상자가 나올 지도 모르겠습니다. 이러한 분들의 애정이 가득 담긴 실험실을 둘러보고 고 생각하니 앞으로의 일정이 더욱 기대되지 않나요?



알탄십 인턴 x 반도체 공학과 23학번 29기 정선군 예미랩



알리미 박다현 x 물리학과 23학번 29기 예미랩

1. 우주 물질의 약 95%를 차지하는 것으로 생각되는 물질 가설상의 형태 (암흑 물질: 27%, 암흑 에너지: 68%)
2. 'Weakly Interacting Massive Particles'. 여러 가지 암흑 물질 후보 중 유력한 물질로 보고 있는 초대칭 입자

## # COSINE 암흑물질 탐색 실험과 AMoRE - II 중성미자 특성 실험

드디어 지하 실험실을 방문해 볼 시간입니다. 지하 실험실은 아직 운영 중인 철강 속에 있었습니다. 초속 4m로 이동하는 엘리베이터를 타고 2분 30초를 내려가면 예미산 정상으로부터 1,000 m 아래에 있는 실험실 입구로 진입할 수 있습니다. COSINE 실험은 늘 우리 주변



을 지나다니지만, 전혀 반응하지 않는 암흑물질이 검출기의 원자핵과 충돌하여 남기는 신호를 포착하는 실험인데요. 이 실험의 핵심은 우주로부터 지상에 도달하는 뮤온 입자<sup>3</sup>를 차폐하는 것입니다. 뮤온 입자가 검출기에 도달해 신호를 발생시키면 암흑물질에 의해 발생한 신호인지 뮤온 입자에 의해 발생한 신호인지 불분명해지기 때문입니다. 그래서 예미랩은 자연 지형을 이용하여 뮤온을 차폐합니다. 탄광 깊이만큼의 땅과 그 위에 있는 예미산이 이 실험실을 뮤온으로부터 지켜주고 있는 셈입니다.

COSINE 실험실 내부에는 납 벽돌로 둘러싸인 구조물이 있는데요, 납 벽돌 안에는 연구원들이 수작업으로 만든 WIMP 검출기가 있었습니다. 박사님께서 연구소 내 수많은 장비들을 직접 제작하고 있다며 자부심을 드러내셨습니다. 여기서 놀라기는 이رن데요, 중성미자의 성질을 규명하기 위한 AMoRE-II 실험<sup>4</sup>을 위한 설비는 훨씬 대단했습니다.

AMoRE-II 실험이 진행되고 있는 연구실을 처음 들어섰을 때 압도적인 스케일에 놀랄 수밖에 없었습니다. 지하 깊은 곳에 동굴처럼 큰 구멍을 뚫고 들어선 거대 실험장비는 웅장했습니다. AMoRE-II에서는 극저온 검출기를 이용하여  $^{100}\text{Mo}^5$ 의 이중베타붕괴<sup>6</sup> 현상을 관측합니다. 이곳에서도 뮤온과의 싸움은 계속되는데요, 거대한 검출 장비 위로는 순도 100%의 물이 뮤온 신호를 걸러 중성자 신호를 막아주고 있었습니다. 그뿐만 아니라 플라스틱 벽으로 장비를 한번 둘러싸고, 이로도 부족해 연구진들이 직접 제작한 뮤온 검출기를 그 겹으로 한 번 더 둘러싸 잡음을 제거하는 역할을 하고 있습니다.

4m 높이의 극저온 탱크를 운반하기 위해 설치된 거대 엘리베이터도 있었는데, 실험이 본격적으로 시작되기 전이라 엘리베이터에 탄 채로 실험장비 내부에 들어가 볼 수 있었습니다. 안에서 바라보니 실험장비의 웅장함과 이 모든 것들을 직접 제작했을 연구진 분들의 노고를 고스란히 느낄 수 있었습니다.

3. 전자와 같이 경입자로 분류되는 기본 입자 중 하나. 전자와 같이 전하가 -e이며 스핀은 1/2이지만, 전자보다 큰 질량을 가짐
4. AMoRE(Advanced Mo-based rare process experiment), 몰리브데늄의 특별한 붕괴 현상을 측정하여 중성미자의 미지 성질을 규명하는 것을 목표로 하는 실험
5. 몰리브데늄-100, 동위원소로서 자연에 9.6% 존재하고 있다. AMoRE 실험에서는 96% 이상 농축하여 사용 중
6. 베타 붕괴가 한꺼번에 두 번 일어나는 과정. 베타 붕괴 과정에서 핵 내부의 또 다른 중성자가 양성자로 변함과 동시에 전자 및 반중성미자를 방출하며, 불안정한 핵이 붕괴하는 현상

## # 예미랩, 과학자들의 놀이터가 된다

예미랩은 지금 과학자들의 놀이터가 되어가고 있습니다. 기상청에서는 예미랩이 미처 완공되기도 전부터 달려와 지진파 측정 실험을 진행했습니다. 그뿐만 아니라 엘리베이터가 내려가는 수직 공간에서 캡슐을 자유 낙하시켜 무중력 상태에서 약물의 작용을 실험하는 연구팀도 들어와 있습니다. 달 탐사선의 성능을 확인하기 위해 동굴 길에 달과 비슷한 환경을 조성해 임무 수행 능력을 확인하는 실험도 진행한 바 있습니다. 게다가 기업이 아닌 대학 소속의 연구실이라면 무상으로 예미랩의 공간을 제공해 주고 있다고 하네요!

아직 실험장비가 들어서지 않은 채 남겨진 예비 실험실 공간도 방문해 보았는데요. 높이가 몇십 미터는 되어 보인 이곳은 아름다운 공간적 분위기 덕에 영화 촬영이 진행되기도 했다고 합니다. 저와 박다현 알리미도 이곳에서 절묘한 인생샷을 건졌는데요. 예미랩은 과학자뿐만 아니라 문화, 예술 역시 공존할 수 있는 공간으로 나아가는 것이 최종 목표라고 합니다.

## # 좋아서 하는 물리

소중호 박사님의 물리에 대한 꿈은 아주 어릴 때부터 시작했습니다. 언제부터 물리를 좋아하셨느냐는 질문에 “정신 차려보니 저는 물리학을 공부하고 있었고, 다시 한번 정신 차려보니 물리학과에 진학해 해외에서 박사 후 연구과정을 하고 있었고, 마지막으로 정신을 차려보니 이곳 예미랩에 있었습니다.” 라고 하셨습니다. 박사님께서서는 예미랩은 무한한 가능성을 가지고 있으며 할 것이 넘쳐나는 곳이라 강조하셨습니다. 박사님께서서는 “예미랩이 과학자들을 위한 놀이터가 되기를 바랍니다.” 라며 예미랩의 비전을 밝혀 주셨습니다. 저희 알리미가 방문한 예미랩의 모습은 이미 놀이터와 다름없었습니다. 그리고 예미랩을 둘러보고 난 지금은 더 많은 사람이 예미랩에 대한 관심과 애정을 쏟길 박사님과 함께 바라게 되었습니다.

예미랩에 대한 소중호 박사님의 애정은 대단했습니다. 인터뷰를 하면서 저도 제가 연구하고 있는 곳을 진심으로 사랑할 수 있는 과학자가 되고 싶다는 생각이 들었습니다. 여러분이 글을 읽고 있는 지금, 이 순간에도 예미랩에서는 중성미자와 암흑물질의 비밀을 밝히기 위한 물리학자들의 열정이 불타고 있습니다. 여러분도 미래의 포스테키안이 되어 자신이 사랑하는 연구실에서, 자신이 사랑하는 연구를 할 수 있는 사람이 되어 보는 것은 어떨까요? ☺



알리미들의 일일 인턴 체험기,  
8월 2일에 공개됩니다!



# 오명철 교수님을 만나다!

Q 교수님께서 언제, 어떻게 반도체 분야에 관심을 갖게 되셨나요?

A 제 생각에는 학부 때 관심을 갖게 된 것 같아요. 트랜지스터에 대해 배우게 되었는데 트랜지스터로 게이팅 소자를 만들고, 결국에는 컴퓨터까지 만들게 되거든요. 컴퓨터를 만드는 것까지 하고 나니, 지금까지 인류가 쌓아온 기술이 대단하다는 어떤 경외감을 느끼게 되면서 관심을 가진 것 같습니다.

Q 교수님께서 연구하고 계시는 저차원 반도체가 무엇인지, 기존 반도체와 무슨 차이점이 있는지 궁금합니다.

A 제가 연구하고 있는 반도체는 정확히는 2차원 반도체입니다. 2차원 반도체는 원자 한 층 혹은 여러 층으로 이루어진 반도체 물질입니다. 그래핀, 흑린과 같은 2차원 물질은 전기전도성이 매우 높고, 얇으며 단단한 특성 덕분에 투명하고, 유연한 소자를 만들 수 있게 됩니다. 게다가 2차원 반도체는 기존 반도체 소자의 문제점을 해결할 수도 있습니다. 기존의 반도체 소자는 공정이 발전하면서 피치<sup>1</sup>를 수 나노미터 크기까지 줄일 수 있게 되었지만, 피치가 일정 수준보다 작아지면 Short Channel Effect가 발생하여 원하지 않는 전류가 다른 곳으로 흐르거나, 전류가 통제되지 않는 신뢰성의 문제가 생깁니다. 여기서 제가 연구하고 있는 것이 2차원 반도체를 통해 이러한 문제점을 해결하는 것입니다.

1. 반도체 칩에서 패턴의 크기와 패턴 사이의 공간을 합친 길이로, 패턴의 단위 길이를 말함



안녕하세요! 포커스 11기 옥빛고등학교 2학년 이수민입니다. 저는 기초과학연구원 IBS에서 반데르발스 물질을 활용한 2차원 반도체를 연구하고 계시는 반도체공학과 오명철 교수님의 인터뷰를 진행했습니다. 모든 인터뷰 내용을 담지는 못했지만, 영상에 담기지 못한 흥미로운 내용들을 선정해 담아봤습니다!



Q 교수님의 연구를 조사하다 보니, 2차원 재료 사이의 뒤틀린 각도가 물질의 전기전도성에 주는 변화에 관한 연구인 'Twistronics'에 관심을 갖게 되었습니다. 어떠한 원리로 두 층의 그래핀이 이루는 각에 따라 물성이 급변할 수 있는 것인가요?

A 2차원 물질 두 층을 살짝 뒤틀려서 겹치면 새로운 주기적인 초격자가 나타나고, 새로운 초격자를 따라서 물리적으로 전기적 퍼텐셜이 만들어지게 됩니다. 즉 밴드 구조가 기존 물질과 완전히 달라집니다. 이런 방식을 통해 이론적으로만 존재할 수 있는 밴드 구조를 인공적으로 조작해서 만들어 낼 수 있는 거예요. 이렇게 되면 물질 안에서의 전자 간 상호작용을 조절할 수 있고, 밴드의 위상학적 구조도 변형시킬 수 있습니다. 그러면 초전도 현상, 위상학적 절연체 상태들이 만들어질 수 있고, 이 상태들을 전기신호를 이용하여 넘나들 수 있습니다. 말 그대로 “전압을 어떻게 거느냐”에 따라 초전도체, 절연체, 강자성체, 강유전체 중 무엇이 될 것인지를 조절할 수 있게 되는 겁니다.



Q 기존 2차원 반도체의 단점을 보완하기 위해 반데르발스 이종 구조 소자를 제작하고 계신 것으로 알고 있습니다. 반데르발스 이종 구조가 무엇이며, 왜 필요한 것인가요?

A 2차원 반도체의 단점을 보완하기 위해서라기 보다는 2차원 반도체 소재의 가능성을 열기 위해 이종 구조<sup>2</sup>를 제작하고 있습니다. 초격자를 인공적으로 제작하고 어떤 현상이 있는지 탐색한 후 그것을 이용하여 차세대 컴퓨터 또는 양자컴퓨터 등에 사용할 수 있는 소자를 연구하는 것입니다. 즉, 자연적으로 존재하는 소재에서 벗어나 인공적인 소재를 이용한 소자를 만드는 연구이죠. 앞서 말한 Twistrionics가 대표적인데, 이 방법은 그래핀뿐만 아니라 어떤 2차원 물질을 비틀어도 가능한 방법입니다. 그래서 어떤 소재를 비틀어 만들었는지에 따라 예측하기 어려운 다양한 특성이 만들어집니다. 이런 물질을 만들기 위해선 반데르발스 물질이 필수적입니다. 반데르발스 물질의 특성은 Dangling Bond<sup>3</sup>가 없어서 층을 마음

대로, 안정적으로 쌓을 수 있다는 점입니다. 이러한 반데르발스 물질은 종류도 다양하기에 특성도 다양합니다. 그래서 아직 연구할 것이 아주 많은 분야이지요.

Q 저차원 반도체가 계속해서 발전하여 실생활에도 쓰이게 된다면 세상이 어떻게 변할까요?

A 우선은 유연하고 투명한 성질을 이용해서 피부에 부착하거나 옷처럼 입는 웨어러블 컴퓨터에 이용할 수 있을 것입니다. 또한, 집적도<sup>4</sup>를 굉장히 높일 수 있기 때문에 나노 로봇에도 쓰일 수 있습니다. 게다가 인공지능을 만들 때 매우 큰 컴퓨터와 서버가 필요한데, 높은 집적도를 통해 이런 큰 크기를 개인용 컴퓨터만 한 크기로 줄일 수 있습니다. 더 나아가 생각해 본다면 애플에서 출시한 공간 컴퓨터인 비전 프로 같은 것이 안경, 혹은 콘택트렌즈처럼 작아질 수 있습니다. 마지막으로 가장 현실적인 장점은 속도가 기존보다 빨라진다는 점입니다.

2. 다른 종류의 반도체 물질을 결합해 만든 구조

3. 결정의 표면을 구성하는 원자들이 짝을 이루어 결합하지 못하고 끊어진 상태

4. 반도체 칩당 들어가는 디지털 소자의 수로, 집적 밀도라고도 함

Q 포스텍 반도체공학과만의 장점이나 차별점은 무엇인가요?

A 반도체공학과만의 장점은 반도체 관련 과목들을 배워서 산업에 바로 쓸 수 있는 지식을 얻을 수 있다는 점입니다. 반도체는 물리, 화학, 신소재, 전자공학 등이 포함된 광범위한 지식이 필요합니다. 일반적인 하나의 학부에서는 이것을 전부 배우기는 어렵기 때문에, 이런 지식을 넓게 배울 수 있다는 데 장점이 있는 것 같습니다. 또한 3+3 학석박 통합 연계 프로그램은 우리 학과만의 가장 큰 차이점입니다. 이는 3년 안에 학사, 3년 안에 석박사 과정을 마치는 프로그램으로 3+3 과정을 원하고, 자격 요건이 되는 학생들이 수행하는 제도입니다. 학부와 대학원을 6년 안에 끝내야 하므로 학생들의 부담이 커지는 점이 우려되지만, 성공적으로 마치는 학생들은 이른 시기에 박사학위를 받을 수 있다는 장점이 있어서 현재 많은 학생이 이 과정에 참여하기를 원하고 있습니다.

Q 한국의 반도체 산업을 이끌어가고 싶어 하는 학생들에게 조언 한마디 부탁드립니다.

A 저는 학생들에게 끊임없이 질문하라고 말해주고 싶습니다. 학문이 되었든, 일이 되었든, 연구가 되었든 항상 질문을 던지고 답을 스스로 찾아내는 과정을 계속 반복하라고 해주고 싶어요. 그러면 나중에 자신이 걸어온 길을 뒤돌아봤을 때 후회하지 않는 길을 계속 걸을 수 있을 것입니다.

고등학생 기자단 포커스의  
이야기는 5월 24일  
공개됩니다!



지금까지 반도체공학과 오명철 교수님과의 인터뷰 내용이었습니다. 교수님과의 인터뷰라는 소중한 경험을 할 수 있게 해주신 입학팀 강수향, 오민진 선생님과 알리미 분들, 촬영 감독님 마지막으로 저를 위해 긴 시간 써주신 오명철 교수님께 정말 감사드립니다. 🙏



# 우주 개발

2024년 1월 20일, 일본의 탐사선 슬림(SLIM)이 달 착륙에 성공했습니다. 앞서 구소련과 미국, 중국이 달 착륙에 성공했고, 지난해에는 인도의 찬드라얀 3호가 달 착륙에 성공했기에 슬림은 세계 5번째로 달에 착륙한 탐사선이 되었습니다. 우리나라 역시 달 탐사선 다누리를 2022년 8월에 발사했고, 현재 달 궤도를 돌며 달 탐사 임무를 수행 중입니다. 이처럼 20세기 중반에 우주 개발을 시작한 이래로 우주 개발에 참여하는 국가의 수는 빠르게 증가하고 있습니다. 그뿐만 아니라 지구관측 위성 분야를 넘어 화성 등 우주탐사 분야에도 진입하며 인류의 우주 개발이 더욱 발전하고 있습니다. 그렇다면 인류는 왜 우주 개발에 힘쓰고 있는 것일까요? 우주 개발은 어떻게 이루어지고, 우리는 우주 개발을 통해 무엇을 얻으려고 하는 것일까요? 이번 기획특집을 통해 우주 개발의 이유, 우주 개발의 방법, 그리고 우주 개발의 이점에 대해 알아보시다!



7월 5일,  
기획특집의 이야기를  
영상으로 만나보세요!

# 우주 개발의 이유

우리나라를 비롯한 전 세계 국가들은 왜 우주 개발을 추진하는 것일까요? 그 이유는 매우 다양한데요. 학문적 연구, 경제적 이익 등을 위해 우주 개발이 이루어지기도 하지만, 인류의 멸종을 불러올 수도 있는 소행성 충돌의 위협에서 벗어나기 위해서도 우주 개발이 필요합니다. 이번 꼭지에서 해당 내용에 대해 알아보시다!

## 우주 개발의 이유: 소행성 충돌의 위험



그림 1. 통구스카 폭발 당시 삼림이 파괴된 모습

흔히 소행성 충돌이라 하면 백악기-팔레오기 대멸종<sup>1</sup>을 떠올릴 것입니다. 이 때문에 소행성 충돌은 우리와 먼 이야기라고 생각할 수 있지만, 비교적 최근에도 소행성 충돌로 인한 피해가 있었다는 사실을 알고 계시나요? 1908년 러시아에서 직경 50~80m의 소행성이 공중에서 폭발하는 통구스카 폭발로 무려 2,000km<sup>2</sup>의 숲이 파괴되었고, 2013년에는 첼랴빈스크 운석우 사건으로 인해 약 1,500명의 부상자가 발생한 적도 있습니다. 직경이 수 킬로미터에 달하는 소행성도 매우 많은데, 겨우 직경 수십 미터의 소행성이 충돌하지 않고도 이 정도의 위력이라면 소행성 충돌은 얼마나 위협적일지 짐작할 수 있습니다.

## 소행성 발견

소행성 충돌의 위협으로부터 벗어나기 위해서는 먼저 지

구에 근접한 소행성을 탐지할 수 있어야 합니다. 이때 지구 근접 소행성이 너무 작거나 햇빛에 가려지면 관측에 어려움이 발생하는데요. 이러한 경우, 고성능 광시야 암흑에너지 카메라(DECam)를 이용할 수 있습니다.

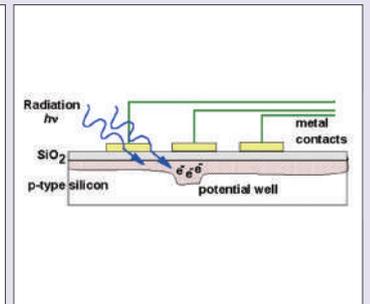
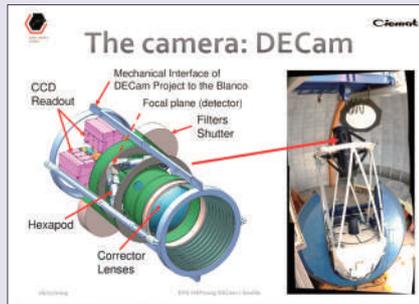


그림 2. DECcam의 내부 구조(좌) / 그림 3. 전하 결합 소자(우)

그림 2에서 대각선으로 놓인 흰색 원통형 팔 부분이 헥사포드라고 불리는 구조입니다. 헥사포드는 공압 실린더<sup>2</sup>를 이용한 6개의 피스톤으로 이루어져 있는데, 실린더 내부 기체가 압력을 받으면 피스톤이 위아래로 움직이며 헥사포드가 길어지고 짧아집니다. 이 헥사포드에는 빛을 통과시키는 셔터, 빛의 세기를 조절하는 필터, 그리고 빛을 모으는 렌즈가 연결되어 있습니다. 이때 초점을 맞추기 위해 헥사포드가 움직이며 이들의 위치를 조정합니다. 위치 조정 이후 셔터가 열리면 안쪽의 전하 결합 소자에 빛이 전달됩니다. 광다이오드<sup>3</sup>로 이루어진 전하 결합 소자는 그림 3과 같이 기판에 얇은 두께의 실리콘 절연층이 있고, 수많은 축전기<sup>4</sup>가 서로 연결되어 있는 소자입니다. 빛이 전하 결합 소자에 조사되면 광다이오드가 이를 전자로 전환합니다. 이때 조사된 빛의 양에 따라 생성되는 전자의 양이 결정되며, 축전기에 그만큼의 전하<sup>5</sup>가 저장되고 주변의 축전기로 전하가 전달됩니다. 이렇게 전달되는 전하량이 신호가 되어 컴퓨터가 이 신호를 인식하고 이미지로 변환할 수 있게 됩니다. 이런 과정을 통해 카메라로 관측한 물체를 이미지로 볼 수 있게 되는 것입니다.

1. 기원전 6,600만년 전 일어난 대멸종으로, 흔히 '공룡 대멸종'이라고도 알려져 있음
2. 압축 가스(공기)를 밀어내는 방식으로 운동하는 원통형 피스톤
3. 빛을 전류로 전환하는 반도체 소자
4. 두 금속판이 마주보고 있는 구조로, 전하를 저장하는 장치
5. 어떤 물질이 갖고 있는 전기의 양

## 토리노 척도와 팔레르모 척도

이렇게 발견된 소행성의 위험성을 분류하기 위해서는 기준이 필요한데요. 그중 하나가 바로 토리노 척도입니다.

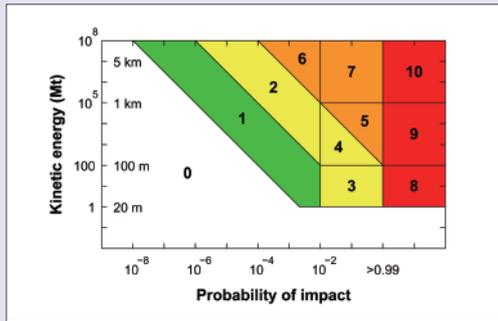


그림 4. 토리노 척도 표

토리노 척도는 지구 근접 천체의 운동 에너지와 충돌 가능성을 모두 고려하는 척도로, 천체의 위험도를 가장 위험하지 않은 단계인 0부터 가장 위험한 단계인 10까지 분류합니다. 따라서 천체의 운동에너지는 매우 크지만 지구와 충돌할 가능성이 거의 없거나, 충돌 가능성이 높아도 운동에너지가 매우 작다면 토리노 척도는 0이 됩니다. 현재 NASA가 분류한 지구 근접 천체 중 토리노 척도가 1 이상인 것은 DECam으로 관측한 2023DW가 토리노 척도 1로 유일합니다. 척도를 1로 분류한 천체가 단 1개밖에 없는 만큼, 토리노 척도는 위험도를 민감하게 분류하는 기준은 아닙니다. 이렇게 과학자들은 토리노 척도 대신 팔레르모 척도를 이용합니다.

팔레르모 척도( $PS$ )는 천체 충돌의 상대 위험도를 로그 스케일로 나타내는 척도이며, 그 위험도는 아래와 같이 나타낼 수 있습니다.

$$PS = \log_{10} \left( \frac{P_I E^{\frac{4}{5}}}{0.03T} \right)$$

$P_I$ 는 소행성이 지구에 영향을 줄 확률,  $DT$ 는 사건이 발생하기까지의 시간(연 단위)을 나타냅니다. 추가로, 다수의 천체가 충돌하는 가능성을 계산하는 경우 누적 팔레르모 척도( $PS_{cum}$ )를 사용합니다.

$$PS_{cum} = \log_{10}(10^{PS1} + 10^{PS2} + 10^{PS3} + \dots)$$

팔레르모 척도가 -2보다 작은 경우 소행성의 충돌 가능성이 없는 것으로, -2와 0 사이의 값은 지속적인 관찰이 필요한 상태로 분류합니다. 이렇게 인류는 체계적인 기준을 세워 외부 천체의 충돌이라는 잠재적 위협에 대비하고 있습니다.

## 소행성의 궤도를 직접 바꾸다: DART 프로젝트

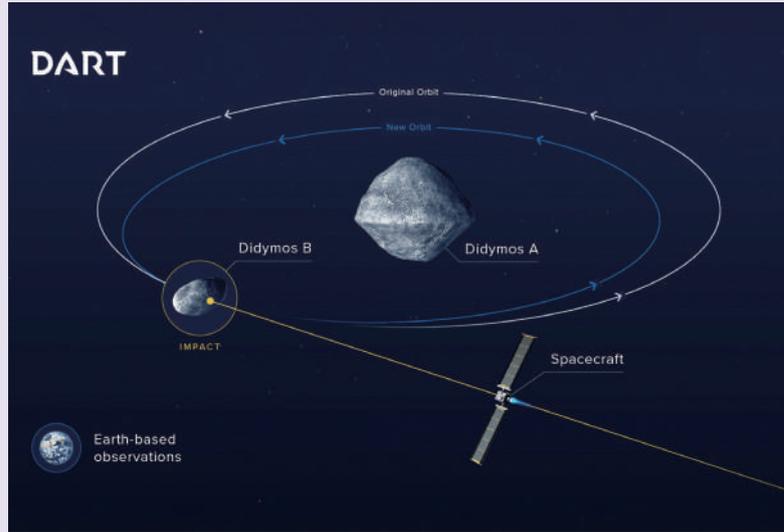


그림 5. DART 프로젝트 재현 그림

소행성 2023DW처럼 지구에 잠재적 위협이 되는 소행성의 충돌 방어 전략 시험을 목적으로, NASA는 2022년 9월에 DART(Double Asteroid Redirection Test) 프로젝트를 실시했습니다. DART란 쌍소행성 궤도 변경 실험을 의미하고, 그림 5에서 볼 수 있듯 디모포스 소행성(Didymos B)<sup>7)</sup>에 우주선을 충돌시켜 소행성 궤도를 변경하는 프로젝트입니다. 이 충돌 프로젝트로 디모포스의 공전주기가 약 33분 줄어 예상보다 더 큰 효과를 내었는데요. 이런 결과가 나오게 된 이유를 함께 알아보을까요?

이를 위해 DART 우주선의 운동량 중 얼마나 많은 운동량이 디모포스로 전달되는지를 구해야 합니다. 추가로, 디모포스는 아주 약한 중력으로 여러 암석을 잡고 있는 특이한 구조를 갖고 있습니다. 이 구조로 인해 충돌 시 퍼져나가는 분출물이 디모포스의 운동량을 변하게 하므로, 분출물의 운동량을 구해야 합니다. 이는 운동량 보존 법칙으로 설명할 수 있고, 이에 대한 수식은 아래와 같습니다.

$$M\Delta v = mU + m(\beta - 1)(\hat{E} \cdot U)\hat{E}$$

$M\Delta v$ 는 디모포스의 운동량 변화량을 말하며,  $mU$ 는 충돌 전 DART 우주선의 운동량,  $\hat{E}$ 는 분출물 운동량의 방향입니다.  $m(\beta - 1)(\hat{E} \cdot U)\hat{E}$ 는 분출물의 운동량인데,  $m(\beta - 1)(\hat{E} \cdot U)\hat{E}$ 가 0에서 멀어질수록 분출물이 디모포스의 운동량 변화에 더 많이 기여한다는 것을 의미합니다.

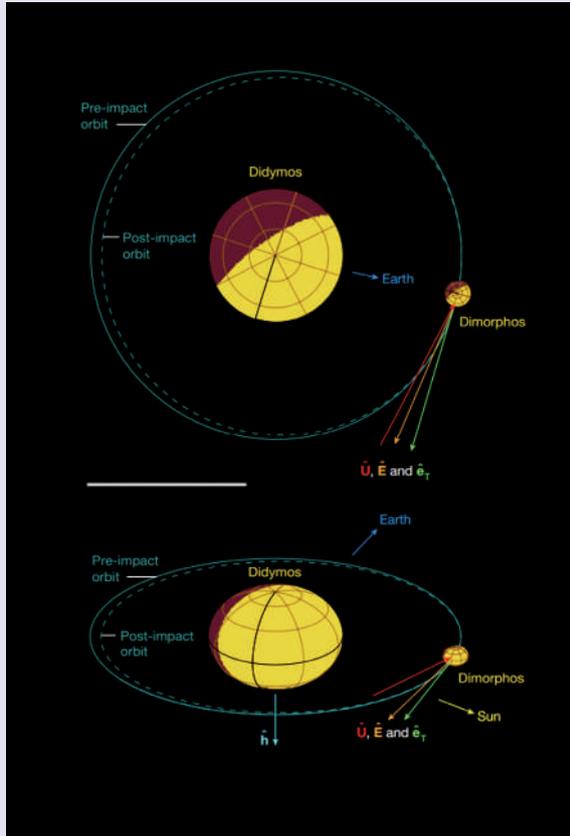


그림 6. 우주선 충돌 전후의 디모포스 궤도 변화

이때 분출물의 운동량 변화의 기여 정도를 구하기 위해, 분출물의 운동량과 우주선 충돌 전 운동량의 비율을 나타내는  $\beta$ 의 값을 알아야 합니다. 이때 구하고자 하는  $\beta$ 에 대해 소행성의 운동 방향을 나타내는 단위 벡터<sup>6</sup>  $\hat{e}_i$ 과  $\Delta v$ 로 아래와 같이 식을 표현할 수 있습니다.

$$\beta = 1 + \frac{M}{m} \frac{(\Delta v \cdot \hat{e}_i) - (U \cdot \hat{e}_i)}{(\hat{E} \cdot U) (\hat{E} \cdot \hat{e}_i)}$$

이때  $\beta$  값이 1 근처일 경우 첫 번째 식의  $m(\beta - 1)(\hat{E} \cdot U)\hat{E}$  항이 0에 가까운 값을 갖게 되므로, 분출물이 디모포스의 운동량 변화에 크게 기여하지 않음을 의미합니다. 하지만  $\beta$  값이 2보다 큰 경우, 디모포스 소행성의 운동량 변화량에 분출물이 기여한 정도가 우주선이 직접 전달한 운동량보다 크다는 것을 의미합니다. 계산 결과,  $\beta$  값은 약  $3.61_{-0.25}^{+0.19} (1\sigma)$ 로 소행성 분출물로 인해 발생한 운동량이 우주선 충돌 운동량의 약 3.6배 정도로 매우 컸음을 알 수 있습니다. 이런 이유로 그림 6에서 볼 수 있듯 디모포스의 궤도가 실선에서 점선으로 예상보다 크게 변경되었던 것입니다.

6. 광범위한 숫자를 로그를 이용하여 비율로 간결하게 표현하는 방법

7. 그림 5에 나타난 Didymos B의 다른 이름

8. 크기가 1인 벡터

지금까지 소행성 관측 기술, 토리노 척도와 팔레르모 척도, 그리고 DART 프로젝트를 살펴보았습니다. 이렇게 인류는 소행성 충돌에 대비하고 있지만, NASA에 따르면 아직 발견되지 않은 소행성은 약 1만 5천여 개에 달한다고 합니다. 만약 발견되지 않은 거대 소행성이 지구에 충돌한다면 인류는 생존하기 매우 어려울 것입니다. 따라서, 새 주거지 탐색 등 외부 위협에서 벗어나기 위한 새로운 해결책을 찾기 위해 인류는 계속해서 우주 개발을 진행해야 합니다. 다음 꼭지에서 우주 개발은 어떤 방법으로 이루어지는지 알아보도록 합니다!👉

#### [그림 출처]

- 그림 1. "소행성 충돌의 위력은 어느 정도일까? 소행성 충돌을 막기 위한 DART 프로젝트". 『한화에어로스페이스』, 2022.10.19. <https://blog.naver.com/haspr/222904336147>
- 그림 2. Roy Briggs. "DECAM The Dark Energy Survey Camera". SlidePlayer. 2009. <https://slideplayer.com/slide/12874318/78/images/7/EPS-HEP2009+DECAM+I.Sevilla.jpg>
- 그림 3. "Definition of charge coupled device (CCD)". Chemicool Dictionary. [https://www.chemicool.com/definition/charge\\_coupled\\_device\\_ccd.html](https://www.chemicool.com/definition/charge_coupled_device_ccd.html)
- 그림 4. "토리노 척도". 『위키피디아』. [https://ko.wikipedia.org/wiki/%ED%86%A0%EB%A6%AC%EB%85%B8\\_%EC%B2%99%EB%8F%84](https://ko.wikipedia.org/wiki/%ED%86%A0%EB%A6%AC%EB%85%B8_%EC%B2%99%EB%8F%84)
- 그림 5. "DART". THE EUROPEAN SPACE AGENCY. [https://www.esa.int/Space\\_Safety/Hera/DART](https://www.esa.int/Space_Safety/Hera/DART)
- 그림 6. Graykowski, A., Lambert, R.A., Marchis, F. et al. 「Momentum transfer from the DART mission kinetic impact on asteroid Dimorphos」. 2023. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-05852-9>

#### [참고 자료]

- 곽노필. 「이 소행성, 23년 뒤 지구 충돌할까...위험도 1위가 바뀌었다」. 『한겨레』, 2023.03.10. [https://www.hani.co.kr/arti/science/science\\_general/1083010.html](https://www.hani.co.kr/arti/science/science_general/1083010.html)
- "Dark Energy Camera(DECAM)". THE DARK ENERGY SURVEY. 2016.01. <https://www.darkenergysurvey.org/the-des-project/instrument/>
- Graykowski, A., Lambert, R.A., Marchis, F. et al. "Momentum transfer from the DART mission kinetic impact on asteroid Dimorphos.". Nature 616. (2023): pp. 461-464.
- "Palermo Technical Impact Hazard Scale". NASA. [https://ceos.jpl.nasa.gov/sentry/palermo\\_scale.html](https://ceos.jpl.nasa.gov/sentry/palermo_scale.html)
- Steven R. Chesley, Paul W. Chodas, Andrea Milani, Giovanni B. Valsecchi and Donald K. Yeomans. "Quantifying the Risk Posed by Potential Earth Impacts". Icarus 159. (2002): pp. 423-432.
- Tom Diehl. "The Dark Energy Survey Camera". Fermi National Accelerator Laboratory. 2011.

# 우주 개발의 방법

꼭지 1에서는 우주 개발의 이유에 대해 알아보았습니다. 그렇다면 우주 개발은 어떻게 이루어지는 것일까요? 우주 개발 방법은 크게 유인 탐사와 무인 탐사로 나눌 수 있는데요. 현재 우주 개발 대부분은 탐사선이 천체 표면을 분석하여 지구로 정보를 송신하는 무인 탐사 방식으로 이루어지고 있습니다. 이번 꼭지에서는 무인 탐사선이 어떻게 우주로 가는지, 우주에서 무엇을 하는지 알아보도록 하겠습니다.

우주에서 탐사선의 궤적은 목표 천체에 따라, 그리고 탐사 목적에 따라 차이가 있습니다. 달, 화성, 토성 등 많은 천체 중 단연 가장 많은 탐사 횟수를 자랑하는 것은 달 탐사입니다. 따라서 지구에서 달로 탐사선을 보내는 경우를 살펴보겠습니다.

## 직접 전이 궤적

지구에서 달로 탐사선을 보내려면 어떤 경로로 가는 것이 가장 적합할까요? 먼저 지구와 달을 잇는 최단 경로를 떠올릴 수 있는데요. 이를 직접 전이 궤적이라고 합니다. 최단 경로라고 하면 직선을 떠올릴 수도 있겠지만 천체의 자전 및 공전을 고려하면 그림 1 속 곡선이 지구와 달을 잇는 최단 경로가 됩니다. 최단 경로이기 때문에 비행시간이 3~6일로 매우 짧은 특징이 있습니다. 하지만 일반적으로 무인 탐사선을 우주로 보낼 때는 직접 전이 궤적을 따르지 않습니다. 그 이유는 태양의 중력을 이용하지 않아 많은 연료가 필요하며, 무인 우주 탐사선은 유인 탐사선과 달리 이른 시일 안에 목표 천체에 도착하지 않아도 되기 때문입니다. 따라서 일반적인 무인 우주 탐사선은 최단 경로가 아닌 경로를 따라 목표 천체에 도착합니다. 이 중 대표적인 궤적이 바로 WSB 전이 궤적입니다.

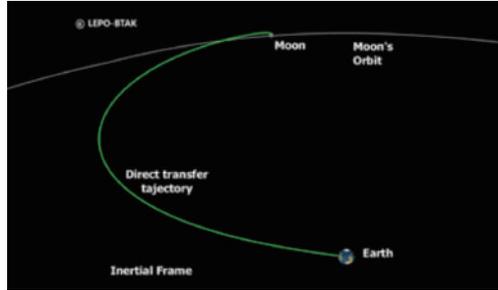


그림 1. 직접 전이 궤적

## WSB 전이 궤적

WSB(Weak Stability Boundary) 전이 궤적은 탐사선을 태양 쪽으로 보냈다가 달로 돌아오게 하는 궤적인데요. 흥미롭게도 이 궤적은 탐사선의 연료를 가장 많이 이용할 수 있는 경로입니다. 아래 그림에서 볼 수 있듯 직접 전이 궤적에 비해 경로가 매우 길고 복잡한데 어떻게 연료를 아낄 수 있는 것일까요? 이는 해당 경로가 지구와 태양 사이의 라그랑주점을 지나기 때문입니다.

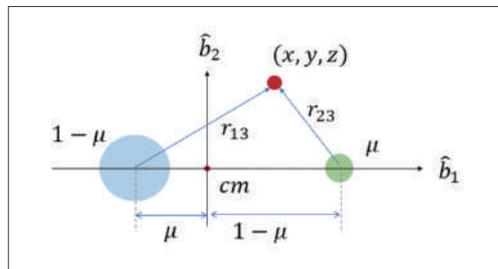
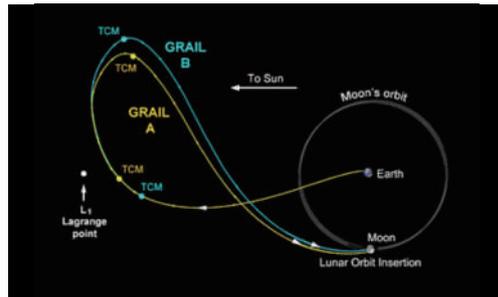


그림 2. WSB 전이 궤적(상) / 그림 3. 지구, 태양, 탐사선의 위치 관계(하)

라그랑주점에서는 공전하는 두 개의 천체에 의한 중력과 탐사선의 원심력이 상쇄됩니다. 따라서 탐사선은 실질적으로 중력의 영향을 받지 않게 되어 한 위치에 정지해 있을 수 있죠. 즉, 라그랑주점은 지구와 태양이라는 두 개의 질점<sup>1</sup>이 탐사선에 가하는 중력과 탐사선의 질량 중심점 방향으로의 원심력이 정확히 일치하는 지점을 말합니다. 지구와 태양 사이의 라그랑주점은 지구, 태양, 탐사선이라는 세 물체 간의 운동방정식에서 유도해 낼 수 있습니다. 방정식의 물리량들을 편리하게 분석할 수 있도록 이 상황을 무차원화<sup>2</sup>한 운동방정식은 아래와 같습니다.

$$\begin{aligned} \ddot{x} - 2\dot{y} - x &= -\frac{(1-\mu)(x+\mu)}{(r_{13})^3} - \frac{\mu(x+\mu-1)}{(r_{23})^3} \\ \ddot{y} + 2\dot{x} - y &= -\frac{(1-\mu)y}{(r_{13})^3} - \frac{\mu y}{(r_{23})^3} \\ \ddot{z} &= -\frac{(1-\mu)z}{(r_{13})^3} - \frac{\mu z}{(r_{23})^3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (r_{13} &= \sqrt{(x+\mu)^2 + y^2 + z^2}, \\ r_{23} &= \sqrt{(x+\mu-1)^2 + y^2 + z^2}) \end{aligned}$$

앞서 말했듯 라그랑주점은 탐사선이 실질적으로 중력의 영향을 받지 않고 정지해 있을 수 있는 평형점이기에 해당 지점에서의 속도와 가속도는 0입니다. 따라서  $\dot{x}, \dot{y}, \dot{z}$ <sup>각주3</sup>와  $\ddot{x}, \ddot{y}, \ddot{z}$ <sup>각주4</sup>가 모두 0일 때의 위치  $(x_e, y_e, z_e)$ 가 바로 라그랑주점입니다. 이렇게 계산해 낸 라그랑주점은 그림 4에서 볼 수 있듯이 L<sub>1</sub> ~ L<sub>5</sub>로 총 5개입니다. 물리학에서는 이 지점들을 평형점<sup>5</sup>이라고 부르는데 그 중 L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>, L<sub>3</sub>는 안정 평형점, L<sub>4</sub>, L<sub>5</sub>는 불안정 평형점에 해당합니다.

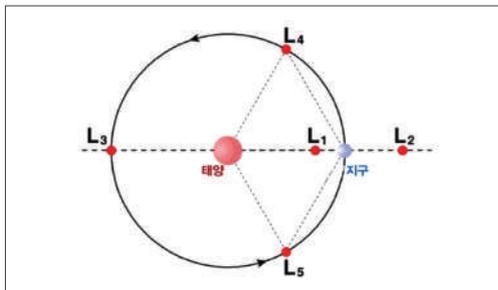


그림 4. 라그랑주 점

안정 평형점에서는 물체를 밀어도 다시 평형점으로 돌아오지만, 불안정 평형점에서는 아주 작은 힘만으로도 물체가 평형점에서 벗어난다는 특징이 있습니다.

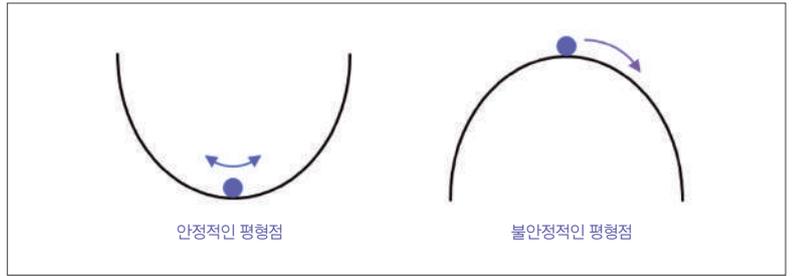


그림 5. 안정 평형점과 불안정 평형점

즉, 그림 4에서 L<sub>4</sub>나 L<sub>5</sub>와 같은 불안정 평형점에 해당하는 라그랑주점에서는 아주 작은 연료만으로도 우주선을 움직일 수 있죠. 결론적으로 WSB 전이 궤적은 지구와 달 사이의 불안정 평형 상태의 라그랑주점을 지나가기 때문에 이동 거리는 다른 경로에 비해 길지만, 연료를 크게 절감할 수 있습니다.

목표 천체에 도달한 우주 탐사선은 천체 표면을 탐사하면서 지질학적 특징 등을 분석하는데요. 이를 위해서 탐사선에는 시료 측정 장비가 존재합니다. 이제 시료 측정 장비의 원리를 이해하기 위해 대표적인 시료 측정 방법인 X선 광전자 분광법에 대해 자세히 알아보도록 하겠습니다.

## X선 광전자 분광법

X선 광전자 분광법(XPS)을 이해하기 위해서는 광전효과에 대해 알아야 합니다. 광전효과는 금속이 한계 진동수보다 큰 진동수를 가진 빛을 흡수했을 때 전자를 내보내는 현상입니다. 입사한 광자와 전자가 충돌하면 광자의 에너지가 전자로 전달됩니다. 전달된 에너지가 금속의 일함수보다 작다면 광전자가 방출되지 않지만, 일함수보다 크다면 광자의 에너지와 일함수의 차이만큼의 운동에너지를 가진 광전자가 방출됩니다. 금속의 종류에 따라 원자와 전자 사이의 고유한 결합에너지<sup>6</sup>인 일함수(W)가 존재하는데, 이때 결합에너지가 클수록 전자를 내보내는 데 더 많은 에너지가 필요하기에 더 높은 진동수의 광자가 필요합니다. 방출된 광전자의 운동에너지는 아래와 같은 식으로 나타낼 수 있습니다.

$$E_b = h\nu - E_k - W$$

$E_k$ : 방출된 광전자의 운동에너지,

$h\nu$ : 입사된 광자의 에너지,

$E_b$ : 전자의 결합에너지,  $W$ : 일함수

1. 물체의 질량이 총집결한 것으로 간주하는 이상적인 점
2. 차원을 지닌 변수나 수식을 차원이 없는 상태로 만드는 것
3. 속도를 의미하는 변수
4. 가속도를 의미하는 변수
5. 물체에 작용하는 알짜힘이 0인 지점
6. 여러 개의 구성입자가 결합하여 이루어진 체계에서 이들 결합을 끊어 구성입자로 분리시키는 데 필요한 에너지

XPS는 X선을 광원으로 사용하여 광전효과를 일으키고, 방출된 광전자의 운동에너지를 측정하여 위의 식에 근거해 결합에너지를 구합니다. 원자가 고유한 결합에너지 값을 가진다는 점을 이용하면 시료의 물리화학적 정보를 알아낼 수 있습니다. XPS의 결과로 그림 6과 같은 형태의 그래프를 얻을 수 있는데요. X축은 결합에너지, Y축은 강도를 의미하여 Y축의 값이 클수록 그 에너지에 해당하는 결합의 수가 많다는 것을 의미합니다.

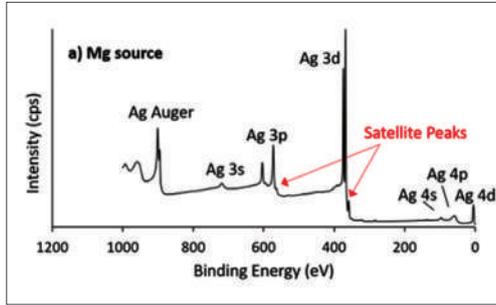


그림 6. XPS 방출 스펙트럼

조금 더 구체적으로 설명하기 위해 그림 7에 표현된 탄소와 산소로만 구성된 물질의 그래프를 예로 들어보겠습니다. 이때 탄소와 산소로 구성된 물질은 C-C, C-O, O-O 결합이 존재할 수 있다고 가정하겠습니다. 첫 번째 그래프에서는 2개의 피크가 존재하며 결합에너지의 크기를 통해 첫 번째 피크는 C-C 결합, 두 번째 피크는 O-O 결합임을 알 수 있습니다. 첫 번째 피크가 더 높다는 점을 통해 C-C 결합이 O-O 결합보다 많다는 정보도 얻을 수 있습니다. 두 번째 그래프도 2개의 피크가 존재하지만, 두 피크 사이에는 기준점과 다른 강도를 가지고 있습니다. 이를 통해 C-C와 O-O 결합에너지 중간 정도의 에너지를 가지는 결합, 즉 C-O 결합이 존재한다는 것을 알 수 있습니다.

7. 그래프상에서  $x = a$ 를 포함하는 어떤 열린구간의  $y$  값이  $a$ 에서의  $y$  값보다 작으면  $a$ 에서의  $y$  값이 피크가 될

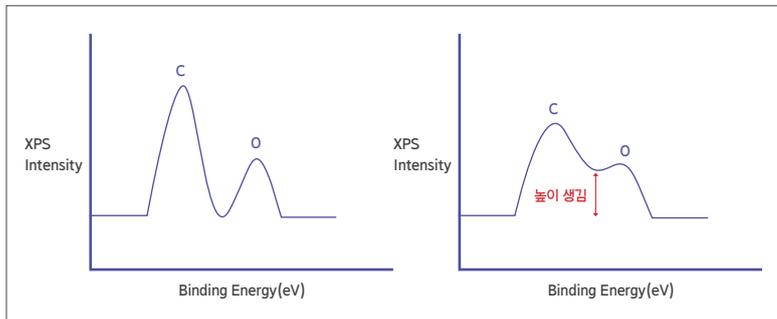


그림 7. 탄소, 산소로 구성된 물질의 XPS 방출 스펙트럼

지금까지 탐사선이 우주로 나아가는 궤적과 천체에 도착한 탐사선이 시료를 분석하는 원리에 대해 알아보았습니다. 이번 꼭지를 통해 우주 개발이 어떻게 이루어지는지 이해하는 데 도움이 되셨으면 좋겠습니다! 한편 이러한 우주 개발은 다양한 이점을 지니고 있는데요. 어떤 이점들이 있는지 마지막 꼭지에서 자세히 알아보도록 하겠습니다. ☺

#### [그림 출처]

- 그림 1, 2. 한국항공우주연구원. 「달로 향하는 네 가지 길」, 2020.6.12.  
<https://blog.naver.com/karipr/221998543357>
- 그림 3. Deep Campus. 「[CR3BP] 라그랑지 포인트 (Lagrange Point)」, 2021.4.10.  
<https://pasus.tistory.com/118>
- 그림 4. 천문우주지식정보. 「라그랑지 역학」, 2017.3.31.  
<https://astro.kasi.re.kr/learning/pageView/5233>
- 그림 5. Fred A. Stevie. 「Introduction to x-ray photoelectron spectroscopy」, 『Journal of Vacuum Science & Technology A』, 38/061204(2020). 2~4pg.
- 그림 6, 7. 「XPS(X-ray Photoelectron Spectroscopy)」, 2020.11.2.  
<https://blog.naver.com/ayg589/222132943754>

#### [참고 자료]

- 강우관. 「레이저 유도 플라즈마 분광분석법(LIBS)을 활용한 원소분석」, 『NEWS & INFORMATION FOR CHEMICAL ENGINEERS』 29권 4호. 2011. <https://www.cheric.org/PDF/NICE/NI29/NI29-4-0460.pdf>
- 이순보, 부진호. 「X-ray 광전자 분광법의 원리와 응용」, 『한국표면공학회』, 23권 3호(1990). 183~193pg
- 한국항공우주연구원. 「달로 향하는 네 가지 길」, 2020.6.12.  
<https://blog.naver.com/karipr/221998543357>
- Deep Campus. 「[CR3BP] 라그랑지 포인트 (Lagrange Point)」, 2021.4.10.  
<https://pasus.tistory.com/118>
- Fred A. Stevie. 「Introduction to x-ray photoelectron spectroscopy」, 『Journal of Vacuum Science & Technology A』, 38/061204(2020). 2~4pg.

# 우주 개발의 이점

꼭지 2에서는 달에서 어떻게 탐사선을 이용해 우주 개발을 진행하는지 알아보았습니다. 그렇다면 우주 개발을 통해 우리는 무엇을 얻을 수 있기에 우주 개발을 계속하는 걸까요? 이번 꼭지에서는 우주 개발이 우리에게 가져다 줄 다양한 이점에 대해 알아보겠습니다!

## 우주 개발의 이점: 에너지 자원 확보

우주 개발을 통해 얻을 수 있는 대표적인 이점은 바로 에너지 자원 확보입니다. 지구에 묻힌 자원은 무한하지 않기에 인류는 무한한 가능성이 있는 우주로 눈길을 돌렸습니다. 최근 가장 주목받는 우주자원은 바로 달에 있는 '헬륨-3'입니다.

헬륨-3는 핵융합 발전의 연료로 이용되는 물질인데요. 환경오염을 일으키지 않으면서 1g만으로 석탄 약 40t에 달하는 에너지를 만들어 낸다고 합니다. 그럼, 핵융합 발전에 대해서 먼저 알아보까요? 핵융합 발전은 핵융합 반응의 에너지를 이용해 전기를 생산합니다. 반응의 과정에서 발생하는 질량결손<sup>1</sup>이 에너지를 만들어 내는데요. 이때 방출되는 에너지의 양은  $E = \Delta mc^2$ 라는 질량-에너지 등가 관계식을 통해 계산할 수 있습니다.

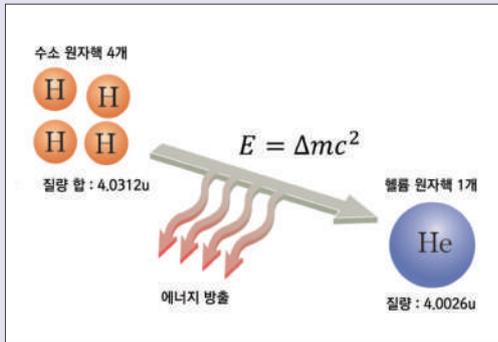


그림 1. 질량결손과 에너지 발생

원자핵 속의 핵력<sup>2</sup>을 끊기 위해 외부에서 가해야 하는 에너지를 결합에너지라고 합니다. 원자의 총결합에너지를 원자핵을 구성하고 있는 양성자와 중성자의 수를 합한 값으로 나누면 핵자<sup>3</sup>당 결합에너지를 구할 수 있습니다.

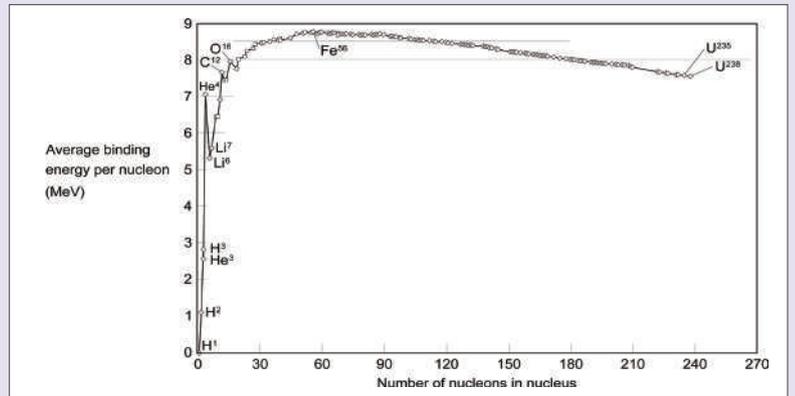


그림 2. 핵자당 결합에너지

핵자당 결합에너지가 클수록 강하게 결합되어 있어 원소가 안정적입니다. 그림 2를 보면 Fe가 핵자당 결합에너지가 가장 크다는 것을 알 수 있습니다. 원소는 안정적인 상태로 변화하려 하기 때문에 Fe보다 질량수가 작은 원소들은 서로 융합하려 하고, Fe보다 질량수가 큰 원소들은 분열하려 할 것입니다.

$$n\tau_E \geq \frac{12T}{E_{ch}\langle\sigma v\rangle}$$

$n$ : 반응에 이용되는 원자들의 밀도,  $\tau_E$ : 가동시간,  $v$ : 속도

$T$ : 절대온도,  $E_{ch}$ : 핵융합 생성물의 에너지,  $\sigma$ : 단면적

위 식으로 나타내어지는 로슨 조건은 핵융합 과정에서 발생하는 에너지가 손실되는 에너지보다 커야한다는 부등식에서 유도할 수 있습니다. 우변의  $\frac{12T}{E_{ch}\langle\sigma v\rangle}$ 는 온도에 따른 함수인데요. 반응에 이용되는 원자들의 밀도와 가동 시간<sup>4</sup>의 곱  $n\tau_E$ 이 우변의 온도에 따른 함수의 값보다 크면 핵융합 반응에서 발생하는 에너지가 손실되는 에너지보다 커지게 됩니다.

1. 핵분열, 핵융합 등 다양한 핵반응에서 반응 전과 반응 후의 원자 질량에 차이가 생기는 것
2. 두 개 이상의 핵자들 사이에서 작용하는 힘. 양성자와 중성자가 결합하여 원자핵을 형성할 수 있게 함
3. 핵을 이루는 기본 입자로 양성자와 중성자를 말함
4. 핵융합이 일어날 수 있는 고온, 고압의 상태를 지속할 수 있는 시간

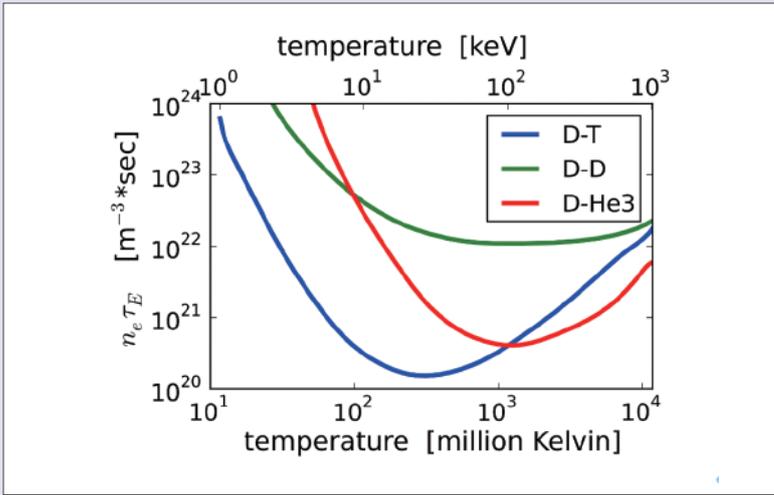
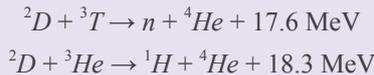


그림 3. 로슨 조건

- 5. 수소의 동위원소인 중수소와 삼중수소가 반응하여 헬륨이 되는 핵융합 반응
- 6. 주기적으로 크기와 방향이 변하는 전류

위 그래프는 로슨 조건을 만족하기 위해 필요한  $n\tau_E$ 의 최소값을 나타내는데요. 그래프를 통해서 볼 수 있듯이 비교적 낮은 온도에서는 D-T 반응<sup>5</sup>이 가장 달성하기 쉬워 핵융합의 연료로 주로 연구되고 있습니다. 그러나 D-T 반응은 연료인 삼중수소가 매우 희귀하고, 반응의 결과물로 중성자가 생성된다는 단점이 있습니다. 중성자가 생성되면 원자들이 중성자를 흡수해 방사성 동위원소가 되어 방사선이 발생합니다. 이러한 단점을 모두 해소한 연료가 바로 헬륨-3입니다. 헬륨-3과 중수소를 반응시키는 D-<sup>3</sup>He 반응은 로슨 조건을 만족하기도 쉬우며 중성자를 생성하지도 않습니다.



지구에는 헬륨-3가 매우 적지만 달에는 약 1백만 t가량이 침전되어 있다고 합니다. 우주 개발이 더 이루어져 달에서 헬륨-3를 채취할 수 있게 된다면 인류의 에너지 문제를 해결하는 데 매우 큰 도움이 될 수 있겠죠?

**우주 개발의 이정: 위성통신기술의 발전**

우주 개발은 다양한 첨단과학기술의 발전을 동반한다는 이점도 있습니다. 위성과 관련된 기술이 대표적인데요. 위성 기술에 대해 알아보기 전에 먼저 위성 관련 기술의 기초가 되는 무선통신의 기본 원리에 대해 알아보겠습니다.

무선통신은 전파를 통해 정보를 전달하는 것을 말합니

다. 크게 신호를 통해 전파를 발생시키는 송신과 전파를 신호로 변환하는 수신으로 구성되어 있습니다. 교류<sup>6</sup>를 발생시키는 전원을 도체 판에 연결하면 도체 판 사이 전기장의 세기가 변하게 되고, 그에 따라 자기장이 변하며 전파가 발생합니다. 이 전파는 전류의 세기와 주파수에 영향을 받습니다. 즉 전류의 세기와 주파수로 표현되는 전기적 신호를 전파의 형태로 변화시킬 수 있는 것이죠. 이것이 송신의 원리입니다. 이와 반대로, 전파가 도체 판으로 들어오게 되면 전파의 세기와 주파수에 따라 유도 전류가 발생하고 이를 신호로써 해석하는 것이 수신의 원리입니다.

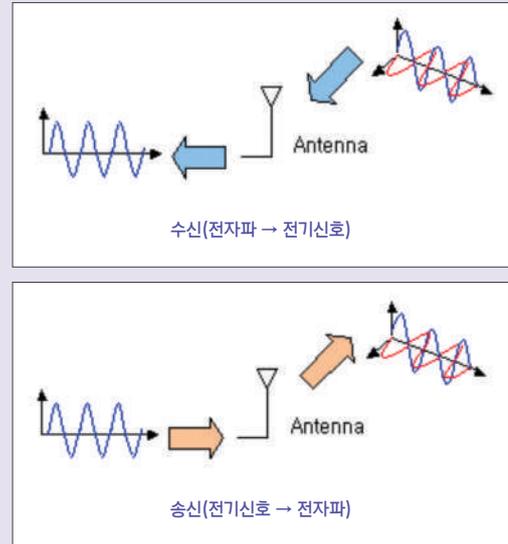


그림 4. 송신과 수신

우주 개발을 통해 많은 위성을 우주에 띄울 수 있었습니다. 대기권 밖으로 쏘아 올린 인공위성을 이용하여 무선 통신을 하는 것이 위성통신인데요. 최근에는 위성통신 기술의 많은 발전이 이루어졌습니다. 대표적인 것이 바로 저궤도 위성통신 시스템입니다.

저궤도 위성이란 300~1,500 km 고도에 있는 인공위성을 말합니다. 낮은 고도에 있기에 36,000 km 고도에 위치한 정지 궤도 위성에 비해 전파가 오가는 시간이 비교적 짧은데요. 그 때문에 전파가 주위의 영향을 적게 받아 정보 손실이 적고, 통신의 지연도 아주 적은 편입니다. 최근에는 저궤도 위성을 이용해 초고속 인터넷을 제공하는 기술이 주목받고 있습니다. 많은 수의 저궤도 위성을 배치해 통신이 잘되지 않는 지역에서도 빠르게 통신할 수 있도록 해주는 기술인데요.

저궤도 위성은 한 대당 지원하는 통신의 가용범위가 작기 때문에 이 기술을 위해서는 수많은 위성이 필요하나, 위성 발사에 드는 비용이 너무나도 높다는 문제점이 있었습니다. 그러나 최근 정부 외에도 다양한 민간 기업이 우주 위성 기술 개발에 참여함으로써 위성 발사 비용이 획기적으로 줄어들게 되어 저궤도 위성통신 시스템이 본격적으로 연구되기 시작했습니다.

수만 대의 저궤도 위성을 이용한 통신을 하기 위해 위성 간 통신을 뜻하는 ISL(Inter Satellite Links) 기술이 발전하고 있습니다. 기존의 위성 통신은 지상의 지구국과 위성 간의 통신만을 이용했지만, ISL 기술을 이용하면 지구국을 거치지 않고 위성 간에 직접 데이터를 주고받을 수 있기에 통신 지연시간을 줄일 수 있습니다.

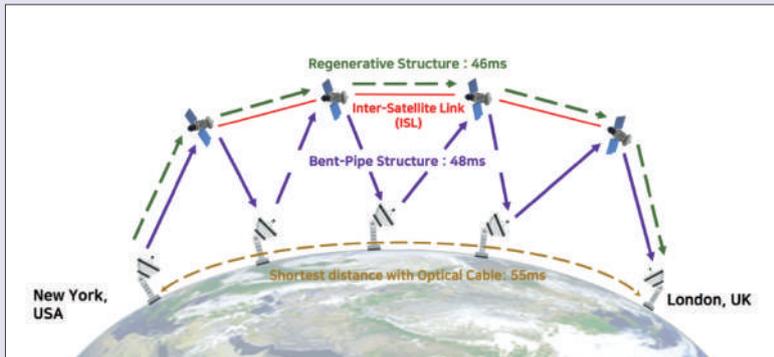


그림 5. Bent-Pipe Structure와 Regenerative Structure의 통신 지연시간

런던과 뉴욕 사이에서 통신한다고 가정했을 때, ISL을 활용하지 않는 구조(Bent-Pipe Structure)와 ISL을 활용하는 구조(Regenerative Structure)의 통신 지연시간을 비교해 보면 각각 48 ms, 46 ms로 통신 지연시간이 단축되는 것을 확인할 수 있습니다.

최근에는 ISL에 FSO(Free Space Optics) 통신 방식을 사용하는데요. FSO 통신 방식은 나노미터 정도의 짧은 파장의 레이저 빔을 통신 수단으로 활용하는 방식입니다. 레이저는 장애물 투과력이 약하다는 단점이 있는데요. 지구에서는 안개 등의 장애물이 존재하기에 잘 사용하지 못했으나 진공인 우주 환경에서는 이용할 수 있어 많은 연구가 이루어지고 있습니다. 우주 개발이 앞으로 계속해서 이루어진다면 저궤도 위성통신을 직접 이용해 볼 수 있겠죠?

이번 꼭지에서는 우주 개발을 통해 얻을 수 있는 다양한 이점 중 에너지 자원 확보와 위성통신 기술의 발전에 대해 자세히 알아보았습니다. 지금, 이 순간에도 인류는 다 함께 힘을 합쳐 우주 개발이라는 과제를 해결하며 다양한 발전을 이루내고 있습니다. 이번 기획 특집을 읽으며 우주 개발의 이유와 방법을 알게 되는 것뿐만 아니라, 이를 실현시키기 위한 과학 기술 발전의 필요성과 중요성에 대해서도 알게 되는 시간을 보냈으면 좋겠습니다.👉

[그림 출처]

- 그림 1. "V-2. 별의 에너지원 ① [원시별과 주계열성]." 「ROOPLEETEL-CHAN\_NET」, 2024년 3월 3일.  
<https://m.blog.naver.com/venomous1st/222260500529>.
- 그림 2. Nuclear binding energy." Wikipedia. Feb 27, 2024.  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear\\_binding\\_energy](https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_binding_energy).
- 그림 3. "Lawson\_criterion." Wikipedia. 27 Feb, 2024.  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Lawson\\_criterion](https://en.wikipedia.org/wiki/Lawson_criterion)
- 그림 4. "RF 회로 개념 잡기 - PART 10 ▶ Antenna (안테나)." 「RFDH」, 2024년 3월 3일.  
[http://www.rfdh.com/bas\\_rf/begin/antenna.php3](http://www.rfdh.com/bas_rf/begin/antenna.php3).
- 그림 5. 차홍설, 김종민, 임병주, 이주형, 고영채. "저궤도 군집 위성 간 통신 현황 및 주요 기술 동향." 「한국통신학회논문지」, 47, no.10 (2022) :1508-1518.

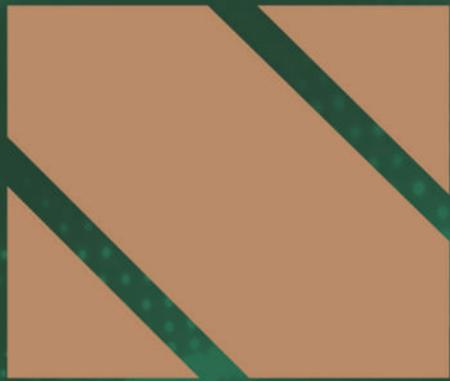
[참고 자료]

- 1. "핵융합이란?." 「한국핵융합에너지연구원」, 2024년 2월 27일.  
<https://www.kfe.re.kr/menu.es?mid=a10201010000>.
- 2. "Lawson\_criterion." Wikipedia. Feb 27, 2024. [https://en.wikipedia.org/wiki/Lawson\\_criterion](https://en.wikipedia.org/wiki/Lawson_criterion).
- 3. 차홍설, 김종민, 임병주, 이주형, 고영채. "저궤도 군집 위성 간 통신 현황 및 주요 기술 동향." 「한국통신학회논문지」, 47, no.10 (2022):1508-1518.
- 4. 엄만석, 장동필, 이병선. "저궤도 군집 통신위성 탑재체 기술 동향." 「전자통신동향분석」, 37, no.3 (2022):41-51.
- 5. 김지선. "지구저궤도(LEO) 활용동향 및 정책과제." 「국가우주정책연구원」, 2022년 11월 14일.  
<https://stepi.re.kr/site/sprec/report/View.do?jsessionid=C81E93A9AB31F407C4FB70C7D99DE6C7?reIdx=9&cateCont=S0501>.

# HELO

2023  
노벨 물리학상 이야기

## 아직 가보지 못한 자연의 영역 속으로



▲  
포스텍 물리학과 김동언 명예 교수  
막스플랑크 한국 포스텍 연구소 아토초 과학센터 센터장

# NOBEL

2023년 노벨 물리학상이 아토초 펄스의 발생 원리 규명과 그 구현에 기여한 과학자에게 주어졌다. 이 글을 통해서 아토초 과학 기술의 의미와 그 시대적 배경을 공유하고, 단일 아토초 펄스 발생 원리와 이를 활용한 거시세계에서 볼 수 없는 독특한 양자 현상인 전자 터널링의 실시간 관측을 설명하고자 한다. 독자가 새로운 과학의 패러다임이 열리고 있음을 공감할 수 있기를 바란다.

## 새로운 과학의 패러다임: 전자 조작의 시대

전자와 빛의 공생 관계는 생명 현상을 비롯한 삼라만상의 기본이 된다. 지구의 여러 생명 현상을 가능케 하는, 태양 에너지를 공급하는 빛은 전자의 미시적인 움직임으로 발생한다. 전자는 이런 빛을 흡수해 생물학적 에너지(광합성)나 주위를 감지할 수 있게 해 주는 생물학적 신호로 전환한다. 전자는 분자의 생성, 소멸, 변형 및 생물학적 기능에 영향을 미친다. 따라서 원자, 분자 내에서 전자와 관련된 양자 현상을 이해하고 조작하는 것은 매우 중요하다.

전자 운동의 실시간 조작 및 제어에 대한 관심은 오래전부터 있었으며, 1960년대 레이저가 개발되면서 실현의 실마리를 찾게 되었다. [그림 1]이 보여주듯이 1960년에 레이저가 개발되기 전까지는 나노초( $10^{-9}$ s)보다 더 짧은 순간에 진행되는 현상들을 제대로 관측하지 못했다. 레이저 개발과 더불어 광기술이 발전함에 따라 더 빠른 현상을 관측할 수 있게 되었고, 아토초( $10^{-18}$ s) 시간대에 일어나는 전자 극고속 현상의 실시간 관측은 수 주기 레이저(Few-Cycle Femtosecond Laser) 기술이 개발된 후인 2000년대에 들어서야 비로소 가능하게 되었다. 또한 수 주기 광파(Few-Cycle Light Wave)를 제어할 수 있게 됨에 따라, 전자에 가하는 힘을 아토초 시간대에서 조작할 수 있게 되었고 단일 아토초 펄스를 실현할 수 있게 되었다. 이러한 아토초 펄스 발생과 그 관련 물리 현상의 기본 이해를 제공한 P. Agostini, F Krausz, A. L'Huillier 교수에게 2023년 노벨 물리학상이 주어지게 되었다[그림 2].

이제 인류는 아토초 시간대 현상을 관측할 수 있는 새로운 눈을 갖게 되었다. 예를 들어 어떤 화학 반응은 쉽게 일어나는데, 다른 반응은 왜 그렇지 않은가에 대한 통찰력을 가질 수 있다. 이런 탐구로 인해 우리는 자연을 새로운 차원에서 이해하게 되고, 한 차원 높은 수준에서 자연을 통제하고 조작할 수 있게 될 것이다. 이는 자연 속에만 존재했던 빛과 전자의 공존이 기술로까지 확장되는 것으로, 결과적으로 아직 가보지 못한 자연의 영역 속으로의 새로운 과학 패러다임이 열리는 것이며, 이것이 그들에게 노벨상이 주어진 이유이다.

그림 1. 극고속 현상 측정 분해능 변천사.  
(출처: Rev. of Mod. Phys. 81, 163 (2009))

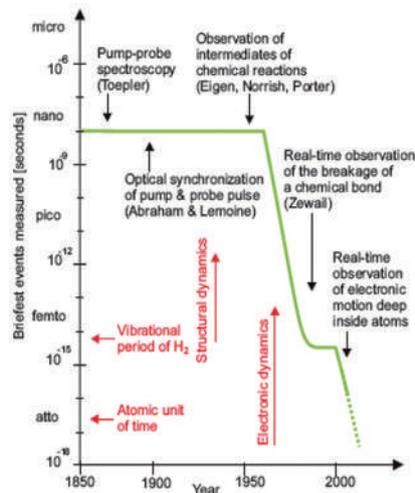


그림 2. 2023년 노벨 물리학상 수상자: 아토초 광 펄스 발생 원리 이해 및 구현  
왼쪽부터 Pierre Agostini, Ferenc Krausz, Anne L'Huillier(출처: 오하이오주립대, 막스플랑크 양자광학연구소, BBVA 재단)



## 어떻게 아토초 광펄스를 발생시키는가?

수 테라와트(TW), 수십 펨토초( $10^{-15}$ s) 레이저 펄스를 헬륨, 아르곤 등 불활성 기체에  $10^{14}$  W/cm<sup>2</sup> 수준으로 집속하면 심하게 변조된 극진공 자외선 스펙트럼(Extreme Ultraviolet Spectrum, EUV Spectrum)이 발생하게 되는데[그림 3a], 이를 이해하는 과정에서 아토초 펄스가 발생하는 것을 인지하게 되었다. 원자 내 전자는 쿨롱 퍼텐셜에 의해서 구속되어 있는데, 강력 레이저장이 걸리면 그 쿨롱 퍼텐셜이 왜곡되어 전자는 터널링을 통해서 원자를 빠져나와 자유 전자가 된다[그림 3b]. 이 자유 전자는 외부 레이저 전기장의 영향을 받아 특정 운동 에너지를 가지고 원래 원자와 충돌하며, 연속 스펙트럼의 빛을 방출한다. 이러한 과정이 레이저 전기장의 반 주기마다 발생하여[그림 3c], 레이저 전기장의 반 주기마다 아토초 EUV 펄스가 생성된다. 단일 아토초 펄스(Isolated Attosecond Pulse)를 발생시키기 위해서는 단일 주기 또는 수 주기 펨토초 펄스를 사용하며, 발생한 EUV 빛 중에서 파장이 가장 짧은 쪽에 형성되는 연속스펙트럼 부분의 빛만을 선택함으로써(Spectral Filtering) 단일 아토초 EUV 펄스를 얻게 된다.

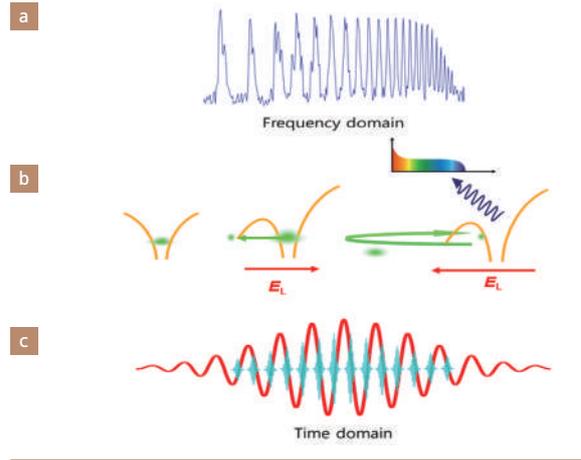


그림 3. (a) 고차조화파 스펙트럼 (b) 준 고전적 3단계 모델. 강력한 레이저 전기장에 의해 원자 쿨롱 전위가 왜곡되면 터널링 현상을 통해 전자가 이온화된다. 이 자유 전자는 레이저 전기장에 의하여 다시 원래 원자와 충돌하며 아토초 광을 발생한다. (c) 반 주기마다 충돌이 발생하여, 아토초 펄스 열(Train of Attosecond Pulses, 파란색)이 생성된다.

## 과학사 최초로 대표적인 양자 현상인 전자 터널링 실시간 관측

원자 세계에서의 전자 터널링은 거시적인 세계에서는 볼 수 없는 대표적인 양자 현상이다. 이 현상이 아토초 시간대에 진행되므로, 단일 아토초 광펄스를 이용해서 터널링을 실시간으로 관찰하는 데 성공하면서, 원자 내 전자 동역학 실시간 관측 및 후속적인 조작의 문이 본격적으로 열렸다.

레이저 전기장에 의해 원자의 쿨롱 전위가 왜곡되면 전자가 터널링을 통해 탈출할 수 있다[그림 4a]. 터널링 확률은 전기장에 역비례하여 지수 함수적으로 변하게 되어, 전기장이 센 경우에만 매우 짧은 시간 동안에 터널링이 일어나는 것으로 알려져 있다[그림 4b]. 아토초 EUV 펄스로 여기 상태의 이온을 생성하고, 이 상태의 전자가 또 다른 레이저 장에 의해서 터널링 이온화되는 상황을[그림 4c] 생각하면, 그림 4d처럼 단계적으로 진행되어 계단 모양을 나타낼 것이 기대된다. 이번 노벨상 수상자인 크라우츠 교수 그룹은 Ne 가스[그림 5a, 중성 Ne과 이온화된 Ne의 관련 에너지 준위]를 사용하여, 단일 아토초 EUV 펄스를 가지고 실험하여 이온화 과정이 계단식으로 진행된다는 것을 실시간으로 관찰하였다[그림 5b]. 이는 마치 미국 아폴로 우주선이 달 착륙에 성공하며 우주 탐험의 새로운 문을 연 것처럼, 인간이 가보지 못했던 양자 현상의 실시간 측정 및 조작의 문을 여는 큰 획을 그은 것이다.

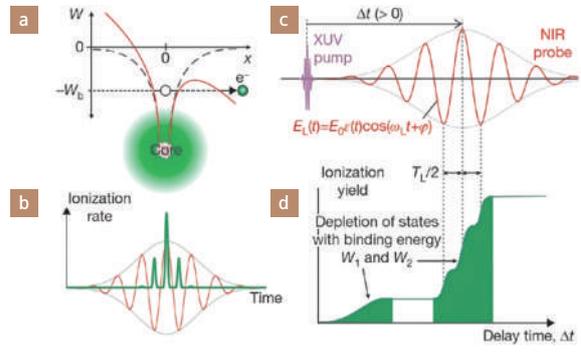


그림 4. 레이저 전기장 하에서 전자 터널링에 대한 양자 역학적 예측 모델. 출처: Nature 446, 627 (2007)

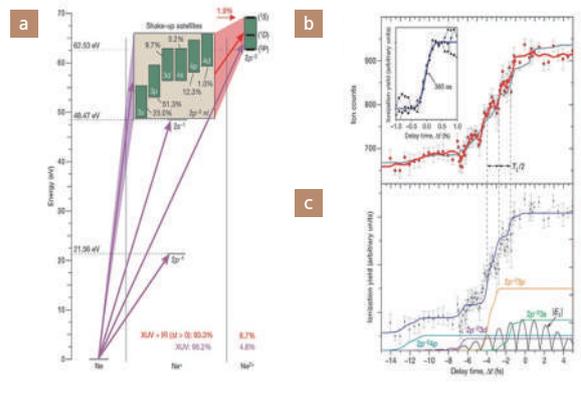


그림 5. (a) 90eV EUV 광자는 Ne<sup>2+</sup>보다 Ne<sup>1+</sup>에 대해 더 높은 확률로 단일 전자 또는 이중 전자 Ne를 생성한다. 후속 레이저 장은 이러한 여기 상태에서 전자를 이온화시키게 된다. (b) 이온화 양 실험 데이터 (붉은 빨간색 선) (c) 실험 조건에 대한 터널링 이온화의 Keldysh 이론 기반 예측. 출처: Nature 446, 627 (2007)

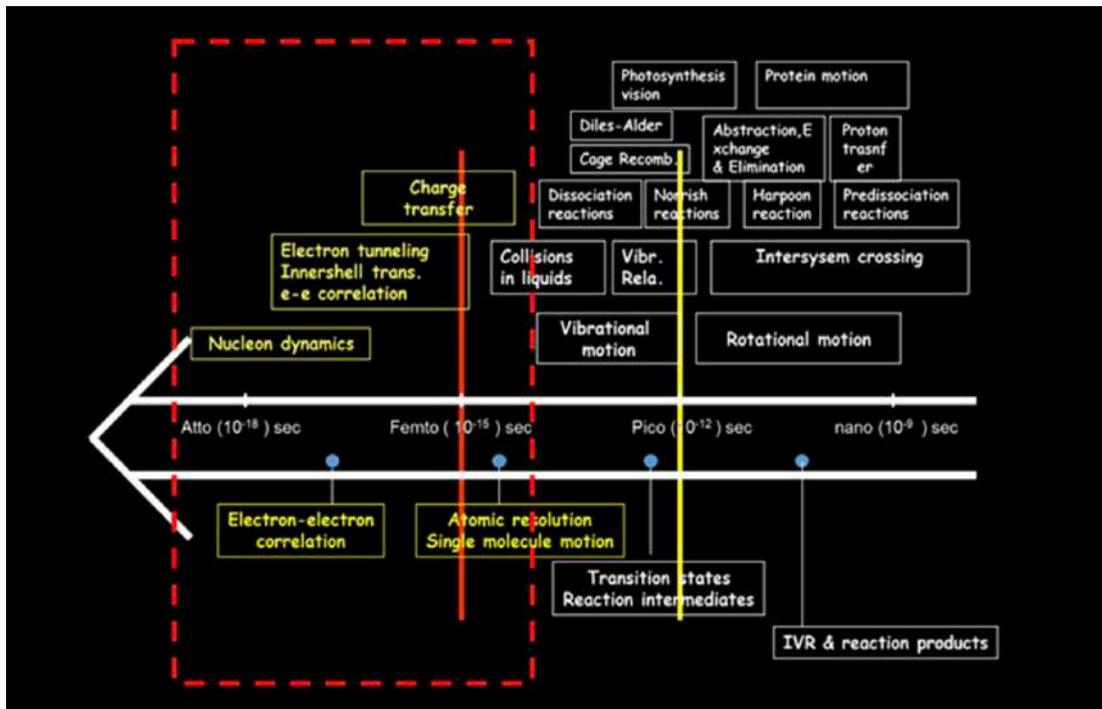


그림 6. 자연에서 일어나는 기본 현상의 시간대. 전자 간 상호 작용, 내각 전자 전이, 분자 내 전하 이동 등 수 펨토초, 아토초 시간대에서 일어나는 현상(적색 점선 영역)에 대한 실시간 측정 및 조작의 문이 열릴 것이다. 이 영역은 이전에는 동역학적으로 탐구되지 못하였다.

## 어디에 응용할 것인가 그리고 전망은?

[그림 6]은 자연에서 일어나는 기본 현상들이 어떤 시간대에서 일어나는지를 보여주고 있다. 단일 아토초 EUV 펄스를 활용함으로써 수 펨토초, 아토초 시간대에서 일어나는 전자 상호 작용, 내각 전자 전이, 분자 내 전하 이동 등을 비로소 관측할 수 있게 된 셈이다. 기존 펨토초 화학 반응 연구도 아토초 펄스의 도움으로 새로운 차원의 연구가 가능해진다. 현재 아토초 EUV 펄스의 광자 에너지는 100 eV 이하여서, 연구 대상이 제한적이다. 연구 대상의 확장을 위해서는 X선 영역에서의 아토초 펄스 발생이 필요하다. 이런 펄스는 아토초 시간 해상도와 원자 수준의 공간 해상도를 갖춘 도구로 사용될 수 있다.

백 번 듣는 것보다 한 번 보는 것이 더 낫다는 말처럼, 아토초 과학은 이전에 알지 못하던 새로운 현상을 보여주며 인류가 자연을 이해하는 폭을 넓혀줄 것이다. 이에 따라 향후 21세기에는 생명의 기본 구성 요소와 그 복합체를 포함하여 모든 문제의 내부 작동 원리에 대한 이해가 크게 증진하고, 이에 대한 발전이 이루어질 것으로 예상된다. 그리고 '측정할 수 없는 것'에 대한 정의가 다시 내려져야 할 것이다.☺

## 제4의 상 '네마틱' 최초 관측

고체, 액체, 기체 중 어디에도 포함되지 않은 상이 있다는 사실, 알고 계셨나요? 양자 상태에서 제4의 상 네마틱을 발견했다고 합니다! 네마틱이란 액체와 고체의 성질을 동시에 갖는 물질로, 액체와 같이 자유롭게 움직이는 동시에 고체처럼 분자의 배열이 규칙적입니다. 또한, 네마틱은 4개의 극을 가지고 있는데요. 자석이 2개의 극으로 자기 쌍극자를 형성하는 것과 유사하게, 사극자의 전하 분포를 관찰하면 전하의 부호가 서로 다른 네 전하가 형성하는 전기 퍼텐셜의 형태를 보입니다. 사극자의 전하 분포는 자석의 쌍극자처럼 자성을 띠고 있지는 않지만 전자 운동에 의한 양자 스핀이 특이하다는 특징이 있습

니다. 이에 따라 기존의 물질과 다른 물리적 성질을 가지고 있는데요. 고체와 액체의 성질을 모두 갖는 이유이기도 합니다. 이전부터 네마틱 상이 존재할 것이라고 예측되어 왔었지만, 관측장비의 한계로 실제로 검출해 내지 못하고 이론적으로만 존재했습니다. 이 문제를 해결하고자 포스텍 김범준 교수팀은 미국 아르곤연구소와 협업해 개발한 새로운 장비 'RIXS'와 포항가속기 연구소의 가속기 빔라인 등을 이용해 실험을 진행했는데요. 이 과정에서 고온 초전도체 후보물질로 꼽히는 이리듐 산화물( $Sr_2IrO_4$ )에 X선을 조사하며 양자 스핀을 관찰했습니다. 결과적으로 230~260K의 온도 범위에서 그림 1과 같이 이리듐 산화물의 스핀 네마틱 상을 관찰했습니다. 스핀 네마틱 상의 독특한 전하 분포는 강한 양자 얽힘<sup>2</sup>을 일으키는 다양한 스핀 액체 상태는 양자 얽힘이 강한 물질의 상태를

말하는데요. 양자 얽힘이 강한 물질은 양자컴퓨터 등 양자 정보 기술에의 활용성이 매우 높습니다. 스핀 액체로 만들어진 양자컴퓨터를 사용할 미래가 머지않은 것 같네요!

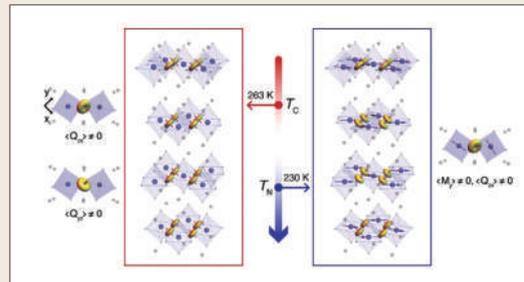
[각주]

1. 네마틱에서 스핀에 의한 분자 축의 배향 순서를 포함한 상태
2. 두 입자가 먼 거리에 있어도 계속 연결되어 한 입자에 행해지는 작용이 다른 입자에게도 즉각적으로 영향을 미치게 하는 물리적 현상

[참고 자료 & 그림 출처]

B. J. Kim, J. W. Kim, and H. Kim, "Quantum spin nematic phase in a square-lattice iridate," Nature, December 13, 2023

그림 1. 사극자 이리듐 산화물에서 사극자 질서



## 그래핀 반도체의 발견

여러분은 그래핀에 대해 알고 계시나요? 그래핀은 탄소 동소체<sup>3</sup> 중 하나로, 열전도도가 높고 전기 전도도는 낮아 꿈의 소재로 주목받고 있습니다. 하지만 자연 상태에서는 반도체의 필수적인 특성인 '밴드 갭(Band Gap)'<sup>4</sup>이 없어서 전자 재료로 활용하기 어려웠는데요. 밴드 갭이 없다는 것은 원자핵에 결합한 전자가 큰 에너지 소모 없이 자유 전자가 되고, 다시 돌아올 수 있다는 것을 의미합니다. 이는 전자의 흐름을 통제할 수 없게 하고 결국 전자 재료로 사용할 수 없는 이유가 됩니다. 그런데, 최근 미국 조지아공대(Georgia Tech) 물리학과 월터 드 히어(Walt A. de Heer) 교수팀은 과학 저널 '네이처'(Nature)에서 탄화규소(Silicon Carbide) 웨이퍼에 성장시킨 에피택셜 그래핀(Epitaxial Graphene)<sup>5</sup>으로 기능성 반도체를 만드는 데

성공했다고 합니다. 연구팀은 탄화규소 웨이퍼 표면에 그래핀을 성장시키는 방법을 사용하여 밴드 갭 문제를 해결했습니다. 기존에 반도체로 사용되던 탄화규소는 그래핀보다는 전기전도도가 낮지만 밴드 갭이 존재하는 물질인데요. 탄화규소를 그래핀에 결합해 그래핀이 밴드 갭을 가지게 하였습니다. 해당 과정은 그림 2에 나타나 있는데요. 전자기장을 이용해 가열된 탄소 기체를 표면에 부착시켜 에피택셜 그래핀을 생성 시킵니다. 에피택셜 그래핀 반도체는 기존의 실리콘 반도체보다 전자 이동성이 10배 이상 높았습니다. 이는 전자가 매우 낮은 저항으로 이동해 반도체의 작동속도를 더 빠르게 할 수 있다는 것을 의미합니다. 연구팀은 그래핀 반도체가 점점 더 빨라지는 컴퓨팅 속도와 전자기기의 극소형화로 인해 한계에 직면한 실리콘 반도체를 대체할 수 있는 대안이 될 것으로 기대한다고 전했습니다. 10년 뒤 쯤엔 그래핀 반도체로 이루어진 전자

기기를 사용하고 있을까요?

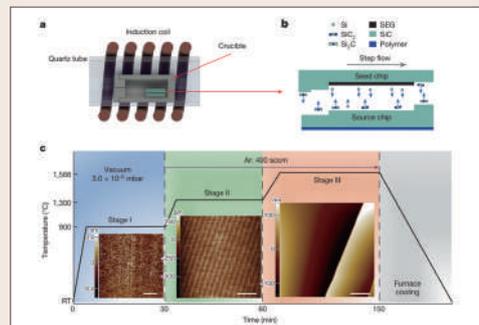
[각주]

3. 한 종류의 원자만으로 이루어졌으나 그 원자들의 배열순서나 배열구조가 달라 성질이 다른 물질
4. 띠 이론에서 원자가 띠와 띠 사이 틈을 말할
5. 다른 물질의 표면에 그래핀 결정을 갖도록 성장시킨 것

[그림 출처]

Georgia Tech, "Researchers Create First Functional Semiconductor Made from Graphene," Georgia Tech Research Horizons (blog), March 5, 2024, Walt A. de Heer et al. "Ultrahigh-mobility semiconducting epitaxial graphene on silicon carbide," Nature, 2024

그림 2. 특수한 용광로를 이용한 에피택셜 그래핀 제작



## 공포 기억을 조절하는 신경 세포 확인

오싹한 공포영화를 보고 무서운 장면이 계속 떠올라 잠을 설쳐본 적이 있으신가요? 심한 공포에 대한 기억은 트라우마로 이어지기도 하는데요. 최근 공포에 대한 기억을 조절하는 메커니즘이 규명되었다고 합니다! 기존의 공포 기억 관련 연구는 신경세포와 시냅스<sup>6</sup> 수준에서 이루어졌습니다. 인접 신경세포 간 시냅스는 너무 좁아 메커니즘을 관찰하는 데 기술적으로 한계가 있어, 대부분의 연구는 비교적 시냅스가 넓은 흥분성 신경세포<sup>7</sup>와 관련된 연결만을 다루었습니다. 그 결과 전체 메커니즘을 파악하는 데 한계가 있었죠. 하지만 최근 기초과학연구원 강봉균 연구팀은 그림 3처럼 뇌의 한 영역 내에 있는 인접 신경세포들 사이의 시냅스를 표지할 수 있는

‘LCD-eGRASP’ 기술을 개발하였습니다. 이 기술을 통해 시냅스의 경계를 더 명확하게 구분하여 신경세포의 활성화를 잘 파악할 수 있게 되었습니다. 이를 바탕으로 기저외측편도체<sup>8</sup>의 신경세포가 기억을 조절하는 메커니즘을 밝혀냈습니다. 그 내용은 신경세포 중 소마토스타틴 인터뉴런<sup>9</sup>의 일부가 공포 기억이 형성될 때 특이하게 활성화되며, 이때 활성화된 뉴런이 활성화되지 않은 것에 비해 더 높은 신경 흥분성을 보인다는 것입니다. 인터뉴런의 신경 흥분성이 높아지면 더 많은 억제 호르몬을 분비하여 공포 상황을 억제할 수 있는 것이죠! 그리고 공포 상황에서 벗어나면 활성화되었던 소마토스타틴 인터뉴런의 흥분성이 낮아지며 공포 기억이 저장되었다고 합니다. 이 기술을 통해 뉴런의 흥분성을 조절하는 기술을 발전시켜 외상 후 스트레스 장애와 같은 질병의 해결책으로써의 새로운 가능성이 제기되었습니다. 얼른 기술이 개발되어 공포영화를 보고도 꿀잠을 잘 수 있으면 좋겠네요!

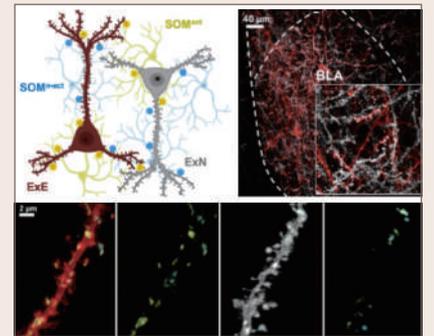
[각주]

- 뉴런이라는 신경세포의 부분 중 자극을 세포 밖으로 전도시키는 돌기인 축삭의 끝부분과 다음 뉴런 사이의 틈으로, 신경전달물질이 오감
- 뇌와 척수 내에서 신호를 전달하는 데 중요한 역할을 하는 중추신경계(CNS)의 신경 세포 유형
- 감정을 관장하는 아몬드 모양의 뇌부위의 하측 바깥 부분으로 공포와 관련된 기억과 학습을 관장함
- 억제 호르몬을 방출하는 중추신경계에서 발견되는 특정 유형의 억제 뉴런. 공포기억을 억제하는 호르몬을 방출함

[그림 출처]

TaeHyun Kim, Dong Il Choi, Ja Eun Choi et al, "Activated somatostatin interneurons orchestrate memory microcircuits," Neuron. 2024 Jan 17.

그림 3. LCD-eGRASP 기술을 이용한 인접 뉴런 간 시냅스 표지



## 단파 적외선 신호 분석 가능한 유기 광소자 라이다 센서 개발

최근 주목받고 있는 센서인 라이다(LiDAR)에 대해서 알고 계시나요? 라이다는 빛을 사용하여 장애물과의 거리와 위치를 파악하는 등 자율주행 자동차의 눈 역할을 하는 센서입니다. 이때 라이다는 적외선을 사용하는데요. 긴 파장을 지닌 적외선은 에너지가 작아 수증기와 먼지에 의한 산란 및 흡수의 영향을 덜 받는 성질을 갖기 때문입니다. 기존 적외선 센서는 무기 광소자<sup>10</sup>(Inorganic Photodiode)를 주로 사용했으나 재료의 가격과 제조 공정의 복잡성으로 가격 실용성이 떨어졌습니다. 그 대체제로 유기 광소자(Organic Photodiode)를 이용하려 했으나 비교적 낮은 전하 전도도 때문에 어려움을

겪었습니다. 포스텍 정대성 교수팀은 문제 해결을 위해 도핑(Doping)<sup>11</sup> 과정을 추가했습니다. 연구팀은 먼저 도핑을 통해 묶인 폴라론<sup>12</sup>과 자유로운 폴라론을 만들었습니다. 그림 4의 i에서 볼 수 있듯이, 빛에너지를 감지하면 폴라론이 유기 광소자 분자에 결합하면서 분자 간 상호작용이 늘어나 이동성이 감소하고, 전기 전도도가 낮아집니다. 반면, 그림 4의 iii처럼 폴라론이 자유로우면 폴라론과 유기 광소자 분자 모두 전기 전도에 기여할 수 있으므로 전기 전도도가 높아집니다. 연구팀은 이 두 폴라론 상태 간 전환을 원활히 하도록 분자의 구조와 에너지 준위를 통제하여 최종적으로 기존 적외선 센서 대비 분석 성능이 100배 향상된 유기 광소자 적외선 센서를 개발했습니다. 이 기술이 라이다에 적용되면 더 싸고 안전한 자율주행 자동차를 탈 수 있겠어요! 🚗

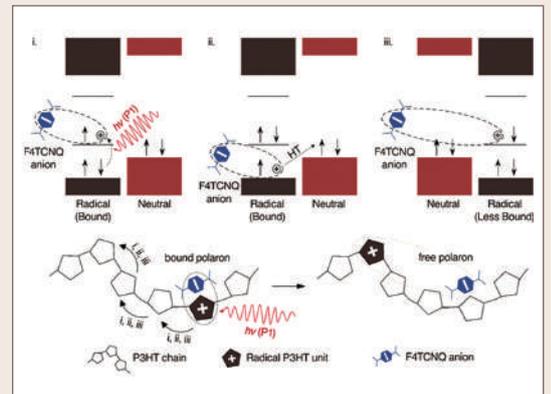
[각주]

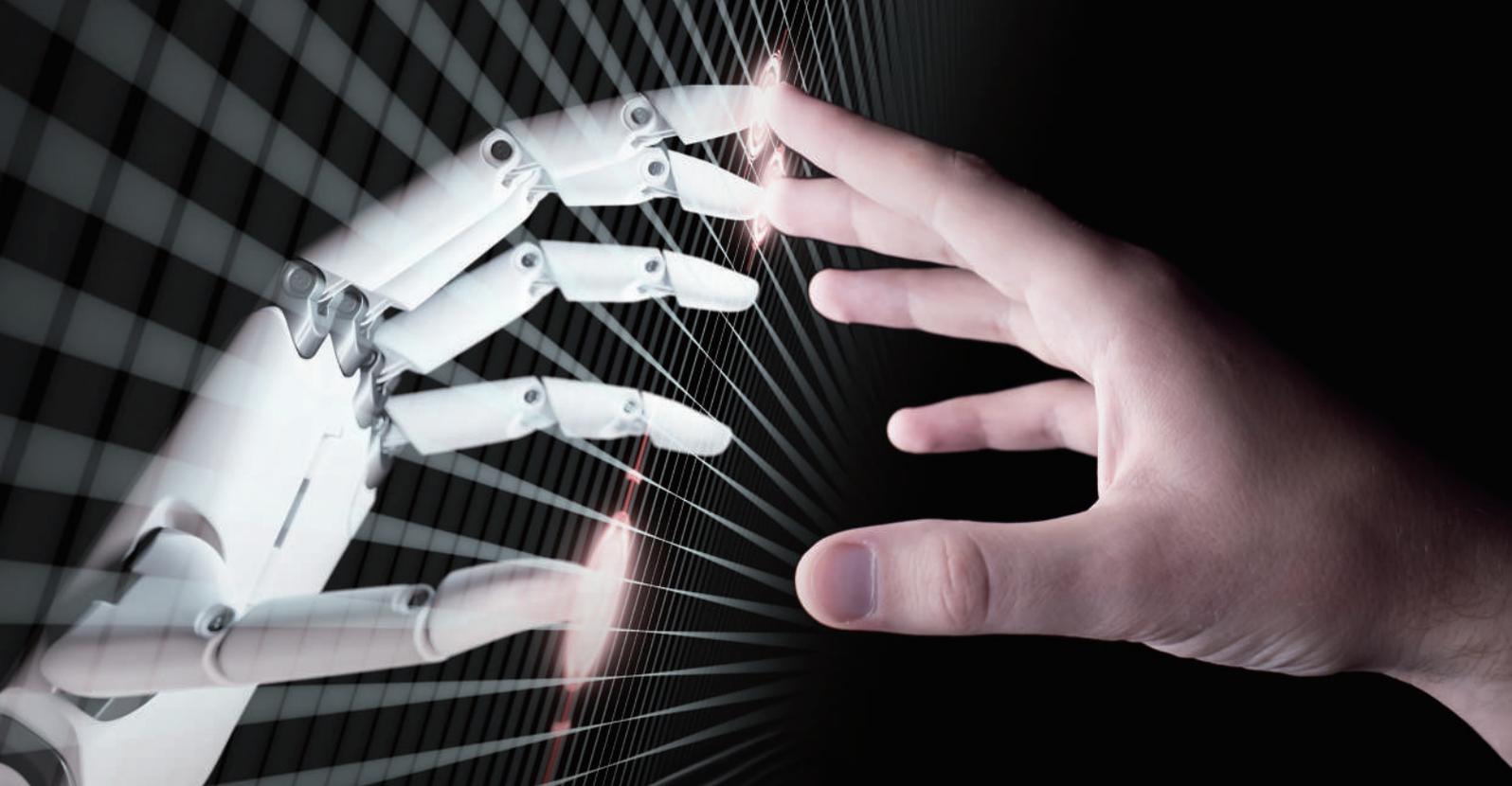
- 빛 에너지를 전기 에너지로 변환하는 기능을 가지는 장치
- 광소자의 전기적 특성을 강화하기 위해 다른 원자나 분자를 넣는 방식
- 고체 상태에서 전자와 격자진동 간 상호작용으로 나타나는 새로운 전자

[그림 출처]

Dae Sung Chung, Sangjun Lee, Juhyeok Lee et al, "Shortwave Infrared Organic Photodiodes Realized by Polaron Engineering," Advanced Materials, 28 November 2023

그림 4. 단파 적외선에 의한 묶인 폴라론에서 자유 폴라론으로의 전환





# Welcome to MARCH Lab!

MARCH Lab | Robotics & Bionics

의료보조로봇 및 햅틱스 연구실

글 포스텍 기계공학과 김기훈 교수

MARCH 연구실에서는 인간의 능력을 향상하고 확장할 수 있는 직관적이고 몰입 가능한 인간-로봇 인터페이스에 관한 연구를 수행하고 있습니다. 우리 연구실은 MARCH 로보틱스 그룹과 MARCH 바이오닉스 그룹 두 부문으로 나누어져 있으며, 사람의 의도를 예측해 로봇을 제어하고, 로봇이 감지하는 감각을 사람에게 직관적으로 전달하는 MARCH Surrogate(대리인 로봇) 개발을 목표로 다양한 첨단 기술을 융합하고 있습니다. 로보틱스 그룹은 인간의 안전을 보장하기 어려운 극한 환경에서 작업을 수행할 수 있는 자율 로봇의 물체 조작, 작업 계획, 메커니즘 설계, 제어, 인공지능 등의 복잡한 문제를 해결하는 데 중점을 두고 있습니다. 한편, 바이오닉스 그룹은 근전도를 기반으로 한 비지도 학습 방식의 동작 의도 예측, 생체 신호 기반 제스처 인식 기술, 절단 환자를 위한 로봇 의수 개발, 침습형 신경 인터페이스를 통한 동작 및 촉각의 신경 신호 분석 및 복원 기술을 개발합니다. 지금부터 우리 연구실에서 수행하고 있는 최신 연구 주제를 소개해 드리겠습니다.

로보틱스 그룹에서는 사람이 직접 수행하기 어렵거나 위험한 일을 로봇이 대신 수행할 수 있도록 하는 연구를 진행 중입니다. 병원 환경에서 사람 대신 접촉식 방역 작업을 수행할 수 있는 자동화 모바일 매니플레이터 로봇 개발이 그 예입니다. 이 작업은 인식, 계획, 로봇 제어 등의 기술 연구를 필요로 합니다.

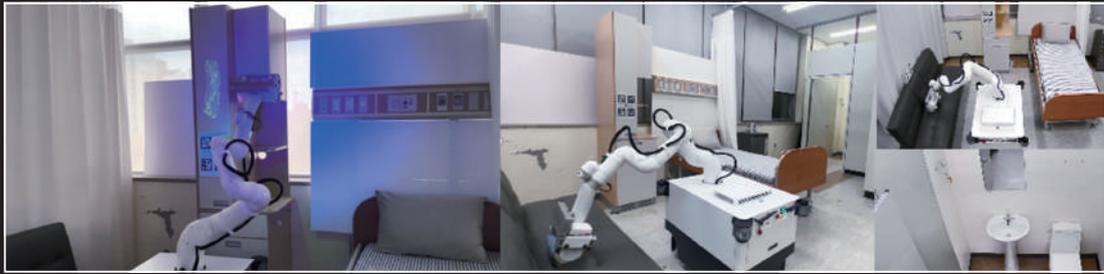


그림 1. 방역 자동화 로봇

물체를 잡기 위한 다양한 전략 중, 크거나 얇은 물체를 밀어서 잡기 쉬운 위치로 조작한 뒤 로봇이 그 물체를 잡는 밀기 작업을 수행할 수 있도록 하는 자동화 프레임워크에 대한 연구도 진행 중입니다.

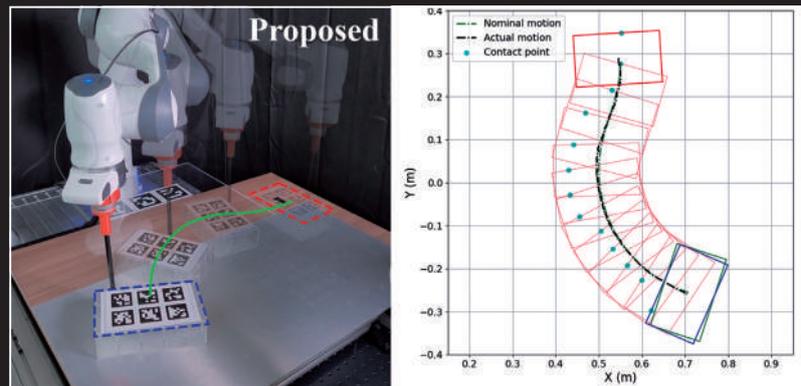


그림 2. 물체 밀기 조작 자동화 로봇

또 다른 연구 사례로는 사람이 수행해야 하는 위험 작업을 로봇으로 안전하게 수행할 수 있도록 하는 로봇 원격 작업 시스템 개발이 있습니다. 휴대폰에서 버튼을 누를 때 발생하는 진동과 같이 촉감을 다양한 형태로 전달할 수 있는 햅틱 피드백과 가상 현실 기반 시뮬레이션 기술을 통합하여 보다 더 직관적이고 효율적인 로봇 작업을 가능하게 합니다.

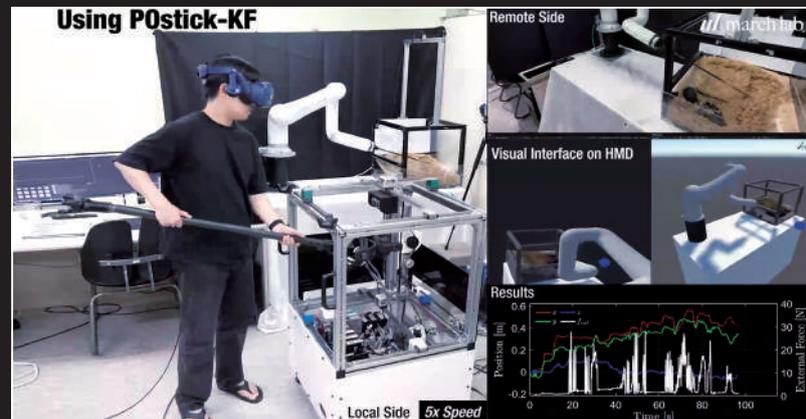


그림 3. 위험 작업의  
로봇 원격 작업 시스템

목표 작업을 수행하기 위한 로봇 제어 방법은 인간이 로봇 제어에 개입하는 정도에 따라 로봇 자동화와 로봇 원격 제어로 구분할 수 있습니다. 우리 연구실에서는 로봇 원격 제어와 로봇 자동화 간의 간격을 줄이기 위한 연구도 진행 중입니다. 이는 사람이 로봇에게 작업을 직관적으로 가르치고, 로봇이 스스로 학습하여 더 복잡한 작업까지 수행할 수 있도록 하는 것을 목표로 합니다.

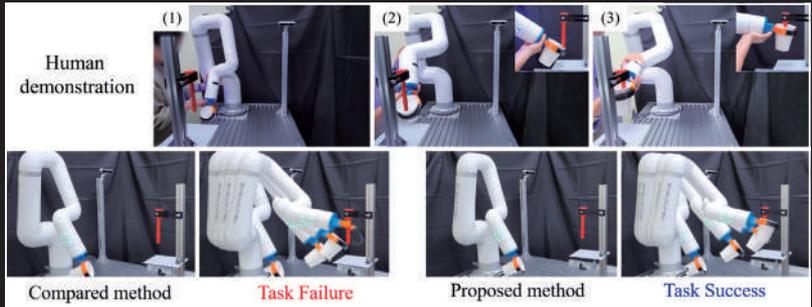


그림 4. 사람에 의해 수행된 작업 기반으로 학습 가능한 자동화 로봇

또한 세포와 같은 생체 조직을 조작하기 위한 로봇 기술도 연구하고 있습니다. 사람이 손가락을 이용하여 물체를 정교하게 다루듯, 로봇도 물체를 조작하기 위한 장치(그리퍼)가 필요합니다. 예를 들어, 3D 바이오 프린팅된 인공 장기 모듈을 적층하여 큰 모듈로 만드는 과정에서, 모듈을 파손 없이 안전하고 정밀하게 조작할 수 있는 비접촉 그리퍼의 개발에 대한 연구도 진행하고 있습니다.

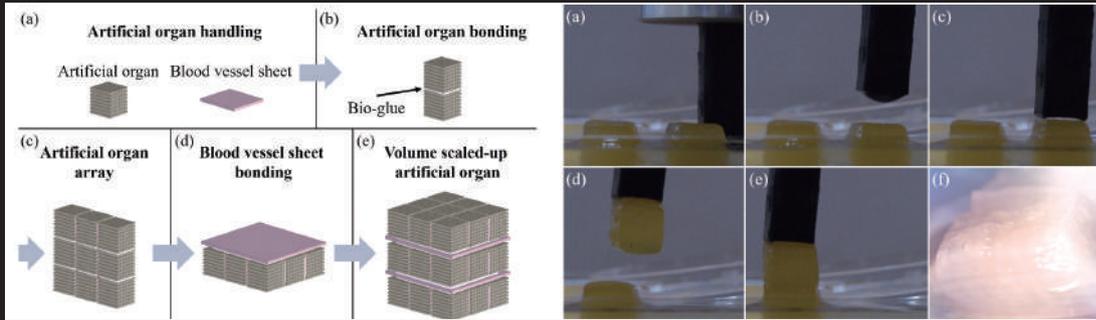


그림 5. 수중에서 인공 장기 모듈을 조작할 수 있는 비접촉식 그리퍼

바이오닉스 그룹에서는 절단 환자가 더 신속하고 직관적으로 의수를 사용할 수 있도록 표면 근전도를 기반으로 한 비지도 방식의 동작 의도 예측 및 제스처 인식 기술에 관한 연구를 진행 중입니다. 근전도는 근육이 수축할 때 발생하는 생체 신호의 일종으로 인체 동작에 대한 정보를 담고 있으며, 이 신호를 측정하기 위한 신뢰성 있는 근전도 센서 개발에 대한 연구도 진행되고 있습니다.

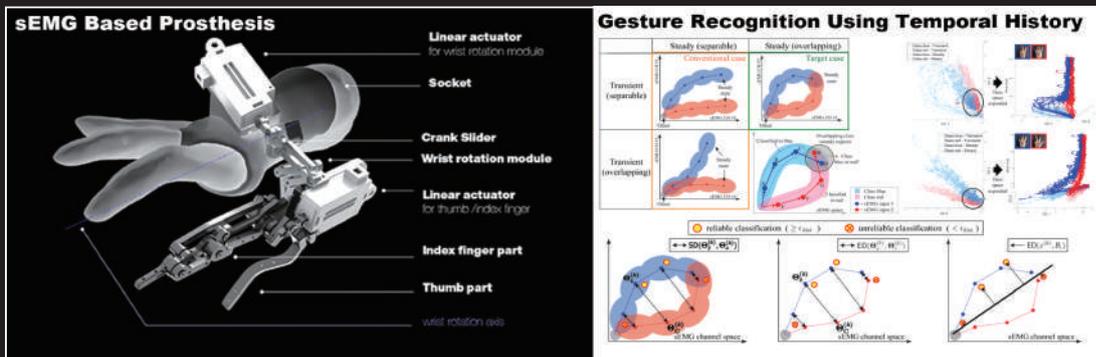


그림 6. 절단 환자를 위한 표면 근전도 기반 의수

더 나아가, 절단 환자의 손실된 촉각을 복원하여 더 나은 의수 사용 경험을 제공하기 위한 침습형 신경 인터페이스 개발에도 주력하고 있습니다. 이를 통해 신경 신호를 취득할 수 있는 시스템을 구축하고, 취득한 신호를 통해 동작 및 촉감을 복원하는 연구를 수행하고 있습니다.

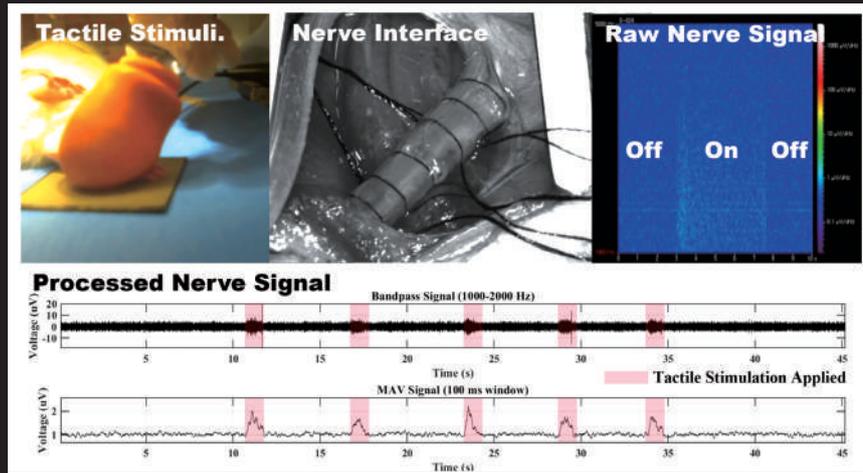


그림 7. 촉감 복원을 위한 침습형 신경 인터페이스

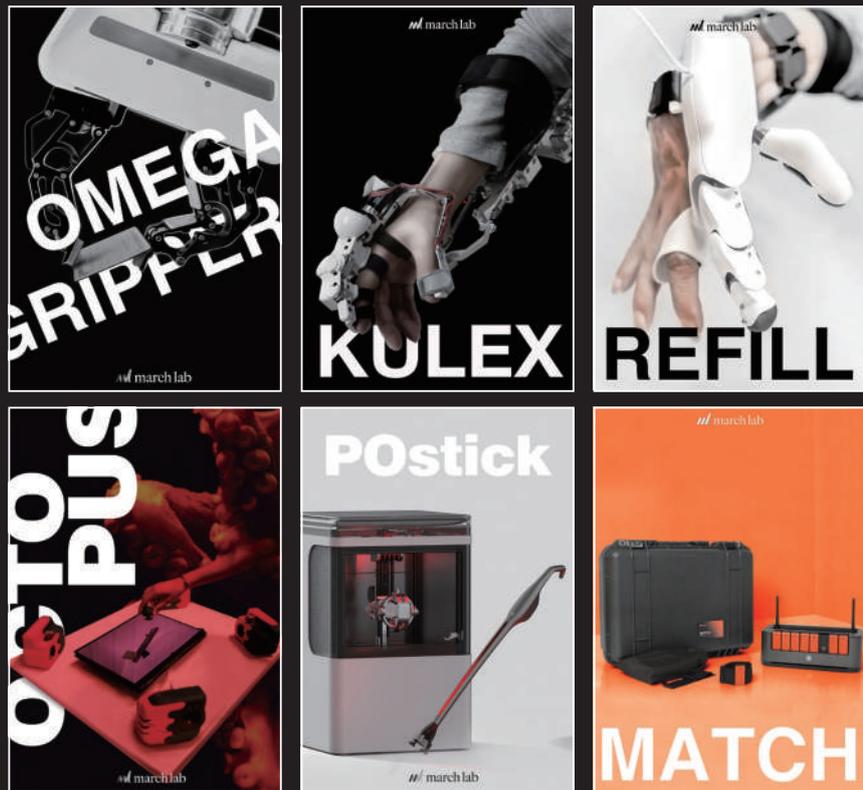


그림 8. 연구실에서 개발된 주요 제품들

우리 연구실은 로봇 기술의 기초부터 상용화에 이르기까지 광범위한 연구를 진행하며, 이 과정에서 로봇 디자인과 제품 개발에 중점을 두고 있습니다. 그림 8은 우리 연구실에서 개발한 주요 제품들입니다.

동영상과 논문 등 보다 자세한 내용은 연구실 홈페이지(<http://march.postech.ac.kr>)에 게시되어 있습니다.



포스텍 노벨위크 파견단

# VLOG



포스텍 노벨위크 파견단은  
5월 3일 공개합니다!



CES VLOG는  
5월 3일 공개합니다!

전국의 포스테기안 구독자 여러분, 안녕하세요!

포스텍은 학생들에게 학업적인 지원뿐만 아니라 직접 넓은 세계를 경험할 기회도 제공해 줍니다!

특히 2023년부터는 CES와 Nobel Week 중 학생들이 각자 가고 싶은 곳을 선택하여 세계적인 행사에 참여할 기회를 제공하고 있습니다. CES(Consumer Electronics Show)는 인텔, 마이크로소프트 등 최고의 IT 기업들이 참여하는 세계 최대 규모의 기술 박람회입니다.

또한, Nobel Week는 매년 노벨 재단에서 노벨상 시상식과 연계해서 시행하는 세계적인 행사입니다. 포스텍 Nobel Week 파견단은 이 행사 참여와 더불어, 인근 자매대학 및 연구기관 방문도 했다고 합니다. 이번 호에는 특별히 이 행사들에 다녀온 알리미 선배님들께서 현장의 생생함을 담은 VLOG를 준비해 주셨다고 합니다! 그럼, 같이 그 현장 속으로 떠나볼까요? 🎧

# CES & NOBEL WEEK

HELLO!

# ALIMI ON-AIR



## NEW RC: 포스텍 알리미의 기숙사 소개 V-log

파릇파릇한 봄날이 지나 어느덧 싱그러움 여름이 다가오고 있습니다. 지금쯤이면 다들 새 학년에 적응을 완료하고 남은 학기를 활기차게 보내고 있을 것 같은데요. 올해 여러분들의 학교생활에 새롭게 생겨난 변화들이 있을까요?

포스텍에는 재학생들이 매우 기뻐할 변화가 찾아왔습니다. 바로 전면 리뉴얼된 포스텍 기숙사인데요! RC는 Residential College의 약자로서, 포스텍 1학년 전원과 2학년 일부가 거주하는 기숙사입니다. 포스텍 재학생들에게 RC는 주거 공간의 의미를 넘어 배움과 다양한 취미를 위한 공간으로도 활용되는데요. 리뉴얼된 RC에는 학생들이 체력을 기를 수 있는 헬스장과, 공부 스트레스를 한껏 날려줄 노래방, 그리고 영화를 즐길 수 있는 시네마실까지 있다고 합니다! 포스텍 재학생들은 새롭게 탄생한 RC 내 공간들에서 어떠한 다양한 취미 생활을 즐길까요? 함께 알아보시다! 🍷



알리미의 기숙사 소개가  
궁금하다면?  
6월 7일 공개합니다!



어려운 수학 문제에서 실마리를 찾고, 물리학 법칙으로 자연 현상을 설명하는 것에 흥분했던 제가 포스텍에 처음 입학한 순간의 설렘이 아직도 기억납니다. 저는 '인류의 행복에 기여하고 싶다'라는 꿈을 이루기 위해 포스텍에 진학하였습니다. 단순히 인간이 편리해지는 기술을 개발하고 싶은 게 아닌, 인간이 행복하지 않은 이유에 대해 탐구하고 그것들을 보다 근본적으로 해결해 줄 수 있는 기술을 만들어 나가고 싶었습니다. 한편으로 저는 음악을 정말 좋아하고, 음악의 힘을 믿는 사람이었습니다. 특히 중학교 때 처음 배운 실용 음악 피아노<sup>1</sup> 덕분에 음악에 큰 흥미를 느끼기 시작했는데, 실용 음악은 제게 악보에 적히지 않은 음들도 상상해서 표현할 수 있게 해주었습니다. 이를 통해 저는 아무런 악보 없이도 즉흥 연주를 할 수 있게 되었습니다. 공부하다가 집중이 안 될 때 혼자 음악실에 가서 그 순간의 기분을 즉흥 연주로 표현하곤 했습니다. 음악에는 저의 마음을 치유하는 힘이 있었습니다.

1. 또는 재즈피아노, 오선지 없이 코드(chord)를 보고 연주하는 방법을 배움
2. 현재는 버스킹 동아리로 분류되어 있음



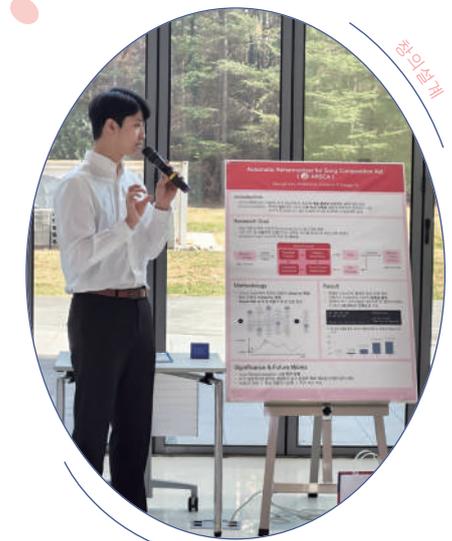
버스킹

밴드공연



한때 음악 쪽 진로를 고민하기도 하였으나, '너는 공부도 잘하니까 음악은 취미로 하면 된다'라는 부모님의 말씀에 설득되어 일찍이 음악에 대한 꿈을 내려놓은 채로 스무 살의 공대생이 되었습니다. 새내기였던 저는 당시 작곡 동아리였던 'GT LOVE'<sup>2</sup>에 가입하여 음악에 대한 열정을 이어 나가게 되었습니다. 400곡이 넘는 수많은 무대에 참여했고, 후배들에게 악기를 가르치며 연주의 즐거움을 알려주기도 했습니다. 음악을 좋아하는 이들과 오랜 시간을 보내면서 음악은 공대생인 제 삶에 점점 깊게 스며들기 시작했습니다. 동아리 활동 외에도 저는 개인 유튜브 채널을 개설해 연주한 음악 영상을 올리고, 교내 버스킹도 십여 차례 기획하였습니다. '공대는 공부만 하는 재미없는 학교'라는 이미지를 깨고 싶었고, 공부로 지쳐 있을 사람들에게 지나가다가 마주칠 수 있는 소소한 행복을 주고 싶었습니다. 버스킹을 수차례 진행하는 것이 쉽지만은 않았습니니다. 버스킹의 장소 선정이나 준비 부족 등의 문제로 누군가에게 소음을 주기도 했습니다. 그럼에도 음악 활동을 계속해 나갈 수 있었던 건 매 버스킹과 공연마다 노래를 듣는 관객의 행복함 미소들이 있었고, 음악으로 인해 치유를 받고 즐거움을 얻었다는 관객들의 감사한 후기가 있었던 덕분입니다.

이런 경험을 통해 저는 음악이 인간을 행복하게 해줄 수 있는 강력한 도구가 될 것이라 굳게 믿게 되었습니다. 음악과 공학을 결합하여 사람들을 더 행복하게 해줄 수 있는 해결책을 제시하고자 했고, 학과 전공 수업인 '창의설계'에서 '사람과 함께 합주하는 AI', '작곡가의 화성 편곡을 도와주는 AI'와 같은 주제로 연구를 진행하였습니다. 음악과 IT 기술에 관해 공부하는 일은 흥미로웠고, 오디오 정보를 정보화, 수치화하는 다양한 기술을 배웠습니다. 하지만 '좋은 음악'이 무엇인지, 어떤 음악이 사람의 마음을 어떻게 움직일 수 있는지는 정형화할 수 없는 이론 밖의 영역이었기에 아쉬움이 남았습니다. 이즈음 저는 다시 진지한 진로 고민을 하게 되었습니다. 당시 제가 가장 시간을 많이 쓰고 즐겁게 한 일이 무엇인지 돌아보니 그해 저는 음악에 가장 많은 시간과 애정을 쏟았고, 그다음으로 친구와 학생들을 가르치는 일에, 그리고 정작 코딩과 공부에는 상대적으로 가장 적은 시간을 들였습니다. 사실 그때까지도 음악을 진로로 선택할 용기는 없었습니다. 현실적으로 경제적인 요소도 생각해야 했기 때문입니다. 그래서 저는 먼저 '강사'라는 직업을 통해 학생들에게 선한 영향력을 끼치는 사람이 되겠다고 결심했습니다. 곧바로 휴학 후 상경하여 수학 강사로서 일하게 되었고, 서울에 온 김에 음악을 더 배우고자 실용음악학원도 등록하였습니다. 그때 실용음악학원 원장님께서 제게 재능이 있다며 예대 작곡 입시를 권유하셨고, 음악에 진심이었던 저는 전공생들과 실력을 겨뤄볼 좋은 기회라 생각하여 승낙하였습니다. 화, 목, 토요일에는 수학 선생님, 나머지 요일에는 예대 입시생이 되어 매우 바쁜 시간을 보내면서, 저는 제가 교육보다 음악에 훨씬 관심을 두고 있다는 것을 확인했고, 입시가 얼마 남지 않은 9월에 수학 강사를 그만두었습니다. 대신 포스텍 졸업을 위해 마지막 학기 수업을 들으며 입시를 병행했죠. 다른 입시생보다 음악에 몰입할 수 있는 시간이 현저히 부족했기에 최선을 다할 뿐 좋은 결과를 기대하긴 힘들었습니다.



3. IT융합공학과에서 졸업하기 위해 반드시 들어야 하는 연구 과목으로, 총 네 학기에 걸쳐 학기별로 IT 기술을 활용하는 연구 주제를 선정하고 교수님과 일대일 면담을 통해 지속해서 보완하여 결과물을 내야 함

예대 입시를 준비하는 과정에서 덕분에 저는 작곡에 있어 제가 남들보다 더 잘 표현할 수 있는 사운드감이 있음을 발견했습니다. 공대생이라는 저의 개성을 살려 자작곡에 수학적인 요소들을 삽입하기도 하였습니다. 음악으로 돈을 벌 수도 있겠다는 자신감이 생겼고 직업으로서의 음악을 생각하게 되었습니다. 무엇보다 음악은 언제나 제가 가장 좋아하는 일이었습니다. 아마 제가 가장 잘한 점은, 피아노를 처음 배우기 시작한 5살부터 쉬지 않고 지금까지 피아노를 쳐왔다는 점, 즉 좋아하는 것을 놓지 않고 꾸준히 해왔다는 점일 것입니다. 덕분에 저는 기적적으로 실용음악 분야에서 가장 들어가기 힘들다는 두 대학으로부터 합격 소식을 듣게 되었고, '서울예술대학교'로의 진학을 결정하게 되었습니다. 진로를 변경하게 된 저는 지금도 포스텍에 입학한 것을 후회하지 않습니다. 포스텍은 지금의 제 성격과 가치관, 사고방식에 많은 영향을 주었고, 저에게 개성을 부여해 주었습니다. 공대였기에 음악을 잘해야 한다는 부담감 없이 마음껏 해볼 수 있었고, 오히려 일찍이 스무 살에 실용음악과에 진학했다면 지금처럼 순수하게 음악을 바라볼 수 없었을지도 모릅니다. 무슨 경험이든 잘 생각해 보면 배울 점이 있었고, 헛된 것은 없었습니다. 포스텍에 입학한 후 수학 강사로 일하다가 서울예대에 진학하는 커다란 변화들은 마법처럼 일어나지 않았습니다. 평소에 '무엇을 위해 살까', '어떤 사람이 될까'와 같은 고민을 오랜 시간 동안 축적해 온 것이 제가 실천해야 할 이유이자 원동력이 되었던 것 같습니다. 사실 저는 이제 새로운 출발선에 막 서게 된 것뿐입니다. 여러분은 저보다 훨씬 더 빠리, 확고한 진로 결정을 하게 될지도 모릅니다. 여러분이 무엇을 하고 싶은지 끊임없이 고민하고, 해야겠다는 생각이 들었을 때 바로 실천에 옮길 수 있다면, 여러분 또한 공학자든, 예술가든, 혹은 여러분이 원하는 무엇이든 될 수 있을 것이라 믿습니다. 그것이 포스텍이라는 울타리 안이든, 그 어디에서든 말이죠! 사실 저는 '커서 뭘 하고 싶냐?'는 식의 질문을 그리 좋아하지 않습니다. 우리는 언제 죽을지 모르기 때문이죠. 그렇기 때문에 '사람들을 행복하게 해주고 싶다'라는 저의 꿈은 미래의 일이 아닌, 오늘의 제가 작게나마 실천해 나갈 수 있는 일이었습니다. 여러분도 현재, 혹은 오늘 자신이 이룰 수 있는 꿈이 무엇인지 고민하다 보면, 미래에도 꼭 그 꿈을 이루며 살고 있을 것이라 기대합니다! 🎵



# 공학도로서의 삶

글 화학공학과 20학번 권기현

포스테키안 구독자 여러분 안녕하세요, 2020년에 포스텍에 입학하여 현재는 대학원에 입학한 권기현입니다. 대학원생이 되었지만, 여전히 저는 해보고 싶은 것과 도전하고 싶은 것들이 많으며 진로에 대한 끊임없는 고민과 발전을 거듭하고 있습니다. 대학원생인 저도 그러하데, 하물며 대부분 고등학생이실 포스테키안 구독자 여러분께서는 고민이 많으면 더 많으리라 생각합니다. 그러한 여러분의 고민에 조금이나마 도움이 되고자, 기업가를 꿈꾸는 한 공학도의 창업(에코텍트) 여정에 대해 말씀드리고자 합니다.

포스텍은 이전부터 연구중심대학이라는 타이틀과 더불어 국내 최고의 창업지원대학이라는 명성을 가지고 있었습니다. 자연스럽게 학부생들은 창업에 대한 정보를 많이 접하게 되었고, 저 역시 처음에는 단순 호기심으로 창업에 대해 알아가기 시작하며 관련 교과목을 수강하는 것이 전부였습니다. 그러다 우연히 해외에서 버섯 균사를 이용하여 친환경 생분해성 플라스틱으로 탈바꿈한다는 기사를 읽게 되었고, 이에 흥미를 느끼게 된 것이 창업에 대한 여정의 첫 시작이었습니다. 미생물학에 관심이 많았던 저는 균사를 연구하고 실험을 진행하며 이에 대한 큰 발전 가능성을 보았고, 때마침 한국에서도 균사가 폐자원으로 분류되었기에 이를 이용하여 친환경적인 소재를 만드는 사업에 많은 관심을 가졌습니다. 그러던 중 '친환경 부표 시장'을 알게 되었습니다.

모두 바다 위에 떠다니는 하얀 물체를 보신 적 있으실 겁니다. 바로 스티로폼 부표인데요, 국내 부표 총수는 약 5,000만 개 정도 되는데, 이 중 단 1개만 미수거되더라도 750만 조각에 다다른 미세플라스틱이 발생하곤 합니다. 연간 부표 평균 투기량을 고려한다면, 스티로폼 부표로 인한 해양 환경 오염은 우리가 생각하는 것 그 이상으로 심각했습니다.

이러한 문제를 해결하기 위해 해양수산부에서는 '2025 스티로폼 부표 Zero화' 정책을 발표하여 모든 스티로폼 부표를 회수하고, 전면 친환경 부표로 대체하겠다고 발표했습니다. 실제로 친환경 부표를 공급하고도 있지만, 기존 스티로폼 부표에 비해 친환경 부표의 내구성과 가격이 좋지 않았기 때문에 어민들의 반대 목소리는 매우 컸습니다.

이러한 문제를 해결하기 위해 친환경 부표에 관한 연구가 시작되었으며, 저는 군사를 기반으로 여러 물질을 혼합 배양하여 생분해할 수 있는 부표를 제작한다는 아이템으로 창업에 도전하게 되었습니다. 목표는 환경성과 내구성을 개선하면서도, 경제성을 갖춘 스마트팜 시설을 구축하여 시장에서 경쟁 우위를 차지하는 것이었습니다.

그 과정에서 연구가 총 세 가지 주제로 진행되었습니다. 첫 번째는 '소재 개발'로, 군사의 특수 섬유 조직을 기반으로 기존 스티로폼보다 내구성이 5배 강하면서도 생분해할 수 있는 소재를 개발하는 것에 주력하였습니다. 두 번째 주제는 '양산/제조'로, 랩 스케일에서 플랜트 규모로 공정 규모를 키웠을 때 발생할 수 있는 물성 차이를 표준 편차 5% 이내로 줄이도록 하는 연구와 제품별 친환경 코팅에 대한 연속 공정을 개발, 이를 통해 미세플라스틱 발생량을 제로화시키는 연구까지 진행하게 되었습니다. 마지막 세 번째 주제는 '신뢰도/내구성 평가'로, 특히 해당 분야의 경우 기계공학과 이안나 교수님과 소속 연구원분들의 큰 도움을 받아 기계적 물성값을 측정하고 이를 개선하는 연구를 진행하였습니다. 경제성을 위해 위 연구를 인-하우스 기술로 진행하고자 하였고, 각각에 관한 연구가 성과를 내기 시작하면서 기술적 검증을 어느 정도 인정받았고, 이 덕분에 일차적으로 창업에 대한 확신이 들었던 것 같습니다.

창업 지원에 강점을 가지는 포스텍답게, 제가 도움을 받은 것은 비단 연구 지원뿐만이 아니었습

니다. 창의 ICT 4.0 혁신 인재사업을 통해 사업화 쪽으로도 크게 지원을 받을 수 있었고, 연구 성과로 연락 주신 친환경 부표 사업 관련 담당자들과의 협업 덕분에 더욱 빠르게 성장할 수 있었습니다. Sk hynix에서 개최한 사회적 문제해결 대회에서 최우수상을 받아 기술적/사업적 지원에 대한 협의를 진행하기도 하였고, 창업에 대한 경험이 있어 제게 큰 도움을 주신 선배님도 곁에 있었습니다. 충분한 지원과 함께했던 우수한 팀원들, 그리고 이를 통해 얻어낸 성과를 보면서도 창업하지 않을 수는 없었고, 그러한 확신 속에 지난 2023년 5월부터 본격적으로 창업하게 되었습니다.

제조업 기반의 스타트업이었던 만큼 가장 걸림돌이 되었던 점이 있었다면 그것은 바로 저 자신이었을 것입니다. 플라스틱 사출 공정에 대해 경험 하나 없고, 학사 학위도 취득하지 못한 상황에서 제조업을 운영한다는 것은 하늘의 별 따기와도 같았습니다. 실제로 그러한 부분에서 강한 비판을 받기도 했습니다. 이를 극복하기 위해 직접 뛰어다니며 자문과 조언을 얻기 시작했습니다. 일면식이 없던 교수님께 연락드려 제 사업을 설명해 드리면서 도움을 요청하기도 하였고, 창업과 관련된 도움을 받을 수 있는 것이라면 어떤 것이든 다 덤벼들고 보았습니다. 그러다 눈을 떠보니 국내 최고 대학의 교수님과 연구원분들이 제 기술 연구를 지원해 주고 계셨고, 유명한 VC들과 이야기를 나누며 사업에 대한 방향성에 대해 진지하고도 깊은 이야기를 나누고 있었습니다. 무작정 지원해 보았던 지원사업 및 경연대회에서도 연전연승하였고, 한 점의 국무총리상과 세 점의 장관상을 포함한 13회 수상을 하고 났을 때 비로소 제가 어려움을 극복하고 한 단계 성장했다는 것을 깨달았습니다. 그러한 과정을 거쳤지만, 여전히 저는 모르는 것이 많았고 성장해야 했습니다. 특히 환경 쪽 제조 스타트업에 도전하기



에는 지금까지도 환경성과 경제성을 평가하는 측면에서 여러 지식을 배워야만 했고, 그래서 대학원에 진학하여 공부를 계속하고자 합니다. 이렇게 저는 오늘도 창업과 연구를 병행하는, 기업가를 꿈꾸는 공학도로서 살아가고 있습니다.

포스테키안 구독자 여러분, 제가 졸업 당시 연설 대표로서 강조했던 부분 중 하나가 바로 '공학도로 사는 삶'과 '목표가 있는 삶'입니다. 코미디언이 대중들에게 웃음을 선사하기 위해 노력하는 것처럼 공학도는 인류의 삶의 질을 향상시키기 위해 노력하고, 그 방법은 무수히 많습니다. 어떤 코미디언은 방송사 TV 쇼에 출연하여 웃음을 선사하고, 또 어떤 코미디언들은 플랫폼을 통해 웃음을 선사하기도 하는 것처럼 말이죠. 공학도 역시 마찬가지입니다. 흔히들 공학도라고 하면 연구소에서 밤낮으로 연구하는 모습을 떠올리기 쉽지만, 어떤 공학도는 연구 성과를 기반으로 비즈니스 모델을 만들기도 합니다. 단순히 직업에 대한 고민보다는 본인의 진실된 목표가 무엇인지, 만약 공학도가 되고 싶다면 어떤 공학도로 살아가고 싶은지 한번쯤 고민해 보시면 진로 설계에 있어 큰 도움이 될 것 같습니다.

이 글을 빌려 제 경험을 공유할 수 있게 기회를 주신 포스텍 알리미 여러분께 감사의 인사를 드립니다. 또한 기술적 연구 지원을 아낌없이 해주신 기계공학과 이안나 교수님, 제 목표에 대해 공감해 주시고 따뜻하게 반겨주신 화학공학과 한지훈 교수님께도 감사의 인사를 드리고 싶습니다. 감사합니다. 🍀



<https://www.unicornfactory.co.kr/article/2023112311083024195>

# 우당탕탕

## 포스테키안의 하루

#기숙사(RC)

RC에서 진행되는 다양한 등지 활동과 증별 프로그램



포스테키안은 입학 후 1년 동안은 기숙사(RC)에서 생활을 하는데요

### Residential college

Bldg 21

RC 단체 여행과 각종 RC 프로그램을 즐길 수 있습니다



부모님과 떨어져 혼자 빨래와 청소를 하고



최근에 리모델링 된 RC에는 노래방, 헬스장도 생겼다고 하는데요



생활패턴이 맞지 않는 룸메이트와 다들 때도 있지만



더욱 더 멋진 RC에서 즐거운 새내기 생활을 하길 바라요!



# 우당탕탕

## 포스테키안의 하루

#폭풍의 언덕

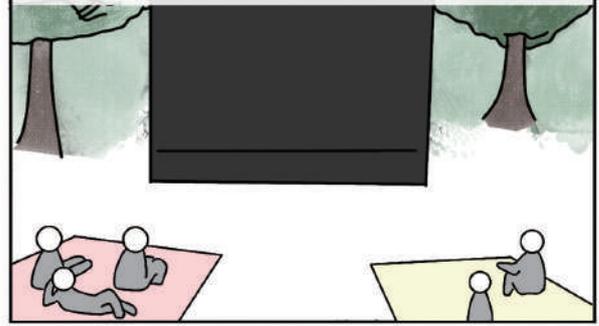
분반, 동아리, 학과 친구들이 오순도순 모여 짜장면을 시켜 먹는 전통도 있습니다



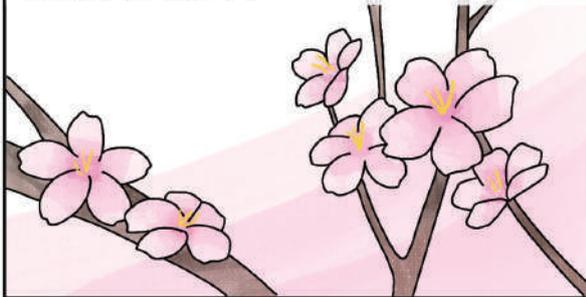
포스테에는 '폭풍의 언덕'이라고 불리는 장소가 있습니다



가끔은 폭풍의 언덕에서 영화제도 진행하는데요



새 학년이 시작되고, 따뜻한 봄이 찾아오면 폭풍의 언덕에는 예쁜 벚꽃이 만개한답니다



바쁜 일상에서 소소한 행복을 느낄 수 있는 폭풍의 언덕이랍니다



아름다운 벚꽃나무 아래에서 다 같이 사진도 찍고



포스테의 폭풍의 언덕에서 낭만을 즐겨보는 것은 어떨까요?



# 범인은 언제나 흔적을 남긴다!

## 완전 범죄를 막는 수사의 비밀

글 화학과 22학번 28기 알리미 김유빈

### "우리는 모로지 과학적 진실만을 추구한다."

국립과학수사연구원 윤리 현장의 첫 번째 항목입니다. 이 말을 증명이라도 하듯, 다양한 범 죄 사건들이 과학 수사를 통해 해결되고 있죠. 하지만 매체에서 소개되는 수사 이야기를 들어보며 '저 정도는 들키지 않을 수 있을 거 같은데?'라고 생각해 본 적 있지 않나요? 실제로 수사망을 피하고자 하는 범죄자들의 범 죄 수법이 점점 발전하고 있다고 합니다. 그렇지만 꼭 꼭 숨겨진 범인의 흔적도 잡아내는 과학 수사 기법들이 있습니다!

#### 참고 자료

1. 정상우, "hemoglobin, heme, globin - 혈액소, 헴, 글로빈" 「전남대학교 의과대학」, 2017년 12월 21일.  
<https://medicine.jnu.ac.kr/xboard/board.php?mode=view&number=16481&tbnum=27&sCat=0&page=1&keyset=&searchword=>
2. "Luminol" LibreTexts CHEMISTRY. n.d.  
[https://chem.libretexts.org/Ancillary\\_Materials/Demos\\_Techniques\\_and\\_Experiments/Lecture\\_Demonstrations/Luminol](https://chem.libretexts.org/Ancillary_Materials/Demos_Techniques_and_Experiments/Lecture_Demonstrations/Luminol)
3. Melad G, Paulis, "What can glove impression evidence reveal about assailants? A pilot study." Forensic Sci Res. Vol.7. (2022): 29-39.  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8942492/>
4. "'땀' 때문에 덜미 잡힌 반집털이." 「YTN」, 2016년 02월 29일. [https://www.ytn.co.kr/\\_ln/0103\\_201602291925483391](https://www.ytn.co.kr/_ln/0103_201602291925483391)
5. 한돈규, "음주 측정기의 원리와 음주처벌 기준." 「LG케미토피아」, 2015년 2월 27일. <https://blog.lgchem.com/2015/02/breathalyzer/>
6. 국립과학수사연구원, "음주 대사체를 이용한 지능형 음주범죄 해결." 「국립과학수사연구원 NFS 홍보관」, 2018년 12월 10일  
<https://www.nfs.go.kr/site/nfs/ex/bbs/View.do?cbldx=69&bcldx=1000689&parentSeq=1000689>
7. 국립과학수사연구원, "음주 대사체를 이용한 법화학분야 감정서비스." 「국립과학수사연구원 NFS 홍보관」, 2018년 12월 20일  
<https://www.nfs.go.kr/site/nfs/ex/bbs/View.do?cbldx=69&bcldx=1001033&parentSeq=1001033>

#### 그림 출처

- 그림 1. 지명훈, "장갑 끼고 완전범죄?... 꿈개!" 「동아일보」, 2009년 9월 25일.  
<https://www.donga.com/news/lt/article/all/20090925/8813824/1>
- 그림 3. "헤모글로빈" Wikipedia. n.d.  
<https://ko.wikipedia.org/wiki/%ED%97%A4%EB%AA%A8%EA%B8%80%EB%A1%9C%EB%B9%88>



# 장갑흔

## 지문은 장갑을 끼면 가려지는 거 아니야?

지구상의 모든 사람은 서로 다른 지문을 가지고 있으며, 이 때문에 지문은 범죄 수사에 많이 사용되는데요. 지문을 숨기기 위해 범인들은 장갑을 끼곤 합니다. 그렇다면 손자국을 찾는 방법은 포기해야 하는 걸까요? 아닙니다. 수사대는 장갑 자국, 즉 장갑흔으로 범인을 찾기도 한답니다! 장갑에는 먼지나 흙, 또는 범죄 현장에 남아 있던 혈흔들이 잘 묻습니다. 따라서 장갑을 낀 손으로 다른 표면을 만지면 그 장갑의 무늬대로 자국이 남는 것이죠. 수사대는 이 장갑의 무늬를 젤라틴판이나 지문 분말을 이용해 얻어낼 수 있습니다. 장갑은 그 종류에 따라 만들어지는 무늬가 모두 다른데요. 그러면 장갑흔으로 무엇을 알 수 있을까요? 먼저 장갑의 재질입니다. 장갑은 주로 가죽, 천, 고무 등의 재질에 따라 남는 자국이 모두 다릅니다. 이를 통해 범인이 어떤 종류의 장갑을 사용했는지 알 수 있죠.



그림 1. 장갑의 재질과 그에 따른 장갑흔

하지만 재질을 아는 것만으로 수사에 결정적인 영향을 미치기엔 부족하겠죠? 장갑이 같은 재질로 만들어졌더라도 장갑을 제조한 방법은 다를 수 있으며 이에 따라 장갑흔의 형태는 달라집니다. 또한, 장갑을 사용하다가 생긴 구멍, 찢어진 흔적 등의 특징도 장갑의 고유 특성처럼 남아 있을 수 있어요. 이것들은 모두 장갑흔에 남아 있어 장갑을 구분할 수 있는 증거가 된답니다. 덧붙여, 장갑으로 사람을 특정할 수 있는 증거를 감출 수 있다고 생각할 수 있지만 실제로는 그렇지 않습니다. 만약 장갑을 낀 손에서 땀이 나서 그 땀이 장갑흔과 함께 표면에 묻었다면, 이는 중요한 증거가 될 수 있습니다. 땀에 섞인 소량의 상피세포로도 DNA를 증폭시키면 개개인을 구분할 수 있는 단서가 되거든요!



# 음주 대사체 시험법

## 음주 여부는 시간이 지나면 숨길 수 있는거 아니야?

음주 운전 중에 사고가 났다면 어떻게 해야 할까요? 솔직하게 잘못을 털어놓으면 좋겠지만, 처벌받고 싶지 않아 잠적했다가 나중에야 나타나는 경우가 있다고 합니다. 이 경우에 사고 당시 음주를 했는지에 대한 여부가 확실치 않아 무죄로 판결받은 사례도 있는데요. 과학 수사는 이런 문제를 방지하기 위해 기존의 음주 검사와는 다른 새로운 시험법을 제안했습니다. 기존의 음주 검사는 혈중알코올농도 측정법을 사용합니다. 음주측정기는 날숨 속에 있는 알코올 농도를 통해 혈중알코올농도 수치를 추정하는데요. 음주한 사람의 날숨에는 알코올 분자가 포함되어 있습니다. 알코올이 음주측정기 속 백금 전극의 양극에 달라붙으면 산화되며 전극에 전기를 흐르게 합니다. 즉, 날숨 속 알코올이 많을수록 전류의 세기가 커지고, 이를 통해 혈중알코올농도를 측정할 수 있게 되는 것이죠! 그러나 혈액 안 에탄올 농도는 빠르게 감소하므로 혈중알코올농도 측정법은 음주 후 8시간만 지나도 음주 여부를 알기 힘들습니다. 또한, 이 검사법은 음주 시기를 정확히 알기 힘들다는 단점도 있죠. 이를 보완하기 위해 제안된 검사는 바로 음주 대사체 시험법입니다. 혈액과 소변을 통해 음주 여부를 확인하는 이 시험법은 체내에서 알코올을 분해하며 발생하는 부산물을 확인하는 방법입니다. 아래 그림에서 볼 수 있듯 알코올이 체내에 들어오면 이를 분해하는 과정에서 EtS(에틸 황산)와 EtG(에틸글루쿠로나이드)라는 물질이 발생 합니다.

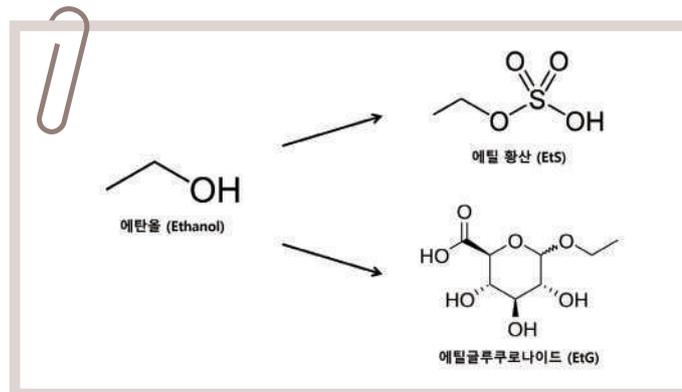


그림 2. 체내 알코올 분해 과정

이 물질들은 에탄올보다 늦게 생성되고 음주 후 3시간이 지나서야 최고 농도에 다다릅니다. 따라서 음주 대사체 시험법과 혈중알코올농도 측정법을 동시에 사용하면 음주 여부와 음주 시기를 더욱 정확히 알 수 있습니다. 특히 음주 대사체 시험법을 이용하면 음주 후 최대 3일까지도 음주 여부를 알 수 있다고 하니, 이제 더욱 정확한 음주 검사를 할 수 있겠죠?



# 루미놀 반응

## 혈흔은 말끔히 지워버리면 되는 거 아니냐?

범죄 현장이라고 하면 가장 먼저 생각나는 증거물은 혈흔입니다. 과학 수사대는 현장에 남아 있는 혈흔으로 DNA 정보를 찾아내거나 핏자국의 형태를 분석하여 사건 중 일어났던 일을 유추하곤 합니다. 혹시 발각되기 전에 핏자국을 모두 지우거나, 피가 묻은 옷을 빨면 되는 게 아닐지 하는 의문이 있지 않았나요? 하지만 루미놀 반응을 이용하면 숨겨둔 혈흔을 모두 찾아낼 수 있습니다! 먼저 혈액의 구성에 대해 알아봅시다.

혈액은 혈장과 혈구로 구성되어 있는데요. 혈장은 단백질과 당 등이 녹아 있는 액체입니다. 혈구는 혈장을 떠다니는 혈액 세포로 그 종류로는 적혈구, 혈소판, 그리고 적혈구가 있습니다. 적혈구는 산소를 운반하는 역할을 하는 도넛 모양의 세포인데요. 적혈구가 붉은 이유는 붉은색의 헤모글로빈을 포함하기 때문입니다. 헤모글로빈은 4개의 헴(Heme)이라는 구조로 이루어져 있습니다. 헴은 단백질의 일종인 포르피린과 철-포르피린 소단위체가 결합한 복합체입니다. 철-포르피린 소단위체의 철이 산소와 결합하여 적혈구의 산소 운반이 가능해지게 됩니다. 루미놀 용액은 혈액과 반응하면 파란색 발광이 일어나는데요. 이는 혈액 속 헴에 있는 철과 루미놀 시약이 반응하기 때문입니다. 루미놀 시약은 루미놀, 탄산나트륨, 과산화수소, 증류수로 구성되어 있습니다. 루미놀 시약을 혈액에 떨어뜨리면 철이 촉매 역할을 하여 과산화수소의 분해가 일어나는데요.

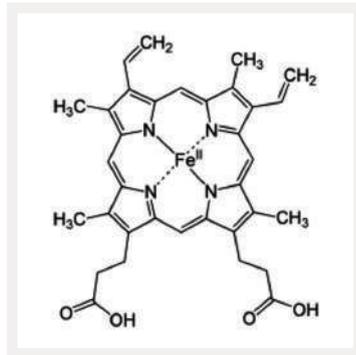
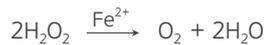


그림 3. 헴의 일종인 헴 B의 철-포르피린 소단위체



이 과정에서 산소와 물이 형성됩니다. 이후 루미놀은 염기성 물질과 반응하여 2가 음이온이 되면서 앞서 형성된 산소와 반응하는데요. 이때 루미놀 분자는 매우 불안정해져 파란빛을 방출하게 된답니다! 이 반응에 따르면 헴의 철은 단순히 촉매 역할만을 하므로 루미놀에 비해 소량만 남아 있더라도 파란빛이 나타납니다. 심지어 혈액은 1:5,000,000까지 희석되어도 루미놀과 반응할 수 있는데요. 따라서 피가 묻은 옷을 세탁하거나 바닥에 묻은 피를 지워서 혈액이 거의 남아 있지 않아도 혈액을 모두 찾을 수 있다고 하네요!

이 외에도 과학 수사 기법은 다양하게 발전하며 진실을 밝혀내고 있습니다. 특히 우리나라는 세계적인 과학 수사 기술을 보유한 나라라고 하는데요! 이러한 발전은 결국 다른 사람이 더욱 안전하고 행복하게 살아가길 수 있도록 노력하는 과학자들이 있기에 이루어질 수 있었겠죠? 여러분들도 자신의 연구로 다른 사람들을 행복하게 하는 이공학도가 되었으면 좋겠습니다!☺

# 생명과학과가 본 문구점

글 무은재학부 23학번 29기 알리미 김세민

다들 초등학교 때 씨몽키 한 번쯤은 키워봤지? 문구점에 파는 씨몽키를 친구들과 사서 함께 알을 부화시켜 보았던 기억이 새록새록 떠오르네. 이 가루 같은 알들이 물에 넣어두면 살아 움직이는 생물로 부화한다는 점, 정말 놀랍지 않아? 우리 한번 씨몽키의 알이 부화할 수 있는 이유를 알아보자!



그림 1. 아르테미아의 내구란

시중에 판매되는 씨몽키는 아르테미아<sup>1</sup> (Artemia)의 알이 고온에서 건조된 상태로 유통돼. 그렇다면 어떻게 건조된 상태로 유통된 생물의 알이 죽지 않고 부화할 수 있을까? 그 비밀은 바로 크립토바이오시스(Cryptobiosis)에 있어. 크립토바이오시스란, 불리한 환경 조건에 반응하여 활동성을 극도로 낮춘 휴면 상태를 이야기해. 크립토바이오시스에는 건조 시 발현되는 Anhydrobiosis, 공기 중 산소 농도가 낮을 경우 발현되는 Anoxybiosis, 극저온에서 발현되는 Cryobiosis 등 여러 종류가 있는데, 생물 종마다 발현 기작이 모두 달라. 산소가 부족한 환경에서 휴면 상태가 발현되는 아르테미아와 달리 건조 환경에서 휴면 상태가 유지되는 예쁜꼬마선충, 건조, 산소 부족, 삼투압, 온도 등 다양한 요인을 인식하는 곰벌레 등 다양한 생물들이 크립토바이오시스를 통해 극한의 상황에서 살아가고 있어. 휴면 상태에서는 번식, 발달 복구 등의 모든 대사 및 생명 활동이 중단되고, 오랜 시간 동안 외부 영향 없이 생명을 이어갈 수 있어. 아르테미아의 경우에는 산소 농도가 낮은 환경에 처하게 되면, 키틴<sup>2</sup>질로 둘러싸인 단단한 내구란을 낳고 죽게 돼. 이 내구란 속에서는 기존 단백질의 기능을 대체하는 여러 간이 단백질과 고농도로 농축된 이당류<sup>3</sup>를 통해 장기간 휴면을 하다가, 외부 환경이 부화에 적절한 환경이 될 때 다시 부화해서 살아가게 되는 것이다.

문구점에서 흔히 보이던 씨몽키에 이렇게 깊은 비밀이 숨겨져 있었다니, 정말 신기하지 않아? 지금 당장 크립토바이오시스에 대해서 더 공부해 봐야겠어! 난 도서관으로 가볼게. 안녕!

### 각주

1. 새우에 비해 플랑크톤에 가까운 수생 갑각류들의 통칭으로, Brine shrimp로도 불림
2. N-아세틸글루코사민이 긴 사슬 형태로 결합한 중합체 다당류로, 절지동물의 단단한 표피와 허물, 연체동물의 껍질, 균류의 세포벽 구성성분으로 사용
3. 두 개의 당당류가 글리코사이드 결합으로 연결될 때 형성되는 당. 대표적인 이당류의 종류에는 수크로스(설탕), 젓당, 엿당 등이 있음

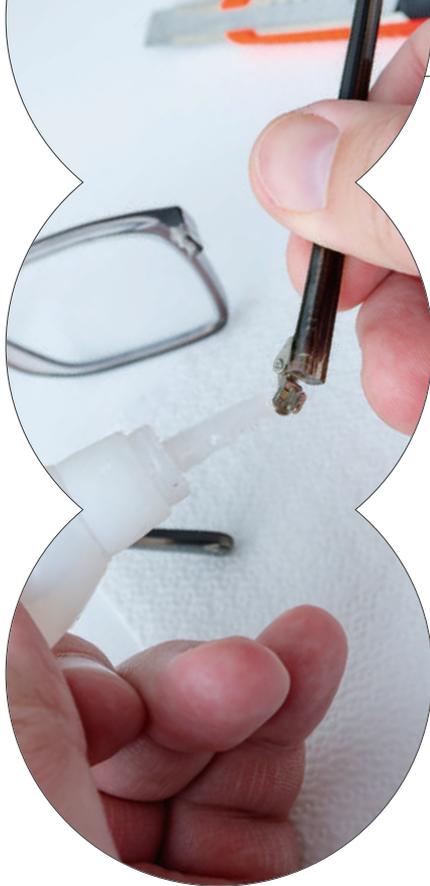
### 그림 출처

그림 1. 위키피디아, <Brine Shrimp>, 2024.02.23, [https://en.wikipedia.org/wiki/Brine\\_shrimp](https://en.wikipedia.org/wiki/Brine_shrimp)

### 참고자료

1. 위키피디아, <Cryptobiosis>, 2023.10.31, <https://en.wikipedia.org/wiki/Cryptobiosis>
2. 위키피디아, <Chitin>, 2022.11.16, <https://ko.wikipedia.org/wiki/%ED%82%A4%ED%8B%B4>
3. Exploring our fluid Earth, <Weird Science: Cryptobiosis>, <https://manoa.hawaii.edu/exploringourfluidearth/biological/what-alive/properties-life/weird-science-cryptobiosis>
4. Morris, J. E., and B. A. Afzelius. "The structure of the shell and outer membranes in encysted Artemia salina embryos during cryptobiosis and development." Journal of Ultrastructure Research 20.3-4 (1967): 244-259.
5. Miller, David, and Alexander G. McLennan. "The heat shock response of the cryptobiotic brine shrimp Artemia—II. Heat shock proteins." Journal of Thermal Biology 13.3 (1988): 125-134.





앗, 손에 순간접착제가 묻었잖아? 빨리 씻어내야겠어! 근데 어찌지? 벌써 굳어버렸네. 분명 튜브 안에서 끈적한 액체 상태로 있었는데, 왜 바로 굳어버린 걸까?

먼저 접착의 원리부터 알아보자. 접착에는 다양한 종류가 있는데, 순간접착제에는 바로 분자 간 힘을 이용한 접착이 사용돼. 분자 간 힘 중에서도 반데르발스 힘을 이용한 경우지. 그렇다면 반데르발스 힘은 무엇일까? 반데르발스 힘은 비극성분자<sup>1</sup>, 혹은 비극성분자 내의 부분 간의 힘이야. 분자 내에 있는 전자는 항상 움직이는데, 이에 따라 일시적으로 분자 내에서 전자 밀도의 불균형이 생겨. 분자 내 전자 밀도의 차이로 인해 순간적으로 전기적 극성이 발생하는데, 이로써 분자 간에 인력이 생기는거야. 이 분자 간 인력을 통해 서로 다른 물체들이 결합하는 거지.

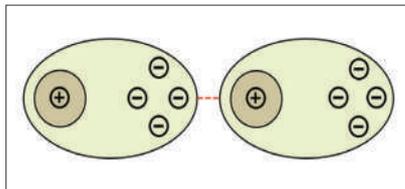


그림 1. 반데르발스 힘

그렇다면, 왜 튜브 밖으로 짜내야만 접착 효과가 나는 걸까? 그 이유는 순간접착제의 재료 때문이야! 순간접착제는 시아노아크릴레이트<sup>2</sup>로 이루어져 있어. 시아노아크릴레이트의 특별한 점은 음이온을 가진 물질에 의해 매우 빠른 중합 반응이 일어난다는 거야. 중합 반응이란, 작은 분자들이 서로 결합하여 거대한 고분자를 만드는 반응이야. 여기서 시아노아크릴레이트는 OH-를 가진 물 분자와 닿았을 때 급속도로 중합 반응이 일어나. 그래서 튜브 밖으로 빠져나와 공기 중의 수분과 닿게 될 때 중합 반응이 일어나는 것이지. 중합 반응의 과정에서 시아노아크릴레이트 단량체<sup>3</sup>들이 서로 결합하여 시아노아크릴레이트 중합체<sup>4</sup>를 형성해. 이때, 단량체들이 그림 2처럼 일렬로 정렬된 중합체가 되는 것이 핵심이야! 정렬되지 않은 단량체일 때는 반데르발스 힘이 여러 방향으로 뒤죽박죽 작용하지만, 정렬된 중합체일 때는 반데르발스 힘이 한 방향으로 합해져서 강해지기 때문에 접착 효과가 나는 거야.

어때? 이제 순간접착제가 튜브 밖에서 굳어진 이유를 알겠지? 그럼 난 손이나 닦으러 가야겠다~

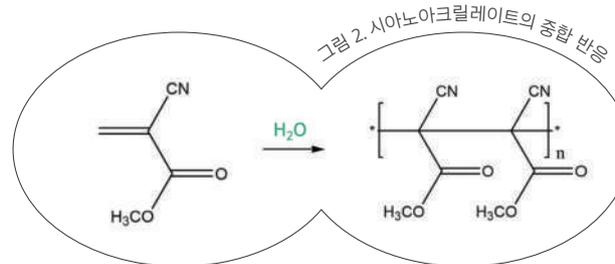


그림 2. 시아노아크릴레이트의 중합 반응

공대생이 보는 세상. II

## 화학과가 본 문구점

글 무은재학부 23학번 29기 알리미 김정연

### 각주

1. 극성을 나타내지 않거나 있더라도 아주 작은 극성 현상을 나타내는 분자
2. 아크릴레이트의 시안화물 유도체인 화합물의 종류 중 하나
3. 중합을 거쳐 고분자의 필수 구조에 구성 단위를 제공하는 분자
4. 단량체가 반복되어 연결된 고분자의 한 종류

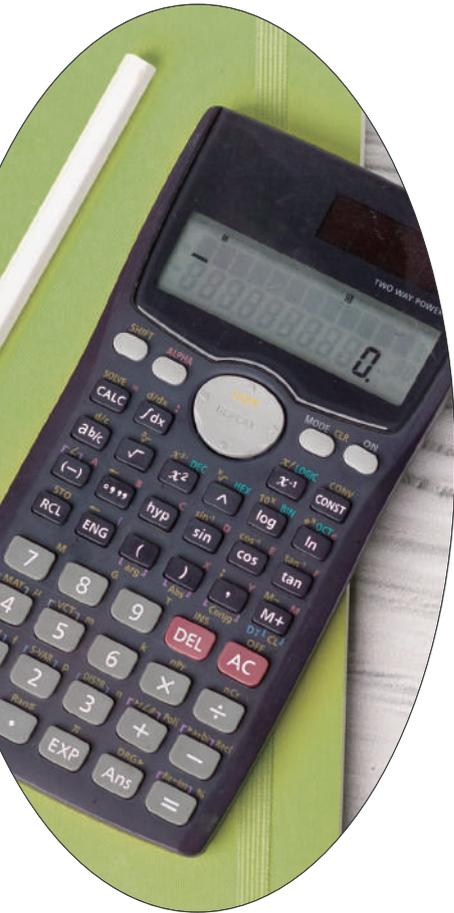
### 그림 출처

그림 1. 아스파라거스, [화학물질]접착제, Chemistry Blog(블로그), 2021년 2월 18일, [https://m.blog.naver.com/asparagus\\_chem/222247830355](https://m.blog.naver.com/asparagus_chem/222247830355)

그림 2. What are van der Waals Forces?, Chemistry Learner, <https://www.chemistrylearner.com/chemical-bonds/van-der-waals-forces>

### 참고자료

1. 황선일, 시아노아크릴레이트 접착제의 개발동향, 한국과학기술정보연구원.
2. 아스파라거스, [화학물질]접착제, Chemistry Blog(블로그), 2021년 2월 18일, [https://m.blog.naver.com/asparagus\\_chem/222247830355](https://m.blog.naver.com/asparagus_chem/222247830355)



공대생의 필수품 중 꼭 빠지지 않는 것이 바로 공학용 계산기라고 하던데... 우리가 직접 하기 어려운 계산도 완벽하게 해내는 이 계산기의 원리가 궁금하지 않나?

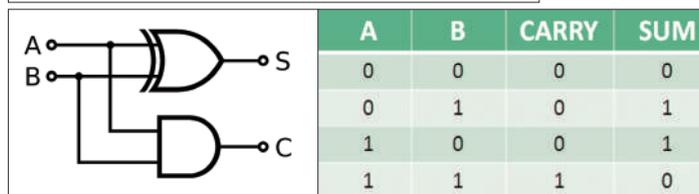
디지털 계산기와 컴퓨터는 용도, 형태가 다를 뿐 기본 원리는 비슷해. 실제로 계산기에는 컴퓨터에서 모든 컴퓨팅 장치의 두뇌 역할을 하는 CPU가 있거든. 그러니 똑똑한 계산기의 비밀은 바로 CPU에 있었던 거지! CPU의 구성 요소 중에는 ALU(Arithmetic Logic Unit)가 있는데, ALU가 제어 장치의 명령에 따라 실제로 연산을 수행하는 역할을 해.

그럼 ALU가 연산을 처리하는 원리에 대해 구체적으로 살펴보자. 컴퓨터의 경우가 그렇듯, CPU가 연산을 2진수<sup>1</sup>로 처리한다는 것은 알고 있지? ALU는 입력받은 10진수 데이터를 2진수로 변환해. 예를 들어 우리가 계산기에 6을 입력하면 계산기 내부에서는  $110_{(2)}$ 으로 처리되는 거지. 이후 연산 선택 신호에 의해 어떤 종류의 연산을 수행될지가 결정돼. ALU에는 다양한 연산을 수행하기 위해 0과 1에 대한 논리 연산을 담당하는 논리 게이트가 존재하고, 그 종류로는 AND, OR, NOT, XOR 게이트가 있어. 각 게이트는 그림 1과 같이 2진수 입력이 주어질 때 특정 논리 연산을 수행하여 그 결과를 출력으로 내보내지. 가장 간단한 덧셈을 예로 들면, 덧셈을 연산하기 위해서는 OR과 AND 게이트로 이루어진 가산기가 필요해. 이때 가산기는  $5 + 6$ 을  $101_{(2)} + 110_{(2)}$ 으로 처리하여 자릿수별로 더하고, 아래 그림 2과 같이 자리 올림(Carry)과 합(Sum)을 구분하여 계산하는 거야.

우리가 입력한 복잡한 식이 계산기 내부에서는 논리 게이트들의 조합으로 표현되니 이렇게 빠르게 연산을 처리할 수 있구나! 그럼 우리도 계산기처럼 연산을 빠르고 정확하게 할 수 있는 그날까지 열심히 공부하러 가볼까?

AND			OR			XOR			NOT	
INPUT			INPUT			INPUT			INPUT	
A	B	OUTPUT	A	B	OUTPUT	A	B	OUTPUT	A	OUTPUT
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0
0	1	0	0	1	1	0	1	1		
1	1	1	1	1	1	1	1	0		

◀ 그림 1. 게이트별 진리표  
▼ 그림 2. 가산기의 논리 회로와 진리표



공대생이 보는 세상. III

## 컴퓨터공학과가 본 문구점

글 무은재학부 23학번 29기 알리미 윤현서

### 각주

- 0과 1이라는 두 개의 숫자만을 사용하여 수를 나타내는 진법
- 숫자 옆에 작게 (2)를 덧붙이는 것이 이진법의 표현, 주로 수학에서 쓰임

### 그림 출처

- 그림 1. Abels, S., & Khisamutdinov, E. (2015, December). Nucleic Acid Computing and its Potential to Transform Silicon-Based Technology. DNA and RNA Nanotechnology
- 그림 2. Tarun Malik. (2011). STUDY AND APPLICATIONS OF LIQUID BEHAVIOR ON MICROTTEXTURED SOLID SURFACES

### 참고자료

- M. Morris Mano. 『Digital Design With an Introduction to the Verilog HDL, VHDL, and System Verilog』. Pearson Education, 2018.

# 물리학과가 본 문구점

글 무은재학부 23학번 29기 알라미 이현민

앗! 오늘 수행평가 제출 날인데 집에서 프린트해 오는 걸 깜빡했네. 급한 대로 문구점에서 프린트해야겠어. 그런데 프린터기는 어떻게 인쇄물을 빠르게 출력해 줄 수 있을까? 그리고 금방 나온 출력물이 따뜻한 이유는 뭐지? 너희도 궁금하지 않아?

우선, 프린터기는 컴퓨터에서 전송된 텍스트나 이미지를 용지에 출력해 주는 장치야. 프린터기에는 여러 종류가 있는데, 크게 인쇄 헤드가 용지와 직접적으로 접촉하는 충격식 프린터기와 직접적으로 접촉하지 않는 비충격식 프린터기로 분류돼. 비충격식 프린터기 중에는 현재 많이 사용되는 것으로 잉크젯 프린터기와 레이저 프린터기가 있어. 그럼 이제부터 고품상도 출력물을 빠르게 출력할 수 있는 레이저 프린터기에 대해 자세히 알아보자.

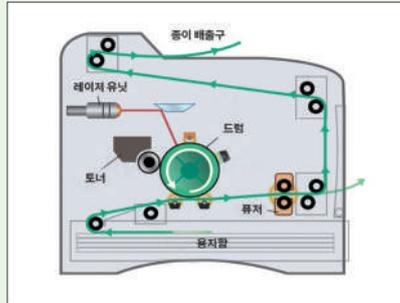


그림 1. 레이저 프린터기의 구성

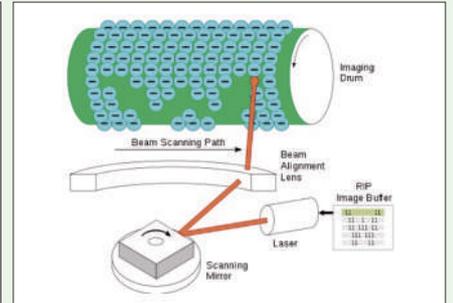


그림 2. 드럼이 이미지를 만드는 원리

레이저 프린터기의 핵심 원리는 바로 정전기력<sup>1</sup>에 있어. 그림1에서 볼 수 있듯이 프린트의 첫 단계는 레이저 유닛을 사용하여 이미지를 용지에 전달하는 것으로 시작돼. 컴퓨터에서 인쇄 명령을 내리면, 이미지는 레이저 신호로 변환되고, 레이저 신호로 변환된 빛은 회절하는 거울에 반사되어 드럼<sup>2</sup>에 투사하게 되지. 드럼은 그림2와 같이 레이저 빛이 닿는 부분과 닿지 않는 부분을 구별하여 각각 음전하와 양전하를 띠게 만들어. 그다음 드럼 위에 검은 분말인 토너를 뿌리게 되는데 이는 본래 양전하를 띠고 있기에 인력에 의해 레이저 빛이 닿는 부분에 옮겨 앉게 돼. 이렇게 되면 토너를 통해 이미지가 종이 위로 전송되는 거야. 종이 위에 토너가 올려지게 되면 고온의 롤러<sup>3</sup>에 의해 압착되어 토너가 용지에 녹아 붙게 되는 것이지! 갓 인쇄된 종이 따뜻한 이유가 여기에 있다는 점도 알 수 있겠지? 이러한 과정을 통해 레이저 프린터기는 고품질의 출력물을 제공하며, 비교적 빠른 인쇄 속도를 유지할 수 있게 되는 거야.

이제 궁금증도 풀렸으니 학교에 지각하지 않게 빨리 뛰어가야겠어! 그럼 안녕~!👍

### 각주

1. 정지해 있는 전하 사이에 작용하는 인력이나 척력
2. 레이저 프린터기 내에서 특수 코팅이 되어 있는 금속 실린더
3. 레이저 프린터기의 구성요소로, 프린트지가 프린터기를 통과하도록 도와주는 장치

### 그림 출처

그림 1. 잉크피아, <레이저 프린터의 기술에 대해 알아봅시다.>, <<프린터 꿀지식>>, 2017.06.21, <https://blog.naver.com/inkpia01/221034077006>

그림 2. 자바테크, <OPC 드럼이란?>, <<재생토너 이야기>>, 2017.10.12, <https://blog.naver.com/kukuny/221115158252>

### 참고자료

1. 최호섭, 「도트, 잉크젯, 레이저...프린터는 어떻게 진화하고 있을까」, 『동아사이언스』, 2016.05.08, <https://m.dongascience.com/news.php?idx=11962>
2. 채영민 외 3인, 「Laser 프린터에 응용되는 유도가열 기술」, 『전력전자학회지』, 2005, p.1-2.



# 분자의 대칭성

글 신소재공학과 22학번 28기 알리미 윤정현

우리는 흔히 꽃이나 나비같이 좌우 또는 상하로 그 모양이 비슷한 물체를 볼 때 '대칭적이다'라고 표현하죠. 그러나 수학적인 대칭은 이보다 더 엄밀합니다. 수학적 대칭은 무언가에 어떤 변화를 가했을 때 원래의 구조를 유지하는 것을 말합니다. 이러한 수학적 대칭은 화학에서 분자를 구별하고, 그 특징을 설명하는 데 굉장히 유용한데요. 이번 글에서는 분자의 대칭성에 대해서 알아보고, 우리에게 익숙한 분자들의 대칭 요소가 무엇인지까지 결정해 보겠습니다!

수학적 대칭성은 대칭 요소와 대칭 조작을 기준으로 판단합니다. 대칭 요소란 대칭의 기준이 될 수 있는 것이며, 대칭 조작이란 이러한 대칭 요소를 기준으로 원래의 위치와 구별이 불가능한 위치로 물체를 옮기는 조작을 말합니다. 분자의 경우, 거울면, 선(대칭축), 점(대칭 중심)을 대칭 요소로 가질 수 있습니다. 그럼 대칭 조작에는 어떠한 것들이 있는지 알아보시다.

먼저 회전 조작(Rotation Operation,  $C_n$ )은  $\frac{360^\circ}{n}$  만큼 시계 반대 방향으로 회전하는 대칭 조작입니다.

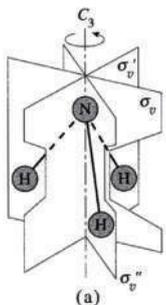


그림 1.  $NH_3$  분자의 대칭 요소

$NH_3$ 의 구조는 위 그림과 같은데요.  $N$  원자를 통과하는  $z$  방향 축을 기준으로  $120^\circ$  회전시키면 기준과 완벽하게 일치합니다. 따라서  $NH_3$ 는  $C_3$  대칭 조작이 가능하고, 이때 기준이 되는 회전축을  $C_3$  대칭 요소라고 부릅니다. 분자에는 한 개 이상의 회전 조작이 존재할 수 있는데요. 그중  $n$ 이 가장 큰  $C_n$ 의 회전축을 주축이라고 부릅니다. 주축은 좌표계의 기준이기에 주축을 찾는 것이 회전 조작에서 가장 중요한 부분이라고 할 수 있습니다.

그다음은 반사 조작(Reflection Operation,  $\sigma$ )입니다. 반사 조작의 기준이 되는 대칭 요소는 거울면  $\sigma$ 인데요. 다시  $NH_3$  분자로 돌아와 봅시다. 그림 1을 보면 총 3개의 거울면  $\sigma$ 가 있는 것을 확인할 수 있습니다. 이 거울면  $\sigma$ 를 기준으로 분자를 대칭시키면 반사 조작 이전과 완전히 일치하게 되므로  $\sigma$  대칭 조작이 가능합니다. 그림 1에서  $\sigma$  아래의 점은 반사 조작의 종류를 결정하는데요. 반사 조작은 크게 두 가지로 나뉩니다. 바로 주축에 수직인 거울면인  $\sigma_h$ (Horizontal mirror plane)와 주축을 포함하는 거울면인  $\sigma_v$ (Vertical mirror plane)입니다.  $NH_3$  분자의 거울면은 주축인  $C_3$ 를 포함하므로  $\sigma_v$ 에 해당합니다.

세 번째는 반전 조작(Inversion Operation,  $i$ )입니다.  $i$ 는 대칭점을 기준으로 분자를 대칭시켰을 때 기준과 일치하는 대칭 조작을 말하는데요.

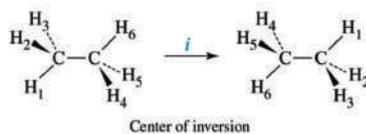


그림 2.  $C_2H_6$  분자의 반전 조작

위 그림 2의  $C_2H_6$  분자를 봅시다. 두  $C$  원자의 중심점을 기준으로 각 원자를 대칭시키면 대칭 이전과 구별이 불가능합니다. 따라서  $C_2H_6$  분자는  $i$  대칭 조작이 가능하며, 이때 두  $C$  원자의 중심점은 대칭 요소가 됩니다.

네 번째는 회전 반사 조작(Rotation - Reflection Operation,  $S_n$ )입니다.  $S_n$ 는 말 그대로 회전 조작과 반사 조작이 합쳐진 조작입니다.

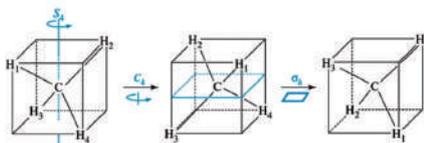


그림 3.  $CH_4$  분자의 회전 반사 조작

$S_4$ 는 그림 3의  $CH_4$  분자처럼  $C$  원자를 포함한  $z$  방향 축을 기준으로  $90^\circ$  회전( $C_4$ )하고  $C$  원자를 포함한 거울면을 기준으로 대칭( $\sigma_h$ )하는 조작입니다. 마지막으로 동등 조작(Identity Operation,  $E$ )이 있습니다. 이 조작은 실제 분자에는 아무런 변화를 주지 않지만, 대칭 조작의 곱(예를 들어,  $S_4 \times E = S_4$ ) 등 수학적 완결성을 위한 것입니다. 그러면 우리에게 익숙한 분자인  $H_2O$ 의 대칭 요소를 찾아볼까요?

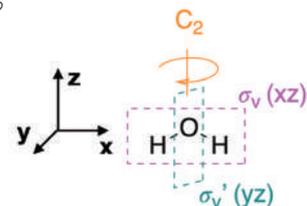


그림 4.  $H_2O$  분자의 대칭 요소

$H_2O$ 는 총 4개의 대칭 요소를 찾을 수 있는데요. 바로  $E$ 와  $C_2$ , 그리고 두 종류의  $\sigma_v$ 입니다. 이제 간단한 분자의 대칭 요소와 대칭 조작을 찾을 수 있겠죠?

지금까지 분자의 대칭성에 대해 알아보았는데요. 분자의 대칭성을 이용하면 오비탈의 결합과 분자의 진동 등 다양한 정보를 얻을 수 있습니다. 분자의 대칭성을 이용하여 오비탈의 결합과 분자의 진동을 설명하는 방법이 궁금하신 구독자분들은 대칭성이 비슷한 분자들의 집합인 점군(Point Group)과 지표표(Character Table)를 공부해 보시는 걸 추천해 드립니다!👍

## 그림 출처

그림 1. Donald A. McQuarrie, and John D. Simon. Physical Chemistry: A Molecular Approach. 1st ed., University Science Books, 1997.

그림 2. James E Huheey, Ellen A Keiter, and Richard L. Keiter. 『무기화학』, 김정 옮김, 자유아카데미, 2011.

그림 3. 그림 2와 동일

그림 4. "Construct SALCs and the molecular orbital diagram for H2O." Libretexts chemistry, 2024. [https://chem.libretexts.org/Courses/University\\_of\\_California\\_Davis/Chem\\_124A%3A\\_Fundamentals\\_of\\_Inorganic\\_Chemistry/06%3A\\_Larger\\_%28Polyatomic%29\\_Molecules/6.03%3A\\_H2O](https://chem.libretexts.org/Courses/University_of_California_Davis/Chem_124A%3A_Fundamentals_of_Inorganic_Chemistry/06%3A_Larger_%28Polyatomic%29_Molecules/6.03%3A_H2O).

# 반도체 내 캐리어 농도

글 전자전기공학과 22학번 287기 알리미 조소혜

캐리어 농도<sup>1)</sup>는 반도체 소자의 동작을 예측하기 위해 필요한 아주 기본적인 개념 중 하나입니다. 캐리어 농도를 알면 반도체의 전기전도도를 알 수 있을 뿐만 아니라, 캐리어의 이동을 예측하고 조절함으로써 반도체 소자가 우리가 원하는 동작을 하도록 만들 수 있습니다. 오늘은 반도체 내 캐리어 농도 구하는 법을 알아보겠습니다!

## ① 페르미 준위와 Density of States

페르미-디랙 분포는 열적평형상태에서 페르미온<sup>2)</sup>이 보이는 통계적 분포입니다. 쉽게 말하자면, 어떤 에너지 준위에 양자 상태라는 방이 있는데 그 방에 전자가 존재할(채워질) 확률을 의미합니다. 페르미-디랙 확률 함수는 다음과 같습니다.

$$f(E) = \frac{1}{e^{(E-E_f)/kT} + 1} \quad k: \text{볼츠만 상수}, E_f: \text{페르미 준위}$$

식을 통해 이 함수는 E(에너지)에 대한 함수이며, E<sub>f</sub>가 변하면 함수가 E축을 따라 이동함을 알 수 있습니다. f(E)가 전자가 존재할 확률이라면 1-f(E)는 전자가 비워질 확률, 즉 정공이 존재할 확률이며 두 확률의 대소는 E<sub>f</sub>를 기준으로 뒤바뀝니다. 이 점을 유의하고 그림 1의 그래프를 관찰하면 E<sub>f</sub>에서 멀어질수록 전자 또는 정공이 존재할 확률이 줄어드는 것을 볼 수 있을 겁니다! 이때 페르미 준위는 각 캐리어가 존재할 확률이 50%가 되는 준위를 말합니다.

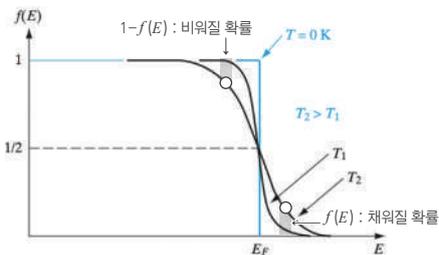


그림 1. 온도에 따른 페르미 함수의 변화

전자가 채워질 확률이 0이 아니라도 전자가 채워질 수 있는 방이 없다면, 전자는 그 준위에 존재하지 못하겠죠? '특정 에너지 준위에 몇 개의 전자(또는 정공)가 존재할 수 있는가'를 나타내는 지표가 바로 DOS(Density of States)입니다. 그림 2의 두 번째 그래프를 보면, 밴드갭 위쪽 그래프는 전자의 DOS, 아래쪽 그래프는 정공의 DOS를 나타내는데요. 밴드갭에서 멀어질수록 전자와 정공의 DOS 모두 증가하는 것을 확인할 수 있습니다. 그렇다면 이제 전자가 들어갈 수 있는 방의 개수와 그 방에 전자가 존재할 확률을 곱해 봅시다. 그 결과 우리는 마지막 그래프, 즉 에너지 준위에 따른 캐리어 농도를 알 수 있습니다! 이 그래프를 적분하면, 각각의 대역 전체에 존재하는 전자, 정공의 농도를 알 수 있겠죠? 계산은 생략하겠지만, 그 결과는 다음과 같이 나타납니다.

$$n = N_c \exp\left[\frac{-(E_c - E_f)}{kT}\right] \quad (\text{전자의 농도}) \quad p = N_v \exp\left[\frac{-(E_f - E_v)}{kT}\right] \quad (\text{정공의 농도})$$

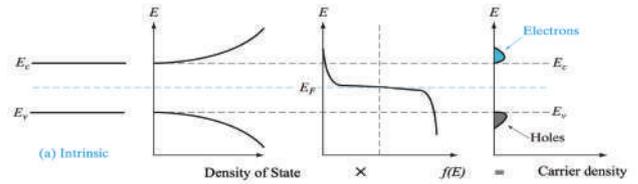


그림 2. 진성 반도체(Intrinsic Semiconductor)<sup>3)</sup>의 캐리어 농도를 구하는 과정

## ② 도핑에 따른 페르미 준위, 캐리어 농도의 변화

반도체에 불순물을 추가하면 반도체의 전기적 특성을 변화시킬 수 있고, 이를 도핑(Doping)이라고 합니다. 그렇다면 도핑은 페르미 준위에 어떤 변화를 일으킬까요? 5족 원소를 도핑한 n형 반도체의 캐리어 농도를 구하는 과정을 살펴봅시다.

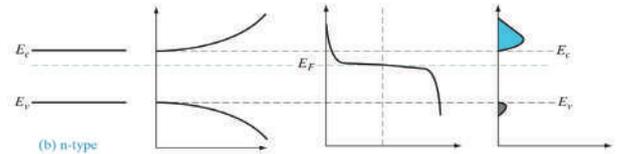


그림 3. n형 반도체의 캐리어 농도를 구하는 과정

그림 3에서 볼 수 있듯이 5족 원소의 도핑은 페르미 준위(E<sub>f</sub>)가 높아지게 만듭니다! E<sub>f</sub>가 변하면 f(E)가 E축을 따라 이동한다는 것을 기억하시나요? f(E)를 E축 상에서 양의 방향으로 이동시킨 뒤 DOS와 곱하면 전자 농도가 정공 농도보다 훨씬 높아졌음을, 그래프의 면적을 통해 확인할 수 있습니다. 덧붙여, 아까 구한 전자, 정공의 농도 식에서 E<sub>f</sub>를 조절하며 n, p의 크기 변화를 관찰해도 같은 결과를 얻을 수 있습니다! 정공 농도가 전자 농도보다 커지기 위해선 페르미 준위가 낮아져야 한다는 것도 추론할 수 있겠죠?

지금까지 반도체 내 캐리어 농도를 구하는 법을 알아보았습니다. PN 접합, 금속-반도체 접합, 이종접합 등 더 다양한 반도체의 동작들이 궁금하신 분들은 캐리어의 표동과 확산, 전자-정공쌍의 생성과 재결합 등의 개념을 이해한 뒤 해당 반도체에 관해 공부해 보시기 바랍니다! 🍷

### 각주

1. 전자 또는 정공과 같이 반도체 내에서 전류를 만들어 내는 것
2. 홀수차 반정수의 스핀을 가지는 입자로, 전자가 대표적인
3. 불순물을 첨가하지 않은 순수한 반도체

### 그림 출처

그림 1, 2, 3. Ben G. Streetman, and Sanjay Kumar Banerjee. Solid State Electronic Devices, 7th ed., Pearson, 2014.

### 참고 자료

Ben G. Streetman, and Sanjay Kumar Banerjee. 『고체전자공학』, 광계달, 김성준, 전국진 옮김. 성진미디어, 2015년.



프랑스 수학자 조제프 루이 라그랑주(J. L. Lagrange, 1736 - 1813)는 “역학 이론을 간략화하고 그와 연관된 문제를 예술적으로 풀기 위해” 새로운 역학 체계를 고안했다고 그의 논문 <Avertissement for *Mechanique Analytique*>에서 밝힌 바 있다. 그의 지적 유산인 라그랑지안 역학을 보면 무슨 의미인지 알 듯하다.

라그랑주의 역학은 크게 두 가지 토대가 필요한데, (1) 구속조건의 상정과 (2) 일반화 좌표의 구축이다. 구속조건은 분석하고자 하는 계의 특성을 파악하는 데 큰 도움이 된다. 대표적인 구속조건이자 우리가 필요한 건 아래의 종류이다.

### (1) 홀로노믹 구속 (Holonomic Constraints)

어떤 계에 존재하는 N번째 질점의 좌표를  $r_N$ 이라고 할 때, 질점 좌표들 간의 관계식이 다음과 같이 표현될 수 있다면 해당 계는 홀로노믹 구속조건이 부여될 수 있다고 말한다.

$$f(r_1, r_2, r_3, \dots, r_N, t) = 0$$

홀로노믹 구속조건은 계의 특성을 방정식이라는 명확한 표현수단으로 나타낸다는 것에 의의가 있으며, 이러한 모델링 방식은 매우 중요한 부분 중 하나이다.

### (2) 일반화 좌표 (Generalized Coordinates)

구속조건뿐만 아니라 좌표계의 일반화 역시 필요하다. 직교 좌표계 말고도, 계의 운동을 가장 잘 묘사할 수 있는 임의의 해석 요소를 찾아 좌표로 쓰는 것이다. 따라서 좌표  $x$ 와  $y$ 가 아니라, 임의의 축과의 각도  $\theta$ , 수직 축으로부터의 거리  $d_i$ 이 될 수도 있다. 이렇게 일반화시킨 좌표계를 일반화 좌표라고 말하며, 정의는 다음과 같다.

어떤 입자계의 배위를 구속조건에 관계없이 분명하게 명시하는 데 필요충분한 독립좌표  $q_i$ 의 집합  $\{q_i\}_{i=1}^N = \{q_1, q_2, q_3, \dots, q_N\}$ 을 일반화 좌표라고 한다.

입자  $N$ 개가 존재하는 3차원상의 공간이 있다고 가정해 보자. 일반적으로 입자의 좌표 사이에  $k$ 개의 홀로노믹 구속 관계가 존재한다는 것은, 해당  $k$ 개의 홀로노믹 방정식을 이용해 좌표 변수를 상쇄시킬 수 있다는 것을 의미한다. 즉  $3N$ 개의 좌표가 아니라,  $3N - k$ 개의

일반화 좌표  $\{q_i\}_{i=1}^{3N-k}$ 를 통해 계를 분석할 수 있게 된다.

‘계를 분석한다’는 것은 입자들의 궤적을 *Equation of Motion (EOM)*으로 나타낼 수 있다는 것인데, 주어진 계에서 입자의 궤적을 완벽히 알아내는 것이 대부분 고전역학에서 궁극적으로 달성하고자 하는 바이기 때문이다. 이제 계의 라그랑지안 (Lagrangian)을 정의할 것이다. 일반적으로 어떤 역학계에서 라그랑지안은 다음과 같이 정의된다.

$$L = T - V$$

여기서  $T$ 는 운동에너지,  $V$ 는 퍼텐셜 에너지이다. 라그랑주는 이 물리량을 정의함으로써 계를 더욱 쉽게 분석할 수 있는 체계를 마련하였다. 가장 간단한 적용 사례인 ‘보존력계의 라그랑주 방정식’을 소개하겠다.

$$\frac{\partial L}{\partial q_i} - \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} = 0 \quad (i = 1, 2, 3, \dots, N)$$

해당 식은 어떠한 보존력이 작용하는 공간 내에서도 성립한다고 알려져 있다. 이 식은 달랑베르의 가상 변위 원리(*D'Alembert Principle of Virtual Work*)를 통해서 증명될 수 있으나, 여백이 부족한 관계로 증명은 생략한다.<sup>1</sup>

$$\begin{aligned} x &= d \cos \theta \\ y &= d \sin \theta \end{aligned}$$

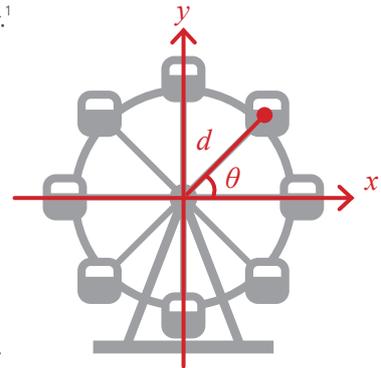


그림 1.  
대관람차를 이상적 원으로 근사한 그림과 좌표 설정. 대관람차의 중심이 원점이다.

그렇다면 놀이공원에 있는 대관람차의 움직임을 라그랑지안 역학을 통해 분석해 보자. 우리는 이 계를 이상적인 중력계로 근사하여 전자 1개의 EOM을 구할 수 있다. 우선 전차는 홀로노믹 구속 상태에 있다. 전차의 움직임은 이상적인 원이기 때문이다. 2차원 상의 구속조건을 1개라 가정한다면, 원운동을 고려한 가장 적절한 일반화 좌표는 수평선으로부터의 각도 변위  $q_i = \theta$ 로 충분할 것이다.

대관람차의 반지름을  $d$ , 각속도를  $\dot{\theta}$ 라고 할 때<sup>2</sup>, 질량  $m$ 을 가진 전차의 운동에너지  $T = \frac{1}{2}m(\dot{\theta}d)^2$ 와 퍼텐셜에너지  $V = mg(d\sin\theta)$ 를 통해 라그랑지안  $L = \frac{1}{2}m(\dot{\theta}d)^2 - mg(d\sin\theta)$ 을 구할 수 있다. 이를 통해 전차의 라그랑지안을 보존력계의 라그랑주 방정식에 적용하면 계산 과정을 거쳐 전차의 움직임을 나타내는 EOM을 다음과 같이 구할 수 있다.<sup>3</sup>

$$\frac{\partial L}{\partial q_1} - \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_1} = \frac{\partial L}{\partial \theta} - \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} = -mgd \cos\theta - md^2\ddot{\theta} = 0$$

$$mgd \cos\theta + md^2\ddot{\theta} = 0$$

다음 미분방정식은 실제로 전차의 움직임을 완전하게 기술할 수 있음을 확인할 수 있을 것이다. 라그랑주는 이런 방식으로 세상을 보는 새로운 틀을 만들어낼 수 있었다. 

[각주]

- 혹시라도 이 부분에 관심있는 독자가 있다면 Variational Principles in Classical Mechanics, Cline 을 참고해 보도록 하자.
- 문자 위의 점은 해당 변수의 시간에 대한 변화량을 뜻하는 것이다. 즉 t에 대해 편미분을 한 결과라고 보면 된다. 보통  $\frac{dx}{dt}$ 를 쓰기 번거로우서  $\dot{x}$  같은 형태로 쓰는 한다.
- 편미분 계산을 모르는 사람을 위해 간단히 소개하자면, 이 계산에서 편미분을 할 때에는 편미분하고자 하는 변수를 제외한 나머지 변수를 모두 상수 취급하여 미분을 연산하면 된다.

181호 문제

Q1 놀이공원에 있는 대관람차의 한 전차를 볼 때, 위의 이상적인 조건 근사가 적용된다면, 전차의 위치  $r$ 에 대하여 해당 홀로노믹 구속 조건 방정식  $f(r) = 0$ 을 직접 찾아보자.

Q2 대관람차의 반지름이  $\frac{1}{2}d$ 로 변한다면 라그랑지안  $L$ 이 어떻게 변할지, 그리고 그 이유를 써보고, 이때 라그랑주 역학 전개 과정을 통해 전차의 EOM을 구하는 과정을 적어보라.

(Hint : 운동 에너지와 퍼텐셜 에너지의 변화를 관찰하며 써보자.)

[정답자] 180호 마르쿠스 정답자는 없습니다.

- \* MARCUS에는 포스텍 수학생우회 MARCUS가 제공하는 수학 문제를 실습니다. 정답과 해설은 다음 호에 나옵니다.
- \* 이번 호 문제는 2024년 5월 14일(화)까지 알리미 E-MAIL (postech-alimi@postech.ac.kr)로 풀이와 함께 답안을 보내주세요.
- \* 정답자가 많을 경우, 간결하고 훌륭한 답안을 보내주시신 분들 중 추첨을 통하여 포스텍의 기념품을 보내 드립니다. (학교/학년을 꼭 적어 주세요.)

180호 문제 풀이

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

A1

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

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?

A2

$x$ 가 유클리드 공간의 원소일 때, 대응되는 사영 공간의 원소를  $[x]$ 로 표기하자.

$P$ 를 사영 직선 위의 사영 변환이라 하고  $L$ 을 그에 대응되는 2차원 유클리드 공간에 대한 어떤 선형 변환이라 하자. 즉,  $P$ 의 행렬 표현과  $L$ 의 행렬 표현을 각각  $A, B$ 라 할 때,  $A = cB$ 의 관계가 성립한다. 상수  $c$ 는 0을 제외한 어떤 수도 가능하다.

$P$ 를  $[x]$ 에 작용한 결과가  $[y]$ 일 때, 우리가 알 수 있는 것은  $L(x) = ky$ 가 0이 아닌 어떤 상수  $k$ 에 대해 성립한다는 것이다. 따라서 세 개의 점들에 대해 사영 변환을 거친 결과로부터, 다음과 같은 식들을 세울 수 있다.

$$L(x_i) = k_i y_i (i = 1, 2, 3)$$

이때 일반성을 잃지 않고  $k_3 = 1$ 이라 가정할 수 있는데, 이는 사영 공간의 원소는 상수배에 대하여 불변이기 때문이다. 이제  $x_3 = ax_1 + bx_2$ 로 나타내면,  $ak_1 y_1 + bk_2 y_2 = y_3$ 이 되고, 이로부터  $k_1, k_2$ 를 알 수 있다.  $L(x_i) = k_i y_i (i = 1, 2)$ 이므로  $L$ 과  $P$ 는 이로부터 완전히 결정된다. 즉, 3개의 서로 다른 점이 있으면 이들의 함숫값으로 사영 변환은 완전히 결정된다. 두 개 이하의 점에 대해 위 식을 만족하는 선형 변환은 상수배 차이를 무시하고도 무수히 많다는 것을 쉽게 알 수 있으므로, 사영 변환을 완전히 결정하기 위해서는 적어도 세 점에 대한 함숫값이 필요하다.

## 자기중심적 성장의 시작 : 나만을 향한 수험

글 반도체공학과 23학번 29기 알리미 김세현

'붉은 여왕 가설'을 들어보신 적 있으신가요? 이상한 나라의 앨리스에 등장하는 붉은 여왕의 왕국에서는 제자리에 멈춰있으면 뒤로 이동하고, 그 자리를 유지하기 위해서 끊임없이 달려야 하는 이상한 일이 벌어집니다. 이 가설은 원래 진화생물학에서 주변 환경과 경쟁자들 사이에서 끊임없는 진화를 거쳐 적응해야만 자신의 존재를 유지할 수 있다는 의미로 쓰이는 가설입니다. 그런데 이 용어가 입시 경쟁에서도 쓰이고 있다는 이야기를 듣고 마음이 참 아팠습니다. 입시 경쟁에서 현재 자신의 위치, 다시 말해 등급이나 백분위를 유지하기 위해서는 남들이 학습하는 것만큼의 공부량을 유지하는 것은 물론이며, 그 위로 올라서기 위해서는 남들의 학습량을 뛰어넘어야만 한다는 것을 의미하기 때문이죠. 우리 모두 머리로 알고 있는 사실이기도 합니다. 경쟁에서 살아남고 도약하기 위해서는 남들보다 피나는 노력을 하는 것이 정답이라는 것음요.

그렇다면 참 막막하지 않습니까? 주변 사람들은 이미 너무 열심히 노력하고 있습니다. 이미 그 사람들을 따라가기에도 벅하다는 느낌을 받고 있죠. 그럼에도 남들이 하는 수준만큼은 해야 하기 때문에 친구들은 얼마나 노력하고 있는지 늘 살피게 됩니다. 제 기억을 더듬어보면, 특히 주변 사람들과 자신을 계속 비교하며 뒤처지는 느낌을 받는 것이 저를 가장 힘들게 했던 것 같습니다. 당연히 그럴 수밖에 없는 것이 성적표엔 언제나 등수가 표시되고, 우리는 너무나도 많은 시험을 치르니까요. 한동안은 이렇게 생각했었습니다. 나만 뒤처지는 것 같다고. 내 위의 사람들을 바라보며 저들만큼만 하면 좋겠다고 생각했었죠. 이런 생각을 하며 힘든 수험 생활을 버틸 수 있을까요? 일반적인 사람이 그러긴 힘들 겁니다.

자신을 남들과 비교하게 하는 요인들은 끊임없이 생겨납니다. 선생님의 조언, 부모님의 잔소리, 친구들의 한탄... 그들의 의도가 어땠던 것들이 종종 내 자존감을 깎아 먹을 때가 있다는 것은 확실합니다. 저는 남들의 이야기를 듣고 주변 사람들과 나를 끊임없이

비교하는 저의 수험 생활에 싫증을 느끼고 말았어요. 그러다 보니 어느 순간 모든 상황에 무뎠해진 저 자신을 발견할 수 있었습니다. 주변 사람들의 이야기보다는 내 생각과 내 신념을 우선순위에 두기 시작한 것은 이때부터였습니다. '재는 재고, 나는 나지'라는 생각을 가지는 순간 이상하게도 모든 일이 쉽게 느껴졌습니다. 친구가 옆에서 모의고사 성적이 올랐다고 하더라도 흔들리지 않았습다. 오히려 진심으로 그들의 노력을 존중하고 축하해 줄 수 있었습니다. 저는 그저 묵묵히 제가 하던 속도대로, 제 할 일을 계속해 나갈 뿐이었습니다. 남들의 기준에서가 아니라 스스로가 판단하기에 더 할 필요가 있다 느껴지면 그제야 더 노력했습니다. 내 인생의 성공을 가장 바라는 사람은 그 누구도 아닌 나 자신이니깐요.

어디까지나 제가 수험생활을 버텨온 방법이 정답이라고는 말씀드리지 못하겠습니다. 경쟁 상황을 의식하며 피나는 노력을 했던 친구들처럼 살았다면 더 좋은 성적을 받았을 수도 있죠. 그런데 저는 도저히 그렇게는 안 되더라고요. 흔히 노력도 재능이라고 하지 않습니까? 저는 노력이 제 재능이라고 느끼진 못했거든요. 혹시 저와 같은 생각을 하는 포스테키안 독자분이 계신다면 저와 같은 마인드셋으로 수험생활을 해 나가는 것도 나쁘지 않다고 말씀드리고 싶습니다. 긴긴 수험생활을 지속적으로 진행하기 위해서는 나를 위한, 나에게 집중하는 마음가짐이 정말 큰 힘이 될 것입니다.

그렇다고 대단한 신념이 필요하다는 것도 절대 아닙니다. 스스로가 나에게 바라는 바가 있다면 언제든지 그 이야기를 들려주어야 하지만, 스스로 원하는 것이 없다면 주변 사람들이 하는 대로 따라가는 것도 어떻게 보면 제 신념을 따르는 행동이지요. 자, 이제 나를 힘들게 하는 주변의 모든 상황을 머릿속에서 완전히 지워봅시다. 오로지 나 자신과만 대면하는 시간을 가지는 겁니다. 내가 보기에 나에게 잘못된 점이 있다면 그 부분은 고치고, 나에게 칭찬할 만한 점이 있다면 아낌없이 칭찬해 주자고요. ㉠

## 나의 과거는 결국 아름다웠다

글 무은재학부 23학번 29기 알리미 김정연

안녕하세요, 포스테키안 독자 여러분! 봄의 따뜻한 햇살이 비추는 하루입니다. 유난히 추웠던 겨울을 지났기에, 봄의 향긋한 꽃향기와 따스함이 더 반가웠던 것 같습니다. 여러분의 봄은 어땠나요? 어쩌면 마음만은 아직 겨울에 머물러 있는 분도 계실 것 같습니다. 사실 저도 고등학교 시절에는 봄에 눈치 없이 새롭게 피어나기만 하는 꽃들이 야속하게 느껴지기도 했습니다. 저는 앞으로 나아가지 못한 채, 그대로 머물러 있기만 한 것 같았기 때문입니다. 이랬던 제가 어떻게 앞으로 나아갈 수 있었을까요? 이 글을 빌려 여러분의 마음에도 봄날이 찾아오도록 도움을 드리고자 합니다.

저는 매사에 불안하고 비관적인 학생이었습니다. 특히 고등학교 2학년 때, 슬럼프를 겪었죠. 제가 만든 불안함은 점점 커져 또 다른 불안함을 불러오는 악순환의 반복이었죠. 힘들다는 말을 입에 달고 살았던 것 같습니다. 당연하게도 그때의 제 일기장을 펼쳐보면 한탄의 연속이었죠. 그러다 문득, "이렇게 힘든 순간도 결국은 지나갈까?"라는 생각을 했습니다. 그렇게 1년 전인 1학년 때의 일기를 돌아보기 시작했습니다.

제 일기에는 1년 전의 하루 또한 힘들다는 말 투성이었지만, 이상하게도 제 기억에는 힘들었던 순간보다 행복했던 순간들이 더 크게 남아있었습니다. 그때 깨달았습니다. 결국 과거는 미화된 추억으로 남는다는 사실을 말이죠. 그렇다면 고등학교 2학년 때의 힘든 순간도 결국은 미화된 추억으로 남았을까요? 네 맞습니다. 지금 이 글을 쓰면서 돌아켜보면, 고등학교 2학년 때의 힘들었던 감정 정도 현재는 행복했던 감정으로 뒤덮여 있습니다. 여기서 말씀드리고 싶은 것은 크게 두 가지입니다. 첫 번째로, 모든 순간은 지나가기 마련입니다. 그래서 아무리 힘든 순간도 지나가 결국 미화되

리라는 희망을 품고, 앞으로 나아가기를 바랍니다. 두 번째로, 이 순간들을 담아내기 위해 일기를 써보는 것을 추천합니다. 미래에 언젠가 일기를 보면서, 자신이 힘들었던 순간들을 극복하고 결국 성장했다는 것을 느끼도록 말이죠.

그 이후로 제 일기는 어떻게 바뀌었을까요? 물론 힘들다는 말은 여전히 적혀 있습니다. 저는 계속해서 저의 솔직한 감정들을 적곤 했습니다. 하지만 바뀐 점이 있다면, 나를 위해 생각한 좋은 말을 적기 시작했습니다. 현재의 나에겐 앞으로 나아갈 원동력을 주도록, 미래의 나에겐 극복해 냈다는 뿌듯함을 증폭시키도록 말이죠. 그중 가장 인상 깊었던 말 하나를 여러분께 말씀드리며 마무리해 보려 합니다.

*"I'm a star, You'll never catch up."*

여러분이 천체 분야에 관심이 있으시다면, 밤하늘에 보이는 별들은 사실 매우 멀리 떨어져 있다는 사실을 아실 거예요. 어떤 별들은 지구와 수십억 광년 떨어져 있기도 합니다. 이 중에서는 우리 눈에 보이지 않는 별도 많아요. 별빛이 지구를 향해 열심히 달려오고 있지만, 너무 멀리 떨어져 있어서 아직 지구에 도달하지 못했기 때문입니다. 그렇다고 그 별이 빛나고 있지 않은 것인가요? 그건 아닙니다. 저는 앞선 문장을 읽으며 저 별이 마치 여러분과 같다고 생각했습니다. 여러분은 충분히 빛나고 있어요. 다만 빛나지 않는다고 느낀다면, 그 빛이 아직 관측되지 못한 것이겠죠. 별빛이 묵묵히 앞으로 나아가는 것처럼, 여러분도 앞으로 계속 나아가시길 바랍니다. 그렇다면 분명히 관측되는 날이 올 것입니다. 여러분이 빛을 관측하게 되는 날까지 항상 응원하겠습니다.☺

# 포스테키안 181호를 만든 알리미를 소개합니다!



28기 화학과 22학번 김유빈



28기 컴퓨터공학과 22학번 박기현



28기 화학공학과 22학번 사수현



28기 신소재공학과 22학번 윤정현



28기 IT융합공학과 22학번 이유리



28기 전자전기공학과 22학번 조소혜

no. 181  
영상 공개 일정

CES & Nobel Week : 5월 3일  
포스텍 에세이(POPO) : 5월 10일  
마르쿠스 : 5월 17일  
포커스 : 5월 24일

ALIMI ON-AIR : 6월 7일  
기획특집 : 7월 5일  
알턴십 : 8월 2일





29기 무은재학부 23학번 김세민



29기 반도체공학과 23학번 김세현



29기 무은재학부 23학번 김정연



29기 무은재학부 23학번 박다현



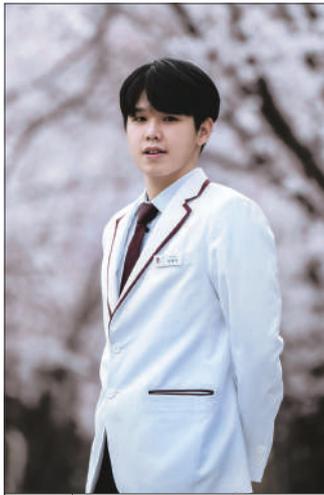
29기 무은재학부 23학번 박태준



29기 무은재학부 23학번 윤현서



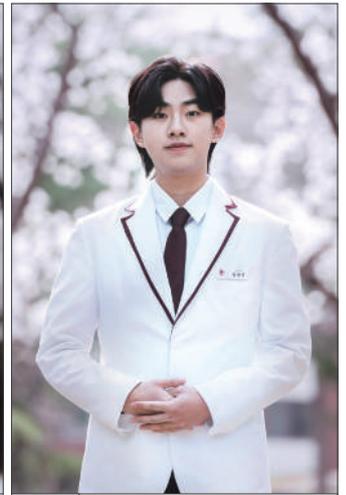
29기 무은재학부 23학번 이우현



29기 무은재학부 23학번 이현민



29기 무은재학부 23학번 조민서



29기 무은재학부 23학번 황현준



## 독자 여러분의 의견을 기다립니다.

<POSTECHIAN>을 만드는 알리미에게 여러분의 이야기는 큰 힘이 됩니다.

앞으로도 꾸준히 알리미를 응원해 주세요. 채택된 주인공에게는 소정의 기념품을 보내 드립니다.



### 충주대원고등학교 1학년 장윤석

포스테키안은 매 호 새로운 테마로 구성되어 있는 점이 좋은 것 같습니다. 이번 호 테마 중에서는 '공대생이 보는 세상'에서 학과별 카페 분석이 가장 재밌었습니다. 또, 이번 호 'Creative Postechian'에 나온 의료 인공지능 전문가처럼 인공지능, 가상현실, 반도체 분야 등 현재 또는 미래에 유망한 분야에 종사하시는 분들도 다뤄 주셨으면 좋겠습니다. 감사합니다!

### 안남고등학교 1학년 황예은

포스테키안을 통해 최신 과학 이슈나 이론 등 다양한 분야의 내용을 접하고 배울 수 있다는 점이 좋았습니다. 특히 '공대생이 보는 세상'에서 세상을 과학적으로 바라보는 다양한 시선들이 흥미로웠어요! 그리고 크리스마스 컨셉의 귀여운 표지, 내부의 예쁜 색감과 챗터에 맞는 디자인이 돋보여서 다음 장을 넘길 때마다 기대하는 마음으로 봤습니다.



▼ 알리미가 쓴다 QR

### 구독자 참여 이벤트 일정

- ① 알리미가 쓴다: 2024년 7월 7일까지 구글 폼에 정답을 등록해 주세요.
- ② 마르쿠스: 2024년 5월 14일까지 정답을 보내주세요.
- ③ 고등학생 기자단 포커스: 4월 26일 - 5월 12일까지 아래의 URL를 통해 신청해 주세요.

- ① <https://forms.gle/BK4VSkreE7fgpve3s7>
- ② [postech-alimi@postech.ac.kr](mailto:postech-alimi@postech.ac.kr)
- ③ <https://me2.do/Gvdmjyh5B>



▲ 고등학생 기자단 포커스 신청 QR



## 전자전기공학과 22학번 28기 알리미 조소혜

포스테키안 구독자 여러분 안녕하세요! 포스테키안 팀장 중, PROGRESS 코너를 맡아온 조소혜입니다. 181호로 포스테키안을 처음 접하신 분들은 저를 처음 보실 수도 있겠지만, 181호는 제 알리미 생활 마지막으로 집필하는 포스테키안입니다. 여러 글을 쓰고, 또 여러 코너를 담당했는데요. 그 글들이 여러분이 시간을 내어 읽고 싶은, 또는 힘이 들 때 다시 찾아올 수 있는 좋은 글이었기를 간절히 바랍니다. 정말 사랑하는 포스테키안의 제작 과정에 이제는 참여하지 못한다는 점이 아쉽지만, 앞으로 포스테키안을 총괄할 4명의 포스테키안 팀장 그리고 포스테키안을 집필할 29기, 30기 알리미들은 항상 여러분을 기대하게 만들 글을 가져올 것이라 믿습니다. 구독자 여러분 지금까지 감사했습니다! 여러분께 항상 봄처럼 새롭고 따뜻한 하루가 가득하기를 바랍니다.



안녕하세요, 포스테키안 독자 여러분! 30대 알리미 회장 박기현입니다. 어느덧 제가 쓰는 마지막 글이네요. 솔직히 말해서 저는 글을 잘 쓰지 못하는 편입니다. 하고 싶은 말은 많은데, 글로써 표현하기가 참 쉽지 않더군요. 그래서 처음에는 어떻게 하면 여러분께 조금이나마 더 좋은 글을 전할 수 있을지 막막하기도 했습니다. 하지만 '시작이 반이다'라는 속담이 있죠. 포스테키안을 집필하면서 이 말의 뜻을 몸소 느낄 수 있었는데요. 겁이 났던 때는 어디 가고, 스스로 즐기면서 글을 쓰는 저를 발견할 수 있었습니다. 여러분도 무엇이든지 시작을 두려워하지 마시길 바랍니다. 다시는 돌아오지 않을 찬란한 삶을 사는 여러분께서는 항상 도전하는 자세로 높이 비상하시길 바랍니다. 이 글이 알리미로서 여러분께 전하는 마지막 글이지만, 글로 표현하지 않더라도 항상 여러분을 응원하고 있겠습니다. 포스테키안 집필이라는 좋은 경험을 할 수 있도록 해준 알리미에게도 진심으로 감사를 표하며 저의 마지막 글을 마칩니다.



## IT융합공학과 22학번 28기 알리미 이유리



## 화학공학과 22학번 28기 알리미 사수현

안녕하세요, 28기 포스테키안 팀장 사수현입니다. 2년 전 알리미가 되고, 제가 포스텍을 좋아하게 된 이유였던 포스테키안에 처음으로 글을 썼습니다. 1년 전부터는 포스테키안 팀장이 되어 잡지의 내용이나 구성 등 전체 제작 과정에 더 깊게 관여할 수 있었죠. 그렇게 책임감과 설렘으로 준비했던 3개 호가 독자 여러분께 닿았고, 이제는 저의 포스테키안 마지막 글을 적고 있네요. 사실 아쉬움이 큰 것 같습니다. 어떻게 하면 더 유익하고 재미있는 내용을 담을까, 이 코너가 최선일 것인가와 같은 고민이 여전히 큰데, 저에게 주어진 시간은 끝나가네요. 하지만 '가야 할 때가 언제인지를 분명히 알고 가는 이의 뒷모습은 얼마나 아름다운가.'라는 시의 구절처럼, 끝이 있기에 그 과정에 최선을 다할 수 있었고, 그 모습이 아름다운 것이겠죠? 이제 저는 여러분과 같은 한 명의 독자로 돌아가지만, 29기 팀장들이 더욱더 알찬 포스테키안을 선보일 테니 앞으로도 많은 관심과 사랑 부탁드립니다!

포스테키안 구독자 여러분 안녕하세요! 28기 알리미 이유리입니다. 2년 전 알리미로서 처음 포스테키안 글을 작성해 본 게 엇그제 같은데, 이제는 편집장으로서 여러분께 마지막 인사를 드리게 되었습니다. 사실 여러분들에게 보여드리는 포스테키안 한 호 한 호가 완성되기까지는 많은 분과의 논의와 교정이 필요했습니다. 그렇기에 이 자리를 빌려 포스테키안 잡지 집필에 도움을 주신 모든 분께 진심으로 감사의 말씀을 전하고 싶습니다. 많은 분의 열정과 애정으로 완성된 포스테키안이 독자 여러분들에게 조금이라도 도움이 되었다면, 그것만으로 저희에게 큰 보람입니다. 이제 여러분께 마지막으로 인사를 드리지만, 포스텍에서 선후배로 다시 만날 수 있기를 진심으로 바랍니다. 여러분과 소통할 수 있어 정말 영광이었고, 행복했습니다! 진심으로 감사합니다.



BYE BYE(:

## 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 181호에 달하는 전통을 자랑하고 있습니다. 과학에 관심있는 분이라면 누구라도 POSTECHIAN의 독자가 되실 수 있습니다.

구독을 원하시면 포스텍 입학팀 카카오톡채널에서 신청해 주세요.



포스텍이 궁금해? 링크 모음

**POSTECH**