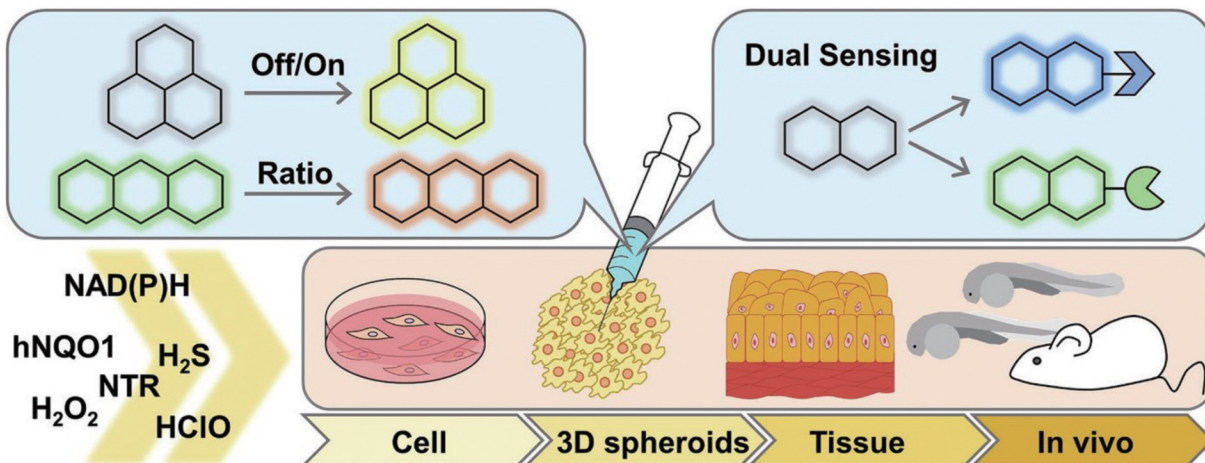


화학세계

CHEMWORLD

화학이 지구를 푸르게



<이달의 하이라이트> 기능성 유기 형광분자 설계 및 생물학적 응용에 대한 모식도

읽기쉬운 총설

전기화학과 코발트 촉매를 이용한 라디칼-극성 반전 반응을 통한 알켄의 하이드로기능화 반응 개발

지속가능한 기계화학 합성방법: 무용매 조건 고체 반응

이달의 하이라이트

기능성 유기광분자 디자인 및 합성을 통한 센서, 진단, 치료 연구

화학교육

머신러닝 융합 과학교육의 교육적 의미 탐색

우수선도연구기관

국립목포대학교 플라즈마분광분석 핵심연구지원센터

특별 기고문

‘대한민국 정밀화학 분야의 개척자이자 과학기술계 리더’ 채영복(蔡永福)

“앞서가는 화학회, 공식후원사와 함께 합니다”



Back to Jeju

Sustainable
MICE CITY

Meetings Incentive tours
Conventions Exhibitions

JEJU **CVB**
제주컨벤션뷰로

매 순간
자신있게



케어센스® 에어 연속혈당측정시스템

케어센스 에어는 한 번의 혈당측정 센서 착용으로, 15일 간 실시간 혈당 모니터링이 가능합니다.
앱과 함께 사용하여 체계적으로 혈당을 관리하고 의료진 및 보호자와 데이터를 공유할 수 있습니다.

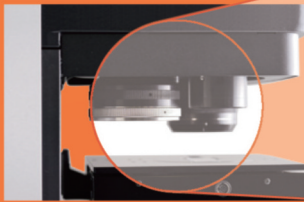
새로운 적외선 현미경 시스템!
Infrared Microscope

AIMsight™

SHIMADZU AIMs to
provide analysis systems for all users.

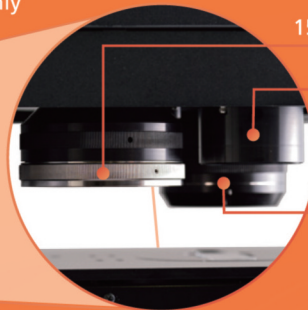


Determines the measurement position smoothly
by capturing the measurement target with
a wide field of view



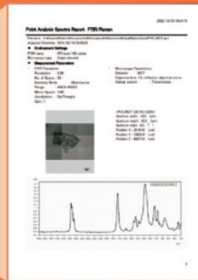
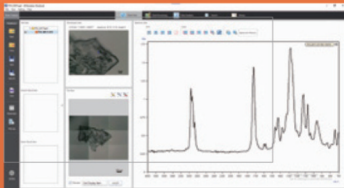
15x reflective objective mirror

Wide-field camera



Grazing Angle Objective
(optional)

Exports
the measurement results



Observe
Wide-field camera

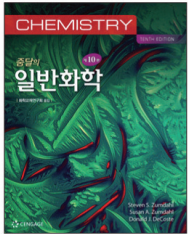


Measure
Automatic contaminant
recognition system
Highest class S/N
Length measurement function



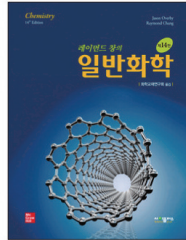
Analyze
Original library of high hit ratios*
Contaminant analysis program
Spectrum advisor function
*Optionally available

중달의
일반화학 10판



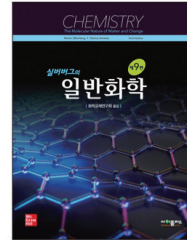
저 자 : Zumdahl
판 수 : 10
발 행 : 2019
페 이 지 : 1168
I S B N : 9788962184358

신간 레이먼드 창외
일반화학 14판



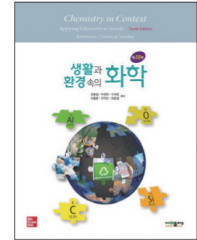
저 자 : Overby, Chang
판 수 : 14
발 행 : 2023
페 이 지 : 1080
I S B N : 9791188731343

신간 실버버그의
일반화학 9판



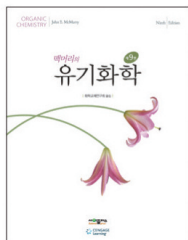
저 자 : Silberberg
판 수 : 9
발 행 : 2023
페 이 지 : 1034
I S B N : 9791188731367

생활과 환경 속의
화학 10판



저 자 : ACS
판 수 : 10
발 행 : 2021
페 이 지 : 454
I S B N : 9791188731237

맥머리
유기화학 9판



저 자 : McMurry
판 수 : 9
발 행 : 2017
페 이 지 : 1224
I S B N : 9788962184297

양자화학 입문 2판



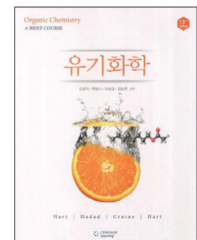
역 자 : 이종백 외
판 수 : 2
발 행 : 2022
페 이 지 : 408
I S B N : 9791188731282

기초 표면화학



역 자 : 소호원
판 수 : 1
발 행 : 2022
페 이 지 : 300
I S B N : 9791188731275

Hart의
유기화학 13판(수정판)



역 자 : 김성식 외
판 수 : 6(수정판)
발 행 : 2022
페 이 지 : 600
I S B N : 9788962185454

신간 나노소재화학



저 자 : 이광렬 외
판 수 : 1
발 행 일 : 2023
페 이 지 : 376
I S B N : 9791188731404

신간 화학자를 위한
결정학



역 자 : 윤우진, 윤호섭
판 수 : 1
발 행 일 : 2022
페 이 지 : 236
I S B N : 9791188731329

신간 Biochemistry



저 자 : Tansey
판 수 : 1
발 행 일 : 2022
페 이 지 : 1008
I S B N : 9781119820802

Atkins' Physical Chemistry 11/e

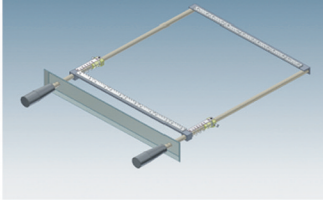


저 자 : Atkins
판 수 : 11
발 행 일 : 2018
페 이 지 : 1050
I S B N : 9780198814740

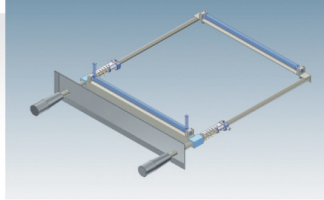
국내 LAB 시험기 선두 기업!!

- ✓ 열처리 가공으로 인한 시료의 조직 변화, 물성 변화를 미리 측정.
- ✓ Coating 용으로 병행 사용 가능. (코팅 장치 - Option)
- ✓ 사용 온도 : 25~250°C.

상하 핀 타입



종이 호일 타입



자동 배출형 건조기
[코팅 경화기]

Mini Dryer (DL-2015)

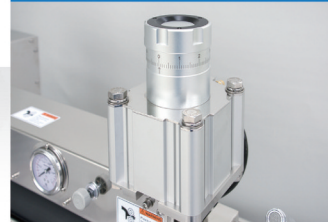
그라비아 코팅기

Gravure Coater (DL-2500GV)

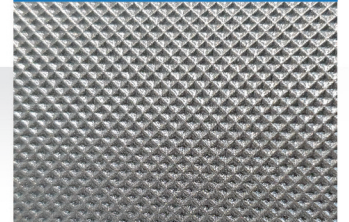


- ✓ 좌, 우측 각각 Air Cylinder의 압력 조절 가능.
- ✓ 편면 코팅가공 (Gravure Coating) 가능.
- ✓ 10사수에서 200사수 까지 가능.
- ✓ 상부와 하부 롤러간의 간격 조절, 두꺼운 시험편 (원단, 부직포 등) 사용이 가능.

롤러 간격 조절 장치



그라비아 패턴 (기본사양)



QR코드로 대림스타릿(주) 홈페이지에 접속하여 다양한 제품을 알아보세요!

2023년 9월 광고 목차

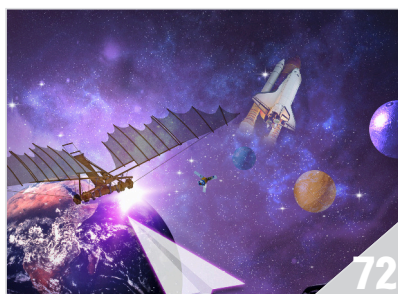
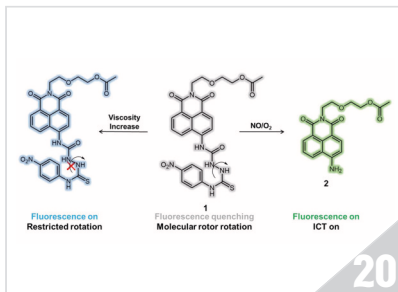
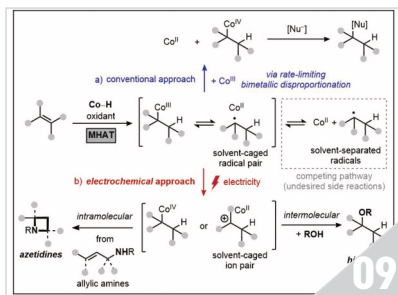
뒤표지	바이오니아
앞표지 안쪽	제주컨벤션부로
뒤표지 안쪽	동우화인켐
p.01	아이센스
p.02	시마즈 사이언티픽 코리아
p.02	사이플러스
p.03	대림스타릿(주)

2023년 운영진

회 장	신석민
부 회 장	성재영(총무) 이광렬(기획) 김지환(학술) 윤재숙(홍보) 추현아(산학협력) 황성주(국제협력) 백성혜(교육)
실무이사	장락우(총무) 고두현(총무) 강은주(총무) 이진석(기획) 윤효재(기획) 정유성(국제협력) 남좌진(국제협력) 이윤미(학술) 김태규(학술) 성봉준(홍보) 한순규(홍보) 김정욱(홍보) 최현호(산학협력) 김준수(교육)

2023년 화학세계 편집위원회

위 원 장	윤재숙
부위원장	성봉준 김정욱 한순규
상임위원	김기향 이주용 홍석원
	정원진 이원화
편 집 자	오민영



NEWS

- 06 KCS 캘린더
- 07 이달의 학회
- 71 신진연구자 소개 · 선정철
- 90 월간학회소식

PAPER

- 09 읽기 쉬운 총설 | 전기화학과 코발트 촉매를 이용한 라디칼-극성 반전 반응을 통한 알켄의 하이드로기능화 반응 개발 · 김현우
- 14 읽기 쉬운 총설 | 지속가능한 기계화학 합성방법: 무용매 조건 고체 반응 · 이효원, 김정곤*
- 20 이달의 하이라이트 | 기능성 유기광분자 디자인 및 합성을 통한 센서, 진단, 치료 연구 · 윤신아, 박선영, 이민희*

SPECIAL

- 32 우수선도연구기관 | 국립목포대학교 플라즈마분광분석 핵심연구지원센터 · 남상호
- 38 특별기고문 | '대한민국 정밀화학 분야의 개척자이자 과학기술계 리더' 채영복 (蔡永福) · 이필호
- 43 KCS 하이라이트 | 고등 분광기술을 활용한 화학연구 · 김준우

EDUCATION

- 27 화학 교육 | 머신러닝 융합 과학교육의 교육적 의미 탐색 · 최정인

COLUMN

- 72 화학칼럼 | 연구자 되기 ⑦ : 연구자의 덕목: 도전(挑戰) 정신 · 김태영
- 75 화학칼럼 | 꿀에 대한 속설과 화학적 관점 · 장홍제

TREND

- 50 우리 실험실은요! | 유기금속 촉매반응 연구실(Organometallic Catalysis Lab) · 정유진
- 92 화학만평
- 88 Book & App

55th IChO 2023

- 52 제55회 국제화학올림피아드 참가기 | 멘토편 · 정병혁
- 58 제55회 국제화학올림피아드 참가기 | 멘티편 · 김희준, 서채원, 장준성, 전지민
- 67 제55회 국제화학올림피아드 참가기 | 게스트편 · 신명진

132nd GENERAL MEETING

- 78 심포지엄 및 구두발표 주제, 조직책임자
- 80 연회비 및 참가비 안내
- 81 심포지엄 및 구두발표 주제 요약문

ADVERTISING & CAMPAIGN

- 07 클린 인터넷을 선언합니다
- 93 기기전시회 안내
- 94 대한화학회장상, 외부단체협찬상
- 95 대한화학회 발간(참여) 학술지
- 96 지면광고 안내/회비 및 구독료 안내

SEPTEMBER

S	M	T	W	T	F	S
					1	2
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30

- 제132회 학술발표회, 총회 및 기기전시회
- 사전등록(6월 22일~9월 21일)

January

- 신년교류회(1월 6일, 오후 3시)
- 제131회 학술발표회, 총회 및 기기전시회
(4월 26일~28일, 수원컨벤션센터)
- 학회상 수상 후보자 추천
(2022년 12월 21일~2023년 1월 25일)
- 초록접수(1월 2일~2월 16일)
- 사전등록(1월 2일~3월 16일)
- 기기전시회접수(1월 9일~3월 31일)
- 한국화학올림피아드 겨울학교(1월 2일~1월 14일)

February

- 제131회 학술발표회, 총회 및 기기전시회
(4월 26일~28일, 수원컨벤션센터)
- 초록접수(1월 2일~2월 16일)
- 사전등록(1월 2일~3월 16일)
- 기기전시회접수(1월 9일~3월 31일)

March

- 제131회 학술발표회, 총회 및 기기전시회(4월 26일~28일, 수원컨벤션센터)
- 사전등록(1월 2일~3월 16일)
- 기기전시회접수(1월 9일~3월 31일)
- 한국화학올림피아드 여름학교 입교대상자 접수(3월 13일~4월 9일)

April

- 제131회 학술발표회, 총회 및 기기전시회
- 현장등록(3월 17일~4월 28일)
- 한국화학올림피아드 여름학교 입교대상자 접수
(3월 13일~4월 9일)
- 2023년 대한화학회 화학포스터 그리기 및 화학시화 대회
- 신청접수(4월 3일~5월 20일)/작품제출(4월 3일~5월 28일)/심사결과(6월 예정)

May

- 제132회 학술발표회, 총회 및 기기전시회
(10월 25일~27일, 광주 김대중컨벤션센터)
- 학회상, 외부상 수상 후보자 추천 접수
(5월 24일~6월 28일)
- 2023년 대한화학회 화학포스터 그리기 및 화학시화 대회
- 신청접수(4월 3일~5월 20일)/작품제출
(4월 3일~5월 28일)/심사결과(6월 예정)

June

- 제132회 학술발표회, 총회 및 기기전시회
- 학회상, 외부상 수상 후보자 추천 접수
(5월 24일~6월 28일)
- 사전등록(6월 22일~9월 21일)
- 한국중학생화학대회 접수(6월 19일~7월 2일)
- 한국화학올림피아드
- 여름학교 입교대상자 평가(5월 20일) / 겨울학교 입교대상자 접수(6월 12일~7월 9일)

July

- 제132회 학술발표회, 총회 및 기기전시회
- 초록접수(7월 14일~8월 25일)
- 사전등록(6월 22일~9월 21일)
- 화학회 창립일(7월 7일)
- 국제화학올림피아드(7월 16일~7월 25일)
- 한국화학올림피아드
- 겨울학교 입교대상자 접수(6월 12일~7월 9일)
- 여름학교(7월 30일~8월 7일)

August

- 제132회 학술발표회, 총회 및 기기전시회
- 초록접수(7월 14일~8월 31일)
- 초록수정 및 삭제 마감(8월 31일)
- 사전등록(6월 22일~9월 21일)
- 한국화학올림피아드
- 여름학교(7월 30일~8월 7일)
- 겨울학교 입교대상자 평가(8월 26일)
- 한국중학생화학대회(8월 19일)

October

- 제132회 학술발표회, 총회 및 기기전시회
(10월 25일~27일, 광주 김대중컨벤션센터)
- 화학산업의 날(10월 31일)

November

December

- 제133회 학술발표회, 총회 및 기기전시회
- 분과회별 심포지엄 주제 확정

CONFERENCE OF THE MONTH

2023년 9월 11일~12일

6th World Chemistry Conference and Exhibition (WCCE-2023)

장 소 | Barcelona, Spain

안 내 | <https://worldchemistry.org/>

2023년 9월 25일~27일

International Conference of Physical Chemistry - ROMPHYSCHEM

장 소 | Bucharest, Romania

안 내 | <https://gw-chimie.math.unibuc.ro/romphyschem/index.php>

클린 인터넷을 선언합니다



화학회 회원들의 소통에 꼭 필요한 수단인 인터넷에 심각한 문제가 나타나고 있습니다. 화학회는 '정보통신망 이용촉진 및 정보보호 등에 관한 법률' 제70조(벌칙) 및 '형법' 제309조(출판물에 의한 명예훼손)를 준수하여 건강하고 깨끗한 인터넷 문화를 만들어가고자 합니다.

- 회원의 개인 정보 보호를 위해 적극적으로 노력합니다.
- 불법 정보나 영리성 광고의 유통을 막기 위해 노력합니다.
- 회원의 사생활을 침해하거나 명예를 훼손하는 정보의 유통을 엄격하게 금지합니다.

※ 관련법에 어긋나는 사례를 발견하시면 화학회의 cleankcs@kcsnet.or.kr로 연락해주시길 바랍니다.

'정보통신망 이용촉진 및 정보보호 등에 관한 법률' 제70조(벌칙)

- ① 사람을 비방할 목적으로 정보통신망을 통하여 공공연하게 사실을 드러내어 다른 사람의 명예를 훼손한 자는 3년 이하의 징역이나 금고 또는 2천만원 이하의 벌금에 처한다.
- ② 사람을 비방할 목적으로 정보통신망을 통하여 공공연하게 거짓의 사실을 드러내어 다른 사람의 명예를 훼손한 자는 7년 이하의 징역, 10년 이하의 자격정지 또는 5천만원 이하의 벌금에 처한다.
- ③ 제1항과 제2항의 죄는 피해자가 구제적으로 밝힌 의사에 반하여 공소를 제기할 수 없다.

형법 제309조(출판물에 의한 명예훼손)

- ① 사람을 비방할 목적으로 신문, 잡지 또는 라디오 기타 출판물에 의하여 제307조제1항의 죄를 범한 자는 3년 이하의 징역이나 금고 또는 700만원 이하의 벌금에 처한다.
- ② 제1항의 방법으로 제307조제2항의 죄를 범한 자는 7년 이하의 징역, 10년 이하의 자격정지 또는 1천500만원 이하의 벌금에 처한다.



PROJECT · VII

지속가능한 사회를 위한 화학

PART
5

전기화학과 코발트 촉매를 이용한 라디칼-극성 반전 반응을 통한 알켄의 하이드로기능화 반응 개발

김현우 | 포항공과대학교 화학과
khw7373@postech.ac.kr

PART
6

지속가능한 기계화학 합성방법
: 무용매 조건 고체 반응

이효원, 김정곤* | 전북대학교 화학과
jeunggonkim@jbnu.ac.kr

전기화학과 코발트 촉매를 이용한 라디칼-극성 반전 반응을 통한 알켄의 하이드로기능화 반응 개발

김현우 | 포항공과대학교 화학과, khw7373@postech.ac.kr

서론

평면 구조를 가지며 자연적, 공업적으로 풍부한 저에너지 화합물인 알켄의 선택적 기능화 반응 개발은 잘 알려진 유기 화합물의 복잡성을 증가시키는 데 중요한 역할을 하며, 소위 “평지에서 벗어나는(escape from flatland)” 기능을 제공하여 이차원 분자 구조에서 삼차원 구조로의 변환을 가능케 하여 분자 설계 및 새로운 분자 특성에 대한 가능성을 제공한다. 알켄 기능화의 다양한 방법 중 하이드로기능화(hydrofunctionalization)는 알켄을 구성하는 두 탄소

원자에 각각 수소 원자와 원하는 작용기를 선택적으로 도입하는 매우 중요하고 널리 활용되는 방식으로, 목표하는 고부가가치 화합물을 필요 이상으로 복잡하게 하지 않는 수준에서 핵심 합성 전략을 제공한다고 할 수 있다.¹

이러한 알켄 하이드로기능화에서의 가장 중요한 쟁점 중 하나는 바로 위치 선택적으로 반응을 설계할 수 있는지라고 할 수 있는데, 최근 코발트 촉매의 특출한 마르코브니코프 선택적 금속-수소 원자 전달(Metal-Hydride Hydrogen Atom Transfer, MHAT)반응 매개 능력을 통해 다양한 합성법이 개발될 수 있었다.² 게다가 코발트 촉매의 산화-환

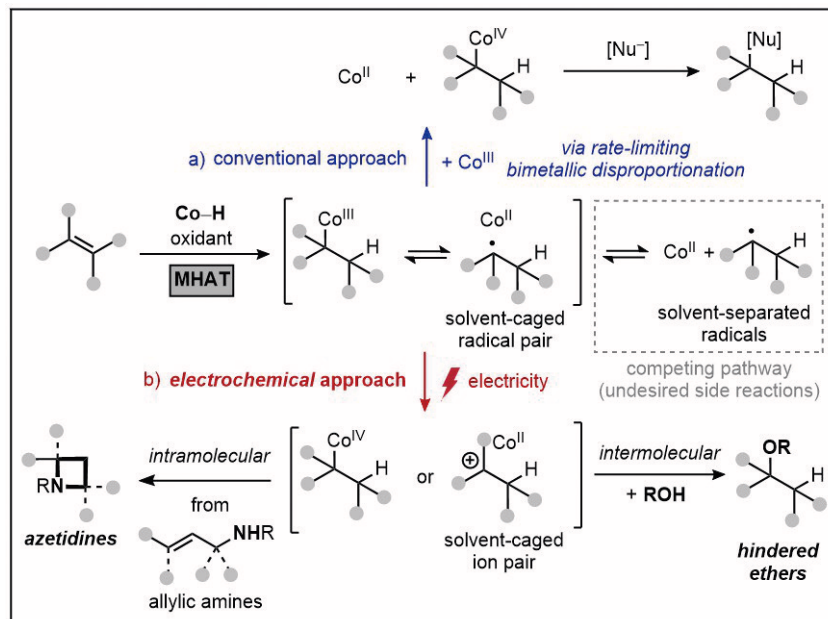


그림 1. (a) 코발트 하이드라이드 촉매와 화학적 산화제를 이용한 알켄의 친핵성 하이드로기능화 전략 (b) 전기화학적 산화를 이용한 반응경로 개척

원 반응 양립가능성은 다양한 작용기를 가진 친핵체를 화학적 산화 환원제의 존재하에서 어려움 없이 사용하여 할로젠, 산소, 질소 또는 탄소 기반 작용기를 효과적으로 알켄에 도입시키는 것이 가능하도록 해 왔다[그림 1, 파란색 화살표].³ 이러한 전통적인 접근 방식은 종종 코발트 촉매의 산화수 조절을 위해 화학적 산화-환원제의 사용에 의존해 왔는데, 화학적 산화-환원제를 사용하는 접근 방식은 낮은 산화-환원 효율 때문에 원치 않는 부반응과의 선택성 간의 경쟁을 유발한다고 알려져 있다. 예를 들어, 화학적 산화제와 친핵체를 사용하는 전통적인 알짜 산화(net-oxidative) MHAT 반응 체제에서는 코발트 3가 중간체 간의 이분자 불균등화 반응(bimetallic disproportionation)이 핵심적인 코발트 4가 알킬 중간체를 형성하는 데에 있어 속도 결정단계로 제안되어 왔다.⁴ 화학적 산화제를 사용하는 경우에는 이러한 촉매 산화과정이 느리기 때문에 종종 원치 않는 경쟁 부차 반응, 예를 들어 라디칼 동종 짝지음 반응(homocoupling)이나 알켄의 이성질화를 초래한다고 알려져 있다. 이러한 부반응들 때문에 결국 산화 환원 효율성이 감소하고 결론적으로 높은 당량의 화학적 산화 환원제가 필수적으로 사용되어 왔다[그림 1a].

최근 전기화학을 이용한 유기합성 방법론 개발이 주목을 받으면서, 코발트 촉매와 전기촉매작용을 활용한 알짜 산화 MHAT를 통한 알켄 하이드로기능화 분야에서 주목할만한 발전이 이뤄져 왔다[그림 1b]. 단순히 화학적 산화/환원제를 대체하는 목적의 전기화학 사용이 아닌, 반응 속도론적 한계를 극복하여 새로운 선택성을 유기반응에 부여할 수 있다는 점에 착안하여 본 총설에서는 알켄 하이드로기능화의 라디칼-극성 교차 전략을 응용한 알켄 기능화 반응에 관한 최신 연구 동향을 간략히 기술하고자 한다.

본 론

1. 코발트 촉매와 전기화학을 이용한 분자 간 하이드로에테르화 반응 개발

위에 언급한 코발트 4가 화합물의 전기화학적 생성과 관련하여 주목할만한 결과가 2022년 처음으로 보고되었다.⁵ 해당 연구를 보고한 연구팀은 앞서 언급한 이분자 불균등화

반응에 기인한 코발트 촉매와 화학적 산화제 하에서 알켄의 하이드로기능화 반응 개발의 반응 속도론적 한계를 처음 밝혀낸 바 있으며, 이에 착안하여 광촉매를 해당 산화과정을 매개하기 위한 수단으로 적용한 바 있었다. 그러나 광촉매를 사용하는 경우에 해당 광촉매의 반응 중 재생 과정에서 상당 이상의 화학적 산화제를 필요로 했다는 단점이 여전히 존재했다. 해당 연구팀은 기존에 순환전압전류법(cyclic voltammetry)을 통해 연구된 코발트 촉매의 전기화학적 성질에 기반하여 코발트(II/III/IV) 사이클을 제안하였다. [그림 2A]는 선행 문헌들과 실험 결과를 기반으로 제안한 도식화된 촉매 사이클이다. 먼저, 코발트(II) 살렌(salen) 촉매 1은 실레인(silane) 2의 존재하에서 전극 표면에서 산화되어 코발트(III)-하이드라이드 3을 형성한다. 그다음 3은 알켄 4와 MHAT를 통해 금속/유기 라디칼 쌍(metal/organic radical pair) 5를 형성하고, 두 번째 산화가 전극에서 이루어져 코발트(IV)-알킬 중간체 7로 전환하게 되며, 이 중간체는 결국 원하는 하이드로기능화 생성물인 9를 형성하기 위해 친핵체에 의해 포획되며 코발트(II) 촉매 1을 재생하여 촉매 사이클을 완성한다.

해당 연구에서는 코발트 2가 촉매 1을 5 mol%와 2당량의 실레인 그리고 TBABF₄ 전해질을 메탄올 용매 하에서 사용하고 총 2.3 F/mol의 전하를 정전류법을 사용하여 흘려주게 되며, 양극과 음극 모두 백금 판을 사용하는 것을 최적화된 반응 조건으로 제시한다[그림 2B]. 해당 반응의 최대 장점 중 하나는 하이드로알코실화, 하이드로아실옥실화, 하이드로알릴화, 피나콜 재배열 반응 그리고 하이드로아릴화 반응과 같은 다양한 반응을 한가지 최적화된 반응 조건으로 모두 매개할 수 있다는 점이다.

보다 일반적인 알켄 기질 범위를 활용하며, 약한 친핵체와의 양립이 가능하게 하는 코발트-전기촉매 시스템 또한 최근 보고된 바 있다[그림 2C].⁶ 말단 및 내부 알켄이 모두 반응에 참여 가능하며, 약한 친핵체인 페놀을 산소 기반 친핵체로 활용하여 전통적인 Williamson 에테르 형성 반응에서 접근하기 어려웠던 큰 입체장애를 가진 알킬 아릴 에테르에 대한 합성 전략이 최근 발표되었다. 해당 연구에서는 전기화학적 반응 전위의 미세한 제어 및 헥사플루오로이소프로판올(hexafluoroisopropanol, HFIP)의 공동 용매로서의 사용을 통해 기존에 제안되었던 속도결정단계인

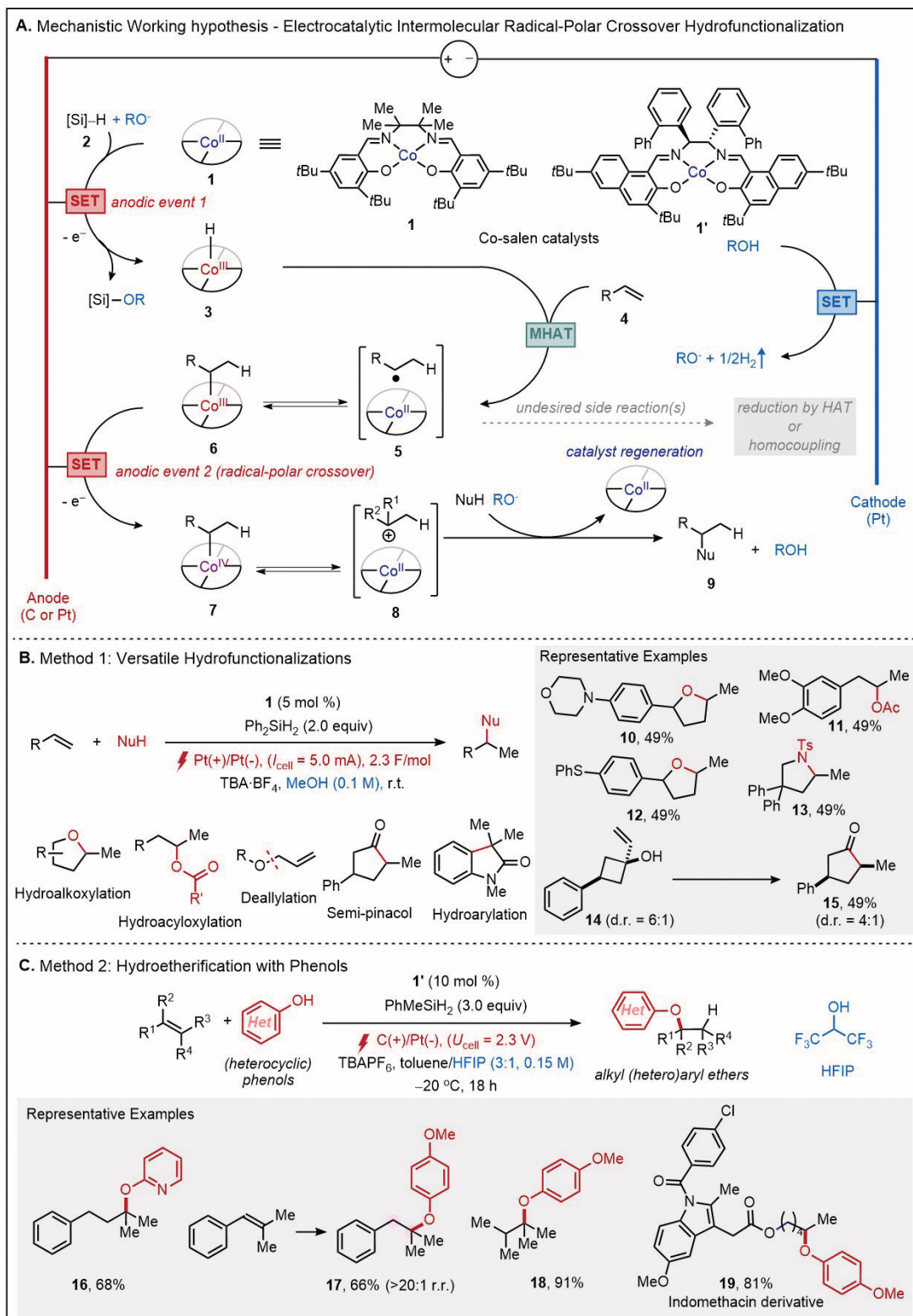


그림 2. (A) 분자 간 하이드로에테르화 반응 메커니즘 (B) 다양한 하이드로기능화 반응 개발 (C) 페놀을 이용한 하이드로에테르화 반응 개발 및 기질 범위

이분자 불균등화 반응을 우회하여 동종 짝지음 반응과 같은 원치 않는 부반응을 억제하고 원하는 하이드로에테르화 생성물만을 선택적으로 얻을 수 있음을 보고하였다. 헤테로

고리 화합물을 포함하는 방향족성 알코올까지 기질 범위를 확장할 수 있었으며, 사치화된 내부 알켄에도 반응이 적용 가능한 것을 확인함으로써 코발트를 이용한 MHAT 촉매

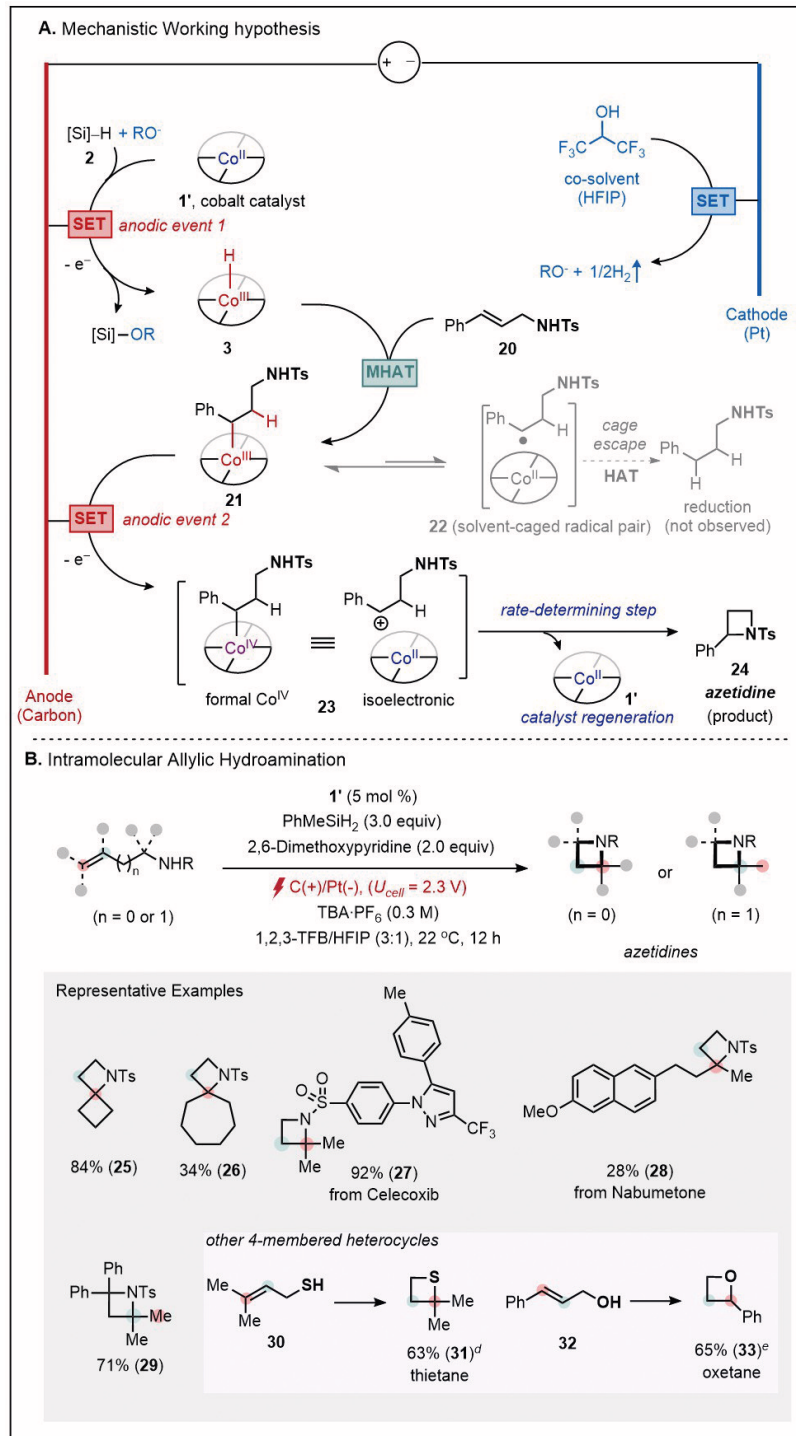


그림 3. (A) 코발트 촉매와 전기화학을 이용한 알릴 아민 유도체의 분자 내 고리형성 반응 메커니즘 (B) 아제티딘 형성 반응의 기질 범위

작용과 전기화학의 시너지 효과를 확인할 수 있었다.

2. 전기화학적 산화를 통한 분자 내 고리화 반응 : 4각 고리 화합물 형성 반응 개발

분자 간 반응에서의 성공적인 코발트-전기촉매 시스템 확립을 통해, 같은 연구팀에서는 더욱 도전적으로 여겨지는 분자 내 고리형성 반응을 통한 4각 고리 화합물인 아제티딘 형성 반응 개발을 목표로하였고 최근 발표한 바 있다.⁷ 특히 알릴아민 유도체를 시작물질로 하여 아제티딘을 형성하는 유기 반응은 아제티딘 합성의 가장 직관적인 방식으로 여겨지지만 Baldwin 법칙으로 알려진 반응속도론적 한계 때문에 전통적 유기 합성으로는 그 합성법이 알려진 바 없었다. 해당 연구에서는 일련의 전기화학 산화 과정을 통해 이러한 한계를 선택적 카보양이온 형성 전략을 통해 극복하였고, 선택적으로 4각 고리 화합물 합성을 성공적으로 개발하였다.

다양한 알릴 설폰아마이드를 시작 물질로 하여 스파이로 고리 화합물을 포함하는 아제티딘까지 합성이 가능했으며, 후기 단계 기능화(late-stage functionalization)을 통해 의약 화합물 구조를 포함하는 아제티딘의 합성에도 적용이 가능함을 밝힐 수 있었다. 코발트 촉매의 높은 마르코니코프 선택성 때문에 알릴아민 유도체뿐만 아니라 호모알릴아민 유도체에서 반응을 진행해도 더 치환된 탄소 원자 쪽으로 고리화 반응이 일어나 아제티딘 화합물을 합성할 수 있었으며, 산소 또는 황 기반의 친핵체를 이용하여 다른 4각 헤테로고리 화합물인 옥시테인과 싸이테인까지 그 합성법을 확장할 수 있었다. 더 나아가서, 속도 결정 단계 확인을 위한 타펠 도식(Tafel plot) 연구와 속도식 분석을 통해 기존에 주장되었던 이분자 불균등화 반응이 아닌 친핵성 고리화 반응이 해당 반응에서의 속도 결정 단계임을 제안하였다. 이는 전기화학적 산화 기작이 기존의 화학적 산화제를 사용하는 경우와 다르게 전자 이동 반응의 속도를 쉽게 조절할 수 있으며 이를 통해 새로운 반응 경로를 개척할 수 있다는 중요한 결과를 보여준 예시라고 할 수 있다.

결론

앞서 소개한 바와 같이, 유기 합성에서 전기화학과 전이

금속 촉매의 전략적 협력 관계는 강한 화학적 산화/환원제를 온화한 반응 조건으로 대체할 수 있을 뿐 아니라 필요한 반응 전위의 선택적 조절을 통해 전자 이동 반응의 속도에 관여할 수 있으며 이를 통해 새로운 반응 선택성을 부여할 수 있음을 알 수 있다. 더 나아가서 전하를 띤 반응 중간체의 속도론적 조절을 통한 발생을 통해 새로운 형태의 비공유 결합성 상호작용에 기반한 유기 반응 개발과 혁신이 기대되는 분야이다.



- (a) Burgess, K.; Ohlmeyer, M. *J. Chem. Rev.* **1991**, *91*, 1179. (b) Chen, J.; Zhan, L. *Org. Chem. Front.* **2018**, *5*, 260. (c) Xi, Y.; Hartwig, J. F. *J. Am. Chem. Soc.* **2016**, *138*, 6703.
- (a) Shevick, S. L.; Wilson, C. V.; Kotesova, S.; Kim, D.; Holland, P. L.; Shenvi, R. A. *Chem. Sci.* **2020**, *11*, 12401-12422. (b) Crossley, S. W. M.; Obradors, C.; Martinez, R. M.; Shenvi, R. A. *Chem. Rev.* **2016**, *116*, 8912-9000.
- (a) Shigehisa, H.; Koseki, N.; Shimizu, N.; Fujisawa, M.; Niitsu, M.; Hiroya, K. *J. Am. Chem. Soc.* **2014**, *136*, 13534-13537. (b) Shigehisa, H.; Hayashi, M.; Ohkawa, H.; Suzuki, T.; Okayasu, H.; Mukai, M.; Yamazaki, A.; Kawai, R.; Kikuchi, H.; Satoh, Y.; Fukuyama, A.; Hiroya, K. *J. Am. Chem. Soc.* **2016**, *138*, 10597-10604. (c) Discolo, C. A.; Touney, E. E.; Pronin, S. V. *J. Am. Chem. Soc.* **2019**, *141*, 17527-17532. (d) Qin, T.; Lv, G.; Meng, Q.; Zhang, G.; Xiong, T.; Zhang, Q. *Angew. Chem., Int. Ed.* **2021**, *60*, 25949-25957.
- (a) Zhou, X.-L.; Yang, F.; Sun, H.-L.; Yin, Y.-N.; Ye, W.-T.; Zhu, R. *J. Am. Chem. Soc.* **2019**, *141*, 7250-7255. (b) Sun, H.-L.; Yang, F.; Ye, W.-T.; Wang, J.-J.; Zhu, R. *ACS Catal.* **2020**, *10*, 4983-4989.
- Yang, F.; Nie, Y.-C.; Liu, H.-Y.; Zhang, L.; Mo, F.; Zhu, R. *ACS Catal.* **2022**, *12*, 2132-2137.
- Park, S. H.; Jang, J.; Shin, K.; Kim, H. *ACS Catal.* **2022**, *12*, 10572-10580.
- Park, S. H.; Bae, G.; Choi, A.; Shin, S.; Shin, K.; Choi, C. H.; Kim, H. *J. Am. Chem. Soc.* **2023**, *145*, 15360-15369.



김현우 Hyunwoo Kim

- 한국과학기술원(KAIST) 화학과, 학사 (2009.2-2013.2)
- 한국과학기술원(KAIST) 화학과, 박사 (2013.3-2018.2, 지도교수 : 장석복)
- 기초과학연구원(IBS), 연구위원(2018.3-2019.3)
- Cornell University, 박사 후 연구원(2019.4-2020.01, 지도교수 : Song Lin & Tristan. H. Lambert)
- 이화여자대학교 화학·나노과학과, 조교수(2020.3-2022.8)
- 포항공과대학교 화학과, 조교수(2022.8-현재)

지속가능한 기계화학 합성방법 : 무용매 조건 고체 반응

이효원, 김정곤* | 전북대학교 화학과, jeunggonkim@jbnu.ac.kr

서론

화학의 발전은 인류 생활의 전 영역의 발전에 기여하였다. 특히 1800년대 후반부터 1900년대 후반에까지 우리는 새로운 소재를 사용하여 제품을 싸고 빠르게 많이 만드는 것에 집중하였다. 만드는 과정, 만들어진 제품, 그리고 사용을 마친 폐기물에 관련된 고민은 지구가 호소하는 아픔이 인류의 생존에 심각한 위협이 된다는 것에 공감한 1990년대 이후 시작하였으며, 화학 분야에서는 녹색화학이 시작되었다.^{1,2} 지금까지의 화학과는 달리, 처음 시작부터 마지막 버릴 때까지 지속 가능성을 고민하는 다양한 노력을 하고 있다. 지속 가능성은 짧은 기간이 아닌 오랜 시간을 고려할 때 더 경제적이라는 사실을 강조하고자 한다.

녹색 화학의 구현에서 중요한 비중을 차지하는 것은 용매이다. 용매는 화학 반응에서 1) 물질들이 서로 만나게 하기 위하여 균일상으로 녹여주는 역할, 2) 에너지를 전달하는 매개체, 3) 반응의 최적화를 돕는 보조제로서 다양한 일을 한다. 하지만, 그 사용에 따르는 다양한 부작용이 함께한다. 우리는 용매의 회수와 제거에 많은 에너지를 사용한다. 어떤 경우는 화학 사고가 반응이 아닌 용매에서 발생한다. 기존에 많이 사용하던 용매 가운데 다수가 독성 및 위험 문제로 사용 금지로 전환되었다. 그에 따라 여러 산업에서 녹색 용매로의 전환에 애를 쓰고 있다. 하지만 근본적으로, 과연 용매는 화학반응에서 꼭 필요한 것인가?

용매를 사용하지 않는 화학 반응 또는 공정은 상당수 개발되었다. 하지만 많은 경우 반응물 가운데 하나가 용매 역할을 동시에 하는 액체인 경우가 대부분이다. 그러면 두 화

합물이 만나서 화학 반응을 해야 하는데 두 물질이 고체라면 우리는 어떻게 해야 할 것인가? 여기에 대한 해답으로 기계화학법을 소개하고자 한다.

기계화학(Mechanochemistry)은 물체의 움직임에서 발생하는 에너지를 활용하여 화학 변환을 일으키는 분야이다. 예를 들면 볼밀, 회전 스크루 등을 이용하여 반응물을 직접 혼합하면서 동시에 화학 반응에 필요한 에너지를 공급하는 방식이다.³⁻⁶ 일반 합성법과 달리 용매를 사용하지 않기 때문에 녹색 화학 공정의 새로운 방법으로 주목을 받고 있고, 또한 용액 조건에서 구현되지 않는 새로운 화학 반응의 개발도 가능하다.⁷ 2019년 국제 순수 응용 화학 연합(IUPAC)에서는 세상을 바꿀 10가지 화학 혁신 가운데 하나로 기계 화학을 선정하였다.

오래전 문헌들에서는 고체 시료를 막자와 막자사발에서 직접 인력으로 갈아 반응을 수행한 결과를 보고 하였다. 하지만 에너지의 공급에 한계가 있으며, 인력의 부분은 정교한 재현이 어렵다. 이에 대응하여 규격화된 다양한 기계를 사용하여 기계화학자들은 연구를 하고 있다. 대표적인 기계 화학적 장비로는 기계적인 원심력을 이용한 유성 볼 밀과 수평적인 힘을 전달하는 믹서 볼밀을 활용한다[그림 1].

기계화학법에서 반응성 확보를 위해 고려하는 요소는 기존의 용액반응과는 다르다. 플라스크와 가열 교반기를 이용하는 경우 우리는 농도, 온도, 부피 등을 조절하여 반응성과 선택성을 확보하려 한다. 기계화학에서는 화학양론, 온도 및 반응 시간과 같은 표준반응의 매개 변수뿐만 기계 운동을 뜻하는 $1/2 \text{ mv}^2$ 의 변수를 이용한다. m에 해당하는 질량의 경우 볼밀 기기 내에서 운동하는 볼의 크기와 함께 재료

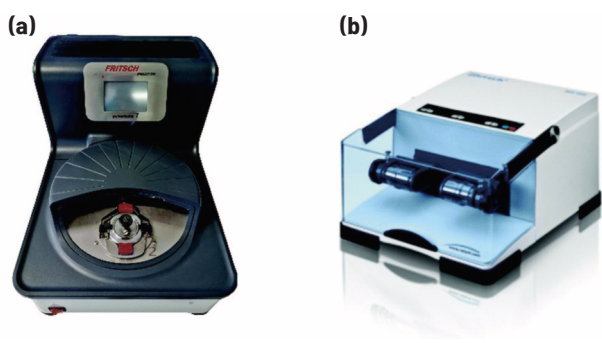


그림 1. (a) 유성 볼 밀 및 (b) 믹서 볼 밀

의 밀도를 조절한다. 마찰력이 우수한 베어링에 사용되는 재료들이 많으며, 질화구소(3.3 gcm^{-3}), 이산화지르코늄(5.7 gcm^{-3}), 스테인리스강(7.8 gcm^{-3}) 및 탄화텅스텐(14.3 gcm^{-3})이 대표적이다. 일반적으로 밀도가 증가할수록 수율이 증가한다. 밀링 재료만큼 밀링 볼의 크기와 수도 중요한 매개변수로 작용한다. 밀도와 마찬가지로 구슬의 크기가 크면 단일 충돌 시 절대 에너지가 높다. 구슬의 수는 같은 시간에서 충돌의 횟수에 관련하며, 재료의 혼합에 관여한다. 그리고 볼밀 기기의 움직임은 속도, 진동 또는 회전수는 v 와 연결되어 있다. 빠른 움직임에 따른 운동에너지 증가와 함께 재료의 혼합을 도와주어 반응을 촉진한다. 이러한 매개변수는 조절할 수 있지만 이에 수반되는 온도 변화는 조정하기 어렵기 때문에 고려해야 할 사항이다.

본 연구실에서 기계화학을 시작한 2016년과 비교를 하여도, 전 세계적으로 기계화학법을 연구하는 절대적인 수가 크게 늘었으며, 그 시스템에 대한 근본적인 연구 결과들은 기계화학법을 이용한 반응 설계에 도움을 주고 있다. 무기, 유기, 고분자 등 다양한 합성 분야에서 연구가 활발히 지속되고 있으며, 본 총설에서는 기계화학으로 구현하는 다양한 지속 가능성 가운데 용매와 관련된 내용을 대표 사례를 이용하여 소개한다.

본 론

1. 용매반응과 무용매 기계화학적 합성의 원자 경제성 비교

미국 EPA에 제안한 12가지 녹색화학의 법칙 가운데 원자 경제성은 다음과 같이 정의한다. '화학 공정에서 투입되

는 물질의 구성 원소들이 최종 제품에 최대한 들어가도록 하는 합성법을 사용한다. 즉 반응 완료 후에 제품을 구성하지 않고 발생되어 버려지거나, 회수하는 화합물의 양을 최소화한다.'^{1,2}

투입되는 물질이 최종 제품에 남도록 하는 것은, 즉 반응을 돕는 물질의 양을 줄이는 것이다. 그 가운데 가장 큰 부피와 질량을 차지하는 용매를 줄이는 것이 그 효과가 가장 클 것이다. 앞서 소개하였듯이 기계화학에서 용매는 사용되지 않거나 매우 소량만 추가하여 수행한다. 다음의 예시 분석을 통하여 기계화학법은 얼마나 원자 경제성에 기여하는지 볼 수 있다.

2020년 Pawel Zajdel 연구팀은 설치류에서 향우올 특성을 갖는 5-HT₇ 수용체의 길항제인 PZ-1316을 기계화학과 용매 반응을 통해 각각 합성하고 원자 경제성을 표현하는 기준 가운데 하나인 생성물 1g을 제조하는 데 투입된 화합물의 총량(E-factor)를 비교하였다.⁸

유도체의 합성 경로는 페놀의 알킬화, Boc으로 보호된 아민의 친핵성 치환, 보호기 제거 및 생성된 1차 아민의 설폰닐화를 포함한 총 4단계로 구성된다. 용액반응에서 페놀의 알킬화는 이량체 및 에폭사이드 고리 개방을 피하기 위해 과량의 할로젠화 알킬 3당량을 사용한다. 또한 독성이 강한 다이클로로 메탄과 같은 유기용매 사용과 함께 컬럼 크로마토그래피 정제가 필요하다. 이와 비교하기 위한 기계화학적 고체합성에서 4단계의 최적화를 연구하였다. 2-페닐페놀(2-phenylphenol)의 알킬화는 탄산칼륨과 1.2당량의 에피클로로하이드린(epichlorohydrin) 사용하여 짧은 시간 동안 더욱 높은 수율을 크로마토그래피 정제 없이 얻을 수 있다. 다음 단계에서는 Boc-4-아미노-피페리딘(Boc-4-amino-piperidine)의 알킬화를 수반하였다. 용액반응에서는 에탄올에서 4시간 동안 환류한 후 실리카젤에서 정제가 필요하지만 기계화학적 접근방식은 용매의 양을 제한하고 실리카젤의 정제 단계를 없애 90%의 수율을 얻을 수 있었다. 설폰아마이드의 결합을 형성하기 위해 다양한 접근 방법은 강한 유기 염기, 과량의 설폰닐화제를 다이클로로 메탄에서 진행한다. 그러나 1분간 독성이 없는 탄산칼륨과 볼밀 기기에서 반응을 수행하면, 높은 수율로 분리할 수 있다.

생물학적 활성 화합물인 PZ-1316의 합성에서 용액 방법과 비교하여 기계화학법을 비교하면 다음과 같다. 1) 전체

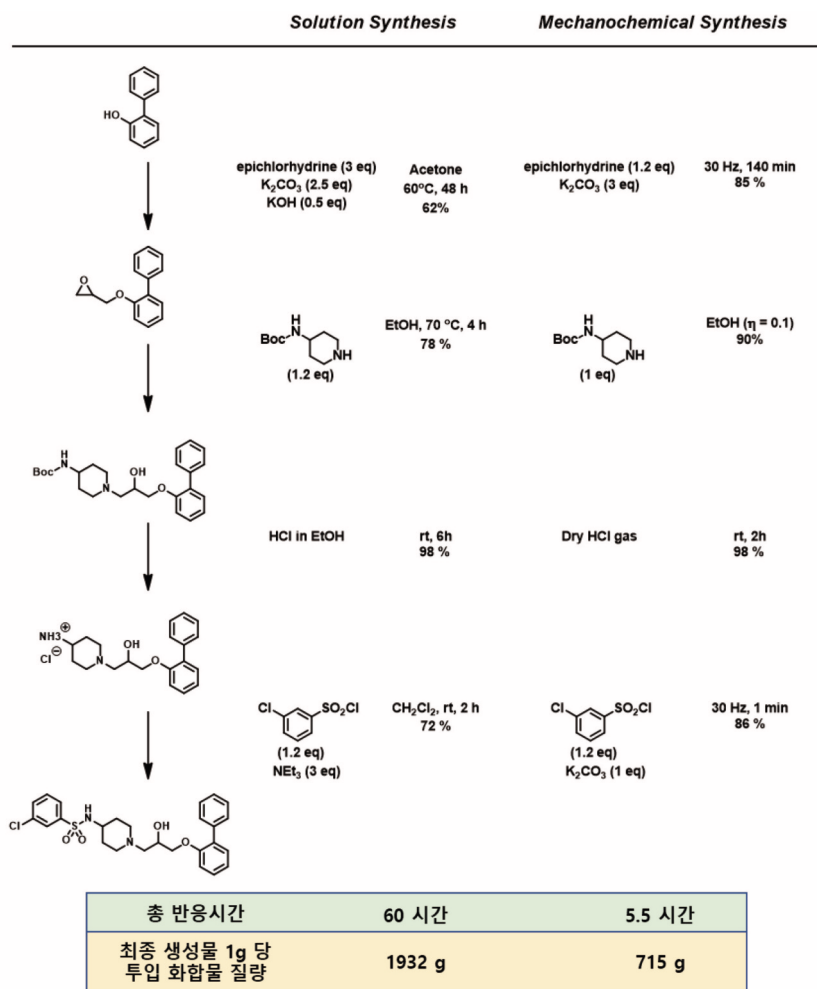


그림 2. PZ-1316 합성에서 용액 반응과 무용매 기계화학법의 녹색화학 비교

수율 향상(34%에서 64%), 2) 반응시간 단축(60시간에서 5.5시간), 3) 독성 용매를 사용하지 않아 부산물이 생성되지 않고 컬럼크로마토그래피 정제 없이 간단한 추출로 화합물을 얻을 수 있었다. 마지막으로 E factor를 비교하였을 때 용액은 1932, 기계화학 볼밀법은 715로서 특히 용매를 사용하지 않는 부분에 대하여 E factor가 향상하여 녹색 화학 공정에 더 적합하다는 결론을 얻었다.

일반적으로 반응의 규모가 커지면서 용액 반응에서 용매를 회수하거나 반응의 효율이 향상하는 등의 최적화 과정을 거치면 기계화학 대비 그 간격은 좁혀진다. 하지만 원자 경제성만이 아닌 최근 독성에 대한 강한 규제에 따라 사용할 수 있는 용매의 범위가 넓지 않음을 고려할 때 기계화학법은 그 대안으로 충분한 가치를 가진다.

2. 녹일 수 없는 환경에서 화학 반응의 구현

앞선 서론에서 용매의 역할 중 가장 큰 것은 반응물을 분자 단위로 균일상에 혼합하며, 분자들이 충돌하여 화학 반응이 일어날 수 있는 공간을 제공하는 것이라 소개하였다. 만약 반응을 수행하고자 하는 분자를 녹일 수 있는 방법이 전혀 없는 경우 또는 두 개 이상의 물질을 한 번에 녹일 수 있는 용매를 찾지 못한다면, 반응을 할 수 없다는 결론에 이르게 한다.

우리가 일반적으로 논하는 용해는 흐름을 가지는 유체상에서 물질의 이동과 혼합이다. 일시적으로는 두 물질을 섞을 수 있지만, 자유로운 흐름에 따라 시간이 지나면 서로 상분리가 되는 경우에는 반응의 진행에 어려움이 있다. 하지

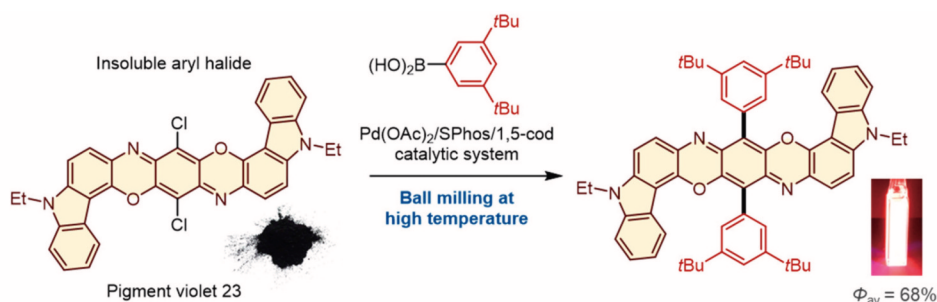


그림 3. 기계화학 볼밀법을 이용한 용해도가 매우 낮은 염료의 화학 반응 구현

만 재료의 자유로운 흐름이 제한된 고체상이라면 외부의 작용으로 혼합된 시료가 상분리가 되는 경로가 제한되어, 액체에서 얻기 어려운 혼합력을 얻게 된다. 이 부분에서 기계화학법의 장점이 발현된다.

그 예시로서는 일본 홋카이도 대학의 Ito 교수 연구팀이 발표한 다음의 예시와 본 연구팀이 보고한 고분자 합성에서 비 상용성 극복 사례를 설명하고자 한다.⁹

Pigment violet 23은 평판 화합물로서 상호 작용이 매우 커서 용해도가 매우 낮다. 톨루엔에서 2×10^{-5} M 수준의 극도로 낮은 용해도 때문에 이 물질에서 시작하는 화학반응을 구현할 수가 없었다. Ito 연구팀에서는 기계화학 볼밀 조건에서는 볼이 화합물이 충돌하는 과정에서 일시적으로 응집된 재료의 분리가 발생하며, 짝지움 반응물 그리고 팔라듐 촉매가 혼합되어 염화 아릴 위치에 부피가 큰 치환제를 도입할 수 있었다. 염료 발색단에 수직으로 t-부틸 단위체를 배치하여 용액에서 용해도를 확보하였으며, 그 물질의 단분자 광학 성질을 처음으로 측정하였다[그림 3].

전북대학교 유기 및 고분자 합성 연구실에서는 고분자 합성 과정에서 상분리로 인한 합성의 한계를 기계화학법으로

극복하고자 하였다. 그 예시로서 알데하이드를 가지는 고분자와 작은 아민 분자 사이의 축합 반응으로 이민을 제조하는 반응을 기계화학 볼밀에서 수행하였다.¹⁰ 폴리스타이렌 기반의 고분자는 소수성을 가진다. 암모늄카바메이트 형태의 이온성 아민 전구체를 이용하여 이민을 제조하였다. 서로 극성이 매우 다른 두 물질을 동시에 균일하게 녹일 수 있는 용매 조건을 찾지 못하였다. 하지만 이 두 고체 물질을 볼밀에서 첨가물 없이 반응을 시도한 결과 30분 만에 모든 알데하이드가 이민으로 전환된 결과를 얻었다. 서로 상이 다른 경우에도 두 입자의 표면에서만 화학 반응이 벌어지는 게 아니라, 이온성 화합물이 거대 도메인을 이루는 소수성 고분자 깊숙하게 침투를 하여 모든 알데하이드를 다 찾아내서 반응하는 놀라운 혼합 효율을 얻었다. 또한 한번 생성된 이민은 소수성 고분자 환경에 둘러싸여 반응 중 발생하는 물분자를 발수하는 조건에 놓여 역반응을 억제하는 효과도 동시에 확인하였다[그림 4].

다음은 고분자 중합에서 촉매와 단량체 간의 혼합이 되지 않는 상황에서 기계화학법을 사용한 사례이다. 이온 단위를 가지는 친수성 노보넨 단량체의 올레핀 복분해 중합법에서

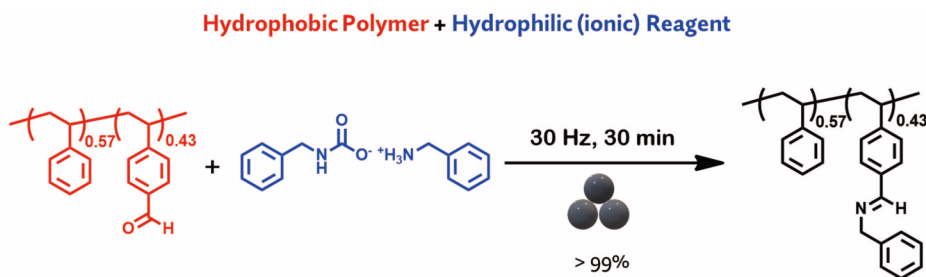


그림 4. 소수성 고분자와 친수성 작은 분자 간의 효율적인 고체상 혼합 그리고 화학 변환

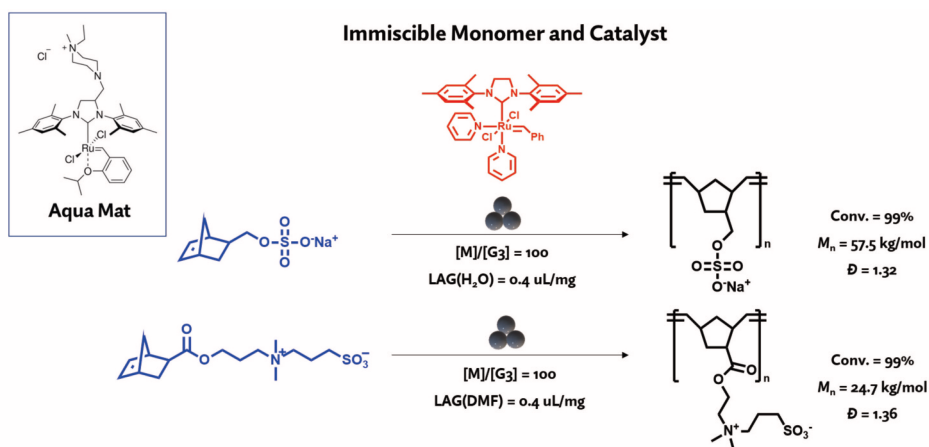


그림 5. 용액에서 구현이 불가능한 친수성 단량체와 소수성 촉매간의 기계화학 올레핀 복분해 중합

기존의 소수성 Grubbs Ru 촉매는 용해도의 한계로 사용하지 못하였다. 단량체와 유사한 극성을 확보하기 위해 Ru 촉매 리간드 부분에 이온 단위를 도입하여 두 물질을 모두 친수성으로 전환하고 반응을 수행하는 게 일반적 접근이었다.¹¹⁻¹³ 하지만 본 연구팀에서는 고체상 볼밀 조건에서 친수성 단량체와 소수성 촉매를 직접 사용하여 빠른 시간에 중합의 구현에 성공하였다. 오히려 용매를 사용하지 않아, 기존에 얻을 수 없는 새로운 혼합이 되는 예시이다[그림 5].¹⁴

결론

녹색 화학의 구현으로서 처음 주목을 받기 시작한 무용매 기계화학법은 새로운 환경에서 기존에 수행할 수 없었던 새로운 반응성을 찾는 방향으로 나아가고 있다. 특히 두 고체를 균일하게 혼합하여 반응을 발생시키는 것은 용매의 역할을 대신 할 수 있으며 나아가 상당수의 용해도에 관한 문제를 해결할 수 있는 잠재력을 지니고 있다.

본 총설에서는 기계화학의 접목으로 무용매 상태에서 지속가능한 연구 결과에 대해 경제적 및 학술적 의미를 알아

보았다. 용매가 존재하지 않다는 의미는 이론상 가장 높은 농도에서 반응이 진행된다는 뜻이다. 즉 항우울 특성을 갖는 5-HT₇ 수용체의 길항제인 PZ-1316 합성에서 용매 반응보다 빠른 반응 시간을 살펴볼 수 있다(60시간에서 5.5시간). 더불어 깨끗한 반응으로 추가적인 정제 없이 생성물을 얻어낼 수 있으며 E factor에서 알 수 있듯이 전체적으로 비교하여도 기계 화학이 녹색 공정에 더욱 우세하다.

또한 기계화학 반응 1) 낮은 용해도를 지닌 Pigment violet 23 화합물에서 기계 화학적 스크리닝 반응으로 부피가 큰 치환체 도입 2) 소수성의 폴리스타이렌 기반 알데하이드 고분자와 이온성 아민 전구체의 이민 형성 3) Ru 촉매의 리간드 변형 없이 친수성 단량체의 고리개환 복분해 중합 반응은 용매 반응에서 반응이 이루어지지 않거나 상분리가 일어나는 등 문제점을 극복한 사례이다. 나아가 고체상 볼밀 조건에서 친수성 단량체와 소수성 단량체의 공중합은 기계화학의 강점이다. 따라서 녹색 화학의 원칙을 준수하는 지속 가능한 화학적 방법의 발전과 기계화학은 더불어 성장하는 분야로써 미래 연구에 더욱 중요한 요소가 될 것이다.



1. Paul T. Anastas, John C. Warner, "Principles of Green chemistry." *Green chemistry Theory and Practice*, Oxford University Press, 1998.

2. Hanno C. Erythropel, Julie B. Zimmerman, Tamara M. de Winter, Laurène

Petitjean, Fjodor Melnikov, Chun Ho Lam, Amanda W. Lounsbury, Karolina E. Mellor, Nina Z. Janković, Qingshi Tu, Lauren N. Pincus, Mark M. Falinski, Wenbo Shi, Philip Coish, Desirée L. Plata, Paul T. Anastas*, "The Green ChemisTREE: 20 years after talking root with the 12 principles." *Green Chem.*

2018, 20, 1929-1961.

3. Karen J. Ardila-Fierro, JoséG. Hernández*, "Sustainability Assessment of Mechanochemistry by Using the Twelve Principles of Green Chemistry." *ChemSusChem* **2021**, 14, 2145-2162.
4. Stuart L. James*, Christopher J. Adams, Carsten Bolm, Dario Braga, Paul Collier, Tomislav Friščić, Fabrizia Grepioni, Kenneth D. M. Harris, Geoff Hyett, William Jones, Anke Krebs, James Mack, Lucia Maini, A. Guy Orpen, Ivan P. Parkin, William C. Shearouse, Jonathan W. Steed, Daniel C. Waddell, "Mechanochemistry: opportunities for new and cleaner synthesis." *Chem. Soc. Rev.* **2012**, 41, 413-447.
5. Stuart L. James* and Tomislav Friščić*, "Mechanochemistry." *Chem. Soc. Rev.* **2013**, 42, 7494-7496.
6. Tomislav Friščić*, Cristina Mottillo, Hatem M. Titi, "Mechanochemistry for Synthesis." *Angew. Chem.* **2019**, 13, 1030-1041.
7. Kwangho Yoo, Eun Ji Hong, Thang Q. Huynh, Byeong-Su Kim, Jeung Gon Kim*, "Mechanochemical Regulation of Unstable Acyl Azide: Ir(III) Catalyzed Nitrene Transfer C-H Amidation under Solvent-Free Ball Milling Conditions." *ACS Sustainable Chem. Eng.* **2021**, 9, 8679-8685.
8. Vittorio Canale*, Valeria Frisi, Xavier Bantreil*, Frédéric Lamaty, Paweł Zajdel, "Sustainable Synthesis of a Potent and Selective 5-HT7 Receptor Antagonist Using a Mechanochemical Approach." *J. Org. Chem.* **2020**, 85, 10958-10965.
9. Tamae Seo, Naoki Toyoshima, Koji Kubota*, Hajime Ito*, "Tackling Solubility Issues in Organic Synthesis: Solid-State Cross-Coupling of Insoluble Aryl Halides." *J. Am. Chem. Soc.* **2021**, 143, 6165-6175.
10. Nuri Ohn, Jeung Gon Kim*, "Mechanochemical Post-Polymerization Modification: Solvent-Free Solid-State Synthesis of Functional Polymers." *ACS Macro. Lett.* **2018**, 7, 561-565.
11. Soon Hyeok Hong, Robert H. Grubbs*, "Highly Active Water-Soluble Olefin Metathesis Catalyst." *J. Am. Chem. Soc.* **2006**, 128, 3508-3509.
12. Derek C. Church, Lauren Takiguchi, Jonathan K. Pokorski, "Optimization of ring-opening metathesis polymerization(ROMP) under physiologically relevant conditions." *Polym. Chem.* **2020**, 11, 4492-4499.
13. Camila P. Ferraz, Benjamin Autenrieth, Wolfgang Frey, Michael R. Buchmeiser, "Ionic Grubbs-Hoveyda Complexes for Biphasic Ring-Opening Metathesis Polymerization in Ionic Liquids: Access to Low Metal Content Polymers." *ChemCatChem* **2014**, 6, 191-198.
14. Gue Seon Lee, Hyo Won Lee, Hyun Sub Lee, Taeyang Do, Jean-Louis Do, Jeewoo Lim, Gregory I. Peterson*, Tomislav Friščić*, Jeung Gon Kim*, "Mechanochemical ring-opening metathesis polymerization: development, scope, and mechano-exclusive polymer synthesis." *Chem. Sci.* **2022**, 13, 11496-11505.



이효원 Hyo Won Lee

- 군산대학교, 학사(2014.3-2018.2)
- 전북대학교, 학사(2018.3-2020.2, 지도교수 : 김정곤)
- 유기 및 고분자 합성 연구실(2020.3-현재, 지도교수 : 김정곤)



김정곤 Jeung Gon Kim

- KAIST 화학과, 학사(1997.3-2001.2)
- University of Pennsylvania 화학과, 박사(2001.9-2005.12, 지도교수 : Patrick J. Walsh)
- 전북대학교 화학과 부교수(2015.9-현재)

기능성 유기광분자 디자인 및 합성을 통한 센서, 진단, 치료 연구

윤신아, 박선영, 이민희* | 숙명여자대학교 화학과, minheelee@sookmyung.ac.kr

서론

과거부터 현재까지 과학자들은 미시 세계(microscopic world)를 탐구하기 위해 많은 기술을 연구하고 해결법을 만들어왔다. NMR, IR, Microscopy, Mass, TEM, SEM 등 각종 첨단장비로부터 다양한 자연 및 생명현상을 분자 수준(molecular level)에서 분석하고 있다. 그러나 지금까지 유용하게 사용하고 있는 이러한 방식들은 여전히 여러 가지 한계점을 지니고 있다. 예를 들어, 분석을 진행하면서 주로 분리 정제와 같은 물리적 또는 화학적 전 처리(pre-processing) 작업이 요구되고 생명 현상을 분석하는 데 제한이 있으며, 살아있는 유기체는 분석이 어렵다는 것은 이미 잘 알려진 문제점이다. 따라서 실시간으로 특히 바이오 친화적으로 분석할 수 있는 효과적인 분석법이 요구되어 왔다. 많은 유기화학자들은 이러한 목적을 이룰 수 있는 물질로 기능성 유기광분자(functional organic fluorescent molecules)의 개발을 제안해왔다. 기능성 유기광분자는 형광을 띠는 유기물로 구조에 따라 형광 파장과 세기를 조절할 수 있으며, 타겟 분석물을 높은 선택성과 고감도로 감지할 수 있는 인식 부분(recognition sites)을 도입할 수 있다. 이러한 기능성 유기광분자는 형광 프로브(fluorescent probe) 혹은 분자 프로브(molecular probe)라 불리기도 한다. 이들은 복잡한 생명 현상에 관여하는 활성 인자를 비파괴적으로 감지하고 이를 시공간적으로 영상화할 수 있는

장점으로 인해 기존 분석 방식의 문제점을 해결할 수 있다. 또한, 센서차원을 넘어 질병 진단 그리고 약물전달 시스템(drug delivery system) 또는 광역학적 치료(photodynamic therapy)와 접목한 테라노스틱스(진단-치료 융합)(theranostics)까지 영역이 확장되고 있다. 따라서 이 글에서는 기능성 유기광분자를 이용한 몇 가지 바이오 활성 인자를 감지하는 프로브를 소개하고 이를 이용한 질병 세포의 진단 및 테라노스틱스 응용 사례에 대해 이야기하고자 한다.

본론

1. 기능성 유기광분자의 설계 및 기본원리

현재까지 많은 센서, 진단, 치료 연구를 위해 다양한 유기광분자들이 설계되고 합성되었다. 이들은 기본적으로 형광 시그널을 보이는 형광단(fluorophores), 타겟 분석물을 감지하는 인식 부분(recognition sites), 그 밖에 용해도 향상, 표적화 등을 위한 전략적 기능 그룹으로 구성된다. 프로브의 인식 부분이 타겟 분석물과 물리적 상호작용이나 화학적 반응을 통해 선택적인 형광 시그널 변화를 보이게 된다. 시그널은 주로 형광-켜짐(Off/On) 또는 형광-비례(Ratio) 변화를 보이도록 설계된다. 이러한 변화는 분자 내 전자전이(internal charge transfer, ICT), 광 전자전이

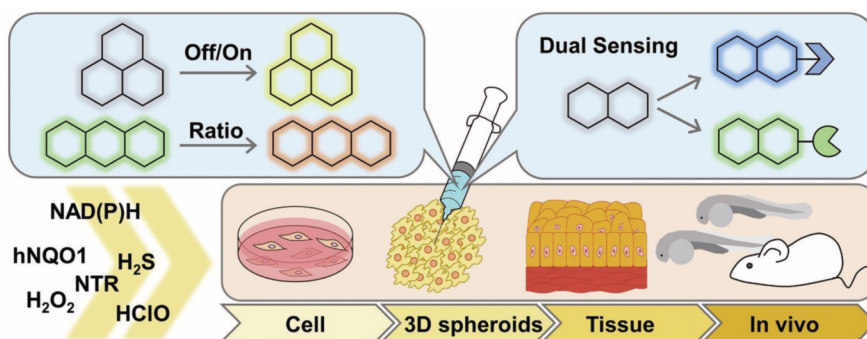


그림 1. 기능성 유기 형광분자 설계 및 생물학적 응용에 대한 모식도

(photo electron transfer, PET), 중금속 효과(heavy metal effect), 킬레이션-형광유도(chelation-enhanced fluorescence, CHEF), 들뜬상태 분자 내 양성자 전이(excited state intramolecular proton transfer, ESIPT), 형광공명에너지전이(fluorescence resonance energy transfer, FRET), 결합을 통한 에너지전이(through-bond energy transfer, TBET), 모노머-엑시머 형성(monomer-excimer formation), 응집-형광유도(aggregation-induced emission, AIE) 등과 같은 다양한 메커니즘으로 설명되고 있다.^{1,2} 최근에는, 하나의 프로브가 두 가지 또는 그 이상의 분석물을 선택적으로 감지할 수 있는 이중 또는 다중 센싱(dual or multi sensing) 전략이 활발히 연구되고 있다. 기능성 유기광분자 개발연구가 센서, 질병 진단, 그리고 치료 분야까지 확장되면서 질병의 발병 및 진행과 밀접히 관련된 항산화제, 활성산소, 효소와 같은 활성 인자들을 타깃 분석물로 하는 많은 유기 형광 프로브들이 개발되었다.^{3,4} 최근 본 연구실에서 개발한 형광 프로브와 세포, 스페로이드, 조직, 살아있는 유기체와 같은 체외 및 체내 질병 모델에 적용한 논문들을 소개하도록 하겠다.

2. 점도 및 활성산소 민감형 유기광분자

세포 내 점도는 기질의 확산, 거대분자 사이의 상호작용, 세포 구조의 동역학, 신호 전달 과정과 같은 광범위한 세포의 구조 및 생화학 반응의 특성을 결정하는 중요한 물리화학적 요인이다.⁵ 따라서 비정상적인 점도 변화는 병리학적 상태와 밀접히 관련되고 암, 당뇨, 알츠하이머 등과 같은

다양한 질병에서 관찰되는 것으로 보고되고 있다. 한편, 대표적 생체 활성산소 중의 하나인 산화질소(NO)는 산화질소 합성효소(NO synthase)에 의해 내생적으로 생성되는 기체 신호 분자이며, 신경 전달 및 기능, 혈관 확장 및 생성과 같은 혈관 시스템, 면역 시스템과 같은 다양한 생물학적 과정에서 중요한 역할을 하는 신호 분자이다.⁶ 또한 세포의 산화적 스트레스나 염증에서 NO 생성이 증가하고 세포를 손상시키는 것으로 알려져 있다. 따라서 세포 내 점도와 NO는 각자 정해진 역할이 있으며 이들의 비정상적인 거동과 수치는 다양한 질병 현상과 밀접히 관련된다. 따라서, 지금까지 점도 또는 NO를 감지할 수 있는 많은 형광 프로브가 개발되었고, 가장 최근에 단일 프로브로 이들을 서로 다른 형광 채널에서 개별적으로 감지할 수 있는 스마트 유기광분자 개발에 성공하였다.

[그림 2]는 점도 및 NO를 동시 검출할 수 있는 형광 프로브의 화학 구조와 구동원리를 보여준다.⁷ 프로브는 형광 리포터 역할을 하는 나프탈이미드(Naphthalimide)와 점도 및 NO를 선택적으로 감지하는 4-(4-나이트로페닐)싸이오세미카바자이드(4-(4-Nitrophenyl)thiosemicarbazide)로 구성된다. 또한, 아세틸화 에틸렌 글리콜(acetylated ethylene glycol) 그룹은 프로브의 용해도를 향상시키기 위해 도입되었다. 특히, 4-(4-나이트로페닐)싸이오세미카바자이드는 분자 회전자(molecular rotor)로 작용하여 나프탈이미드의 형광을 소광시키지만 주변 환경의 점도 증가에 민감하게 반응하여 본래의 강한 청색 형광(360 nm)을 보이도록 한다. 하지만 NO 존재에서는 4-(4-나이트로페닐)티오세미카바자이드는 NO와 신속하게 반응하여

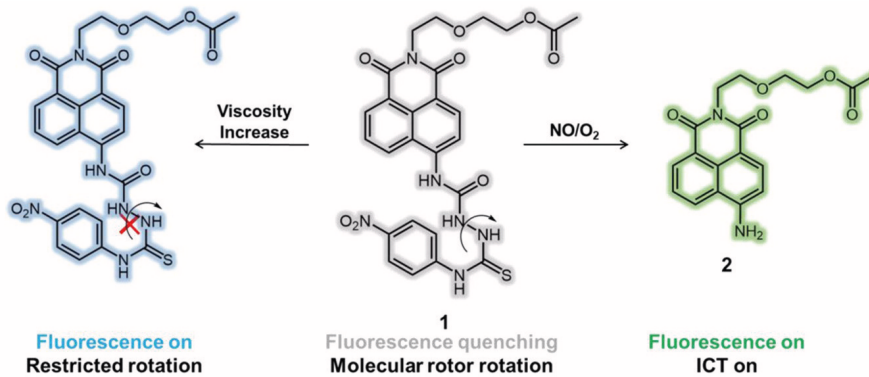


그림 2. 점도 및 NO 변화를 이중으로 감지하는 유기광분자

프로브에서 떨어져 나가게 되고 녹색 형광(550 nm)을 유도하게 된다. 이러한 프로브의 점도 및 NO에 대한 선택성과 형광 변화는 살아있는 세포에 적용하였을 때 청색/녹색 형광 채널로 점도와 NO 변화를 각각 관찰할 수 있도록 한다.

공초점 형광 현미경을 이용한 세포의 점도 및 NO 이미징 연구를 통해 세포 내 점도를 증가시킬 수 있는 니스타틴(nystatin)을 처리했을 때 청색 채널(blue channel)에서 형광의 세기가 증가하는 것을 확인하였다. 또한, 세포 내 NO의 농도를 증가시키는 리포다당류(lipopolysaccharide; LPS)의 처리에서는 녹색 채널(green channel)에서 형광 증가가 확인되었다. 하지만, NO의 합성을 억제하는 아미노구아니딘(Aminoguanidine; AG)을 처리하였을 때는 형광이 증가하지 않았다. 이러한 외부자극을 이용하여 프로브의 세포 내 점도 및 NO에 대한 검출 및 이미징 능력을 확인하였다. 추가적으로, LPS나 니스타틴의 처리에서

세포 내 점도 및 NO의 수준이 함께 증가한다는 것을 발견하였고 LPS에 대한 염증반응과 니스타틴에 의한 미토콘드리아 기능장애가 세포 내 점도 및 NO의 수준을 모두 증가시키는 것을 확인할 수 있었다. 이를 통해, 해당 유기광분자는 살아있는 유기체의 외부자극 혹은 병리학적 상황에서 점도 및 NO 수준의 변화를 실시간 모니터링을 가능케 하는 형광 프로브로 제안되었다. 이는 세포의 점도 및 NO와 관련된 다양한 생리학적 과정이나 질병의 원인 규명 및 치료제 개발에 유용한 분석 도구로 활용될 수 있다.

3. 싸이올 민감형 유기광분자

대표적 생체 싸이올(thiol) 중의 하나인 황화수소(hydrogen sulfide, H_2S)는 생체 내에서 성장, 신경전달, 항염증 및 항산화 작용에 참여하는 중요한 신호전달 물질이다.⁸

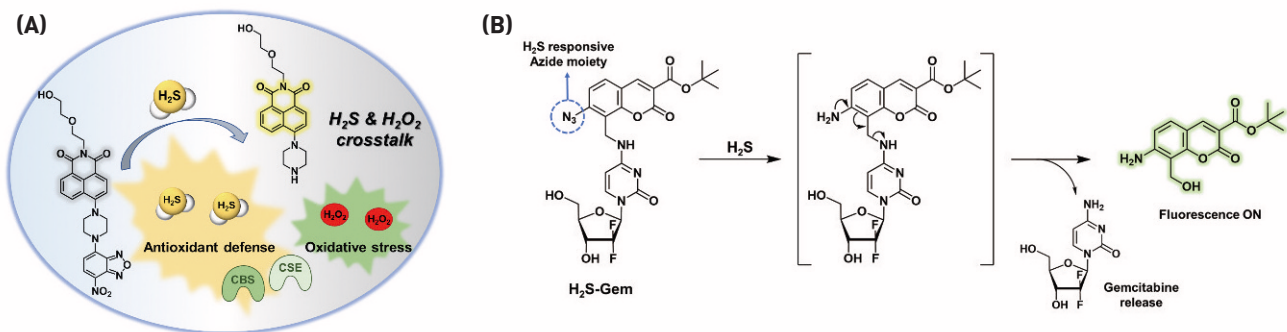


그림 3. (A) H_2S 를 감지하는 유기광분자, (B) H_2S 활성형 테라노스틱 분자

H₂S는 시스테인(cysteine)을 전구체로 사용하여 시스타싸이오닌 분해효소(cystathionine γ -lyase; CSE), 시스타싸이오닌 합성효소(cystathionine β -synthase; CBS), 3-mercaptopyruvate sulfurtransferase(3-MST)와 같은 효소에 의해 생성된다. 특히 당뇨, 알츠하이머, 암 등의 질병 상태에서 비정상적인 고농도의 황화수소 발생이 여러 연구를 통해 보고되었으며 진단의 중요한 생체지표가 될 수 있음이 제안되어왔다. 따라서, 지금까지 H₂S을 타깃으로 하는 형광 프로브와 치료제 개발 연구가 활발히 진행되었다.

[그림 3A]는 나프탈이미드 형광체를 이용한 H₂S 이미징 프로브 개발에 대한 것이다.⁹ [그림 3A]에서 나프탈이미드 형광체에 도입된 7-나이트로벤즈-2-옥사-1,3-다이아졸(7-nitrobenz-2-oxa-1,3-diazole; NBD) 그룹은 나프탈이미드의 형광을 소광시키는 특징이 있다. 하지만 H₂S와 민감하게 반응하여 NBD 그룹이 떨어져 530 nm에서 본래의 형광 세기가 회복된다. 이러한 유기광분자의 특징을 이용하여, 자궁경부암 세포(HeLa)에서 외인적 또는 내인적 자극에 따른 H₂S 수준의 변화를 감지하였다. 또한 산화적 스트레스(oxidative stress)의 유발에서 H₂S가 유효하게 증가하는 것을 해당 프로브로 보여주었고, 살아있는 세포는 항산화 작용에 따른 방어기작으로 H₂S의 수준을 향상시키는 것을 확인할 수 있었다. 이렇듯, 살아있는 유기체에서 H₂S를 추적할 수 있는 유기광분자는 생리학적 항산화 기작을 밝히고 관련 질병의 원인 규명 및 진단법 개발에 중요하게 기여할 수 있다.

한편, [그림 3B]는 쿠마린 유도체와 젬시타빈(gemcitabine) 프로드러그(prodrug)를 병합한 H₂S 활성화형 테라노스틱 분자(molecular theranosis) 개발에 대한 것이다.¹⁰ 이 연구는 아자이드(azide) 그룹이 도입된 쿠마린 유도체 부분은 H₂S에 선택적으로 반응하여 아민(amine)으로 환원되고, 동시에 젬시타빈 항암제가 방출되는 시스템이다. 이러한 H₂S 반응은 503 nm에서 쿠마린 형광을 발생시키고 약리활성을 제공한다. 해당 테라노스틱 분자는 자궁경부암 세포(HeLa)와 폐암 세포(A549)에서 H₂S 반응에 의한 쿠마린 형광을 잘 보이지만, 정상 세포에 해당하는 섬유아 세포(WI38)에서는 매우 약한 형광을 보였다. 또한, 젬시타빈의 항암효과를 확인하기 위한 세포독성실험(MTT

assay)에서도 정상 세포보다는 암세포에서 탁월한 독성을 보였다. 이를 통해, 해당 테라노스틱 분자는 정상 세포보다 높은 수준의 H₂S를 보이는 암세포에서 비교적 선택적으로 활성화되어 형광 영상과 동시에 약리활성을 보인다는 것을 입증했다. 궁극적으로는 H₂S 활성화형 테라노스틱 분자의 개발은 정상 세포에는 영향을 주지 않고 암세포만 특이적으로 사멸시키고 이를 시공간적으로 모니터링할 수 있는 새로운 테라노시스 전략을 제안한다.

4. 나이트로환원효소 민감형 유기광분자

나이트로환원효소(nitroreductases; NTR)는 니코틴아마이드 아데닌 다이뉴클레오타이드(nicotinamide adenine dinucleotide; NAD(P)H)를 조효소로 사용하여 나이트로아로마틱(nitroaromatic) 그룹을 아민으로 환원하는 효소이다.¹¹ 특히 NTR 활성화는 암 그리고 저산소증에서 높은 것으로 보고되고 있어 관련 질병의 진단 및 치료의 표적이나 바이오 마커로 간주되고 있다. 또한 나이트로아로마틱 구조를 기반으로 하는 다양한 약물의 대사과정에도 관여하여 NTR 활성화는 프로드러그 활성화의 표적 단백질로 사용되고 있다. 이러한 인체 내 NTR 활성화와 중요성에 대해서는 오랫동안 보고되어왔지만 단백질의 구조는 밝혀지지 않았으며, 박테리아에 존재하는 NTR 활성화 단백질 구조만 규명되었다. 따라서, NTR 활성화의 규명, 관련 질병의 진단 및 치료제 개발을 위해서는 살아있는 세포의 NTR 활성을 시공간적으로 검출할 수 있는 분석도구의 개발이 필수적이다. 이에, 지금까지 많은 NTR 활성화 민감형 유기광분자들이 개발되었고, 우수한 검출능력과 바이오 샘플의 적용력을 보여주었다. 가장 최근에는, NTR 활성을 형광세기의 비율계량형(ratiometry)으로 정밀하게 감지할 수 있는 몇몇 형광 프로브가 개발되었다. 비율계량형 형광 프로브(ratiometric fluorescent probe)의 대표적 장점은 형광 켜짐(Off-On) 방식의 단점인 세포 자기형광(cell autofluorescence), 프로브 주변의 미세환경에 따른 영향, 광표백(photobleaching) 등을 해결할 수 있어 보다 정밀한 분석이 가능하다는 점이다.²

[그림 4A]는 나프탈이미드-쿠마린 조합을 이용한 NTR 감응형 비율계량 형광 프로브 개발에 대한 것이다.¹² 해당

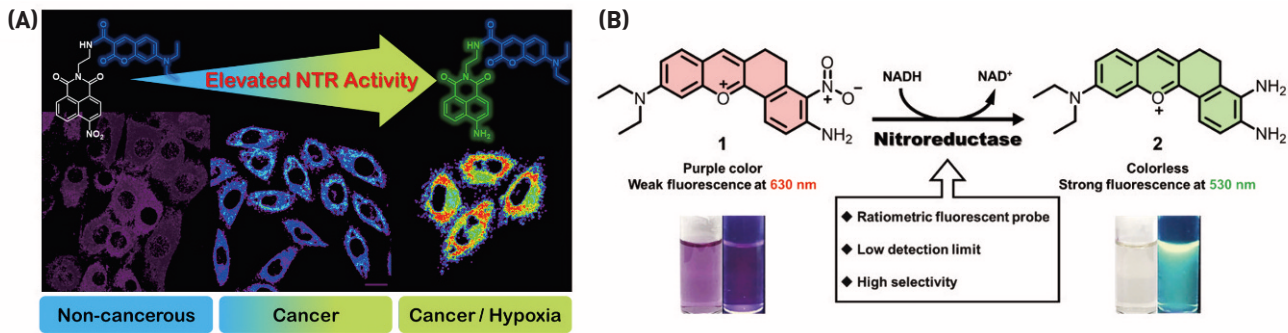


그림 4. NTR 활성을 감지하는 (A) 나프탈이미드-쿠마린, (B) 락-플라비륨 기반의 유기광분자

프로브는 쿠마린에 기인한 청색 형광을 475 nm에서 보이지만 NTR 활성에 민감하게 반응하여 나프탈이미드의 나이트로 그룹을 아민으로 환원하고 550 nm에서 새로운 녹색 형광을 제공한다. 쿠마린의 형광 세기는 비교적 일정한 수준이지만 나프탈이미드의 형광 세기는 NTR 활성이 증가함에 따라 선형적으로 증가하기 때문에, 이들의 관계에서 도출되는 형광세기의 비율계량적인 수치를 통해 보다 정밀한 분석이 가능해진다. 또한, 이러한 청색/녹색 형광 채널을 통한 비율계량적 변화를 측정하여 NTR 활성이 정상 세포 대비 암세포, 그리고 저산소 상태에서 높게 나타난다는 것을 보여주었다.

마찬가지로, [그림 4B]는 락-플라비륨(locked-flavylium)을 이용한 NTR 감응형 비율계량 형광 프로브 개발에 대한 것이다.¹³ [그림 4A]에 소개한 프로브와 비교하여 장파장의 녹색/적색 형광 영역에서 변화를 보이며, 단일 형광분자 시스템으로 비율계량적 수치를 보인다는 점이 특징이다. 해당 프로브는 본래 630 nm에서 강한 적색 형광을 보이지만 NTR 활성에 반응하게 되면 530 nm에서 새로운 녹색 형광을 추가적으로 나타낸다. 이 연구에서는 자궁경부암, 폐암, 근육아 세포를 사용하여 NTR 활성에 대한 프로브의 실시간 검출과 이미징 성능을 확인하였다. 이를 통해, NTR 활성이 정상 세포 대비 암세포에서 높은 수준을 보인다는 것을 효과적으로 보여주었다. 결국, 암의 잠재적 바이오 마커인 NTR 활성을 선택적으로 그리고 고감도로 감지할 수 있는 유기광분자의 개발은 암세포와 정상 세포의 경계를 명확히 하는데 기여하여 암의 조기 진단과 개인 맞춤형 치료법 개발을 가속화할 것으로 기대한다.

5. 퀴논환원효소 민감형 유기광분자

퀴논환원효소(NAD(P)H: quinone oxidoreductase 1; NQO1)는 NAD(P)H를 조효소로 사용하여 퀴논(quinone)을 하이드록시퀴논(hydroquinone)으로 환원하는 효소이다.¹⁴ 특히 높은 수준의 NQO1 활성은 폐암, 결장직장암, 간암, 난소암 및 유방암 등의 다양한 암에서 보고되고 있다. 따라서, NQO1은 암 진단 및 치료에서 잠재적인 바이오 마커로 알려졌으며, 이를 이용한 프로드러그의 개발도 활발하다. 이러한 NQO1의 생물학적 및 병리학적 중요성에도 불구하고 이의 암 발생 및 항산화 작용을 포함한 다양한 기작은 여전히 미지의 영역이다. 이를 위해서는, NQO1의 활성을 살아있는 유기체에서 시공간적으로 탐구할 수 있는 분석법의 개발이 중요하다.

[그림 5]는 NQO1의 활성에 선택적으로 반응하여 형광 변화를 제공하는 유기광분자의 개발에 대한 것이다. 이러한 형광 프로브들은 NQO1 활성을 감지하는 인지 부위(recognition site)로 트라이메틸락퀴논(trimethyl lock quinone; TLQ) 유도체를 사용한다. 이는 TLQ의 퀴논 그룹은 형광을 소광시키는데, NQO1의 효소반응에 의해 하이드록시퀴논으로 변환되고, 순차적인 분자 내 고리화 반응을 통해 신속히 떨어져 나간다. 이러한 과정에서 소광되었던 형광은 다시 복원되어 NQO1의 활성을 나타낸다. [그림 5A]는 NQO1 활성에 대한 형광 켜짐(turn-On),¹⁵ [그림 5B]는 이중 방출(dual emission) 형태의 유기광분자에 대한 것이다.¹⁶ 이러한 프로브를 이용한 세포 이미징 연구에서는 NQO1 발현이 낮은 근육아 세포 및 유방암 세포,

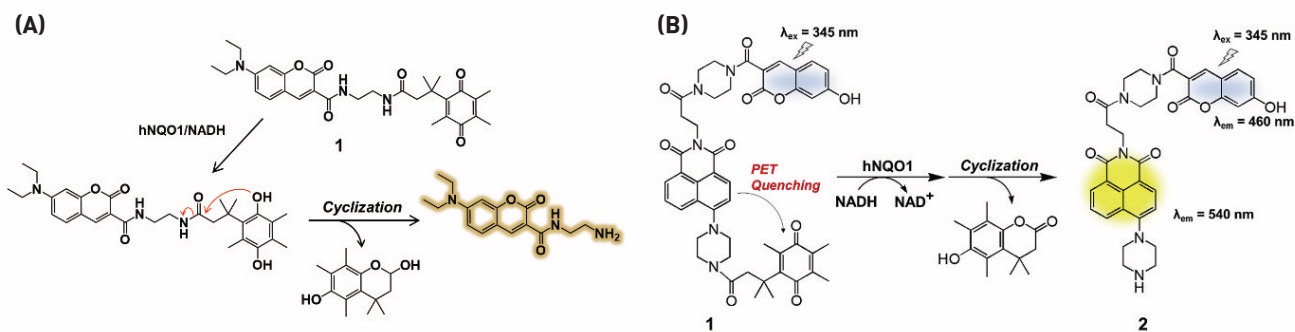


그림 5. NOQ1 활성을 감지하는 (A) 쿠마린, (B) 나프탈이미드-쿠마린 기반의 유기광분자

NQO1 발현이 높은 폐암 세포를 사용하여 명확한 형광 강도를 기반으로 이들을 구별할 수 있음을 입증했다. 따라서, NQO1 민감형 유기광분자는 살아있는 유기체의 NQO1 활성을 시공간적으로 보여주는 유망한 분석 도구로, 다양한 병리적 상황에서 NQO1 활성 수준을 비교하고 관련 질병의 진단 및 진행 단계의 정확한 판단과 효과적인 치료제 개발에 유용한 정보를 제공할 수 있을 것이다.

결론

기능성 유기광분자는 질병의 바이오 마커 또는 생체 내 구성물질을 높은 선택성, 고감도, 빠른 시간으로 감지할 수 있고, 정성 및 정량적 검출은 물론 시공간적 모니터링을 가능케 하는 생체적합 분자 프로브 혹은 형광 프로브로 사용될 수 있다. 최근 이러한 기능성 유기광분자의 개발 연구는 센서, 진단, 치료 분야까지 영역이 확장되고 있고, 광범위한

관련 분야에서 큰 주목을 받고 있다. 지금까지 질병과 연관된 여러 물질을 분석하기 위해 많은 형광 프로브가 개발되었고, 이들을 이용한 질병 진단 및 맞춤형 치료를 목표로 하는 다양한 유기체를 이용한 검증 모델들이 확립되었다. 일부 프로브들은 살아있는 유기체에 성공적으로 적용되어 표적 물질을 효과적으로 감지하여 복잡한 생리학적 현상을 시공간적으로 탐색할 수 있는 유망한 도구로 제안되었다. 이러한 유기광분자의 임상 적용까지는 아직 수많은 과제가 남아 있지만 향후에 진단 및 치료 분야에 실제적으로 활용된다면 조기 진단의 어려움, 약물의 심각한 부작용, 치료 예후의 실시간 관찰기법의 부재 등과 관련된 문제점을 개선하거나 해결하는 데 도움을 줄 수 있을 것이다. 앞으로도 지속적인 관심과 심층적인 연구가 필요한 분야이며 화학, 바이오, 환경, 공학 등의 다학제분야에서 새로운 분석법 및 센서소재 개발에서 기여하고, 진단 및 치료 등의 의료분야 발전에 공헌할 수 있으리라 기대한다.



- de Silva, A. P.; Gunaratne, H. Q. N.; Gunnlaugsson, T.; Huxley, A. J. M.; McCoy, C. P.; Rademacher, J. T.; Rice, T. E. "Signaling Recognition Events with Fluorescent Sensors and Switches." *Chem. Rev.* **1997**, *97*, 1515–1566.
- Lee, M. H.; Kim, J. S.; Sessler, J. L. "Small molecule-based ratiometric fluorescence probes for cations, anions, and biomolecules." *Chem. Soc. Rev.* **2015**, *44*, 4185–4191.
- Yoon, S. A.; Cha, Y.; Fortibui, M. M.; Yoo, S. Y.; Jo, E.-Y.; Kang, C.; Lee, M. H. "In Vitro and In Vivo Imaging of Phase I Xenobiotic-Metabolizing Enzymes." *Coord. Chem. Rev.* **2023**, *491*, 215248.
- Park, S. Y.; Yoon, S. A.; Cha, Y.; Lee, M. H. "Recent advances in fluorescent probes for cellular antioxidants: Detection of NADH, hNQO1, H₂S, and other redox biomolecules. Coord." *Chem. Rev.* **2021**, *428*, 213613.
- Luby-Phelps, K. "Cytoarchitecture and Physical Properties of Cytoplasm: Volume, Viscosity, Diffusion, Intracellular Surface Area." *Int. Rev. Cytol.* **1999**, *192*, 189–221.
- Bogdan, C. "Nitric Oxide and the Immune Response." *Nat. Immunol.* **2001**, *2*, 907–916.
- Kim, S. J.; Park, S. Y.; Yoon, S. A.; Kim, C.; Kang, C.; Lee, M. H. "Naphthal-

imide-4-(4-nitrophenyl)thiosemicarbazide: A fluorescent probe for simultaneous monitoring of viscosity and nitric oxide in living cells." *Anal. Chem.* **2021**, *93*, 4391–4397.

8. Szabó, C. Hydrogen sulphide and its therapeutic potential." *Nat. Rev. Drug Discovery* **2007**, *6*, 917–935.
9. Yoon, S. A.; Gopala, L.; Lee, M. H. "Biocompatible 7-nitro-2,1,3-benzoxadiazole-embedded naphthalimide for exploring endogenous H₂S in living cells. *Spectrochim. Acta A. Mol. Biomol. Spectrosc.* **2023**, *295*, 122582.
10. Maiti, M.; Yoon, S. A.; Cha, Y.; Athul, K. K.; Bhuniya, S.; Lee, M. H. "Cell-specific activation of gemcitabine by endogenous H₂S stimulation and tracking through simultaneous fluorescence turn-on." *Chem. Commun.* **2021**, *57*, 9614–9617.
11. Thomas, C.; Gwenin, C. D. "The Role of Nitroreductases in Resistance to Nitroimidazoles." *Biology.* **2021**, *10*, 388.
12. Yoon, S. A.; Chun, J.; Kang, C.; Lee, M. H. "Self-Calibrating Bipartite Fluorescent Sensor for Nitroreductase Activity and Its Application to Cancer and Hypoxic Cells." *ACS Appl. Bio. Mater.* **2021**, *4*, 2052–2057.
13. Kim, S. J.; Yoon, J. W.; Yoon, S. A.; Lee, M. H. "Ratiometric Fluorescence Assay for Nitroreductase Activity: Locked-Flavylium Fluorophore as a NTR-Sensitive Molecular Probe." *Molecules* **2021**, *26*, 1088.
14. Nebert, D. W.; Roe, A. L.; Vandale, S. E.; Bingham, E.; Oakley, G. G. "NAD(P)H: quinone oxidoreductase (NQO1) polymorphism, exposure to benzene, and predisposition to disease: a HuGE review." *Genet. Med.* **2002**, *4*, 62.
15. Park, S. Y.; Yoon, S. A.; Lee, M. H. "Trimethyl Lock Quinone-Functionalized Coumarin for Real-time Monitoring of NQO1 Activity in the Live Cells." *Bull. Korean Chem. Soc.* **2021**, *42*, 119–123.
16. Park, S. Y.; Won, M.; Kang, C.; Kim, J. S.; Lee, M. H. "A coumarin-naphthalimide hybrid as a dual emissive fluorescent probe for hNQO1." *Dyes Pigm.* **2019**, *164*, 341–345.



윤 신 아 Shin A Yoon

- 숙명여자대학교 화학과, 학사(2014.3–2018.2)
- 숙명여자대학교 화학과, 석사 (2018.3–2020.2, 지도교수 : 이민희)
- 숙명여자대학교 화학과, 박사과정 (2020.3–현재, 지도교수 : 이민희)



박 선 영 Sun Young Park

- 숙명여자대학교 화학과, 학사(2014.3–2018.2)
- 숙명여자대학교 화학과, 석사 (2018.3–2020.2, 지도교수 : 이민희)
- 숙명여자대학교 화학과, 박사과정 (2020.3–현재, 지도교수 : 이민희)



이 민 희 Min Hee Lee

- 단국대학교 화학과, 학사(2002.3–2006.2)
- 단국대학교 화학과, 석사(2006.3–2008.2)
- 고려대학교 화학과, 박사(2008.3–2012.8, 지도교수 : 김종승)
- The University of Texas at Austin 화학과, 박사 후 연구원(2012.10–2015.2, 지도교수 : Jonathan L Sessler)
- 숙명여자대학교 화학과 조교수(2015.3–2020.2)
- 숙명여자대학교 화학과 부교수(2020.3–현재)

머신러닝 융합 과학교육의 교육적 의미 탐색

최정인 | 인천당산초등학교, cji0724@gmail.com

서론

빅데이터와 결합한 인공지능이 사회 전 분야에서 활용되고 있으며 예전과는 다른 사회의 광범위한 변화를 이끌어내고 있다. 이러한 변화의 물결 속에서 교육은 새로운 도전에 직면해있다. 일상 속 깊이 자리 잡은 인공지능의 기술을 비롯한 과학기술의 발전은 사람들의 정보 접근 및 활용에 대한 진입 장벽을 낮추고 있으며, 학령인구 감소 등 현시대의 문제가 더해져 학생들은 이전과는 전혀 다른 종류의 학습을 해야 하는 상황이기 때문이다. 교육 현장에서도 이러한 사회 변화에 대응하여 머신러닝, 생성형 인공지능 등을 과학교육의 내용과 접목하려는 시도가 이루어지고 있다. 이러한 시도들은 과학교육의 외연 확장이라는 측면에서 긍정적이라 볼 수 있다. 하지만 과학 수업에서 인공지능 기술을 마치 마술처럼 신기한 볼거리로 도입하는 식의 접근은 경계하여야 한다. 또한 인공지능이 마치 정답을 알려주는 기계처럼 신격화되어서도 안 될 것이다. 인공지능과 융합한 과학 수업은 학생들이 인공지능 기술을 체험하고 인공지능의 메커니즘을 이해할 수 있어야 하며, 예상치 못한 시행착오나 오류를 겪게 되었을 때 그것의 의미를 파악하거나 수정할 수 있는 탐구적인 수업으로 전개되어야 한다. 그리고 테크놀로지 발전의 속도가 빠르기에 교사들이 그러한 기술들을 모두 완벽하게 활용하기를 바라어서도 안 된다. 그보다는 교사로서 과학이라는 교과 내용의 특성을 살리면서 동시에 인공지능의 기술을 탐구의 방법으로 융합시킬 수 있는 방법에 대한 깊이 있는 고민이 필요하다. 이는 새로운 시대에 요구되는 역량 신장을 위해 이전과는 다른 새로운 교육 방법이 필요하다는 전제와 맥락이 닿아있다.

본고에서는 초·중등학교 화학 교육의 내용 중 물질의 세 가지 상태 분류 수업에서 인공지능의 하위 분야인 머신러닝을 과학적 탐구의 방법으로 융합할 수 있는 수업 사례를 제안하고, 그 교육적 의미를 고찰하고자 한다.

본론

1. 머신러닝(Machine learning)

머신러닝은 기계학습이라고 번역되기도 하는데, [그림 1]과 같이 데이터를 기반으로 패턴을 학습하여 모델을 구축한 후 결과를 예측하는 알고리즘 기법을 통칭한다.

머신러닝 알고리즘은 데이터를 기반으로 통계적인 신뢰도를 강화하고 예측 오류를 최소화하기 위한 다양한 수학적 기법을 적용해 데이터의 패턴을 스스로 인지하고 신뢰도 있는 예측 결과를 도출해 낸다는 점에서 전통적인 프로그래밍과는 차이가 있으며[권철민, 2020], 데이터를 학습하는 유형에 따라 지도 학습과 비지도 학습, 강화학습으로 나뉜다. 그중 지도 학습은 사용자가 데이터의 속성(Feature)과 레이블(Label)의 값을 쌍으로 입력한 데이터 세트를 제공하고, 컴퓨터가 관련 변수들 간의 관계를 찾는 것을 말한

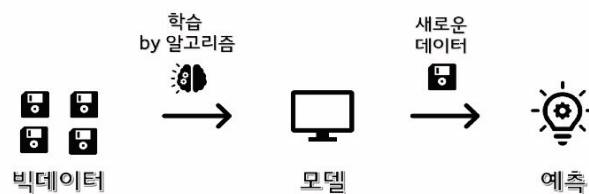


그림 1. 머신러닝의 과정

다. 쉽게 말하여 문제와 정답이 있는 다수의 샘플 문항을 컴퓨터에게 알려주고, 컴퓨터가 문제와 정답 간의 패턴을 파악하여 새로운 문제가 제공되었을 때 정답을 찾는 식이다. 정답을 찾는 것은 앞서 말한 예측이며, 이러한 예측에는 크게 분류(Classification)과 회귀(Regression)라는 두 가지 주요 유형이 있다. 이 둘을 구분할 수 있는 방법은 레이블의 속성이 연속적인지 이산적인지 살펴보는 것이다. 물질의 상태 분류의 경우 예측 값이 고체, 액체, 기체라는 레이블로 연속성이 없는 분류 문제에 해당한다. 반면 기온 변화 예측과 같이 레이블이 연속적인 숫자로 표현된다면 회귀 문제에 해당한다.

분류를 위한 머신러닝 알고리즘으로는 서포트 벡터 머신(Support vector machine, SVM), K-최근접 이웃 알고리즘(K-nearest neighbor, K-NN) 등 다양하게 있으나 본 융합교육 사례에서는 의사결정트리(Decision tree) 알고리즘을 사용하였다. 의사결정트리 알고리즘의 경우 시각화를 통해 비전문가들도 직관적으로 이해하기 쉽다는 장점이 있기 때문이다. [그림 2]는 파이썬(Python)의 대표적 라이브러리인 사이킷런에 내장된 붓꽃의 분류에 대한 데이터를 의사결정트리로 시각화한 것이다. 최상단의 루트 노드(Root node)에서 시작하여 마치 스무고개 질문 놀이처럼 꽃잎의 길이를 기준으로 분할을 하고, 다시 꽃잎의 너비를 기준으로 분할을 이어나가는 방식으로 진행이 되며, 분류

의 결과가 최대한 균일하게 되도록 하는 것이 의사결정 트리 알고리즘의 작동 방식이다.

데이터의 균일도를 측정하는 대표적인 방법으로는 지니 계수(Gini index, Gini impurity)와 엔트로피(Entropy) 불순도 등이 있다[Géron, 2019]. 지니 계수는 불순도를 측정하는 지표로서 분류의 결과에 대한 통계적 분산 정도를 정량화한 수치이다. 머신러닝에서 지니 계수는 아래의 공식과 같이 구해진다.

$$G_i = 1 - \sum_{k=1}^n P_{i,k}^2$$

어떤 노드에서 모든 샘플이 한 클래스로 분류가 되었다면 지니 계수의 값이 0이 되어 순수하게 분류되었다고 할 수 있다. 따라서 머신러닝에서는 지니 계수가 낮을수록 데이터의 균일도가 높은 것이므로 지니 계수가 낮은 속성을 기준으로 분할하게 된다. 지니 계수 이외에도 엔트로피 불순도 개념을 사용하기도 한다. 열역학에서 분자의 무질서함을 엔트로피로 논하듯이 머신러닝에서도 이와 유사하게 분류의 결과가 얼마나 무질서한가를 측정하는 개념으로 적용된다. 한 노드의 데이터가 한 레이블만을 담고 있다면 무질서함이 없는 엔트로피가 0인 상태이다. 그러나 한 노드 안에서 데이터들이 두 가지 이상의 레이블을 포함하고 있다면 엔트로피의 값은 0보다 커지게 될 것이다. 지니 계수와 마찬가지로 엔트로피의 값이 작은 속성을 기준으로 분할하게 된다.

$$H_i = - \sum_{\substack{k=1 \\ P_{i,k} \neq 0}}^n p_{i,k} \log_2(p_{i,k})$$

머신러닝은 단점이 존재하는데 그것은 데이터에 매우 의존적이라는 사실이다[Hurwitz & Kirsch, 2018]. 데이터의 예측치가 너무 많거나 혹은 훈련 데이터와 테스트 데이터 사이에 동일한 특성이 존재하지 않는 경우처럼 데이터의 품질이 좋지 못하면 예측 결과의 신뢰도 또한 떨어지는 것이다. 따라서 데이터 전처리를 엄격하게 하거나 파라미터를 조정하고, 가능한 많은 데이터를 확보하여 예측의 신뢰도 문제를 해결한다. 그럼에도 불구하고 새로운 데이터에 대해 정확한 예측을 할 수 없는 경우가 발생할 수 있다. 새로운 데이터에 대해 정확한 예측을 하는 것이 머신러닝의

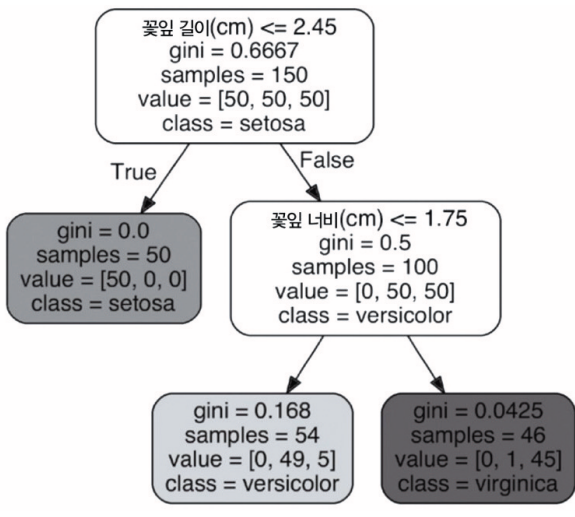


그림 2. 의사결정트리 시각화[Géron, 2019]

본연의 목적이라고 봤을 때 기술적 측면에서는 실패라고 볼 수도 있겠으나 과학교육의 측면에서는 오히려 성공을 위한 시작이라고 볼 수 있다. 왜냐하면 나의 생각과 다른 컴퓨터의 예측은 ‘왜?’ 라는 질문을 던질 수 있는 시작 지점이기 때문이다.

2. 물질의 상태 분류와 머신러닝의 융합교육 사례

머신러닝의 과정은 데이터 확보, 데이터의 학습 및 모델 구축, 새로운 데이터에 대한 예측이다. 본 사례에서는 초등학교 교사 및 중·고등학교 과학 교사들이 응답한 물질의 상태 분류 데이터를 가지고 모델을 구축하였다. 그 과정은 다음과 같다. 먼저, 밀가루, 안개, 연기 등 28가지의 물질의 사례를 제시하고, 각 물질들을 분류 기준(속성)에 입각하여 원핫인코딩(One-hot encoding)을 한 후 고체, 액체, 기체의 분류 결과(레이블)를 쌍으로 스프레드시트 프로그램에 입력한다. 원핫인코딩이라는 것은 예를 들어 제시된 사례가 분류 기준(예: 부피가 일정함, 흐르는 성질 등)에 해당하면 1, 해당하지 않으면 0을 입력하는 방식을 말한다 [Géron, 2019]. 데이터를 생성하는 단계에서 분류 기준을 어떻게 정할 것인가가 가장 중요한 문제인데 이 과정에서 학생들끼리 의사소통과 협력을 기반으로 하여 분류 기준을

합의할 수 있도록 한다면 과학 교육과정에서 추구하는 과학적 의사결정능력 신장[교육부, 2022]을 위한 유익한 경험을 제공할 수 있을 것이다. 다음으로 데이터 입력이 완료되면 csv 파일 형식으로 저장하고 오렌지(Orange)에서 로드하여 의사결정트리 알고리즘 모델을 구축한다. 오렌지는 잘 알려진 머신러닝 프로그램으로 오픈소스이기 때문에 비용의 부담이 없으며, 캔버스에 데이터 세트를 로드하고, 위젯을 배치 및 연결하는 방식의 비주얼 프로그래밍을 지원하기 때문에 비전문가들도 어렵지 않게 사용할 수 있다.

데이터 생성 및 모델 구축의 단계에서 중요한 것은 자신의 데이터만으로 머신러닝 모델을 구축할 수 있지만 나와 동료들의 데이터를 모두 합하여 머신러닝 모델을 구축하는 것이 더 의미 있다는 사실이다. 이것은 빅데이터를 만들어 데이터의 편향성을 제거하는데 도움을 주어 예측의 신뢰도를 높일 뿐 아니라 경우에 따라 나의 생각과 동료들의 생각에 차이가 있을 수 있음을 알 수 있기 때문이다. 이러한 생각의 차이는 앞서 말한 공통성이 적은 속성과 레이블의 데이터 쌍들을 만들어 내어 이를 학습한 알고리즘이 정확한 분류를 못하게 되는 결과를 가져온다. [그림 3, 4]는 물질의 상태 분류에 대해 초등학교 교사 및 중등학교 과학교사들이 생성한 데이터를 가지고 의사결정트리 알고리즘으로 학습시켜 구축한 모델을 시각화한 것이다.

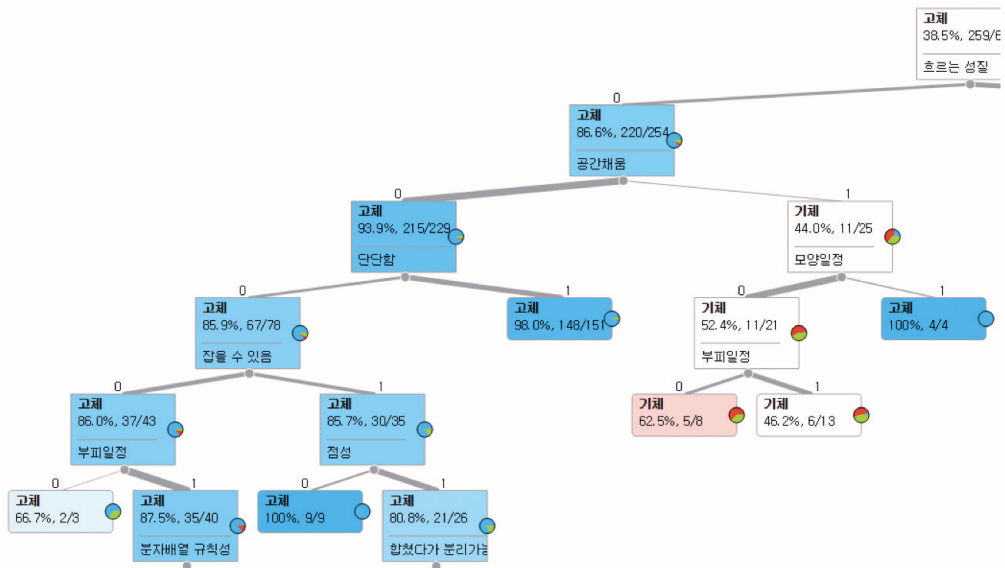


그림 3. 물질의 세 가지 상태 분류에 대한 머신러닝 모델의 시각화[최정인 & 백성혜, 2023]

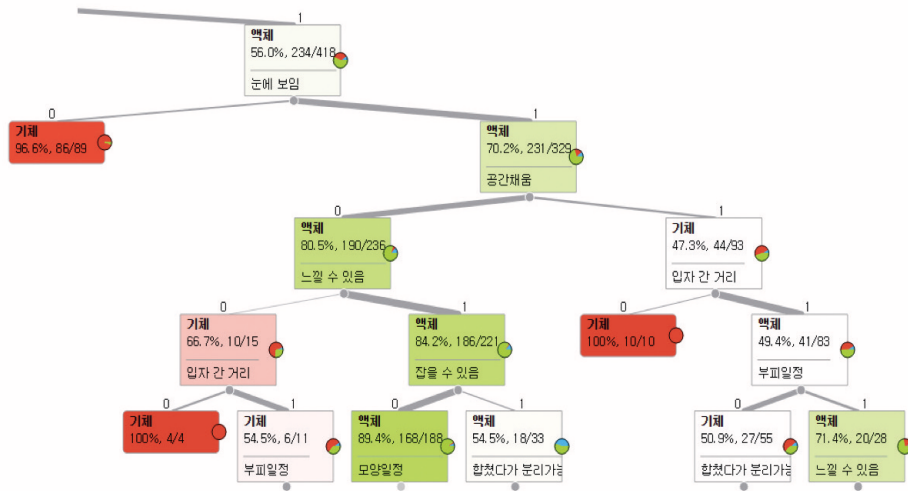


그림 4. 물질의 세 가지 상태 분류에 대한 머신러닝 모델의 시각화[최정인 & 백성혜, 2023]

원래의 트리의 깊이는 9레벨이었으나 지면의 한계로 인해 트리의 깊이를 6레벨로 조정하여 시각화하였으며, 또한 가로 방향으로 분할하여 제시하였다. 나와 동료들이 만든 데이터로 구축한 모델의 시각화를 통해 같은 현상을 보더라도 관찰하는 관점 및 분류 기준을 적용하는 방식이 서로 다를 수 있음을 알 수 있다. 관찰은 기초적 탐구 과정이지만 충분한 관찰 경험을 통한 훈련이 되어 있지 않다면 그 결과가 주관성을 띠 수 있기 때문이다. 예를 들어, 한 학생이 밀가루가 나타내는 거시적인 특성으로 인해 ‘흐르는 성질’이 있다고 응답한다면 머신러닝 모델은 위의 트리처럼 액체라고 판단한다. 그 학생이 밀가루를 고체라고 생각하지만 거시적 관찰 현상으로 인해 흐르는 성질이 있다고 응답하면 나의 생각과는 다른 머신러닝 모델의 예측이 산출되는 것이다. 이와 같이 나의 생각과는 다른 예측을 산출하는 머신러닝 모델을 통해 시행착오나 오류의 지점을 파악하고 이를 수정·보완하는데 도움을 줄 수 있다. 과학의 탐구 과정이라는 것은 탐구의 정의만 알면 수행할 수 있는 것이 아니기 때문에 분명하게 경험할 수 있는 기회를 제공하고, 또 그 과정에서 시행착오를 겪음과 동시에 의사소통과 합의를 통해 결과를 합리적이고 세련되게 만들어갈 수 있어야 한다. 이것은 과학자들이 과학자 사회에서 겪는 경험과 동일한 것으로 이러한 과정에서 학생들은 과학의 본성도 체득할 수 있을 것이다.

한편, 머신러닝을 융합한 물질의 상태 분류 수업에서 구

축된 머신러닝 모델은 자연현상을 설명하는 과학 모델로써 작동한다. 하지만 머신러닝 모델을 통해 어느 정도 자연현상을 설명할 수 있으나 그럼에도 설명할 수 없는 부분이 발생할 수 있다. 이와 같이 모델로 설명할 수 없는 부분을 이그노런스(Ignorance)라고 부르는데[Chang, 2012], 머신러닝 융합 과학 수업은 모델 구축을 수반하므로 모델이 가진 불확실성을 인식하는 기회가 될 수 있다. 예를 들어 연기를 상태 분류 하는 경우 연기를 구성하는 미립자에 초점을 두는지 혹은 전체적인 움직임 양상에 초점을 두는지에 따라 상태 분류 기준을 적용하는 세부 내용과 분류의 결과가 달라질 수 있다. 그리고 이에 따라 생성된 데이터를 학습한 머신러닝 모델의 경우 연기를 상태 분류함에 있어서 100%의 확신을 가지고 상태를 분류하지 못하고, 100%에 미치지 못하는 확률로 상태 분류를 하게 될 것이다. 하지만 모델의 불확실성, 데이터에 대한 의심, 모델의 수정을 체험하는 과정에서 학생들이 이그노런스를 인식한다면 질문하고, 스스로 답을 찾아가는 방법을 배우게 될 것이다[전은선, 백성혜, 2022]. 그리고 이것은 잘 모르는 것이 과학을 발전시키는 원동력이 될 수 있다는 과학의 본성을 깨닫는 기회이며, 과학지식을 직접 생성하는 소중한 경험이 될 것이다.

결론

2022 개정 과학 교육과정에서는 ‘미래를 살아갈 시민의

로서 과학적 소양을 갖추고 더불어 살아가는 창의적인 사람'을 육성하는 것을 목적으로, '과학적 탐구와 문제해결 능력, 과학적 의사결정 능력' 등을 기르는데 초점을 두고 있다. 그리고 미래 교육 환경에 적합한 다양한 교수·학습 활동을 통해 디지털·인공지능 기초 소양을 함양하도록 하고 있다[교육부, 2022]. 이러한 측면에서 머신러닝 융합 과학교육은 그 방법이 될 수 있다. 과학적 탐구, 모델의 생성 및 수정의 과정을 포함하고 있어 단순히 교과서의 내용을 수

용하는 교육이 아닌 학생들이 직접 지식을 생산하는 경험을 할 수 있게 해주기 때문이다. 데이터를 생성하고, 이를 학습한 모델을 평가하며, 분류 기준이나 세부 입력 내용을 수정하는 등 모델의 정교화를 통해 분류 성능을 높이는 과정에 배움이 있다. 그리고 이러한 배움은 시대의 기술과 상생하여 선순환하는 지속가능한 과학교육의 밑거름이 될 것이다.



1. 권철민, 파이썬 머신러닝 완벽가이드. 위키북스. 2020.
2. Géron, A., "Hands-on machine learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow: Concepts, tools, and techniques to build intelligent systems. O'Reilly. 2019.
3. Hurwitz, J., Kirsch, D., Machine learning for dummies. IBM Limited Edition, 75. NY: John Wiley. 2018.
4. 교육부 과학과 교육과정. 2022. 교육부 고시 제2022-33호[별책 9]
5. 최정인, 백성혜, "물질의 상태 분류에 대한 과학교사와 머신러닝 모델의 분류 결과의 비교 분석." *학습자중심교과교육연구* 23(4), 363-379.
6. 전은선, 백성혜, "모델 이그노런스 교수프로그램이 예비화학교사의 인식 및 교수 실행에 미치는 효과." *대한화학회지* 2022, 66(3), 228-242.
7. Chang, H. S. Is Water H₂O: Evidence, Realism and Pluralism. Springer Science & Business Media. 2012.



최정인 Choi Jungin

- 경인교육대학교 초등교육과, 학사(1999.3-2003.2)
- 한국교원대학교 과학교육과(초등과학교육전공), 박사(2012.3-2023.2, 지도교수 : 백성혜)
- 인천광역시 교육청 교사(2003.3-현재)
- 현재 인천당산초등학교 근무



국립목포대학교

플라즈마분광분석 핵심연구지원센터

Plasma Spectroscopy Analysis Center

“다양한 분광분석 데이터 융합
의료진단·식품원산지판별 해법 제시”

* 영국왕립화학회 학술지 「애널리스트(Analyst)」 표지논문[Sang-Ho Nam, Yonghoon Lee et al. Analyst 2022, 147, 3193.]

전남 무안군 청계면 영산로
1666 목포대학교

061) 450-6268

plasma@mnu.ac.kr

<https://sites.google.com/view/mnu-plasma>

국립목포대학교 플라즈마분광분석센터(센터장: 화학과 남상호 교수)는 2019년 교육부와 NFEC이 지원하는 핵심연구지원센터로 선정되었다. 플라즈마분광분석법을 중심으로, 다양한 분광분석법의 동시 측정, 데이터 융합 및 기계학습 모델링을 통해 의료진단과 식품원산지판별 분야에서 해법 제시를 위한 연구를 수행하고 있다. 플라즈마분광분석센터는 유도결합 플라즈마 광방출분광법(ICP-OES), 유도결합 플라즈마 질량분석법(ICP-MS), 레이저 유도 플라즈마 분광법(LIBS)에 대한 오랜 경험과 전문성을 토대로 다양한 분광법의 데이터 융합 및 전략적 모델링, 화학종 분리 분석을 통한 정확한 독성 평가 기술을 개발하여 공공분야와 관련 산업 발전에 기여하는 것을 목표로 하고 있다.

플라즈마분광분석센터는 구체적으로 ① 플라즈마 원소 분석법과 라만 산란, 근적외선 흡수 등 분자구조를 알려 주는 분광법들의 데이터를 효과적으로 융합하여 정확도 높은 의료진단, 식품원산지판별을 위한 기계학습 모델링 연구, ② 마이크로리터 수준의 극소량 생체액의 원소분석법 연구, ③ 비소, 셀레늄 등 독성이 화학종에 의존하는 원소들의 화학종 분리 정량 분석 연구, ④ 산업용 난용성 소재 분석을 위한 레이저 어블레이션 응용 연구를 수행하고 있다.

플라즈마분광분석센터는 분광분석화학과 데이터과학이 만나는 지점에서 의료진단, 식품원산지 판별을 위한 효과적인 방법을 연구하고, 식품 독성 평가, 산업현장의 문제 해결을 위한 고난도 화학분석기술 개발을 통해 건강한 삶의 추구하고 산업 발전에 기여하고자 한다. 또한, 세라믹 소재와 2차전지 산업의 연구개발 지원, 화학분석 전문가 양성을 통해 지역산업 지원 및 인력양성을 목표로 하고 있다.

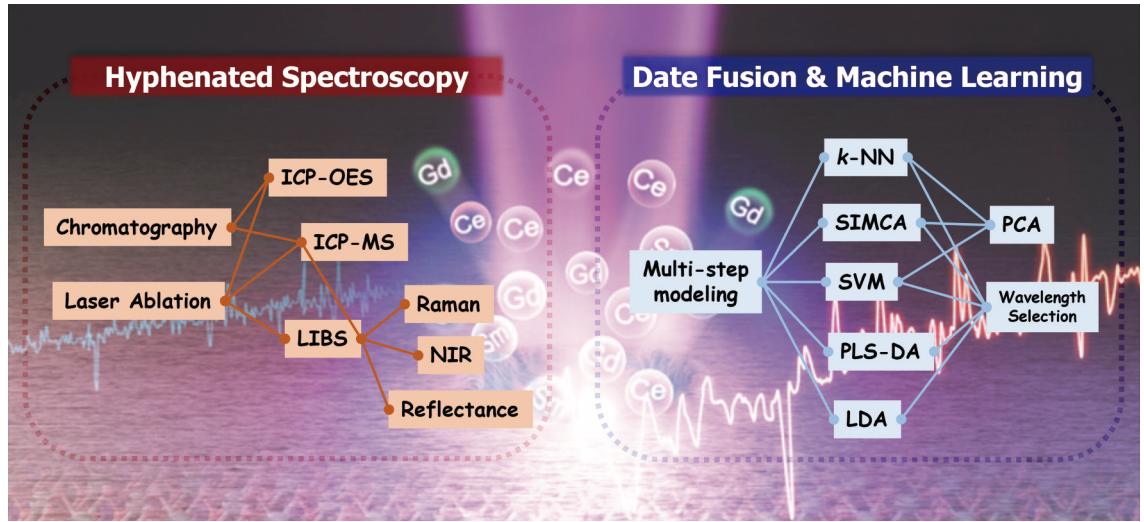


그림 1. 국립목포대학교 플라즈마분광분석 핵심연구지원센터 연구 방향

Project 1 융합 분광분석 데이터 모델링

분광분석의 최신 연구 트렌드 가운데 하나는 동일 시료에 대해 두 가지 이상의 분광분석을 동시에 수행하여 얻은 데이터를 융합하여 광물의 종류·식품의 원산지를 판별하거나 의료진단을 위한 효과적인 모델을 개발하는 것이다. 플라즈마분광분석센터에서는 LIBS와 레이저 어블레이션 ICP-MS 분석을 동시에 수행하여 시료를 구성하는 원소 조성을 넓은 농도범위에서 조사하고 있다. 펄스레이저를 고체 시료 표면에 집속하면 수십 마이크로 초의 수명을 갖는 플라즈마를 점화할 수 있는데, 이 플라즈마의 광방출 스펙트럼을 기록하여 LIBS 분석을 할 수 있고, 플라즈마 구성 입자들을 질량분석기로 보내면 질량 스펙트럼을 얻을 수 있다. LIBS 스펙트럼으로부터 %-ppm, ICP-MS 스펙트럼으로부터 ppm-ppb 농도 범위의 원소 구성에 대한 정보를 함께 얻어 천일염 및 암염의 원산지 판별 모델을 성공적으로 개발하였다(그림 2). 또한 라만 산란, 근적외선 흡수, 반사도 분광법은 물질의 분자구조와 화학결합에 대한 정보를 준다. 분자구조와 화학결합 정보는 원소 구성과 서로 상보적으로 물질의 종류 판별에 시너지를 효과를 줄 수 있다. 본 센터에서는 이와 같은 융합 분광분석 데이터 모델링 연구를 LIBS와 반사도 분광법을 이용한 천일염 원산지 판별[Spectrochim. Acta Part B, 2021, 179, 106088] 및 LIBS와

근적외선 흡수 분광법을 이용한 담낭암 진단[*Analyst*, **2022**, 147, 3193; *J. Anal. At. Spectrom.* **2022**, 37, 823], 국내·중국산 된장의 원산지 판별[*Food Chem.* **2023**, 399, 133956] 등으로 확장해 나가고 있다.

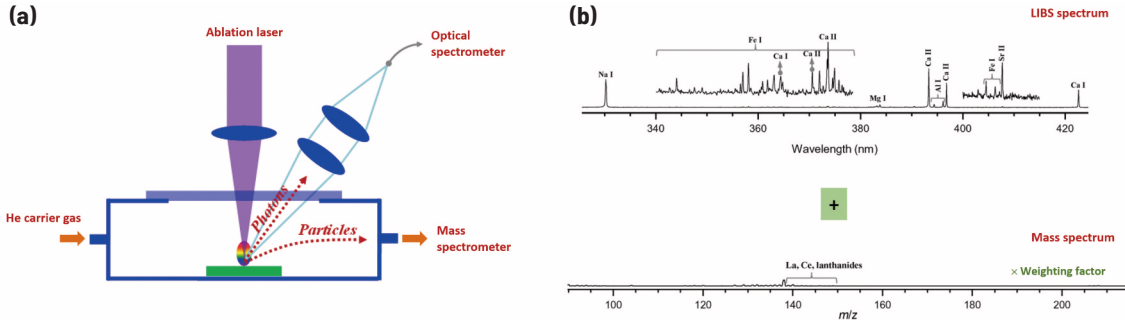


그림 2. (a) 레이저 어블레이션 샘플링 기법을 이용한 LIBS와 ICP-MS 분석 동시 수행 개략도. (b) 폴란드산 암염 시료에서 동시 측정된 LIBS, ICP-MS 스펙트럼 데이터 융합 개념[*Spectrochim. Acta Part B*, **2016**, 118, 102].

Project 2 극소량 생체액 시료 원소분석 연구

분광분석법은 의료진단 및 과학수사에 매우 강력한 도구로 사용되고 있다. 이때 주된 분석 대상이 되는 시료는 혈액과 같은 생체액인데, 많은 경우 그 양이 매우 제한적이다. 플라즈마분광분석센터에서는 10-20 μL 부피의 극소량 생체액 시료에 레이저 어블레이션 기반 원소 분석 적용을 위한 효과적인 시료 준비 방법을 개발하여 적용 사례를 확장해 나가고 있다[그림 3]. 이 방법의 핵심은 표면이 반듯한 실리콘 웨이퍼 위에 액체 시료 방울을 원하는 영역에 얇은 막 형태로 펼쳐 건조시켜 잔류물이 균일하게 분포하도록 하는 것이다. 이렇게 하면 극소량 생체액에 대해서 레이저 어블레이션을 통해 정밀한 반복 분석을 할 수 있게 된다. 이를 구현하기 위해서는 실리콘 웨이퍼의 표면 친수성을 극대화시켜 액체 시료 건조 시 발생하는 커피링 효과를 억제해야 한다. 실리콘 웨이

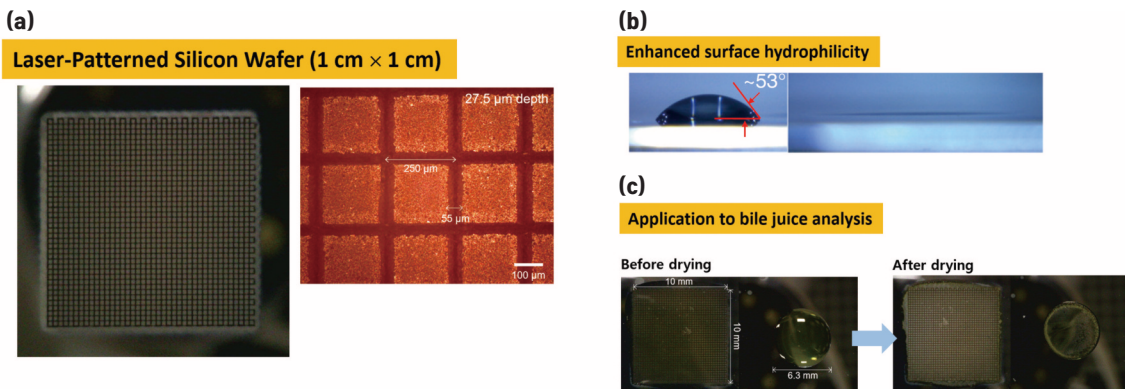


그림 3. (a) 가로, 세로 각각 1 cm 크기의 LPSW 기판과 미세 고랑의 현미경 사진. (b) 실리콘 웨이퍼 표면(왼쪽)과 LPSW(오른쪽)에서 관찰된 물방울의 접촉각. (c) LPSW와 실리콘 웨이퍼 표면에 부피 15 μL 의 담즙 방울을 떨어뜨린 후 건조되기 전(왼쪽)과 후(오른쪽)의 사진[*Spectrochim. Acta Part B*, **2015**, 113, 70; *Analyst*, **2022**, 147, 3193; *J. Anal. At. Spectrom.* **2022**, 37, 823].

퍼 위에 레이저 패터닝 기술을 이용하여 미세 고랑을 새기면, 미세 고랑과 액체 시료 사이에 모세관 힘이 작용하여 커피링 효과가 크게 줄어들고, 건조 후 잔류물은 상당한 균일성을 가지고 남게 된다[Spectrochim. Acta Part B, 2015, 113, 70]. 기판 위에 물방울을 떨어뜨려 접촉각을 관찰하면 미세 고랑에 의해 표면 친수성이 매우 증가한 것을 확인할 수 있다. 본 센터에서는 이렇게 개발된 레이저 패터닝한 실리콘 웨이퍼(LPSW) 기판을 15 μ L 부피의 염 수용액, 소변, 담낭암 환자의 담즙 분석 등 의료진단 기술 개발에 적용하고 있다[Analyst, 2022, 147, 3193; J. Anal. At. Spectrom. 2022, 37, 823].

Project 3 독성 원소 화학종 분리 정량 분석

비소와 같은 독성이 있는 것으로 알려진 원소의 경우 화학종에 따라서 독성의 세기가 크게 차이가 나므로 화학종을 분리하여 규명한 후 정량분석을 해야 정확한 독성 분석이 가능하다. 플라즈마분광분석센터에서는 비소, 셀레늄의 정량 분석을 화학종 선택적으로 수행하는 간단한 방법을 개발하여 적용 범위를 확장시켜 가고 있다[그림 4]. 비소, 셀레늄의 화학종은 각각 무기, 유기 화학종으로 구분되는데 이 가운데 무기 화학종의 독성이 큰 것으로 알려져 있다. 과산화수소와 같은 산화제로 무기 화학종들을 산화수가 큰 종으로 산화시킨 후 이온교환막 필터로 선택적으로 농축하면 LIBS 또는 레이저 어블레이션 ICP-MS로 무기 화학종만 선택적으로 정량분석을 할 수 있다. 유기 화학종은 독성이 없거나 무기 화학종과 비교하면 거의 독성이 없어서, 이 방법을 이용하면 기존의 전체 화학종을 함께 분석하는 방법에 비해 보다 정확한 독성 평가를 할 수 있다. 본 센터에서는 해산물, 쌀 등 전

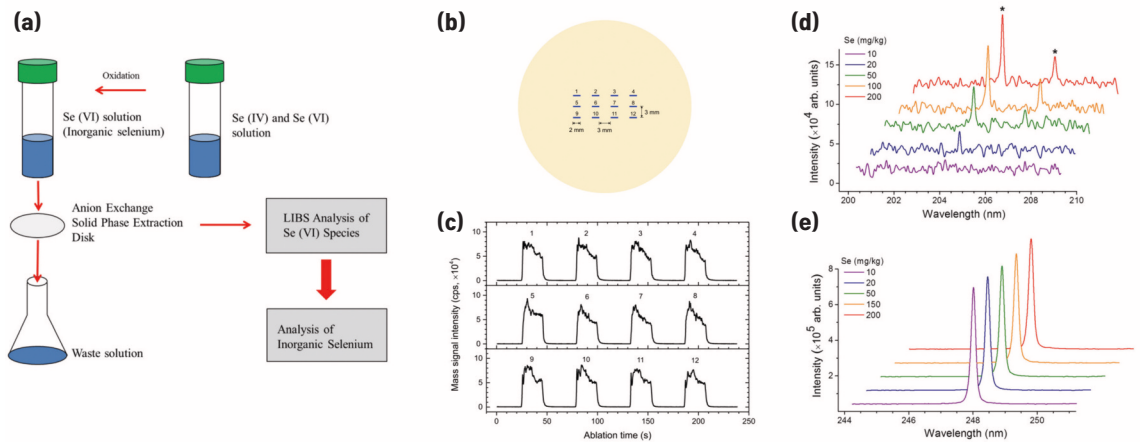


그림 4. (a) 이온교환막을 이용한 셀레늄 화학종 분리 과정, (b) 이온교환막 필터 표면 레이저 어블레이션 분석 위치, (c) 이온교환막 표면에서 펨토초 레이저 어블레이션 샘플링을 통해 얻은 ^{75}As 의 질량 신호, (d) 이온교환막 표면에서 나노초 레이저 어블레이션 샘플링을 통해 얻은 셀레늄 방출선이 관찰된 LIBS 스펙트럼, (e) 이온교환막 표면에서 나노초 레이저 어블레이션 샘플링을 통해 얻은 탄소 방출선이 관찰된 LIBS 스펙트럼[J. Anal. Sci. Technol. 2020, 11, 27; J. Anal. Sci. Technol. 2021, 12, 28].

남지역 특산물과 소변 등 생체액 시료에 포함된 비소 독성 분석에 화학종 선택적 분석법을 활용하는 연구를 수행하고 있다[*Food Chem.* **2019**, *270*, 353; *J. Anal. Sci. Technol.* **2022**, *13*, 45].

Project 4 난용성 소재 레이저 어블레이션 적용 분석

고체 산화물을 전해질로 사용하는 연료전지(SOFC)는 연소에 기반한 전기에너지 생산기술에 비해 효율이 높고, 이산화 탄소, NOx, SOx를 배출하지 않아 환경적으로 매우 우수한 에너지 생산기술로 주목받고 있다. 또한 도심지역에 소규모 에너지 공급 시설로 설치하기 쉽고 다양한 형태의 연료를 사용할 수 있다는 장점이 있어 향후 SOFC 사용량은 크게 증가할 것으로 기대된다. 플라즈마분광분석센터에서는 연료전지에 사용되는 대표적인 고체 산화물인 사마륨, 가돌리늄 등이 불순물로 첨가된 세리아에서 불순물 농도를 효과적으로 분석하는 방법을 개발하였다. 세리아를 비롯한 란탄족 산화물들은 대표적인 난용성 세라믹 소재로 원소분석을 위해서 필수적으로 거쳐야 하는 산분해가 극히 어려워, 장시간의 복잡한 시료 전처리 과정을 거쳐도 정확한 결과를 얻기 어렵다. 본 센터에서는 레이저 어블레이션 샘플링 기법을 광방출 분광법 또는 질량분석법과 결합하여 시료 전처리 과정 없이 간편하게 분석하는 기술을 보유하고 있는데, 이 기술은 SOFC에 전해질로 사용되는 고체 산화물의 불순물 분석에 매우 효과적으로 사용될 수 있다[그림 5]. 사마륨, 가돌리늄이 도핑된 세리아에 레이저 어블레이션 샘플링을 이용한 광방출 분광법 적용 및 이동평균을 이용한 잡음제거와 부분최소제곱-회귀법을 이용한 불순물 원소 정량 분석 모델링을 수행하여 실시간 SOFC 고체 산화물 전해질의 불순물 분석을 구현하였다. 현재 레이저 어블레이션 샘플링 기반 원소분석법을 다양한 데이터 모델링 기법과 결합하여 개발하고 있다[*Anal. Methods*, **2022**, *14*, 597; *Optik*, **2021**, *247*, 167919; *Optik*, **2021**, *240*, 166909]. 본 분석법은 고체 산화물 전해질의 개발, 품질 검사, 리사이클링에 매우 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

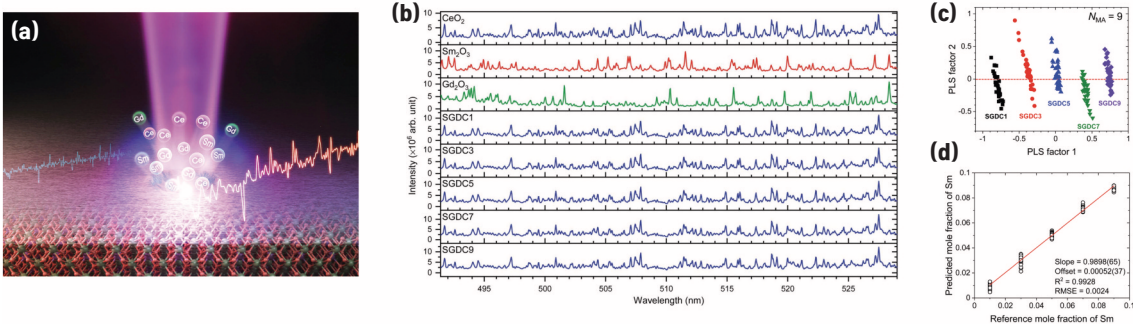


그림 5. (a) 사마륨과 가돌리늄이 도핑된 세리아의 레이저 어블레이션 샘플링을 이용한 분석 개념도, (b) CeO₂, Sm₂O₃, Gd₂O₃, 사마륨과 가돌리늄이 도핑된 세리아의 LIBS 스펙트럼, (c) 사마륨과 가돌리늄 도핑 농도가 다른 세리아의 LIBS 스펙트럼에서 추출된 PLS 인자에 대한 점수 분포, (d) 사마륨과 가돌리늄이 도핑된 세리아에서 사마륨 농도의 참값과 PLS 모델에 의한 예측값의 상관관계 [Anal. Methods, **2022**, *14*, 597].



국립목포대학교
플라즈마분광분석센터



남상호 센터장
국립목포대 화학과 교수

“플라즈마분광분석센터” 센터장 남상호 교수(국립목포대 화학과)는 유도결합플라즈마 원자질량분석법(ICP-MS) 전공으로 1995년 미국 조지 워싱턴 대학에서 이학박사 학위를 받았다. 남상호 교수의 세부 전공분야는 원소 이온들의 분리 및 검출을 위한 이온크로마토그래피 분석법, 미량원소 분석을 위한 유도결합 플라즈마 원자 분광분석법(ICP-AES), 극미량의 원소 분석을 위한 유도결합플라즈마 원자 질량분석법이다. 또한 이와 연관된 특수분야로 이온크로마토그래피를 이용한 원소 화학종들의 분리분석법 개발과 직류 플라즈마 원자 방출분광기를 이용한 미량의 원소 분석, 극미량의 원소 분석을 위한 아르곤 유도결합 플라즈마 질량분석법 연구 및 개발, 질량분석법을 위한 이온화 장치로서 헬륨 유도결합 플라즈마의 개발, 플라즈마 진단학 등을 연구하였다. 1995년 금호연구소를 거쳐 1998년 3월부터 현재까지 국립목포대 화학과 교수로 부임하고 있으며 2003-2005년 동안 미국 FDA에 방문 연구원으로 재직할 경험이 있다. 2019년 5월에 본 센터를 설립하였고, 센터장을 맡은 후 최근 플라즈마 분광학에 기반한 29건의 논문을 발표하였다. 국립목포대 기획처장, 공동실험실습관장을 역임하였으며, 대한화학회 분석분과 회장, 한국연구재단 자연과학단 전문위원, 한국분석과학회 이사, 한국식품의약품안전청 전문위원 등 활발한 활동을 수행하였다. 또한 센터장으로 부임하면서 2019년 교육부 기초과학 연구역량 강화사업(Core-Facility 조성 지원 과제)에 선정되었고, 2020년에 기초과학 연구역량 강화사업(연구장비 구축 지원 과제)에 선정되는 성과를 거두었다. 현재 본 센터의 기반 구축 및 인프라 확충을 위해 힘쓰고 있다.



이용훈 부 센터장
국립목포대 화학과 교수

“플라즈마분광분석센터”의 부 센터장 이용훈 교수(국립목포대 화학과)는 물리화학 분야 레이저분광학 전공으로 KAIST에서 이학박사 학위를 받았다(2003.2). 이후, KAIST 자연과학연구소, 삼성전자 반도체총괄 메모리연구소, GIST 고등광기술연구소 연구원, 국립목포대 화학과 교수로 재직하면서 레이저 유도 플라즈마 분광학(LIBS)의 원리와 응용, 레이저 어블레이션을 이용한 질량분석, 이종(異種) 분광법의 데이터 융합 및 전략적 모델링으로 연구의 폭을 넓혀가고 있다. 현재 LIBS와 질량분석법/반사도 분광법/근적외선 흡수분광법의 데이터 융합에 기반한 기계학습을 통해 식품 원산지 판별 및 의료 진단의 정확도를 향상시키는 연구에 매진하고 있다. 또한 산업 현장에 적용하기 위한 다양한 플랫폼의 LIBS 기기 제작에도 관심을 가지고 있다. 원자력 산업에 사용하기 위한 원격 측정용 LIBS 기기를 제작하여 납품하였고, 소형 이동식 LIBS 기기를 만들어 전남 신안 증도의 염전에서 천일염 현장분석을 시연하였다. 2009년 9월부터 현재까지 국립목포대 화학과 교수로 재직하고 있다. 2015-2016년 방문 과학자로 미국 로렌스-버클리 국립연구소에서 연구를 수행하면서 레이저 플라즈마 내에서 금속 산화물 이원자 분자 생성 메커니즘을 규명하였다. 분자 및 원자 분광학, 분광 분석기술 개발 및 응용을 주제로 83편의 논문을 발표하였다. 국립목포대 과학영재교육원 원장(2019)을 역임하는 등 지역 과학인재 양성을 위해 노력하고 있으며, 아시아 레이저 유도 플라즈마 분광학회 커미티 멤버로 활동하고 있다. 2019년 5월 플라즈마분광분석센터가 교육부·NFEC의 핵심연구지원센터로 선정된 이후, 남상호 센터장을 도와서 연구 개발, 공동활용연구, 원소분석 교육 및 전문가 양성, 지역 산업체 분석 지원을 위해 노력하고 있다.



“대한민국 정밀화학 분야의 개척자이자 과학기술계 리더”

채영복 蔡永福



채영복과 정밀화학의 개척자들

이영환 지음



제약바이오강국의 씨앗을 심다

대한화학회 회장(29대), 과학기술부 장관과 한국화학연구원 원장을 역임한 채영복 박사님은 우리나라 정밀화학 분야를 개척한 선구자로뿐만 아니라 과학기술 정책 수립자이자 과학기술계 리더로 우리나라 과학 발전에 지대한 공헌을 하셨습니다. 2022년 54대 대한화학회 회장에 당선된 후 존경하는 채영복 전 회장님과 교류하며, 최근 출판하신 『채영복과 대한민국 정밀화학의 개척자들』을 읽고 후학으로서 채영복 박사님의 그간 공적을 널리 알리고 뜻을 이어가기 위해 이 글을 『화학세계』에 게재하게 되었습니다.

[이필호 대한화학회 차기 회장(제54대, 2024년~2025년), 강원대학교 화학과 교수]

I. 연구자로서의 기여

1. 귀국 전 연구경력

채영복 박사님은 1965년 독일 Ludwig-Maximilians-Universität München 대학교에서 유기화학으로 박사학위

(지도교수: Rolf Huisgen)를 취득한 후 2년간 München 소재 Max-Planck 세포화학연구소에서 노벨 생리학·의학상 수상자인 Feodor Lynen 교수 밑에서 알코올 탈수소효소의 작용 메커니즘에 관한 연구에 참여하였다. 그 후 도미하여 1967-69년까지 New York Medical Center 생화학 연구소에서 노벨 생리학·의학상 수상자인 Severo Ochoa

그룹에서 m-RNA가 생체 세포 라이보솜 내에서 t-RNA와 상호 작용하여 염기 서열을 따라 단백질을 합성하는 메커니즘에 대한 연구에 참여하여 괄목할 만한 연구 결과를 얻었고 『PNAS』에 논문을 다수 발표하였다. 그 후 유치과학자로 KIST에 합류하였다.

2. 귀국 후 연구경력

채영복 박사는 1969년 8월 귀국 후 국내에서 생화학과 관련한 일련의 연구를 계속하기 위한 시도를 해 보았지만, 당시 국내에서는 그런 첨단 기초연구가 설 땅이 없음을 절감하고 포기하게 되었고 다시 유기화학 분야로 회귀하여 국내 산업이 필요한 산업화 연구로 방향을 전환하였다. 1969년부터 1981년까지 KIST에 유기합성 연구실 실장으로 우리나라 석유화학공업 다운스트림 부문의 국산화 연구를 수행하였고 특히, 그중에서 고부가가치 산업인 의약품 원재, 농약 원재 등 생리활성 화합물들의 국산화 연구를 수행하였다. 1960년대 말 우리나라 의약산업은 외국에서 원재(주성분 화합물)를 공급받아 tablet이나 capsule로 만들어 시판하는 기술 수준에 머물러 있었고 그나마 이런 제제화 기술도 외국 다국적기업들과 기술제휴를 통해서만 가능한 상황이었다. 그 대가로 원재를 매우 비싼 값으로 수입해야 하는 상황에 부닥쳐 있었고 이런 여건 속에서 1969년 말 채영복 박사가 이끄는 유기합성 연구실이 우리나라 처음으로 의약

품 원재를 국산화하는 연구에 착수하였다. 당시 기업들은 이런 연구개발을 수행할 능력이 부족했고 대학의 연구 수준도 이에 미치지 못하여 이러한 연구개발을 할 수 있는 유일한 곳이 KIST 유기합성 연구실뿐이었다. 다행히 연구 결과들이 성공을 거듭하여 산업화로 이어지고 그 결과 국내 시장은 물론 동남아 여러 나라와 동구라파 나라에 수출이 시작되었다. 이 여파로 유기합성 연구실엔 연구를 수탁하려는 기업들로 문전성시를 이루게 되었고 당시 수행하여 국산화한 연구의 종류나 수는 일일이 다 열거하기 어려울 정도로 다양하다. 이런 과정을 거치면서 KIST 유기합성 연구실은 그 규모가 빠른 속도로 팽창하게 되었으며 많은 유치과학자가 합류하게 되었고 이들이 몇 년 후 독립하여 연구실을 차려 나감으로써 연구실이 연구부 규모로 성장하여 나갔으며 훗날 화학연구소로 이전하면서 연구소 규모로 확장되기에 이르렀다. 그뿐만 아니라 많은 연구원이 산업계로 스카우트되었고 그 결과 기술의 확산 속도가 가속화되기 시작하였다. 이처럼 채영복 박사가 이끄는 유기합성 연구팀의 연구 결과가 국내 산업계에 큰바람을 불러일으키기 시작하였으며, 대외적으로는 외국의 다국적기업들이 자기들의 이익 침해 문제와 관련하여 통상 압력으로 작용하였다. 성장 초기에 있는 우리나라의 정밀화학 산업에 물질특허제도가 도입되면 아무리 새로운 프로세스 혁신을 하여도 생산으로 이어질 수 없게 되며 기업 성장에 막대한 악영향을 초래하게 되었다. 그래서 ‘이들 산업이 미국 등 여러 나라에 의해서 프로세스 혁신 과정을 통해 거쳐 왔듯이 우리 기업이 스스로 자본을 축적하여 신물질 창출을 할 수 있는 여력이 생길 때까지 물질특허를 도입해선 안 된다’는 논리로 반대 운동을 전개하여 우리나라 정밀화학 산업화를 앞당기는 데 큰 역할을 하였다. KIST 유기합성 연구실에서 시작한 이 작은 연구 성과들이 모여 하나의 큰 나비효과를 만들어 냈다.



■ 채영복과 정밀화학의 개척자들(KIST와 KRICT 소속). 좌측 뒷줄부터: 조정혁, 이철해, 김유승, 노정구, 박상우, 박호군, 채영복(제29대 대한화학회 회장님), 임 흥, 박노상, 김중협. 좌측 앞줄부터: 황기준, 김성욱, 이기정, 장문호, 김완주, 지옥표.

II. 연구 관리자로서의 기여

1. KIST 연구실장, 연구부장과 화학연구소 원장 재직 시의 역할

채영복 박사는 1969년 KIST 유기합성 연구실장으로 그 후 KIST 응용화학 연구부장과 1982년부터 1993년까지 11

년간 한국화학연구소장을 4번 연임하였고 그동안 연구 관리 자로서 수행한 많은 역할 중 대표적인 것들을 열거하면 다음과 같다.

1) 정밀화학 공업육성방안 입안

생리활성 물질의 국산화 연구가 호조를 이루고 있을 1979년경 채영복 박사는 이 여세를 몰아 이 분야 산업 발전을 위한 국가 차원의 진흥방안을 마련하기 시작하였다. 그런데 이 분야 제품들이 수익성은 매우 좋으나 다품종 소량 생산이라는 특징을 지니고 있어서 어느 한 품목을 내세워서 육성방안을 마련하기가 불가능했다. 그래서 고심 끝에 ‘유기합성’이란 공통점을 지닌 품목들을 한데 묶어 하나의 큰 ‘산업군’을 만들고 이 산업군의 육성방안을 마련하는 방향으로 접근하게 되었다. 염료, 계면활성제, 각종 첨가제, 광학활성 물질, 의약품, 농약 등을 한데 묶어 산업군을 만들고 이 산업군의 명칭을 무엇으로 할까 고민하다가 정밀한 화학이라는 의미로 정밀화학이라 명명하였다. 오늘날 흔히 쓰이고 있는 ‘정밀화학’이란 이름은 이러한 경로를 거쳐서 채영복 박사님이 만들어 낸 용어이다. 외국에서 쓰이는 fine chemical이나 specialty chemical과는 다른 전략적인 의미가 미된 차별화 된 용어이다. 1981년 이런 과정을 거쳐 ‘정밀화학공업육성방안’이 마련이 되었고 1982년 6대 국책사업으로 확정되었다. 그리고 이 육성방안에 따라 우리나라 제3차 경제 개발 5개년 계획에 처음으로 정밀화학 분야가 수록되기 시작하였다.

2) 신물질 창출 연구사업의 시동

의약, 농약 등 생리활성 물질들의 국산화 연구가 1969년부터 1981년까지 KIST를 중심으로 이어졌다면 신물질 창출 연구는 한국화학연구소를 중심으로 이루어지게 되었다. 1980년대 중반 우리나라는 아직 외국의 범용기술들을 들여다 생산 판매하는 기술 수준에 있었는데 이런 시기에 채영복 박사를 중심으로 한국화학연구소에서 우리나라 처음으로 신물질 창출 연구의 시동을 걸게 되었다. 결국 정부의 지원을 받아 한국화학연구소 내에 신물질 창출에 필요한 제반 연구시설 구축과 연구추진에 필요한 자원 일체를 국가에서 조달해 주기로 약속을 얻어냈다. 신물질 연구동 (훗날 채영복 관으로 명명됨)을 포함하여 안정성 연구동 (독성 연구),



■ 1994년 대한화학회 운영진. 좌측부터: 최중길, 소헌영, 김유승, 채영복(제29대 대한화학회 회장), 정봉영, 이덕환, 최중권, 전승준.

실험용 동물사육시설, 의약품과 농약 스크리닝 연구동 등의 시설을 화학연구소 내에 확보하였고 연구에 필요한 소프트웨어도 별도로 확보하였다. 이렇게 해서 자원 확보 문제는 해결되었으나 나머지 문제인 필요한 연구시설들을 어떻게 건설할 것인가, 이들 시설을 건설한 후에 이를 활용하여 연구를 수행해나가는 데 필요한 요소 기술들은 어디서 가져다 충당할 것인가, 그리고 필요한 전문 인력을 어떻게 확보해 나갈 것인가 하는 문제가 크게 대두되었다. 당시 국내에는 이런 시설을 만들어 본 경험자도 없었으며 이런 분야에 연구 경험을 지닌 전문가가 없는 상황이었다. 채영복 박사는 황무지였던 의약품, 농약 등 생리 활성물질의 국산화 연구를 통해 일차적으로 우리나라에 유기화학공업 더 넓게는 정밀화학공업의 기반을 다지는 데 크게 이바지하였으며 이어서 우리나라가 새로운 의약품, 농약 등 신물질을 창출하는 연구 기반을 구축하는 데 크게 기여하였다.

3) 정밀화학 공업진흥회 설립

채영복 박사는 정밀화학을 육성하려면 민간 부문의 적극적인 참여가 필요하다고 판단 관련 기업들이 참여하는 ‘정밀화학 공업진흥회’를 설립했다. 염료, 계면활성제, 의약, 농약 등 관련 기업은 물론 화학 관련 대기업들이 적극적으로 참여하게 했으며 이를 통해 정책개발과 다양한 발전계획을 수립하여 대정부 건의를 하는 작업이 활발하게 이루어졌다. 이 조직은 현재 산업자원부 산하 기관으로 정밀화학 산



■ 1994년 대한화학회 간친회. 좌측부터: 장세현, 채영복(제29대 대한화학회 회장), 최상업, 심상철, 안운선, 정봉영, 장세희.

업진흥회로 개명되어 명맥을 유지하고 있으며 활발한 사업을 추진 중이다.

4) 신약 연구조합의 설립

신약 연구조합은 제약회사 중 신의약개발 (신물질 창출)을 지향하는 기업들을 중심으로 창설하였으며 아직도 신물질 창출의 중심에서 매우 활발한 활동을 전개하고 있다 (김완주 박사 등이 실무에 참여했다).

2. 기초기술연구회 이사장과 과학기술부 장관 재임 시의 업적

1) 국가과학기술 로드맵 작성

기초기술연구회 이사장으로 재직하던 1999년부터 2001년 말까지 3년 동안 KIST, 생명과학연구원, 천문연구원 등 기초기술연구회 산하 연구소들을 과거의 모방 구에서 탈출, 선도 연구 분야로의 진입을 위해 전환점을 마련해주기 위한 노력을 기울였다. 이를 위해서 국가 과학기술 로드맵을 만들기 시작하였으며 이 사업은 각 분야 연인원 수천 명이 동원되어 채영복 박사가 과기부 장관으로 부임한 후까지 계속하여 완성되었다. 이 로드맵은 10년을 내다본 미래지향적인 연구 방향과 연구내용이 총망라해서 수록되었으며 그 양이 수천 페이지에 달하고 범 부처 참여로 만들어졌다. 우리나라 초유의 국가 차원의 과학기술 로드맵으로 훗날 연구비 배정

과 연구 방향 설정 등에 참고 자료로 이용되었다.

2) 과학기술인 공제회 설립

과학기술인 공제회는 연금 혜택을 받지 못하던 정부출연 연구소 연구원과 민간연구소 연구원들의 노후대책을 위해 설계된 것으로 2002년 채영복 박사가 이 제도를 발의할 당시까지만 해도 정부출연연구소 연구원들은 연금제도의 혜택을 누리지 못하고 있었다. 이들의 노후대책 마련이 절실했으나 정부의 재정 관련 부처는 국민연금 등을 이유로 별도 연구원 연금제도 마련에 비협조적이었다. 그래서 이들의 반대를 우회하여 과학기술인 공제회를 출범시켜서 정부출연연구소 연구원과 민간연구소 연구원들의 연금 문제를 해결하고자 한 것이다. 올해로 설립 20주년을 맞는 이 과학기술인 공제회는 자산운용 규모가 약 20조 원에 육박하는 기관으로 성장하여 명실상부한 과학기술인 복지 전담 기구로 성장하고 있다.

3) 과학기술연합대학원대학교(UST) 설립

과학기술연합대학원대학교는 연구소의 하부 연구원들을 대학원 학생으로 대체하여 연구소 연구에 참여하도록 하고 학위 취득 후 산업계 등으로 취업시킴으로써 하부 연구인력 수급의 유연성과 유동성을 확보하기 위한 방안의 하나로 설립되었다. 이는 채영복 박사가 기초기술연구회 이사장 재임 시절에 의원 입법으로 법제화하여 추진되었고 과학기술부 장관 재임 시에 공식 출범하였다. 당시 국회 정무위원회 위원장이었던 김부겸 국회의원이 발의하여 법제화를 도와주었고 이제 설립 20주년을 맞고 있다.

4) 이공계 기피현상을 극복하기 위한 다양한 정책 시행

채영복 박사가 장관으로 부임한 시기는 김대중 대통령의 임기 말기에 해당하며 김영삼 정부 시절에 초래된 외환 위기 사태로 인해 사회 각계의 구조조정 작업이 이루어지는 과정에서 민간 부문을 포함한 과학기술계 인사들이 대거 구조조정 대상이 되어서 가장 큰 피해를 보게 되었다. 이 여파로 학부모가 앞장서서 자녀들의 이공계 지망을 가로막는 상황이 되었다. 청소년들의 이공계 기피 현상을 극복하기 위해 여러 가지 다양한 정책 대안이 마련되었으며 그중 하나가 현직에 있는 과학기술인들의 처우를 획기적으로 개선하여

자라나는 세대들에게 귀감이 되게 하고 이를 통해 청소년들의 이공계 진출을 선호하게 하자는 방안이 마련되었다. 앞에서 언급한 과학기술인 공제회의 설립도 이런 맥락에서 추진되었으며 이외에도 과학기술인 명예의 전당 건립과 대한민국 최고과학기술인상, 이달의 과학기술인상, 이달의 엔지니어상, 여성 과학자상 등 각종 포상 제도를 도입하였고 대학원 진학 학생들을 대상으로 국가장학생 제도 등을 실시하였다.

5) 한국파스퇴르 연구소 설립

김대중 정부에서 추진한 서해안 물류센터 건설계획의 일환으로 물류센터에 과학기술을 접목하여 부가가치를 제고하고자 하는 방안으로 채영복 박사님에 의해 제안되었으며 외국의 유명한 공공연구소와 민간연구소들을

유치하여 배치하는 방향으로 정책이 추진되었다. 외국의 연구소를 유치하기 위해서는 별도의 혜택이 필요했고 이를 위해서는 이들을 별도 수용할 수 있는 과학기술 특구의 마련이 필요한 것으로 판단되었고 이 안이 발의되어 국가과학기술위원회에 부의하여 통과되었다. 그리고 유치 우선순위에 오른 것이 공공부문에서 프랑스의 파스퇴르 연구소였다. 과학기술 특구의 개념은 이런 철학에서 이루어진 것이며 2002년 채영복 장관이 파리에서 한불 과학기술 장관 회의를 마친 후 파스퇴르 연구소 유치 문제를 프랑스 과학기술부 장관과 논의하여 유치에 원칙적인 합의를 하였다. 그 후 실무 작업으로 박호근 당시 KIST 원장과 그 후임인 김유승 KIST 원장이 후속 실무를 맡아 유치작업이 완료되었고 현재 판교에 한국 파스퇴르 연구소로 설립되어 운영 중이다.



채영복(蔡永福)
 (前)과학기술부 장관
 (前)한국화학연구원 원장
 제29대 대한화학회 회장

학 력

- 1955 경동고등학교 졸업
- 1959 서울대학교 문리과대학 화학과 졸업
- 1959 서울대학교 대학원 입학
- 1959-1965 서독 Ludwig-Maximilians-Universität München 대학교 화학과 Diplom 과정 입학(1959)/Diplom 과정 졸업(1961)/유기화학으로 이학박사 취득(1965, 지도교수: Rolf Huisgen)

경 력

- 1965-1967 Max-Planck 세포화학 연구소 연구원(노벨 생리학·의학상 수상자 Feodor Lynen과 지방합성 과정의 알콜 탈수소효소의 작용 메카니즘 연구)
- 1967-1969 New York Medical Center 생화학 연구소 연구원(노벨 생리학·의학상 수상자 Severo Ochoa 교수와 생체 세포 내에서 m-RNA로부터 단백질 합성이 이루어지는 과정에서 라이보솜과 aminoacyl t-RNA 그리고 m-RNA의 염기 서열 간에 상호작용에 관한 연구. Peptide가 생합성되는 과정에서 라이보솜 내의 단백질 합성 개시를 명령하는 initiation factor F1, F2, F3의 작용 메카니즘 연구)
- 1969 KIST 유기합성 연구실장

- 1971-1980 KIST 응용화학연구부장
- 1982-1993 한국화학연구소 소장(4연임)
- 1994-1995 대한화학회 회장(29대)
- 1995-1997 한국과학기술한림원 사무총장, 부원장
- 1999-2001 기초기술연구회 이사장
- 2002-2003 과학기술부장관
- 2004-2010 한양대학교 석좌교수
- 2004-2013 한국파스퇴르연구소 이사장
- 2005-2007 국가과학기술위원회 민간위원
- 2005-2008 한국과학기술단체총연합회(과총)회장
- 2008-2013 대통령 직속 국가원로회의 위원
- 2010-2014 경기과학기술진흥원 이사장(초대)
- 2011-2014 학교법인 상지학원 이사장
- 2009-현재 (사)원정연구원 이사장

상 훈

- 1972 국민 포장
- 1975 보사부장관상
- 1976 국민훈장 동백장
- 1997 윤경상(윤경재단)
- 1980 3.1문화상
- 1998 효령상
- 2004 프랑스 정부 최고 훈장 '레지옹도뇌르' 수상
- 2006 청조근조훈장

KCS 하이라이트

21 고등 분광기술을 활용한 화학연구

이번 호에는 지난 3년(2021-2023)간 『BKCS』에 보고된 다양한 분야의 논문 중 일반적인 선형 분광법 이외의 분광법을 활용한 논문을 소개합니다. 분광학의 발달로 물질계의 정보를 여러 주파수 차원에 투영하여 측정/분석하는 것이 가능하게 되었습니다. 『BKCS』에서는 이러한 분광 기술을 활용하여 물성을 연구하는 다양한 논문이 발표되었습니다. 회원분들의 많은 관심 부탁드립니다.

글 김준우(충북대학교 화학과, jwkim0@chungbuk.ac.kr)

BKCS

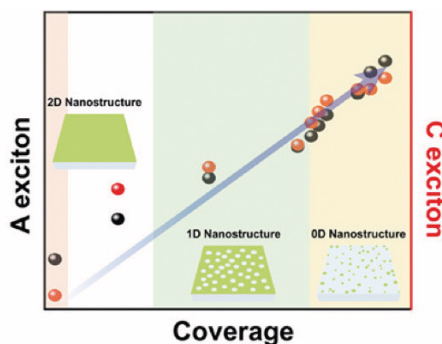
Vol.43 No.10 p.1184-1190 / Article

광주과학기술원 임현섭 교수 연구팀에서 단일층 2차원 전이금속 이칼코겐화물(2D-TMD) 기반의 양자점과 나노메쉬를 합성하고, 이들의 특성을 흡수/발광 분광법, 라만 분광법, 엑스선 광전자 분광법 등 다양한 분광법을 활용하여 분석했습니다.

[2022년 10월호, DOI: 10.1002/bkcs.12608]

Synthesis of monolayer 2D MoS₂ quantum dots and nanomesh films by inorganic molecular chemical vapor deposition for quantum confinement effect control

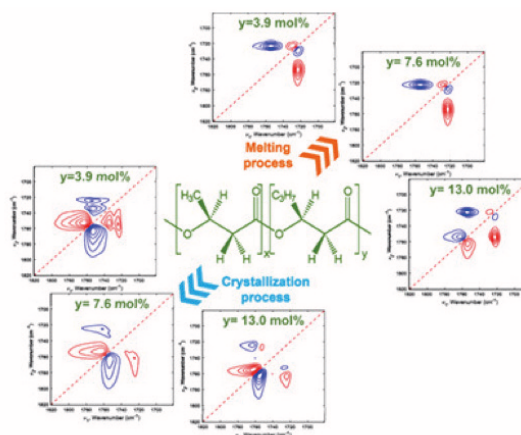
Bandgap engineering is an important prerequisite for various applications of two-dimensional (2D) transition metal dichalcogenides (TMD). A reduction in the dimension from 2D has been one of the methods to control the electronic structure, by which a quantum confinement effect in the additional axis(es) can result in the widening of band structures. A vapor-phase process for synthesizing monolayer MoS₂ nanomesh film or MoS₂ quantum dot is developed based on the inorganic molecular chemical vapor deposition. The vapor-phase process can control MoS₂ coverage by adjusting growth times. Therefore, the formation of nanostructures can be confirmed based on the growth time. The quantum confinement effect in monolayer MoS₂ nanomesh films and MoS₂ quantum dots is also confirmed via spectroscopic investigations, which induce a blue shift, indicating bandgap widening. Consequently, this approach can be used to synthesize lower-dimensional TMD materials for bandgap engineering, which is an essential process in optical or optoelectrical applications.



강원방사선융복합연구지원센터의 박연주 박사 연구팀은 2차원 상관 분광법(2D-COS)을 활용하여 PHBHx 고분자 시스템의 열역학적 특성을 연구했습니다. 2D-COS는 진동 전이 간의 상관관계를 보여주어 분자내 그룹 간 또는 분자 간 상관관계를 고려할 수 있어, 더 다양한 구조정보를 얻을 수 있습니다. [2022년 1월호, DOI: 10.1002/bkcs.12437]

Study on melting and crystallization of PHBHx thin films using IR and 2D correlation spectroscopy

The thermal behavior of poly(hydroxybutyrate-*co*-hydroxyhexanoate) (PHBHx) thin films having various molar fractions of hydroxyhexanoate (Hx) was investigated using IR, 2D gradient mapping, 2D correlation spectroscopy (2D-COS), and multivariate curve resolution (MCR) analysis. The melting and crystallization temperatures were determined using 2D gradient mapping. The 2D-COS combined with MCR analysis provided information on the unambiguous components that appeared in PHBHx thin films during the melting and crystallization processes.

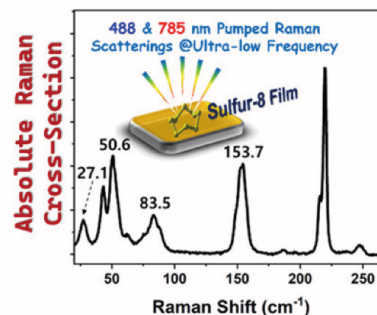


부경대학교 박명기 교수와 육군사관학교 정근홍 교수 연구팀은 초저주파수 (ULF) 라만 분광법을 활용하여 α -S8 필름의 광학적 특성을 연구했습니다. ULF 라만 분광법은 500 cm^{-1} 이하의 저주파수 진동 모드를 가시광선을 이용하여 분석할 수 있는 장점이 있습니다.

[2023년 7월호, DOI: 10.1002/bkcs.12704]

Determination of the absolute Raman cross-sections of α -S8 film at ultralow frequencies pumped by 488 and 785 nm lasers

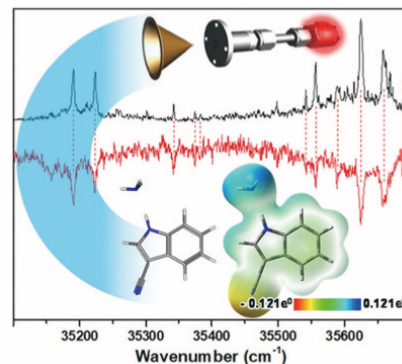
Absolute Raman cross-sections are widely used for quantitative analyses of condensed phases. However, solid thin films showing ultralow frequency (ULF) Raman characteristics at $<100\text{ cm}^{-1}$ have not been studied deeply. Herein, we demonstrate an ULF Raman spectrometer equipped with 488 and 785 nm pumped lasers and determine the absolute Raman cross-sections of 34- μm -thick α -S8 film, which presents Raman peaks at approximately 27, 50, 83, 154, and 220 cm^{-1} . These experimentally measured ultralow Raman frequencies and Raman cross-sections were also confirmed via first principles density functional theory. Thus, our Raman cross-section studies can be utilized as a quantitative standard for thin films showing ULF Raman characteristics.



경상대학교 최명용 교수 연구팀은 공명 이광자 이온법(R2PI)과 UV-UV 홀버닝(HB) 분광법을 활용하여 기체상 분자 복합체의 구조를 연구했습니다. HB 실험은 일반 분광 장치에 고출력 광원을 추가하여 특정 형태(conformation) 이외의 밀도를 감소시켜 형태 선택적인 실험을 가능하게 해줍니다. [2022년5월호, DOI: 10.1002/bkcs.12502]

Spectroscopic and theoretical studies of jet-cooled 3-cyanoindole ammonia clusters in the gas phase

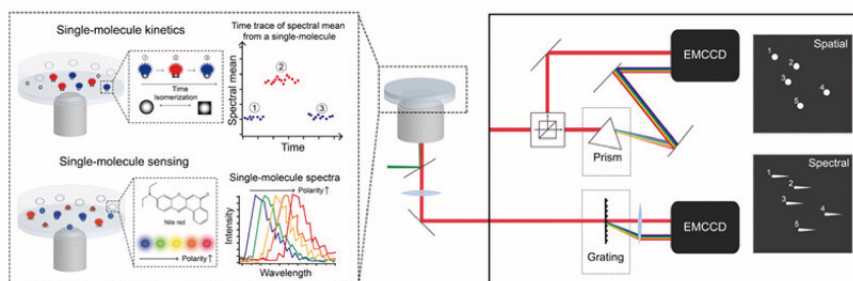
The spectroscopic probe of 3CI ammonia cluster, 3CI-(NH₃)₁, has been investigated using mass-selected one-color resonant two-photon ionization (1C-R2PI) and UV-UV hole-burning (UV-UV HB) spectroscopy obtained from a thermal evaporation method in the gas phase. The observed spectra are compared with the predictions of density functional theory (DFT) and time-dependent DFT (TD-DFT) calculations.



한양대학교 김두리 교수 연구팀은 형광 탐침 분자를 활용한 초고분해능 분광 현미경에 대한 연구를 정리하여 발표했습니다. 초고분해능 형광 분광법은 염료 분자와 생체 물질 사이의 결합력 및 위치 정보를, 단일분자 분광법은 염료 분자의 환경에 관한 정보를 제공합니다. 이 두 실험법의 조합은 관측계에 대한 더 다양한 정보를 제공할 것입니다. [2022년 3월호, DOI: 10.1002/bkcs.12471]

Super-resolution fluorescence microscopy-based single-molecule spectroscopy

The rise of super-resolution fluorescence microscopy (SRM) has revolutionized our understanding of the nanoscale world. SRM has recently been correlated with spectroscopy techniques to obtain rich spectral information of individual molecules in addition to localization information. This technique ultimately provides multidimensional and functional information of single molecules, which is generally masked in the ensemble averages of previous bulk measurements and creates exciting new opportunities and challenges for single-



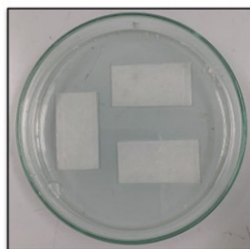
molecule spectroscopic imaging. We review the recent developments in single-molecule spectroscopic imaging technique and how the challenges are addressed to effectively obtain single-molecule spectroscopic information. Particular attention has been devoted to the applications of this method, including single-molecule chemical kinetic studies and single-molecule polarity sensing. Finally, we address the possible future enhancements and applications. Thus, we demonstrate how a single-molecule spectroscopic imaging technique adds new dimensions of information to the SRM, providing new opportunities in a wide range of research fields.

목포대학교 이용훈 교수와 남상호 교수 연구팀은 화학적 성분분석에 활용되는 레이저 유도 파괴 분광법(LIBS)의 분석 성능을 향상시킨 논문을 발표했습니다. ICP가 성분분석 도구로서 매우 높은 성능(ppb 수준의 검출한계)을 자랑하지만 LIBS는 더 간편하고 값싼 성분분석 도구로 활용될 수 있습니다. [2021년 5월호, DOI: 10.1002/bkcs.12259]

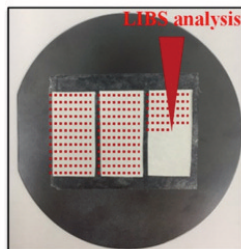
Improving Analytical Performance of Laser-induced Breakdown Spectroscopy for Strontium, the Minor Impurity Element, in Salts Using Multiple Filter-Paper Sampling

Strontium (Sr) is an element of toxicological concern due to its close chemical proximity to Ca. In this work, Sr in sea salts collected from China and South Korea was analyzed by laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS). The precision could be improved by using multiple filter-paper sampling and intensity normalization using a weak Na I line as a reference signal. The analyte signal variation between filter-paper pieces as well as that within a single filter-paper piece could be corrected by the suggested method. The limit of detection of ~2ppm and the precision of ~5% could be obtained. As a measure of accuracy, the root-mean-square error was estimated to be 9 ppm. The multiple filter-paper sampling can be performed easily on the salt production sites and improves the LIBS analysis precision resulting to sufficient quantification capability for minor metallic elements in edible sea salt products.

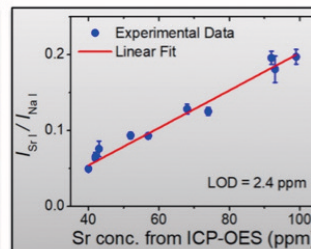
✓ Multiple filter-paper sampling of salt solution



✓ LIBS analysis of dried filter papers attached on the Si wafer



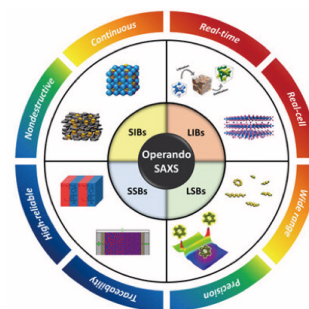
✓ Calibration curve of Sr using $I_{Sr} / I_{Na I}$



성균관대 김지만 교수와 에너지환경융합 키우리 연구단의 김태완 박사 연구팀에서 소각 엑스선 산란(SAXS)을 활용한 전지 연구를 정리한 내용을 발표했습니다. SAXS 실험은 나노미터 수준의 구조 정보를 제공하며 나노 물질, 고분자, 고체, 단백질 등 다양한 형태의 시료에 활용될 수 있습니다. [2023년 6월호, DOI: 10.1002/bkcs.12687]

Operando small-angle x-ray scattering for battery research

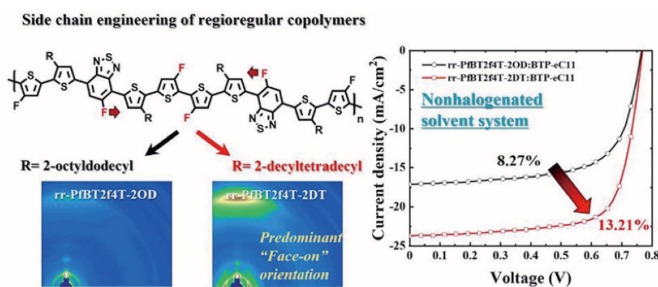
Operando small-angle X-ray scattering (SAXS) for battery research is briefly reviewed, to help in understanding the complex behaviors of nano-scaled electrochemical components such as electrodes and electrolytes in secondary batteries, where this advanced analysis method is expected to play a key role in providing useful information for the design and synthesis of prospective materials in energy-storage fields.



대구경북과학기술원 이윤구 교수 연구팀에서 태양전지용 고분자의 결사슬 처리공법에 대한 연구를 발표했습니다. 시료의 표면분석에 대각 엑스선 산란법(WAXS)이 활용되었는데, 이는 나노미터 이하의 구조적 특성에서 기인합니다. [2022년 10월호, DOI: 10.1002/bkcs.12606]

Side-chain engineering of regioregular copolymers for high-performance polymer solar cells processed with nonhalogenated solvents

Conjugated polymers for bulk heterojunction polymer solar cells (BHJ PSCs) should be processed with nonhalogenated solvents because of environmental concerns. Here, we report novel regioregular copolymers for high-performance PSCs processed with nonhalogenated solvents. The regioregular copolymers (i.e., rr-PfBT2f4T-2OD and rr-PfBT2f4T-2DT) consist of 3'',4'-difluoro-2,2':5'',2'''-quaterthiophene (2f4T) with different side chains (2-octadodecyl (OD) and 2-decyltetradecyl (DT)) and 5-fluorobenzo[c][1,2,5]thiadiazole (fBT). The regioregular copolymers with controlled fBT orientation show high solubility in nonhalogenated solvents. Both regioregular copolymers possess suitable energy levels, leading to sufficient energy offsets with a nonfullerene acceptor, BTP-eC11. An rr-PfBT2f4T-2DT:BTP-eC11-blended film exhibited predominant face-on orientation compared to the rr-PfBT2f4T-2OD:BTP-eC11-blended film. In addition, the rr-PfBT2f4T-2DT:BTP-eC11-blended film showed much more balanced hole/electron mobility ($\mu_h/\mu_e \sim 4.73$) than rr-PfBT2f4T-2OD:BTP-eC11-blended film ($\mu_h/\mu_e \sim 45.86$). Therefore, rr-PfBT2f4T-2DT:BTP-eC11-based PSCs, processed with 1,2,4-trimethylbenzene, showed a power conversion efficiency of 13.21% which is 60% higher than rr-PfBT2f4T-2OD:BTP-eC11-based PSCs.



「Bulletin of the Korean Chemical Society」

논문 투고 시스템 안내 (ScholarOne Manuscripts)

대한화학회가 발간하는 우리 화학회의 얼굴이자 우리 화학인의 학술지인

「Bulletin of the Korean Chemical Society」 (이하 Bulletin지)의 재도약을 도모하고자
본회 운영위원회와 학술지간행위원회 Bulletin지 편집장은 Bulletin지의 논문 투고 시스템을
스칼라원 논문투고시스템(ScholarOne Manuscripts)으로 변경하기로 하였습니다.

이에 논문 투고 시스템 접속 방법을 별첨으로 안내드리오니 모든 회원들께서는
Bulletin지의 재도약을 위한 활동에 동참하여 주시기 바랍니다.

대한화학회 회장 신석민

대한화학회 학술지간행위원회 Bulletin지 편집장 남원우

1. BKCS 논문 투고 시스템 접속

* 아래 방법 중 택 1

A. <https://mc.manuscriptcentral.com/bkcs>로 바로 접속

B. http://new.kcsnet.or.kr/pub_bkcs 접속 후 On-line Submission 클릭

C. <https://onlinelibrary.wiley.com/journal/12295949> 접속 후 우측 상단의 Submit an Article 클릭



A

B

C

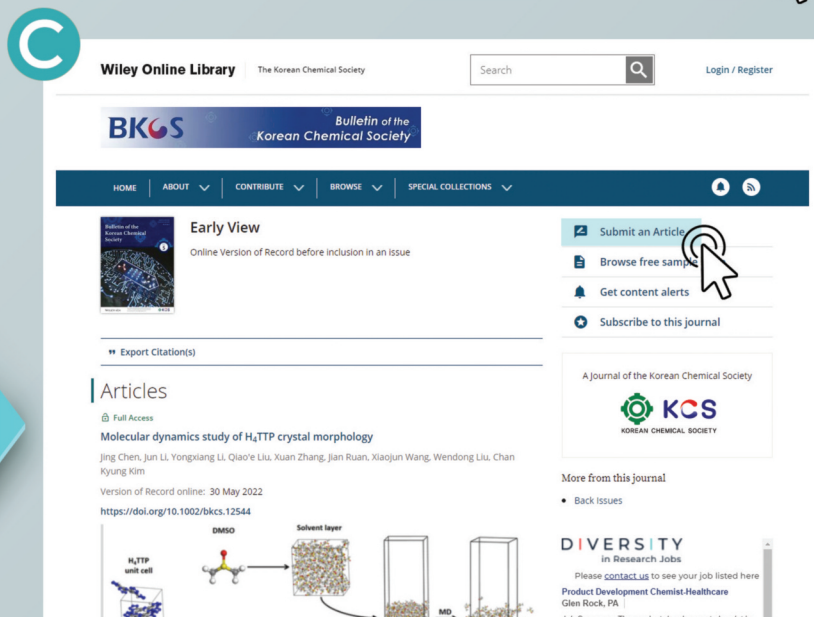
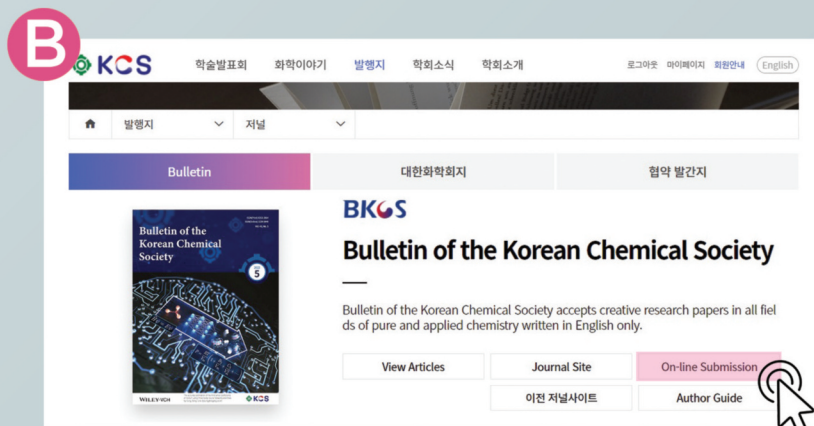
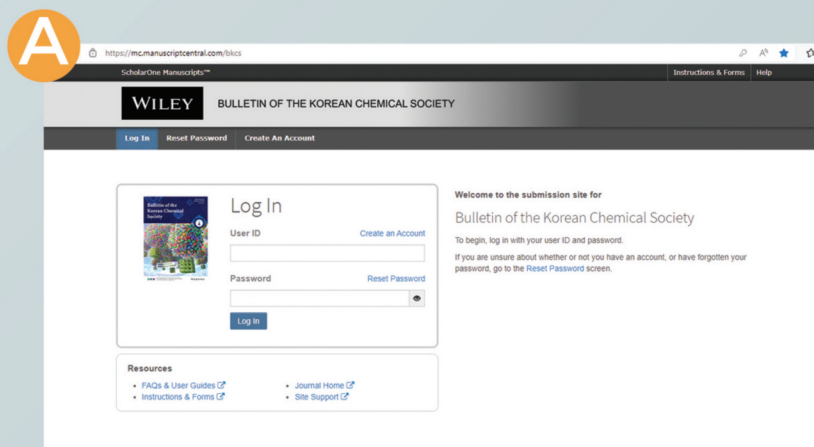
2. 계정 개설 후 로그인

- 계정 개설 필수
- 계정 개설 시 입력한 메인 이메일 주소와 비번으로 접속하여 논문 투고
- ScholarOne Manuscripts의 Author Guide를 참고하여 순서대로 진행

* 외국인 심사위원은 점차적으로 늘릴 예정입니다.

* 논문 투고에 어려움이 있으실 경우 아래로 문의하여 주십시오.

e-mail: bkcs@kcsnet.or.kr / office: 02)953-2095



<https://mc.manuscriptcentral.com/bkcs>로 바로 접속

http://new.kcsnet.or.kr/pub_bkcs 접속 후
On-line Submission 클릭

<https://onlinelibrary.wiley.com/journal/12295949> 접속 후 우측
상단의 **Submit an Article** 클릭

우리 실험실은요!



우리 실험실은요!

유기금속 촉매반응 연구실 (Organometallic Catalysis Lab)

글 | 정유진(성균관대학교, 화학과,
zinnah@g.skku.edu)

우리실험실은요...

저희 연구실은 2020년 9월에 성균관대학교 화학과 소속으로 시작하였으며 현재 Shin 그룹은 2명의 석·박사 통합과정 학생과 3명의 석사 과정 학생, 총 5명의 대학원생으로 구성되어 있으며, 학기마다 학부 연구생들과 함께 다양한 연구를 진행하고 있습니다. 저희 연구실은 전이 금속 촉매를 활용하여 복잡한 분자를 합성하고 촉매에 카이랄 리간드를 도입하여 다양한 비대칭 화합물을 합성 및 메커니즘을 규명하는 연구를 진행하고 있습니다. 첫 번째로 저희 연구실에서는 다양한 산화방법(산화제, 광산화, 전기화학적 산화법)을 활용하여 고산화 상태의 금속 착물 중간체를 형성시키고, 이를 이용하여 다양한 친핵체를 도입하는 연구에 관심을 가지고 있습니다. 특히 전기화학적 산화법은 산화 전위를 미세하게 조절할 수 있는 장점을 가지고 있어 부반응을 최소화하거나 원하는 반응을 선택적으로 진행할 수 있다는 장점이 존재합니다. 이러한 장점이 있는 전기화학적 산화법을 이용하여 저희 연

구실에서는 팔라듐 촉매하에서 다양한 올레핀과 친핵체 간의 하이드로기능화 반응 (hydrofunctionalization)에 대해 연구하고 있습니다. 두 번째로, 연구실에서는 다양한 카보닐 친전자체를 반응제로 사용하는 올레핀 하이드로기능화 반응 연구도 수행하고 있습니다. 이를 통해 천연물과 의약품 물질에서 주로 발견되는 중요한 구조 단위의 알파 위치가 치환된 카보닐 그룹을 합성하는 것에 관심을 가지고 있습니다. 위 두 연구주제와 더불어, 입체 선택적인 반응을 위해 비대칭 촉매를 활용하는 반응과 분자 복잡도를 극대화할 수 있는 획기적인 촉매 시스템도 개발 중입니다. 기존에 발표된 논문 이외에 본 연구실에서 현재 열심히 수행 중인 재미있는 연구 내용도 빠른 시일 내에 학회 발표 또는 논문을 통해 소개해 드릴 수 있기를 기대합니다.

함께 나아가는 Shin 그룹의 활동

저희 교수님은 학생들이 하고 싶은 연구를 적극적으로 지지해

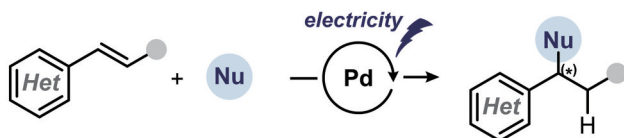
The Shin Group Chemistry - Research Keywords

metal-hydride catalysis asymmetric catalysis oxidative hydrofunctionalization (w/ compatible oxidation system) increasing molecular complexity

The Shin Group - Main Research Programs

Program 1

Electrooxidative PdH-catalyzed olefin hydrofunctionalization with various 'nucleophiles'



Program 2

Earth-abundant Ni-catalyzed olefin hydrofunctionalization with acyl fluorides, carbamoyl fluorides, and fluoroformates

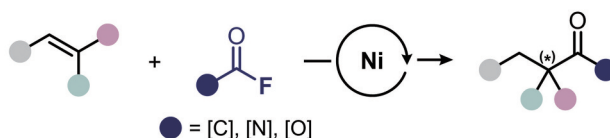


그림 1. Shin 그룹 대표 연구 분야



어느 화창한 날에 찰칵~



열심히 실험하는 중~



2023 춘계 대한화학회에서

주시고 지원을 아끼지 않으십니다. 또한, 대한화학회나 유기분과회와 같은 다양한 학회에 함께하는 기회를 마련하여 여러 연구 분야에 넓은 시야를 갖게 함은 물론이고, 같은 분야의 연구자들과 소통할 기회를 만들어 주십니다. 이러한 교수님의 적극적인 관심과 애정으로 저희 Shin group은 한 걸음씩 함께 성장해 나가고 있습니다. 저희 연구실에서는 연구에 관한 다양한 활동들을 진행하고 있습니다. 매주 월요일마다 저희 연구 그룹은 연구 프로젝트 결과 및 향후 연구 방향을 논의하는 시간을 갖고 있습니다. 학생들은 자신들이 계획한 실험 결과를 기반으로 교수님과 의견을 나누며, 연구의 더 나은 방향으로 이끌어 나갈 수 있도록 지도를 받습니다. 또한, 한 달에 한 번씩 각자의 연구 내용을 정리하고 발표하여 교수님과 연구 그룹 구성원들의 의견을 공유하고 새로운 아이디어를 얻는 기회를 가집니다. 이러한 발표 시간은 저희 연구 그룹 내에서 아이디어 교류와 학문적인 지식 공유를 가능하게 해주는 중요한 시간입니다. 뿐만 아니라, 우리 그룹은 격주로 저널 클럽 활동을 하고 있습니다. 이러한 저널 클럽활동은 다양한 연구 분야나 최신 동향에 대해 학습하고 지식을 나누어 서로의 지식을 공유하고 다양한 분야에 대한 이해를 넓혀가며, 저희가 학문적으로 성장하는 데 큰 도움이 됩니다. 이처럼 다양한 활동을 통해 저희는 더욱더 성장해 나가고 있습니다.

저희 Shin group은 학생 수는 많지 않지만 비슷한 나이의 구성원들로 형성되어, 서로 친구처럼 여기며 때로는 가족처럼 마음을 나누는 환경을 갖추고 있습니다. 이런 가까운 관계 덕분에 서로 간에 큰 거리감 없이 소통하고 협력하는 것이 우리 연구실의 큰 장점입니다. 실험 중에 문제가 발생하면 우리는 마치 자신의 일인 것처럼 협력하여 의견을 나누고 해결해 나가려고 합니다.

이런 분위기는 우리 구성원들이 좋은 연구 결과를 얻는 데 큰 원동력이 된다고 생각합니다. 뿐만 아니라, 저희 연구실은 연구 외적으로도 다양한 시간을 함께 보내며 소소한 추억들을 쌓고 있습니다. 생일을 맞이한 구성원을 위해, 모두 함께 맛있는 음식을 먹으며 축하하는 시간을 갖습니다. 또한, 한 달에 한 번 정도는 “미식가”이신 교수님이 추천해주신 맛있는 음식을 먹으며, 다양한 일상 대화를 나누고 있습니다. 이러한 시간은 교수님과 학생들 간의 유대감을 더욱 깊게 만들어주고, 활기 넘치는 연구실 분위기를 형성하는 데 큰 도움이 된다고 생각합니다.

마치며...

저희 Shin group은 이러한 화목한 분위기 속에서 매 순간을 소중하게 여기며 함께 연구한다는 것이 자랑스럽습니다. 실험실문을 열면 언제나 웃음과 활력이 넘치고 서로의 성과를 축하하며 함께하는 기쁨, 어려움을 함께 극복하며 나누는 강한 결속, 이 모든 것이 저희를 더욱 가깝고 한 걸음 더 성장하게 해주는 원동력입니다. 학문적인 성장은 물론이고, 서로의 성공과 실패, 솔직한 이야기들을 나누는 것이 저희의 가치입니다. 모두가 그렇듯 연구라는 것은 쉽지 않지만, 저희 연구실은 그 어떤 어려움도 서로의 지원과 협력으로 극복해 나갈 수 있을 것입니다. 더 큰 꿈과 목표를 향해 함께 나아가는 이 여정, 저희 Shin group은 앞으로 더욱 의미 있는 곳으로 성장하며, 저희 구성원 모두의 미래가 밝게 빛나기를 소망합니다. 졸업생 및 현재 구성원들이 모두 맡은 분야에서 열심히 연구하여 훗날 우수한 과학자가 되기를 기원하며 마지막으로 항상 최선을 다해 저희를 지도해주시는 신광민 교수님께 감사하다는 말씀을 드리며 이 글을 마칩니다.



IChO LET'S FIND SOLUTIONS TOGETHER!

2023년 제55회 국제화학올림피아드

(55th IChO 2023)

멘토편



정병혁 | DGIST 화학물리학과, byunghyuck.jung@dgist.ac.kr

- **기간 및 장소**: 2023년 7월 16일~25일, 스위스 취리히(Zürich, Switzerland)
- **한국대표단**
 - 단장 : 양성익 교수(경희대학교 응용화학과)
 - 부단장 : 정현 교수(동국대학교 화학과)
 - 업저버 : 고혜란 교수(중앙대학교 화학과), 정병혁 교수(DGIST 화학물리학과)
 - 게스트 : 고수영 선임연구원(한국과학창의재단), 신명진 학생(서울대학교 화학과)
 - 한국대표 학생 : 김희준(대전과학고등학교 3학년), 서채원, 장준성, 전지민(서울과학고등학교 3학년)

집중 교육

본 대회를 앞두고 선발된 4명의 학생을 대상으로 주말 교육 및 집중 교육을 실시하였다. 사전 교육의 전체 시간을 포함한 전반적 운영에 대해 IChO 위원회는 별도의 지침을 만들어 참여국에 준수할 것을 권고하고, 우리 또한 이에 맞춰 교육을 진행하였다. 7월에 열리는 본 대회 전, 당해 2월 중순 즈음 IChO에서 예비 문제로 이론 30문항, 실험 9문항을 공유하여 이를 주된 내용으로 교육을 운영하였다. 동국대학교 화학과와 경희대학교 응용화학과 두 곳에서 진행된 주말 교육/집중 교육을 통해 학생들이 이론과 실험에 있어 시간이 갈수록 능력이 향상되는 걸 확인할 수 있었고 이를 위해 애쓰신 멘토 교수님들뿐만 아니라, 유은정 교수님, 신명진 학생, 그리고 조교 학생들에게 깊은 감사를 드린다.

1일 차(7/15)

아침 8시 30분, 인천공항에 집결하여 배웅하신 부모님들께 선전을 다짐하고 비행기에 몸을 실었다. 늘 잠이 부족할 고3 학생

들이고 더군다나 이른 아침 집결하여 출국한지라 몹시 피곤할 텐데도, 비행 중 끊임없이 공부를 하던 학생들의 모습에 각오와 의지를 느낄 수 있었다. 우리는 시차 적응을 위해 일정보다 하루 일찍 도착하여 취리히 공항에서 대중교통을 이용하여 이동하였다. 대회 기간 내내 55회 IChO가 잘 준비되었고 그 운영이 매끄럽다고 느꼈는데, IChO에서 7월 15일~25일까지 유효한 취리히 내 대중교통 통합 패스를 제공하여 별도의 교통권을 구매할 필요가 없었다. 대회 기간 중 이론/실험의 모든 시험이 끝나기 전까지 참

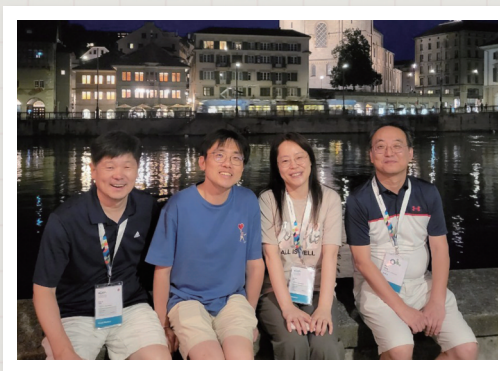


가 학생들과 멘토들은 연락의 차단을 비롯해 철저히 분리되는데, 이를 위해 학생들과 멘토/게스트의 숙소가 달랐다. 학생들의 숙소인 Aja 호텔로 이동하여 체크인을 마친 뒤, 우리도 숙소에도 착하여 휴식을 취했다.



2일 차(7/16)

멘토들은 대회 기간의 상당 시간을 학생들과 연락할 수 없고, 학생들에게 타국의 생활 및 대회 운영을 함께함에 있어 어려움이 있을 수 있기에 IChO는 팀 가이드 1명을 할당한다. 이처럼 팀 가이드 역할의 중요성은 충분히 짐작할 수 있어서, 만나기 전부터 좋은 학생이길 바라는 소망이 있었는데 우리 팀 가이드는 로잔 공대에서 계산 화학을 전공하는 이예하 박사 과정 학생이었다. 55회 IChO 팀 가이드로 봉사하는 데 자원한 예하 학생은 외향적이고 활발하며 대회 기간 내내 사려 깊고 참가 학생들을 위해 배려해주는 모습에 너무나 감사했다. Aja 호텔 로비에서 첫 만남을 갖고 짧게 인사 후, IChO 운영 측에서 제공한 대한민국 국기를 학생마다 하나씩 받아 양성의 교수님과 함께 파이팅을 담아 사진 촬영을 하였다. 점심을 Aja 호텔 식당에서 함께 하고 이후 학생들은 가이

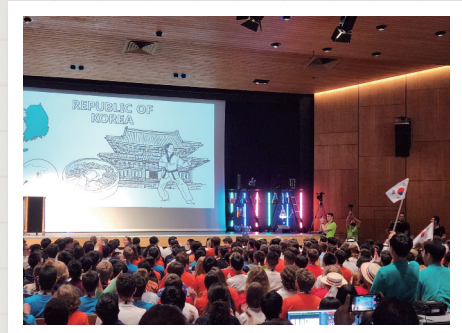


드인 예하 학생과 함께, 그리고 멘토 교수님들은 멘토 교수님들끼리 취리히를 간단히 구경하였다.

3일 차(7/17)

개회식

지난 2020년 튀르키예, 2021년 일본, 2022년 중국의 IChO는 코로나로 인해 실험 시험 없이 온라인 이론 시험만으로 진행되었으나, 올해부터 다시 참여 학생 모두 집합하여 이론/실험 시험을 보는 정상 운영 방식이 채택되었다. 2023년 제55회 IChO는 89개국 (87개국 + 개별 참가 2개국) 348명의 학생이 참가하였으며 개회식을 통해 그 시작을 알렸다. 참여 학생 전부는 홀의 앞쪽 지정된 자리에 착석하였고 멘토/게스트들은 안내에 따라 홀 뒷좌석에 앉았다. 89개국은 무작위 순으로 그 나라를 대표하는 자연, 문화(재)와 함께 소개되었으며 우리나라는 경북궁, 비빔밥, 태권도로 소개되면서 희준, 채원, 준성, 지민 학생이 기립하여 다른 참여 학생들에게 인사하는 시간을 가졌다. 이후 본 대회 준비를 대표하는 Dissertori, Stark 교수의 축하 및 격려사에 이어 Wennemers 교수가 예능인 Mumford와 함께 환영 쇼(?)를 진행하였는데 참 준비를 많이 하셨다는 생각이 드는 한편으로, 오히려 학생들보다 Wennemers 교수가 더 신난 것 같다는 생각도 들었다. 개회식을 끝으로 시험 종료 전까지 대표 학생들과 완전히 연락이 끊기게 되어 마지막 격려의 인사를 건네며 학생들을 숙소로 환송하였다.



실험 자리 감독

이번 대회는 실험 시험을 먼저 진행하는 순서로, 개회식 후 곧장 버스로 실험 시험이 운영될 ETH Zürich로 이동하였다. 시가지를 관통한 버스는 어느 순간 언덕을 오르기 시작하더니 결국

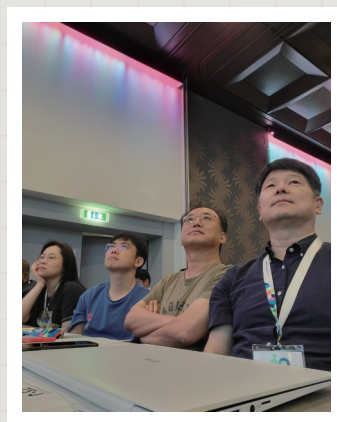
산 정상에 올라 옥수수밭으로 둘러싸인 ETH Zürich 캠퍼스에 도착했다. 점심을 교내 식당에서 마치고 1시부터 본격적으로 우리 학생들이 치를 실험 자리를 확인하였다. 5시간 동안 3개의 실험이 진행되는데 실험 자리를 검토할 때 실험 내용에 대한 정보는 주어지지 않으며, 오직 실험에 필요한 항목과 개수만 제공된다. 세계적인 명문대학답게 실험실은 종합적 측면에서 정말 잘 갖춰져 있었고 깨끗하며 관리가 잘 되어 있었다. 약 20명의 학생이 같은 실험실에서 경쟁하게 되는데, 생각보다 학생 1인당 벤치 크기가 협소하여 실험 시험 도중 양옆 벤치 학생들이 신경쓰이진 않을까 걱정이 들었다. 하지만 이 부분은 해결할 방도가 없기에 벤치에 구비된 실험 기구, 시약들의 개수 및 상태를 면밀히 검토하였다. 초자 중 금이 가거나 일부가 깨진 것은 없는지, 뷰렛이나 분별깔때기는 액체가 새지는 않는지 물을 담아 확인해보고, 지시 사항에 맞춰 각 실험 별로 시약, 초자, 기구들을 정리해 놓았다. 단장, 부단장이신 양성익 교수님과 정현 교수님께서 얼마나 꼼꼼하시던지 우리나라가 실험 벤치 검토를 가장 마지막에 마치게 되었다. 실험 벤치에 문제가 없다고 서명을 하니 운영진이 건내준 55회 IChO 실험 본 문제지를 받아 들고 다시 숙소로 이동하였다.



실험 문제에 대한 참여국 논의

저녁 8시부터 자정까지 일정으로 3개의 본 실험 문제에 대한 참여국 논의가 진행되었다. 운영은 각 실험 별로 실험을 출제, 준비, 운영할 그룹들이 해당 실험이 어떠한 요소로 평가할 것인지, 결과의 재현성 측면에서 문제가 없는지 관련하여 큰 모수를 갖는 사전 실험 결과 공유, 변별력 정도, 실험마다 수반된 이론 문항의 적절성을 집중으로 다루게끔 진행되었다. 진행 중 어느 국가에서 문제 제기를 했을 때 실험 문항을 출제한 그룹과 조정이 안 되면

전체적인 논의를 거쳐 다수결로 최종 결정을 하게 되는데 이때 투표권은 본 논의에 참석한 국가별 1개만 갖는다. 실험 관련된 논의에서는 이론과 달리 그리 많은 시간이 걸리지 않을 것이라던 양성익 교수님 말씀과 달리 이 논의는 예정된 자정을 훌쩍 넘어 새벽 1시 반이 지나서야 종료하였다.

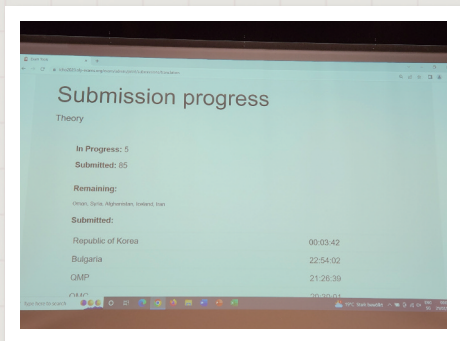


4일 차(7/18)

IChO에서 제공한 실험 문제는 영어로 기술되어 있고, 외국어 능력이 본 문제 풀이에 영향을 주어서는 안 되므로 IChO는 해당 문제를 각 나라별 언어로 반드시 번역하도록 한다. IChO에 첫 참가자 번역에 있어 어떤 점이 중요하지 궁금했고 단장, 부단장 교수님께서 가장 중요한 것은 역시 학생들의 문제 이해라는 설명을 주셨다. 다만 힌트를 주기 위한 과도한 의역은 문제가 될 수 있다고. Oly-exams를 이용해 실험 문제 번역을 수행하는데 올해 2월 예비 문제 번역 때도 이것을 사용했던 터라 이용에 큰 어려움 없었다. 그런데 문제마다 나라별 번역본을 확인할 수 있어서 한국, 일본, 중국 등은 가끔 서로의 번역본을 번역기를 통해 자국어로 재번역하여 각국이 문제를 어떤 식으로 번역했는지 검토하는 경우가 종종 있다고 한다. 3개의 실험은 유기화학 1문제, 분석화학 1문제, 무기화학 1문제로 구성되었고, 5시간 중 무기화학 실험을 개시하여 1시간 내 무조건 마쳐야 하고, 이후 나머지 4시간 동안 유



기화학 실험과 분석화학 실험을 병행하는 것으로 구성되었다. 번역본 제출 마감은 7월 18일 오후 8시까지로 되었지만, 검토 과정을 여러 차례 반복하다 보니 9시 30분이 되어서야, 뒤에서 5번째로 마칠 수가 있었다. 1시간 30분 동안 진행 요원들의 보탬은 이 해가 됐지만 어쩌나 쪼던지...



5, 6일 차(7/19, 7/20)

7월 19일은 오전 9시 학생들의 실험 시험이 시작되어 오후 2시까지 진행되었고, 멘토들은 그 시간 동안 ETH Zürich 등의 방문을 진행하였다. 실험 시험이 단 한 건의 사고 없이 완료되었다는 소식에 우리 학생들 모두 안전하게 마친 것에 감사했고, 잘 보면 하는 기대 또한 품게 되었다. 저녁 일정으로 7월 21일에 진행될 이론 시험 10문제에 대한 참여국 논의가 진행되었다. 크게 두 개의 파트로 나누어 동시 진행하였고 각 문제의 분야에 맞춰 우리 대표단 또한 나눠 참석하였다. 제공된 문제에 대해 각 나라별 학생들의 유불리에 따라 논의가 매우 치열했고, 예정된 종료 시각인 자정 12시를 지나 새벽 2시까지 진행되었다. 이 논의를 통한 주된 결론의 방향은 조금이라도 어렵거나 까다롭다 싶은 문제는 전부 삭제되거나 쉽게 풀이되도록 수정되었다는 점이다. 이렇다 보니 '참여국의 과반수로 의사를 결정하는 것이 과연 옳당할까? 문제 출제자들의 방어권이 너무 없는 것이 아닌가?' 하는 의문이 계속 들었다.

대회 6일 차인 7월 20일은 오후 6시 제출 마감 일정으로 이론 10문제에 대한 번역을 수행하였다. 오후 6시부터 취리히 호수에서 크루즈 선상 만찬이 예정되어 있기에, 일정을 맞추기 위해 여러 국가의 멘토들이 열심히 번역하는 모습들을 쉽게 목격할 수 있었다. 우리 또한 최선을 다해 번역 작업을 진행하고 있었는데, 다만 몇몇 문제들이 지난밤 참여국 논의에서 확정된 사안이 제대로 반

영이 되지 않아 본 문제가 확정되지 못해 번역하지 못한 채로 기다릴 수밖에 없었다는 점이다. 오후 3시를 넘어 그 문제들이 확정되어 번역, 검토 작업을 수행하는데... 아... 도저히 6시에 마칠 수가 없었다. 오후 8시 반이 숙소에서 크루즈로 가는 마지막 교통편이라는 진행 요원들의 이야기가 있었지만, 우리는 8시 반을 훌쩍 넘어 자정이 넘는 시각에서야 마칠 수 있었다. 이론 문제 번역은 사실 이렇게 늦어진 이유가 전날 논의된 내용을 제때 올바르게 반영하지 못했던 본부의 문제도 있었는데, 이걸 의식한 것인지 진행 요원들이 실험 문제 번역 때와는 달리 크루즈 선상 만찬을 가지 못했다고 술 및 음료 쿠폰도 나눠 주고, 천천히 해도 된다고 안심시켜줬다. 학생들이 번역본을 문제없이 이해하고 잘 풀어주길 소망하며 6일 차 일정을 마무리하였다.

7일 차(7/21)

실험 시험 때와 마찬가지로 이론 시험이 오전 9시부터 오후 2시 사이의 일정으로 진행되었다. 이 시간 동안 멘토들은 55회 IChO의 주 후원사인 Metrohm사와 알프스 산맥 자락인 최대 고도 2,501.9미터의 센티스(Säntis)산을 방문하였다. 센티스산은 정상까지 케이블카가 설치되어 이를 이용해 올라갈 수 있었고, 정상에는 전망대, 식당, 암석 전시관, 케이블카 역사 전시관, 회의실 등이 구비되어 있었다. 2,500미터의 높이에 있다 보니, 이곳이 구름이 지나가는 길에 놓여 있어 시시각각 날씨의 변화가 심하였고, 7월 여름이지만 기온은 영상 5도의 추운 날씨여서 긴 옷이 반드시 필요했다. 이번 여정에 봄·가을 옷을 전혀 챙기지 않아서 반소매를 입고 산 정상에 섰다가 낮은 기온에 매서운 바람까지 감기에 걸리는 것이 아닌가 싶었는데, 제공된 점심에 따뜻한 수프가 있어 다행히 회복할 수 있었다. 센티스산 케이블카 입구에는 현지 낙농



업 치즈 공장이 있었는데, 치즈 맛도 제대로 모르지만 그 유명하다는 스위스 치즈에 아무 곳에서 구매할 수 없다는 로컬 상품이라는 이야기에 총동구매를 해버렸다. (하지만 숙소에 냉장고가 없었고 귀국 도중 결국 상하지 않았을까 하는 생각에 결국 먹지 못했다.)

일정을 마치고 취리히 대학에 도착하여 실험 문제 3개에 대한 전체 학생들의 성적 분포 정보를 제공받았다. 이때는 학생의 신원은 알 수 없고, 각 문제에 대해 점수별 학생 수의 정보만이 주어져서 우리 학생들의 구체적인 점수를 알 수는 없었다. 그러다 보니 다들 기대 반, 걱정 반의 마음인지라 미팅의 전반적 분위기가 매우 진지하고 무거웠다. 실험 문제 3개의 채점 결과 보고 및 이의 없음을 확인하고 6시 30분부터 멘토와 대표 학생들이 만나는 reunion 이벤트가 진행되었다. 우리 학생들 찾기가 쉽지 않았는데, 이곳저곳 뒤지다 외국 학생들과 카드 게임을 하고 있는 학생들을 발견할 수 있었다. 외국 학생들과 친해졌구나라는 생각에 안도감을 갖고 반갑게 학생들을 맞이하였고, 단장님과 학생들의 대화를 통해 시험이 어땠는지를 이야기를 들을 수 있었다. 그러다 양성익 교수님과 서채원 학생은 IChO 운영진의 인터뷰 요청에 응하게 되어 해당 영상은 IChO 홈페이지에 업로드 됐을 뿐만 아니라, 폐회식 때 전체 IChO를 리뷰하는 영상에서도 함께 하게 되었다. 아무래도 reunion 이벤트는 학생들을 위한 자리이고 타국의 학생들과 더 잘 어울렸으면 하는 마음에 우리는 학생들과 일찍 작별 인사를 하고 숙소로 돌아와 양성익 교수님과 학생들의 시험 관련 이야기를 전달받으며 앞으로 일을 대비하였다.



8, 9일 차(7/22, 7/23)

8일차 7월 22일은 이론/실험 시험에 대한 우리 학생들의 답안

지 스캔본이 공유되어 함께 제공된 채점 가이드를 바탕으로 가채점을 진행하였다. 이때는 학생들의 실제 점수는 제공되지 않는다. 가채점 과정의 중요성은 채점 가이드를 토대로 우리 학생들의 문항별 최대/최소 기댓값을 설정하여 9일 차에 실제 통보된 각 학생의 점수와 비교하여 어떠한 조정 과정이 필요한지에 대한 전략을 세울 수 있다. 따라서 가채점 결과에 대한 감상은 최소화하고 9일 차에 있을 문제 출제자(동시에 채점자)와의 점수 조정에 대한 전략 회의를 진행하였다. 가채점은 번역했던 문제를 맡아 진행했고, 그 문제에 대해 점수를 향상시키기 위한 논리를 멘토 교수님들과 공유하여 검증받는 형식으로 회의가 진행되었다.

9일 차는 오전 8시부터 오후 6시까지 채점에 대한 조정이 진행되었는데 89개국에 참여하다 보니, 원활한 운영을 위해 IChO 집행부가 조를 조직해 한 조 당 9개 국가를 무작위로 배치하고 각 조마다 오직 1시간의 조정 기회가 제공되었다. 우리는 오후 1시부터 2시로 배정되어 오전까지 줄곧 협상 논리를 되새김하였고, 마지막으로 점수가 바뀔 수 있는 이 기회를 놓치지 않고자 노력하였다. 채점 조정에 대한 준비로 점심을 먹지 못해 2시에 마치고 늦은 점심을 해결하고자 취리히 내 한식당을 찾아갔다. 비빔밥, 불고기, 김치찌개 등 우리나라 대표적인 전통 음식들이 심각히 왜곡되게 조리되어 판매되는 것에 '이게 무슨 맛이야? 이걸 이런 맛으로 요리해서 판다고?' 생각했지만 우린 너무 배가 고팠고 잘 먹었다.

저녁 8시부터 참여국 논의를 통해 각 이론 문제별 채점 결과와 정답률 등 채점에 관련된 종합적인 정보가 공유되었다. 더불어, 최종 확정된 점수에 따른 금, 은, 동메달을 구분 짓는 그래프 또한 제공되었다. 그리고 이번 IChO가 운영되는 내내, 차기 IChO 위원회 위원 4명을 선출하고자 다수의 후보들이 이런저런 기회로 유세를 진행하였고, 이번 참여국 논의를 앞두고 투표가 마감되어 선출된 차기 위원 4명이 발표, 그들의 소감을 들을 수 있었다.

10일 차(7/24)

폐회식은 오후 3시 30분부터 진행되어 오전에는 귀국 때 챙겨야 할 것들을 구매하기 위한 시간을 가졌다. 폐회식은 Tonhalle이라는 오케스트라 공연장에서 진행되었다. 열흘 동안의 IChO 이벤트를 추억하는 영상이 상영되고 개회식 때와 마찬가지로 Dissertori, Stark 교수가 운영진을 대표하여 이번 IChO에 대한



감상을 전달하였다. 이윽고 Wennemers 교수의 주도로 참가상부터 동메달, 은메달, 금메달의 순서로 메달 수여식이 진행되었다. 메달 수상자로 호명된 학생은 연단으로 나가서 메달 수여를 하고, 같은 메달의 수상자 전체와 함께 연단에 서서 많은 이들의 축하를 받는 형식으로 진행되었다. 우리나라는 이번 대회에서 금 1, 은 2, 동 1를 획득하여 종합 순위 14위의 성적을 기록하였다. 메달 수여식이 끝나고 같은 곳에서 바로 고별 만찬이 진행되었다. 우리 학생들이 준비해 온 기념품들을 다른 나라 학생들에게 전달하며 그동안의 추억을 이야기하고 앞으로의 만남을 기약하는 모습들이 정말 보기 좋았고 흐뭇했다. 고별 만찬과 함께 제55회

IChO도 그 끝을 맺게 되었다.

대회 마치며

모든 대회 일정을 마치고 돌아온 인천공항에서 마중을 나와준 학생들의 부모님과 대표 학생들의 만남을 보면서, 무엇보다 학업과 병행하며 IChO를 준비하고 우리나라를 대표하여 활약해 준 우리 학생들에게 참 감사한 마음이 들었다. 학부모님과 학생들의 옆에 서서 인사를 건네시며 마지막까지 학생들을 챙기던 양성익 교수님의 모습을 보니, IChO 대표 선발하고 교육하며 본 대회 참가까지 가장 많이 애써주신 양성익 교수님과 그 옆에 늘 함께 하셨던 정현 교수님, 그리고 이번에 나와 함께 옹저버로 참여하여 우리 대표단에 큰 힘이 되어 주신 고혜란 교수님께 고생 많으셨고 감사하다는 생각을 마음 깊이 새기게 되었다. 마지막으로 이 모든 과정을 함께 해주신 한국화학올림피아드 위원 교수님들께도 고마움을 전달드리고 싶었다. 우리 대표 학생들이 이번 IChO 결과를 토대로 그들이 꿈꿔왔던 길로 전진하여 그 꿈을 머지않은 미래에 성취하는 기분 좋은 상상을 하며 제55회 IChO의 참관기를 정리한다.





icho LET'S FIND SOLUTIONS TOGETHER!



2023년 제55회 국제화학올림피아드 (55th IChO 2023) 멘티편

김희준 | 대전과학고등학교 3학년,
서채원, 장준성, 전지민 | 서울과학고등학교 3학년

서채원 스토리

Jul 15. Arrival

13시간의 긴 비행 끝에 드디어 취리히 공항에 도착하였다. 공항에 내려서 가장 기억에 남았던 것은 IChO와 관련된 표지판을 발견한 것이었다. 실제로 대회가 시작함이 실감이 가는 순간이었다. 이후 기차를 타고 호텔로 이동하였는데, 가는 길에 많은 양의 그라피티를 목격할 수 있었고 날씨도 고온다습하여 기존의 내 스위스에 대한 환상과 다른 모습을 마주할 수 있었다. (다행히 첫날만 이랬고, 나머지 날들은 나의 환상에 부합한 모습을 보여주었다.) 그렇게 주변을 맴돌다 교수님들이 찾은 이탈리아 음식점에서 파스타를 하나씩 먹었다. 나는 카르보나라를 먹었는데 느끼하지만 맛있었다. 그리고 카르보나라가 23 CHF(30,000원 정도)라는

살인적인 물가를 처음으로 체험할 수 있었다. 굉장히 피곤해서 호텔로 돌아와 일찍 잠에 들었다. 이때 하나의 사건이 있었는데, 호텔로 돌아오는 길에 휴대전화를 떨어트려서 휴대전화에 금이 간 상황이었다. 미래에 대한 스포일러를 하자면, 나는 휴대전화를 다시 받은 날에 또



공항의 IChO 표지판

다시 떨어뜨려서 아예 휴대전화가 사용 불가능한 상태가 되어버리고 아이패드를 휴대전화 대신 들고 다니게 된다. 아직 대회가 공식적으로 시작하기 전이었기에 각자 방을 쓰게 되었지만, 지민이와 준성이가 룸메가 된 것과 다르게 나랑 희준이는 다른 나라 친구와 룸메가 될 예정이었기에 내 룸메는 어느 나라 친구일까에 대한 설렘으로 잠에 들었다. 기왕이면 친숙한 일본 애였으면 좋겠다는 생각이 들었다.

Jul 16. Registration

오늘은 시차 때문에 이른 새벽부터 잠에서 깬다. 교수님들과 아침을 먹고 헤어진 후, 가이드 선생님과 함께 취리히 시내로 향하게 되었다. 가이드 선생님은 로잔 공대에서 물리화학을 하고 계시는 한국인 여성 분이셨는데, 조금 마이너한 나라에서 올림피아드가 개최될 경우 자원하는 한국인이 없어 외국인인 배정되고 영어로 대화해야 했던 사례가 태반이었기에 이는 큰 행운이었다. (실제로 우리 가이드 선생님과 친했던 트리니다드 토바고 가이드는 그냥 스위스 사람이었다.) 취리히 시내를 리마트 강과 취리히 호를 중심으로 구시가지가 형성되어 있었다. 건물이 예쁜 건 둘째 치더라도 강이 아주 예뻐서, 스위스에서 왔다는 실감이 되었다. 강에는 백조가 많고 검은색 오리 같은 새들도 있었는데 팀원들끼리 그 오리가 백조의 아이인지 아니면 다른 종인지에 대한 논쟁이 있었다. 후에 새 종을 설명하는 간판이 있어 전혀 상관없

는 종임을 알 수 있었다. 건다 보니 더워서 가이드 선생님이 지나가던 아이스크림 가게에서 아이스크림을 사주셔서 맛있게 먹었다. (Mövenpick 아이스크림이었는데, 알고 보니 스위스에서 굉장히 흔한 상표였다.) 또 어떤 성당의 탑을 올라가기도 했는데, 올라가는 계단이 가파르고 좁아서 힘들었던 기억이 난다. 그래도 탑 위에서 내려다보는 전경은 상당히 볼만 했다.

이후 호텔로 돌아온 우리는 전자기기와의 마지막 시간을 보냈다. IChO 접수를 하며 모든 전자기기를 제출하고, 이론 시험이 끝나고 나서야 전자기기를 받을 수 있었기 때문이다. 공부를 하기도 하고, 유튜브를 보기도 하며 시간을 알차게 보냈다. 그러다가 룸메도 만나게 되었는데, 희망했던 대로 일본 친구였다! 반가운 마음을 뒤로하고, 접수를 하기로 한 시각인 9시 30분이 되어 호텔 4층으로 올라가 줄을 서게 되었다. 근데 생각보다 접수 줄이 너무 길어서 오래 기다려야 했는데, 이는 접수 자체는 7시부터 10시까지 가능했으나 우리처럼 전자기기를 일찍 내기 싫었던 다른 팀들도 모두 9시가 넘어서야 올라왔기 때문이었다(…) 하여튼 등록을 마치고 전자기기와의 작별인사 후 IChO 가방과 텀블러(스위스는 수도물을 그냥 마신다. 도시 곳곳에 분수 형태의 급수대가 있어 길을 가다 가도 물을 떠먹을 수 있다. 텀블러도 이를 위해 준 것이었는데, 정말 다행히도 스위스 수도물은 일반 생수와 다를 바가 없었다.) 등을 수령한 우리는 실험복과 고글을 수령하기 위해 더 긴 줄을 서게 되었다. 일관된 절차만 거쳤던 등록과는 달리, 실험복 수령은 일일이 사이즈를 물어보고 꺼내 오느라 더 오래 걸렸던 것이었다. 그렇게 총 1시간을 기다렸지만, 우리는 그날 실험복을 수령하지 못하였다! 이유는 기다리는 사람들이 떠드는 소리가 너무 커 4층에 묵고 있던 투숙객들에게 수많은クレ임이 들어와 줄이 강제 해산된 것이었다. 주최 측의 다소 미숙한 운영에 실망하며 방으로 돌아와 잠에 들었다.

Jul 17. Opening Ceremony & Discover ETH and the city of Zurich

오늘은 5시 반쯤에 일어나서 6시 반까지 대충 문제를 끄적이다가 아침을 먹으러 나왔다. 아침은 어제와 같이 토스트, 베이컨과 스كر램블 에그 등이 있었는데 딱 필요한 만큼은 제공되어 남은 기간도 적당히 때울 수 있었다. 그리고 8시 반에 나와서 Opening Ceremony가 있는 곳까지 다 같이 걸어갔다. 개회식



취리히 전경을 배경으로 친구들과 함께

을 하면서 옆으로 미국 친구들과 헝가리 친구들이 앉았는데 미국 친구들과 친해지기 희망했던 태초의 희망과는 달리 거짓말 같이 이후 미국 팀과 마주할 일은 거의 없었다. 미국 친구들은 ACS 마스크트 키링을 나눠주었는데, 우리도 기념품 좀 가져올 걸이라는 생각을 하며 감사히 받았다. 그렇게 잠시 이야기를 주고받다 보니 개회식이 시작되었다. 여러 환영 연설과 화학의 즐거움을 알려주는 (실제로 스위스 개그맨이 와서 진행된) 콩트 이후, 본격적인 나라 소개가 시작되었다. 정말 다양한 나라들이 있었으며, 자신들이 호명될 때 일어서서 힘껏 깃발을 흔들었다. 곧이어 한국 차례가 되었고 우리 또한 일어서서 마찬가지로 하였다. 가장 큰 박수를 받은 나라는 우크라이나였으며, 나 또한 그때 가장 크게 손뼉을 쳤다.

그 후 ETH 메인 캠퍼스로 움직이고 거기서 밥을 먹었다. 밥은 슈니첼(돈가스 비슷한 음식)이 나왔는데, 맛있게 먹었다. 이 학생 식당은 이후로도 우리가 밥을 가장 많이 먹은 장소(호텔 조식 제외)가 되었는데, 다행히도 이후로도 맛이 괜찮았다. 사실 스위스의 음식이 맛없다는 악명과는 다르게 다행히도 우리가 스위스에서 먹었던 대부분의 식사가 무난했다. 점심을 먹고 다음 일정까지 시



타지키스탄 친구들과 기념 사진

간이 많이 남았는데, 로비에 마련된 인공지능 아인슈타인과 놀며 시간을 보냈다. 같은 말을 반복하는 것이 약간 짜증이 났지만 나름 유머러스하고 설명도 유익해 잘 만들었다는 생각이 들었다. 기다리는 동안 갑자기 타지키스탄 친구들이 사진을 찍자 해서 사진을 찍었다. 이후 조를 배정받고 시티 투어를 하였는데, 우리가 배치된 2조는 헝가리, 시리아, 프랑스, 이탈리아가 있었다. 일회성 조가 아닌 투어를 할 때마다 같이 했기에 생각보다 볼일이 많아서 시간이 지나며 어느 정도 친해질 수 있었다. 투어 자체는 예쁘기는 했지만 사실 어제 이미 한번 둘러봤었기에 큰 감흥은 없었다.

투어가 끝나고 캠퍼스로 돌아와 ETH에 대한 설명을 들었다. 다행히도 지루한 설명을 하기 전에 간단한 화학 실험 몇 개를 보여주었는데, 폭발이 일어나는 실험이 기억에 남는다. 이후 설명이 끝나고 아까 사진을 찍자고 했던 타지키스탄 친구들과 좀 더 대화를 할 수 있었는데, 생각보다 한국에 관심이 많아서 놀랐다. 한국 대학과 드라마에 대해서도 알고 있어 한국의 위상이 많이 높아졌음을 느낄 수 있는 순간이었다.

Jul 18. Finding Solutions fair & Lab safety

아침 6시 반쯤에 일어나서 7시 반쯤에 아침을 먹었던 것 같다. 역시 아침은 스क्र램블과 베이컨이었는데, 매일 같은 호텔 조식에 약간 질려가고 있었던 것 같다. 8시 반에 화학부가 위치하는 ETH Hönggerberg로 출발을 했는데 가서 팀별로 다른 연구실에 가서 연구실마다 뭐 하는지 소개를 해주었던 것 같다. 가장 인상적인 내용은 구리 촉매와 이산화탄소 환원 공정에 대한 이야기였는데, 예비문제에 비슷한 것이 있어서 열심히 들었고 실제 시험에도 큰 변별력을 주지는 못했지만 출제되었다. 내년에 갈 친구들도 예비문제와 비슷한 게 나오면 열심히 들었으면 좋겠다! 점심에는 비빔밥 같은 게 나왔는데 내가 편식이 심하기도 하고 정말 취향이 아니어서 거의 못 먹었던 것 같다. 그 이후에는 본 캠퍼스로 돌아와서 'Finding solutions Fair' 라고 ETH의 대학원생들과 회사들이 와서 자신들의 연구나 상품을 소개해주는 시간이었다. 지루한 내용도 있었지만 상당수가 흥미로웠고, 가장 인상깊었던 것은 Synple이라는 회사에서 만든 유기 반응을 재료만 넣으면 진행해주는 기계였다. 마치 에스프레소 머신 같았다. 또 실험 시험 전날인데 걱정을 대신 해주는 기계가 있어 나도 저 기계를 시험 때 쓰고 싶다는 생각을 했다. 저녁에는 Lab safety를 진

행했는데 실험에 대한 내용을 알 수 있을 것 같았는데 딱히 그건 아니어서 실망하였다. 영국에서 왔던 한 친구가 계속 실험 내용이나 규칙에 큰 동작으로 탄축을 걸어서 다들 웃었다. 가장 탄축을 건 내용은 실험 시간 내내 서 있어야 되었다는 건데 솔직히 따질 만하다고 생각했지만 어쩔 수 없이 질문은 넘길 수밖에 없었다. 돌아와서 저녁이 취향이 아니었기 때문에 컵라면을 먹고 룸메이트였던 일본 대표 학생이 좋아하는 일본 아이돌 이야기를 들으면서 잠에 들었던 것 같다.

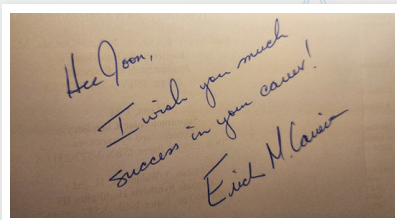
김희준 스토리

Jul 19. Practical Exam & Career Evening

오늘은 실험 시험을 보는 날이었다. 물론 집중 교육 기간에 많은 실험 연습을 해왔었지만, 무기 분석에 대한 암기가 부족했기 때문에 걱정이 많았다. 무기 분석 암기는 전 주부터 시작해 심지어 비행기 안에서(!) 외웠지만 한 가지를 기억하면 나머지를 잊어버리는 나의 특성상 결코 안심할 수는 없었다. 따라서 실험 예비 문제에 나왔던 무기 분석 내용만을 보기로 하고 화요일 밤을 보냈는데, 후술하겠지만 이는 나에게 있어서 최악의 선택이 되고 말았다. 그렇게 수요일 아침 6시가 되었다. 6시 30분에 버스를 타고 7시까지 시험장인 ETH Hönggerberg 캠퍼스에 도착했고, 학생 식당에서 아침 식사를 했다. 그렇게 출발 시각인 8시가 다가왔고, 시간이 점점 다가오며 따라 첫 시험에 대한 부담도 늘어만 갔다. 각자 출발 위치, 시간이 달랐기에 8시에 헤어져 각자의 출발 지점에서 대기하기 시작했다. 기다리는 동안 가이드 선생님과 대화도 했고, 혼자서 떠는 시간도 있었지만 결국에는 8시 24분, 내 출발 시각이 다가왔고, 그렇게 나는 시험장으로 출발했다. 그러나, 사전에 공지된 시험장에 도착하자 전산 오류로 학생들의 시험장이 잘못 전달되었다는 소식을 접하였다. (같이 출발한 학생 중 공지된 시험장과 일치하는 사람은 2명뿐이었다!) 우리는 시험장 밖 복도에서 별도로 시험장을 안내받고, 각자의 시험장으로 다시 출발했다. 그렇게 시험 시작 시각인 9시가 훌쩍 넘어 9시 30분이 시험 시작 시각으로 바뀌었고, 겨우겨우 시험장에 도착한 나는 시험을 시작할 수 있었다. 그러나 내 충격은 시험 첫 장을 넘기자마자 다시 시작되었다. 전날에 넘긴 무기 분석 내용이 출제된 것이었다! 몇 년 전에 출제되었던 무기 분석 문제는 예비 문제 기반으로 출제되었으나, 이번에는 연관성이 그다지 높지 않은

문제가 출제되었기 때문에, 이를 덜 외운 나로서는 어찌할 도리가 없었다. 심지어, 내가 고민하는 동안 옆자리의 베트남 학생은 문제를 순식간에 푼 것 같았기 때문에 부담은 점점 심해져 갔다. 그렇게 한 시간이 끝나고, 다음 실험으로 넘어갔다. 유기 실험 자체는 쉬웠기에 문제없이 마무리할 수 있었지만, 분석 시험에서 또 다른 고비를 마주해야 했다. 주어진 시료를 희석하는 과정에서 부피 플라스크에 물을 너무 많이 넣어버린 것이었다. 물론 첫 번째 교체까지는 무료이기 때문에 괜찮다고 생각했지만, 이 또한 다른 비극의 시발점이었다. 여차 저차 하여 시험 시간이 끝에 도달해 갔다. 그렇게 1시 30분, 내가 시험을 마무리 짓고 한숨을 쉬고 있을 때, 감독관이 나에게 10분의 시간이 더 있다는 안내를 했다. (첫 번째 교체가 10분 늦었기 때문에 주어진 시간이다) 이를 들은 나는 잘못된 판단을 하고 말았다. 시료를 더 받는다는 이상한 판단을 하고 만 것이다. 물론, 이때의 나는 이 시료를 통해 분석 점수를 높인다면 만화가 될 것이란 생각을 하고 있었지만, 교체한 시료를 다 쓰지도 못한 채 추가적인 시간도 끝나면서 1점 감점만 얻은 채로 시험이 종료되었다. (첨언: 2-2 적정의 경우 나를 포함한 많은 이들을 미궁에 빠뜨렸다. 여러 번 실험해도 값이 들쭉날쭉하기 마련이었으며, 대부분의 참가자들은 실제 값보다 훨씬 낮은 값을 적어서 제출하였다. 이에 따라 답이 10mL인데 9mL까지도 만점을 주는 등 채점 범위가 굉장히 넓게 잡혔다.) 이후 시험장에서 나가면서 이런저런 생각이 들었으나, 팀원들을 만나고, 다른 시험장에서도 시험이 어려웠다는 평가가 많았다는 이야기를 듣자, 조금이나마 안심이 되었다. 그렇게 통곡이 가득한 점심을 먹고 (식사는 매우 맛있었다!) 숙소로 향했다.

숙소에서 조금 휴식을 취하고, 다시 ETH Zürich에 오후 행사를 들으러 갔다. 행사가 이루어지는 강당에 들어서자, 의외의 인물이 눈에 들어왔다. 바로 (사인을 받기 위한 책까지 들고 간) 저명한 유기화학자인 Erick M. Carreira 교수님이셨다. 가이드 선생님 핸드폰으로 사진 검색을 통해 재확인한 후 나는 탄성을



Carreira 교수님의 사인

지를 수밖에 없었다. 맞았다. 정말 맞았다! 그렇게 가져간 책인 『Organic Chemistry Workbook』에 교수님의 사인을 받고, 낮의 피로는 모두 잊은 채로 행복한 저녁 시간을 보낼 수 있었다. 금요일 행사에서는 사진도 같이 찍어 주셨었기 때문에 정말 매우 좋은 추억으로 남을 수 있었다.

Jul 20. Time in your team & PSI

오늘 아침은 자유 시간이 있었기 때문에 우리 팀끼리 취리히 강 쪽의 시내로 향했다. 평소보다도 훨씬 밝은 햇빛 덕분에 전날의 충격을 뒤로하고 활기찬 취리히 시내를 음미할 수 있었다. 취리히 시내로 향하자 가장 먼저 눈에 들어온 것은 수많은 시계 가게였다. 평소에 보지 못했던 Piaget, Patek phillip, Blancpain, Jaeger-lecoultre 등의 화려한 시계들이 내 눈을 사로잡았다. 추가로 인상적이었던 것은 롤렉스 상점이 정말 거리마다 하나씩은 자리 잡고 있었던 것이었다. (대전의 성심당 같은 느낌인 듯하다) 길을 가면서 모든 시계 판매장 앞에 한 번씩 멈춰 서서 아이쇼핑을 하고, 즐겁게 대화를 나누면서 취리히 강가 쪽으로 향했다. 그리고 강가를 따라 걸어가면서 일광욕하는 사람들, 한가로운 오리들을 볼 수 있었다. 이 과정에서 팀원들, 그리고 가이드 선생님과의 많은 대화를 나누었는데 그러면서 더 친해질 수 있었다. 물론 이날도 재밌는 일이 있었다. 이름하여 '버터밀크 사건'이다. 강가를 산책하고 돌아가는 길에 백화점에 들러서 구경했는데, 이 과정에서 준성이의 제안으로 버터밀크(버터를 만들고 남은 우유)라는 음식을 사게 된 것이다. 지민이, 준성이 그리고 내가 버터밀크를 사서 먹었는데, 특이하게도 나를 제외한 두 친구가 복통을 호소하기 시작했다. 물론 지금은 버터밀크를 먹어도 되는 음식임을 알고 있지만, 이 당시에는 어떠한 정보도 갖고 있지 않았기에 나에게 버터밀크를 먹을 수 있는 특별함이 있는 줄 알고 즐거웠을 뿐이다. 이렇게 해서 나는 버터밀크를 모두 먹고, 나머지 두 친구는 반쯤 먹은 통을 가방에 넣고, 숙소로 발을 옮겼다. 오후에는 PSI 연구소 방문 일정이 있었다. PSI는 Swiss



라즈베리 맛 버터밀크

Light Source라는 거대한 싱크로트론을 이용해 분광학을 하는, 기본적으로 물리 연구소였다. 그렇기에 기대 반, 걱정 반이었지만, 연구소를 견학하니 어느 정도 재밌긴 했다. 그렇게, 일정이 모두 마무리되고 숙소로 돌아왔다. 다음 날이 마지막 시험이었기 때문에, 즐거웠던 시간이 끝나간다는 허탈감, 그리고 시험이 끝나는 안도감이 겹쳐 묘한 기분이었다. 하지만, 다음 날 이론 시험에 대한 긴장감을 품고 6시에 일어나려고 11시 정도 잠에 들었다.

전지민 스토리

Jul 21. Theoretical Exam & Reunion event

오늘은 이론 시험이 있는 날이었다. 아침에는 실험 시험 날과 마찬가지로 일찍 일어나 ETH Hönggerberg로 가서 호텔 조식과 비슷한 아침을 먹었다. 이동시간에 아침을 먹으면서 이론 시험 준비를 위해 정리한 자료와 양금표를 보고 있었는데, 실험 시험 직전에는 모두가 양금표를 열심히 외웠던 것에 비하면 이론 시험 전은 별로 공부하는 분위기는 아니었다. 이론 시험보다 끝나고 전자기기를 돌려받는 것에 관심이 있는, 전형적인 Electro (device)philic한 현대인의 모습을 볼 수 있었다. 변명을 해보자면 실험이 굉장히 어려웠기 때문에 다들 이론 시험은 평이할 것이라 예상했지만 그렇지 않았다. 우선 일반적인 연도에 이론 시험 문제가 8~9문제였던 것에 비해 문제 수도 10문제였고, 실수할 부분이 많았다. 솔직히 이론 시험을 풀면서도 처음에는 자만하며 관찮게 보았을 것으로 생각했지만, 뒤로 갈수록 까다로운 계산들이 많았고 결정적으로 유기도 특이한 스타일로 나왔다. 내 기준에서 보자면 나는 전합성 문제에 강한 편이었는데, 평소 같은 스타일의 전통적인 전합성이라고 부를 만한 것이 나오지 않았다. 그리고 악명이 높았던 7~5번 반응속도 문제, 우리 팀 중 아무도 완전히 풀지 못했고 심지어 나와 같은 교실에 있었던 중국 친구도 마지막까지 펜을 잡고 있었던 것으로 보아 못 푼 것으로 추정된다. 문제가 어려웠던 것도 있지만, 결정적인 패인은 자만이라고 생각한다. 솔직히 IChO를 대비하면서 이론 준비를 소홀히 한 감이 없지 않다. 이 또한 자만일지 모르겠지만, 다시 6월로 돌아와서 이론을 열심히 대비한다면 그래도 금메달은 받을 수 있지 않을까 싶다. 실험은 다시 돌아가도 유의미하게 더 높은 점수를 받기는 어려웠을 것 같지만, 내가 이론 시험을 망친 이유는 확실히 나의 자만에서 온 실패라고 생각한다. 이 경험으로 겸손을 배웠

으며, 미래의 후배들은 절대 자신의 실력에 자만하지 말았으면 좋겠다.

시험 결과야 어떻게 되었든 간에, 우리의 시험은 이걸로 끝났다. 시험장에서 나와 가이드 선생님을 만났고, 전자기기를 돌려받았다. (만세!) 어마어마하게 쌓인 연락과 나의 슬픈 3-1 내신 성적을 확인하며 점심을

ETH Hönggerberg에서 먹었고, 호텔로 돌아가서 쉬었다. (나는 이때 궁금증으로 버터밀크를 한 입 더 먹었다. 호텔에는 냉장고가 없었고, 조금 더 시큼한 맛이 났다.) 1시간쯤 쉬다가 Reunion Party에 갔다. 나는 원래 Reunion Party라고 해서 신나는 분위기일 줄 알았는데, 그렇지 않았고 조용히 식사하고 친목을 나누는 자리였다. 흥겨운 분위기는 폐회식 후에 있었다. 갔더니 교수님들은 아직 안 오셔서 자리에 앉았고, 내가 준비했던 트럼프 카드를 꺼냈다. 처음엔 아마 도둑잡기를 했던 것 같은데, 금방 질렸다. 좀 지나서 프랑스 친구들이 와서 참가했는데, 그 친구들이 Liar라는 게임을 알려주었다. 이후 독일 친구 2명이 와서 덱 2개를 섞어 게임을 하다 교수님들이 오셔서 교수님들과 합석했다. 우선 교수님께 죄송하다고 하자, 생각보다 점수는 잘 나온다는 격려 말씀을 들었다. 결과적으로는 생각보다 낮게 나왔다. (죄송합니다.) 곧 식사가 나왔고, 햄버거 줄이 매우 길어서 우선 볶음밥을 먹고, 줄이 짧아지자 햄버거도 먹었다. 다 먹고 돌아다니다 정현 교수님이 부르셔서 Lab Tour를 갔다. 시험이 끝나고 뭐 또 그런 걸 하나는 생각이 들 수도 있을 것이다. 하지만 당시 우리



일본&베트남 팀과



Reunion event가 끝나고

팀에게 인터뷰 요청이 왔는데, 우리는 모두 영어에 자신이 있어 인터뷰를 너무 하고 싶었지만, Lab Tour를 갑자기 너무 가고 싶어졌기 때문에 Lab Tour에 참여하였다. 나, 희준이, 준성이, 그리고 게스트로 동행한 2021, 2022년도 참가자 명진이와 다른 나라(아마도 슬로바키아) 친구 1명, 이렇게 5명이 같은 조로 생화학 연구실 Lab Tour를 했는데, 내가 생각하던 생화학의 이미지와 달랐다. 뭔가 형형색색의 색깔들이 많아서 흥미로웠다. 돌아왔더니 갑자기 베트남 가이드가 말을 걸었다. 일본 팀과 친목을 다지고 싶냐고 묻기에, 왜 베트남 가이드가? 라고 생각하면서도 그렇다고 했고, 조금 기다리니 일본 팀이 왔다. 서투른 일본어로 일본에 유명한 카드 게임이 있느냐고 물어보았고, 도둑잡기를 일본 팀 4명, 우리 팀 4명, 명진이까지 9명이 하게 되었다. 여담이지만 일본 친구들이 헤어질 때까지 말로는 하지 않았지만 왜 한국팀은 5명이지? 하는 얼굴을 하고 있었다. 도둑잡기는 금방 질려서 아까 배운 Liar라는 게임을 알려줬고, 재미있게 하던 중 베트남 친구들이 와서 13명이 Liar를 했다. 술술 하늘이 어두워질 무렵(오후 9시 반) 외국 친구들과 헤어지고 호텔로 돌아갔다.

Jul 22. Excursion to Lonza and Bern

오늘은 Visp에 있는 회사 Lonza를 방문했고, 베른에 갔다. Lonza에 가서 회사에 관한 영상을 하나 보고, 미리 정해놓은 주제대로 나누어서 방으로 갔다. 우리는 mRNA 관련을 골라 그에 대한 설명을 들었는데, 갑자기 문제를 풀라고 주는 것이 아닌가. 깜짝 놀랐지만 첫 번째는 그래도 열심히 풀었다. 그런데 끝도 없이 문제를 주길래 우리는 거의 놓았고, 가이드 선생님이 가장 열심히 문제를 풀게 되었다. 끝나고 문제를 풀 때 사용했던 Lonza라고 쓰여있는 볼펜을 가져가도 된다고 했는데, 가이드 선생님이



베른의 경치

9일 중 가장 기분이 좋아 보이는 얼굴로 앓싸를 외치며 2개를 째싸게 가져가셨다. 이후에 처음에 영상을 보았던 장소로 돌아가 영상을 하나 더 보았고, 밖으로 나왔다.

나왔는데 베른에 갈 때까지 시간이 빈다고 했고, 그래서 무엇을 할까 고민하던 중에 앉아서 카드 게임이나 하자는 의견이 나왔다. 이때 내가 서울과학고의 전통 놀이인 마이티를 전파했고, 남은 스위스 여행 동안 마이티를 50판은 한 것 같다. 이후 베른에 갔는데, 시험이 끝나고 편한 마음으로 제대로 된 관광을 하는 것이 베른이 처음이라 이때 굉장히 행복했다. 스위스의 아름다운 경치를 구경할 수 있는 시간이었다. 백문불여일견, 실제로 보는 것보단 못하지만 오늘의 이야기는 아래 사진으로 대체한다. 저녁으로는 베른에 있는 한 음식점에서 라클렛이라는 음식을 먹었는데, 치즈를 양초로 녹여 먹는 음식이었다. 나는 느끼함을 잘 느끼지 못하는 체질이라 매우 맛있게 먹을 수 있었다. 조교 쌤이 나의 음식 취향에 놀랐던 기억이 난다.

장준성 스토리

Jul 23. Excursion to Lucerne and Mount Rigi

우리는 아침부터 버스를 타고 루체른으로 향했다. 루체른은 인구가 8만밖에 되지 않지만, 큰 도시가 없는 스위스에서는 나름 6번째로 큰 도시였다. 루체른은 전날 갔던 베른보다는 취리히와 비슷한 느낌의 도시였다. 우리는 루체른의 도심을 지나서 루체른의 가장 유명한 관광지인 카펠교로 향하였다. 다리 사이사이 그림이 특징인 유럽에서 가장 길고 오래된 목조 다리였다. 하지만 유명세에 비해 딱히 다리가 딱히 인상적이지는 않았던 기억이 난다. 차라리 다리를 지나간 곳에 있었던 루체른 예수회 교회가 더 기억에 남는다. 교회는 흰색의 대리석을 바탕으로 여러 그림과 금장식품들이 수놓아져 있어, 스위스에서 봤던 장소 중 가장 화려한 장소이다. 그렇게 1시간 넘게 도시 관광을 하고 나니, 딱히 더 둘러볼 것이 없었지만 다음 일정까지 시간이 꽤 남아 있던 우리는 다른 나라 친구들이 모여 있다는 공원으로 이동했다. 공원에서는 호수에서 수영을 하는 다른 나라 친구들을 발견할 수 있었다. 나름 호수 앞에 작은 모래사장도 있어서 바다 같은 느낌도 났다. 출국 전부터 호수에서 수영을 하고 싶었던 나는 아침에 수영복과 호텔 수건을 챙겨온 덕분에 운 좋게 수영을 할 수 있었다. 아쉽게도 다른 친구들은 수영복을 가져오지 않아 같이 입수하지는



리기산 전경

못하였다. 물이 생각보다 차가워서 처음 들어 갔을 때는 오들오들 떨어지지만, 적응하고 나서는 물놀이를 하며 즐거운 시간을 보냈다. 호수에서 수영을 하고 나와 햇빛이 따스하게 비추고 있는 잔디밭에 가서 누우니 행복이 별거 없다는 생각이 들었다.

이후 우리는 유람선을 타고 리기 산으로 이동하였다. 스위스의 물이 워낙 아름답다 보니 경치가 좋았지만, 스위스에서 도착한 지 1주일이 넘게 지났기에 그렇게까지 큰 감흥은 없었다. 그래서 우리는 잠깐만 나가서 경치를 보고, 시간 대부분을 마이티를 하는데 할애하였다. 리기 산에 도착하여서는 케이블 카를 타고 정상으로 향하였다. 리기산 정상에서는 구시가지, 녹지, 호수가 어우러진 절경을 볼 수 있었다. 다만, 정상에 눈이 없다는 점에 아쉬웠으나 그 점을 제외하면 좋은 구경을 할 수 있었다. 정상에서 구경을 끝낸 우리는 산 정상에서 20분 정도 하산하면 있는 오늘의 마지막 일정 장소로 이동하였다. 도착해보니 산 중턱에 수백 명을 수용할 수 있는 크기의 천막이 쳐져 있었다. 천막 내에서 간단한 저녁(토마토소스 미트볼과 밥)을 먹고 나서는 IUPAC 회장의 연설이 있었다. 화학의 미래가 어디 있는가에 대한 유익한 연설이었다. 이후 자유시간이 주어졌다. 이제 이틀밖에 남지 않았다는 생각에 나랑 희준이는 챙겨온 다량의 기념품을 나눠주기 시작했다. 원래 외국 친구들에게 말을 걸기 어려워했던 우리였지만, 기념품을 모두 털고 가야 한다는 생각에 거침없이 말을 걸며 기념품을 나눠주었다. 기념품을 받기도 하였는데, 호주 애들로부터 귀여운 코알라, 캥거루 인형 키링을 받았던 것이 기억에 남는다.

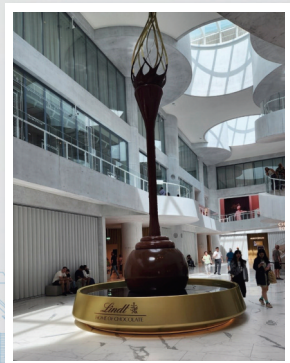
일정을 맞춘 우리는 내일의 폐회식을 앞두고 호텔로 향했다. 호텔에 도착해서는 희준이 방에서 일본 친구들과 놀았다. 처음에 간단한 대화를 하며 간식을 먹다 금세 할 게 없어서 노래를 부르기 시작하였는데, 전원이 일본 문화에 정통한(...) 우리 팀이었기에 문제없이 일본 친구들과 돌아가며 일본 노래를 부를 수 있었다.

(타나카와 지민이의 듀엣이 압권이었다.) 방에 돌아와서는 내가 도착한 첫날부터 그렇게 하고 싶다고 노래를 불렀던 체스를 할 수 있었다. 다른 나라 가이드 분이 체스 보드를 빌려주셨기 때문이었다. 로비에서 조지아 친구와 인도 친구, 베트남 가이드와 체스를 두며 즐거운 시간을 보낸 후, 복잡한 마음으로 잠에 들었다.

Jul 24. Closing Ceremony

결국 폐회식 날이 오고 말았다. 하지만 일단 오후에 있을 폐회식을 제쳐 두고 우리는 아침부터 Lindt 사의 초콜릿 박물관으로 향하였다. 예약을 해야만 갈 수 있는 곳이었는데, 가이드 선생님이 어찌저찌 표를 구해주시는 덕에 입장할 수 있었다. 우리는 가는 길에 만난 태국 친구들과 함께 박물관에 입장하였다. 박물관은 생각보다 알차다. 초콜릿의 역사와 만들어지는 과정에 대해 전시해 놓았었으며, 하이라이트는 초콜릿 테이스팅이었다. 액상의 초콜릿, 다양한 맛이 첨가된 다크 초콜릿을 맛볼 수 있었다. 그리고 마지막 부분에서는 Lindt사의 트러플 초콜릿(트러플이 들어간 것이 아니라 구형의 형태 때문에 붙은 이름이다.)을 종류별로 원하는 만큼 먹을 수 있었다. 들어올 때 배낭을 반납하고 들어와야 했는데, 이제서야 그 이유를 알 수 있었다. 나는 앞에서 힘을 빼서 많이 먹지는 못하였으나, 지민이가 초콜릿을 종류별로 하나 이상씩 먹는 기염을 토해내며 관람료 이상의 초콜릿을 섭취하였다. 이후 Lindt 초콜릿 매점에서 친구와 가족들에게 선물할 초콜릿을 구매하였다. 다른 친구들도 마찬가지로 초콜릿을 샀으며, 지민이가 가이드 선생님 선물로 딸기 초콜릿을 사드리고 희준이가 칠리 다크 초콜릿을 친구들한테 주겠다고 5개나 구매하였던 것이 기억에 남는다. 아쉽게도 칠리 초콜릿의 정체는 단순한 예능이 아닌, 다크 초콜릿에 약간의 매운 끝 맛이 있는 초콜릿이어서 살짝 실망하였다. 그러나 훗날 다크 초콜릿을 좋아하는 친구한테 먹여보았을 때 맛있다고 한 걸로 봐서는 실제로 상품성이 있는 제품임을 깨닫게 되었다.

박물관 구경을 끝낸 우리는 호텔에서 옷을 갈아입고 폐회식장으로 향하였다. 이때 까지



초콜릿 박물관의 초콜릿 분수대

만 해도 크게 떨리지는 않았다. 내가 이론과 실험을 모두 매우 잘 봤다는 생각이 들지는 않았지만, 우리나라 대표팀에서 무난하게 본 편인 것 같았고, 전체적으로 나를 믿었기 때문이었다. 성적으로는 중위권 금을 예상하고 있었다. 폐회식장으로 입장하기 전에 나는 지민이와 함께 인터뷰를 하게 되었다. 인터뷰어 분이 물어본 질문 중 가장 기억에 남았던 것은 스위스는 어땠냐는 질문이었다. 나는 스위스가 내가 가본 곳 중 단연 원탑이라 답하였다. 실제로 스위스에서의 시간은 너무 즐거웠고, 꿈만 같았기에 마음속 깊이서부터 우리나라 답변이었다. 폐회식은 파이프 오르간이 있는 콘서트홀에서 진행되었다. 좋은 곳이었지만, 감탄할 정도의 여유가 있지는 않았다. 폐회식이 시작되었고, 먼저 그동안의 여정에 대한 짧은 영상이 재생되었다. 이후, 그래프로 등수별로 점수를 보여주었고, 금 컷도 알려주었다. 금 컷은 72 정도였는데, 생각보다 낮아(물론 내 점수도 생각보다 낮았다) 이 정도면 해볼 만하겠다는 생각을 하며 안도의 한숨을 내쉬었다. 특이한 점은 1등의 점수가 혼자 압도적으로 높아 95 부근이었으며, 금 중상위 이하부터는 점수 간격이 매우 촘촘하다는 것이었다. 이후 이론 시험의 점수별 분포에 대한 통계도 공개되었다. 은근히 분포가 뒤죽박죽이었는데, 이번 시험이 난도가 높아 실수를 하기 쉽다 보니 당연한 처사였다. 특히 어려웠던 효소 속도론 문제인 7번의 처참한 분포가 공개되었을 때는 회장에 박수가 울려 퍼졌다. 이후 메달 시상이 시작되었다. HM(장려상)은 빠르게 한 번에 보여주고 넘어가고, 동상을 부르기 시작하였다. 계속해서 박수를 치긴 했지만 사람이 너무 많다 보니 유의 깊게 집중하지는 않았다. 그러나 반전은 동상이 끝나갈 무렵, 갑자기 서채원 이름이 불렸다. 시험을 잘 못 봤다고 상심했었는데 그래도 예상치 못한 상황에 내 결과도 장담하지 못하겠다는 생각이 들며 긴장이 되기 시작하였다. 그렇게 동상 수상자들이 모두 단상에서 내려오고, 우리가 채원의 눈치를 살피는 와중에 은상 수상이 시작되었다.

다행히 은상 절반이 지나가도록 우리 이름은 불리지 않았다. 그 사이 우리가 아는 이름들이 많이 불려 나갔다. 프랑스 친구들 중 가장 친하고 이론 시험도 뒷자리에 봤던 Matthieu의 이름도 그 중 하나였다. 시험을 망했다고 하더니 프랑스 1등을 한 그에게 진심으로 박수를 쳐주었다. 그러던 중 헝가리 친구들 중 가장 친했던 Dániel Viczián의 이름이 불렸다. 기업 부스에서 NMR signal을 보고 분자를 확실히 맞췄던 모습이 인상적이었던 유기화학 고수인 친구여서 당연히 금메달을 받았을 줄 알았지만, 은 중위

권에서 이름이 불려 놀랐다. 하지만 이에 대해 생각할 틈도 없이 곧 이후 지민이의 이름이 불려 나가며, 나랑 희준이 밖에 남지 않게 되었다. 은상 하위권이 불려 나가며 어느 정도 진정이 되었던 마음이 다시 조려오기 시작했다. 그리고 결국 은상 상위권에서 희준이의 이름이 불려 나오고 말았다. 나중에 알아본 결과, 금 컷과 1점도 차이가 나지 않아 아쉬운 수상이었으며, 그 1점도 충분히 깎이지 않을 수 있었던 점수였기에 친구로서 너무나도 아쉬웠다. 하지만 당시에는 사고가 마비되었던 기억밖에 안 난다. 이제 은메달 수상자가 6명밖에 남지 않았었기에 한 명 한 명의 이름이 불려 나갈 때마다 크게 박수 치며, 평소에 믿지도 않는 신에게 기도했다. 그러던 중 은상 2등에서 같이 놀았던 일본 친구의 이름이 불렸는데, 그 친구한테는 미안하지만 대신 은상을 받아 주어 아주 고맙다는 생각이 들었다. 그리고 은상 시상은 우즈베키스탄 친구의 이름이 불리며 끝이 났다. 나는 뒤를 돌아 아직 생존한 뒷자리의 태국 친구 1명과 미국 친구 2명과 같이 부둥켜안고서는 환호하였다. 우리 말고도 곳곳에서 환호가 이어졌다. 정말 금상을 받아서 다행이라는 마음이 앞서 내 등수는 별로 궁금하지도 않았다. 금상 시상이 시작되고, 30등에서 내 이름이 불려 나갔다. (여담: 독일어에서는 J를 Y로 발음한다. 따라서, 나는 윤성 양이, 지민이는 이민 연이 되었다.) 당시 20등 대에만 받자는 생각을 하고 있었기에 1초 동안 아쉬웠지만 단상에 올라서자 즐거운 마음이 앞섰다.

이번 대회에서 스포트라이트를 차지한 나라는 4개의 금메달을 차지한 싱가포르와 3개의 금메달과 1개의 은메달을 달성한 베트남, 그리고 높은 성장세를 보인 4개의 은메달을 기록한 사우디였다. 희준이와 같이 실험한 베트남 친구가 양금 문제를 싹싹 풀어내어 충격이었다 했는데, 아니나 다를까 그 친구는 7등을 하였다. 아무래도 그것이 싱가포르와 베트남의 비결인 것 같았다. 사우디 또한 내년에 IChO를 개최할 예정이다 보니 칼을 빼든 것 같았다. 작년에 1개 은메달 수상에 비해 괄목할만한 성적이었다. 제55회 IChO대망의 1등은 내가 실험 전에 만났던 중국 친구였다. 실험 전에 긴장되지 않는다고 발언하는 고수의 면모를 보여줬으며, 뭔가 천재 같이 생겨 1등을 할 것으로 예상했는데, 실제로 실험, 이론 모두 1등을 차지하며 2등이랑 5점 넘게 차이가 나는 가히 압도적인 성적을 낸 것이었다. 얼마 전 체스를 두며 친해졌던 미국 친구와 단상에서 저것은 인간이 맞는가에 대한 논의를 하였다. 금메달 시상을 맞추고 나자 파이프 오르간으로 'We are the



폐회식에서 한국 대표단이 모여 태극기를 들고서

champions' 가 연주되었다. 시상대 위의 모두와 같이 노래를 부르니 정말 이 순간만큼은 세상의 정상에 서 있는 기분이었다.

폐회식이 끝나고, 금메달을 받을 수 있도록 지도해 주신 교수님들께 무한한 감사의 인사를 드렸다. 그러고는 폐회식 파티가 시작되었다. 나는 희준이와 일어서서 돌아다니며 기념품을 나눠주고, 친구들의 연락처를 받았다. 진짜 마지막이었다 보니 아무에게나 말을 걸고 다녔는데, 진작에 이럴걸이라는 생각이 들며 후회했다. 그래도 적어도 이 순간에는 후회가 없도록 하자는 생각으로 파티를 즐겼다. 그러던 중 밖에서 소나기가 내리고 하늘이 개며 무지개가 떴다. 굉장히 뚜렷하고 아름답게 무지개가 떴었기에 무지개를 보며 행복해하였다. 그렇게 우리는 스위스의 마지막 밤을 불태웠다.



무지개 앞에서 금메달을 쥐고서

Jul 25. Rhein fall and Departure

스위스에서의 마지막 아침을 먹고, 우리는 교수님들과 라인 폭포로 향하였다. 이는 지난 일주일간 함께한 가이드 선생님과 헤어질 시간이라는 말이기도 했다. 이별의 아쉬움을 뒤로 한 채, 우리는 기차를 타고 독일 국경지대에 있는 폭포에 도착했다. 우리

는 배를 타고 폭포를 둘러보기 전에 잠시 폭포 앞의 기념품 가게에서 기념품들을 구매하였다. 가격이 바가지일 것이라는 생각과 달리 오히려 취리히보다 싸서 놀랐다. 나는 소 목각 인형을, 희준이는 카우뿔을, 지민이는 풍뎉 세트를 사는 등 각자의 기념품을 구매하였다. 배에 타기 전에는 선착장 앞을 지나가는 백조들을 구경했다. 새삼 스위스에서는 자연의 작은 것에 감사함을 느끼게 되어 좋다는 생각이 들었다. 배를 타고 폭포를 둘러보는 것은 생각대로 즐거웠다. 스위스의 물은 너무나도 아름다워 계속 보아도 좋기만 했다. 그러나 폭포 중간의 바위에 내려 사진을 찍던 중 사건이 있었는데, 채원이의 발이 땅벌레에 쏘인 것이었다! 어제 폐회식장 계단에서도 굴렀고, 스위스에서 여러 불운한 일을 당해서 정말 불쌍하다는 생각이 들었다.

점심 전에 취리히 공대 기념품 가게에서 기념품을 사려고 Polybahn을 타고 캠퍼스로 뛰어갔다 왔다. 기념품 가게는 학생 식당 바로 옆에 있었는데, 솔직히 갈 수 있었던 수많은 기회 동안 왜 가지 않았는지 자괴감이 조금 들었다. 그래도 정든 취리히 공대를 마지막으로 둘러보면 마지막 인사를 할 수 있다는 점에서 좋았다. 점심으로는 취리히 도심 식당의 시그니처 수세 소시지를 먹었다. 소시지는 맛있기는 했으나, 정말 큰 소시지 하나만 주어 배가 너무 고팠다. (같이 맛있는 감자 오이 샐러드를 주기는 했다.) 그래서 우리는 교수님들이 시킨 햄버거와 같이 나온 감자 튀김을 열심히 먹어 가며 배를 채웠다. 지민이가 시킨 연어는 한 입 먹어봤는데 맛있었고, 양도 괜찮아 부러웠다.

점심을 먹은 우리는 호텔로 돌아와 짐을 챙기고, 마지막으로 사진을 찍고는 공항으로 향하였다. 취리히 공항은 생각보다 커 다양한 것들을 팔고 있었다. 공항을 둘러보며 치즈도 사고 Tobelrone 초콜릿도 충동 구매하니 비행기 시간이 되었다. 이제 한국으로 돌아가려니 좋으면서도 한국의 습한 무더위 생각에 끔찍했다. 비행기는 별로 사람이 없을 줄 알았지만, 많은 수의 스위스 잼버리 참여자들과 같이 탑승하게 되었다. 당시에는 잼버리가 뭔지 몰랐는데, 지금 생각하면 그 친구들한테 너무 미안하다. 그렇게 2시간의 연착 끝에 비행기가 출발하며 우리 4명의 평생 잊을 수 없는 여정은 막을 내렸다.



ICHO LET'S FIND SOLUTIONS TOGETHER!

2023년 제55회 국제화학올림피아드

(55th IChO 2023) 게스트편

신명진 | IChO 53, 54회 대표 학생, 서울대학교 화학과



대회 이전

IChO 53, 54회에 참가하였으나 코로나로 인한 remote IChO의 시행 탓에 개최지로 떠나지도 못하고, 국내에서 시험만 치렀었는데, IChO 55회 대표단 교육 및 게스트로서 대회에 참여할 기회를 부여받았다. 본대회의 즐거움을 느끼지 못했던 나에게, 후배들을 직접 교육하면서 게스트로 IChO 진행 과정을 바라볼 수 있다는 것은 매우 매력적이었기에 고민하지 않고 참여 의사를 밝혔다.

이론교육을 진행했는데, 솔직히 대회에 나가봤던 입장으로서 어떤 내용을 교육해야 도움이 될지 잘 모르겠었다. 선발되기까지의 과정 동안 필요한 이론은 모두 공부했을 테니, 해봤자 예비문제를 반복해서 풀고 관련된 내용을 마구잡이로 찾아보는(2번의 경험 모두를 통틀어 봤을 때, 매우 비효율적인 행위라서 추천하지 않는다.) 것밖엔 없었기 때문이다. 그래서 일단은 예비문제 풀이를 진행했고, 유기화학에 한해서만 일본, 중국 대회 및 예비문제, 그리고 스위스 예비문제를 기반으로 한 유기화학 문제들을 제작해 교육하였다. 학생들에게 본 문제를 푸는 데 있어 결정적인 도움을 주었다고 생각하지는 않지만 그래도 어느 정도는 도움이 되었다면 좋겠다.

멘토나 학생이 아닌 게스트였기에, 자유 시간이 상당히 많았다. 따라서 아래의 참관기를 작성하면서, 본 참관기는 IChO에 대한 참관기이므로 개인적인 시간에 대한 것은 제외하고 IChO의 공식

적인 일정 또는 학생들과 함께한 일정만을 담으려 하였으며, 진행되는 과정에서 개인적으로 느낀 감상을 작성하였다.

출국, 체코인

출국하는 날 공항에서 단복을 입은 학생들이 사진을 찍는 모습을 보며, 온라인으로 진행되어 단복을 맞추지 못한 경험을 떠올리며 아쉬운 감정이 들었다. 한편으로는 긴장한 학생들의 얼굴을 보고 웃으며 학생들이 원하는 결과를 가질 수 있길 바랐다.

스위스에 입국하자 공항에서부터 IChO 관련 환영 문이 있는 것을 보았다. 나도 가슴이 뛰었는데, 학생들은 더 설렘을 것이다. (사진까지 찍으러 달려갔을 정도니) 그렇게 학생들, 교수님들과 함께 식사를 마친 후 학생들은 학생들이 묵는 호텔, 교수님들과 나는 멘토와 게스트들이 묵는 호텔로 이동하였다.

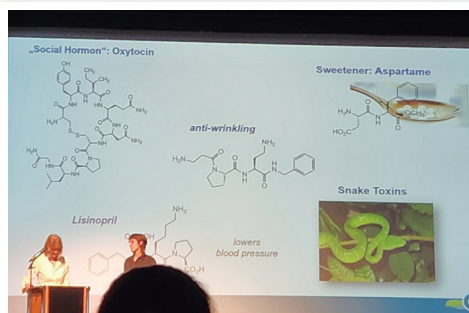
1일 차: Opening Ceremony, ETH Hönggerberg

다음날 아침 교수님께 IChO packet을 받았다. 지금까지 받았던 packet들은 다 대회가 끝나고 받았는데 첫날에 받으니 감흥이 달랐다. IChO 티셔츠, 명찰, 노트, 펜, 연필, 물통, 메모지, 취리히 관광 안내지, 일정표(게스트의 일정은 나와있지 않은), 그리고 초콜릿이 들어 있었다.

이후 개회식 장소로 이동하였다. 개회식이 시작되자 참가국들이



IChO packet



개회식 중 진행되었던 코미디

하나씩 나오며 각 대표가 국기를 흔들고, 마지막에는 모두가 국기를 흔들는 모습에서 마치 전 세계가 연결된 듯한(?) IChO만의 소속감을 느낄 수 있었다. 그 이후 ETH의 IChO committee 교수님들의 축사가 이어졌고, 중간에는 교수님과 코미디언분이 함께 진행했던 코미디가 있었는데, 개회식 중간마다 이런 코스를 끼워 놔서 재밌게 즐길 수 있던 것 같다.

개회식이 끝나고 대표단들과 함께 촬영이 끝나고 ETH Hönggerberg로 이동해 식사를 하고, 교수님들은 실험 문제를 받으러 가시고 게스트는 따로 ETH 투어를 진행했는데, 약 30분 만에 끝나서 투어라고 하기엔 부족한 느낌이 들었었다.

2일 차: Free-time

교수님들은 실험 문제를 번역하시고 학생들은 Program을 따라가는 동안 게스트들은 자유시간을 보냈다. 밤에 호텔 로비로 내려왔더니 교수님들께서 밤늦게까지 번역하시는 모습을 볼 수 있었다. 그동안의 두 대회 동안은 교수님들과 분리되어 있다 보니 (학생이므로) 교수님들이 번역 때문에 고생하신다는 건 알고 있

었지만, 직접 눈으로 보니 조사 하나마다 다 신경 쓰시면서 굉장히 공을 들이신다는 것을 알게 되었다. 확실히 학생 신분인 멘토(정확히는 게스트) 신분으로서 바라보는 것은 많이 다르다는 것이 느껴졌다.

3일 차: Empa

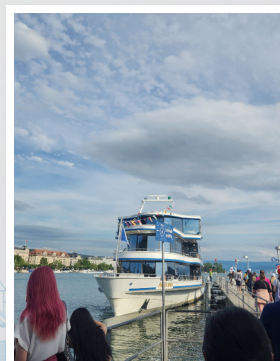
학생들은 실험시험을 보고, 교수님들은 이론시험문제 출제에 대한 Jury meeting을 진행하시는 동안 게스트 및 몇몇 멘토들은 Empa 연구소로 이동해 몇몇 강연을 듣고 랩 투어를 진행했는데, 화학이나 물성과학과 크게 관련된 내용은 아니라 그런지 나를 포함해 많은 멘토분들이 큰 관심을 보이지 않은 것 같다. 그래도 건축을 위한 소재의 강도 연구라던지, 생활 소음을 구현하는 연구를 하는 등 평소 접하지 않았던 연구들을 직접 하시는 분들을 보니 신기하기도 했다.



Empa 강연

4일 차: Cruise

교수님들은 이론 번역을 하시느라 참석하지 못하셨으나, 4일 차 밤에는 취리히 강에서의 크루즈가 제공되었다. 크루즈에서 많은 나라의 멘토, 옵저버, 게스트분들과 만나 대화를 나눌 수 있었다. 다른 나라 분들은 한국의 좋은 IChO 성적을 언급하시며 어떻게 학생들이 공부하는지를 여쭙 보셨지만, 직접 느껴



크루즈의 모습

본 입장임에도 뭐라 정리해서 말할 길이 없어 단순히 전공서나 문제를 자주 보고 푼다 정도로 말했다.

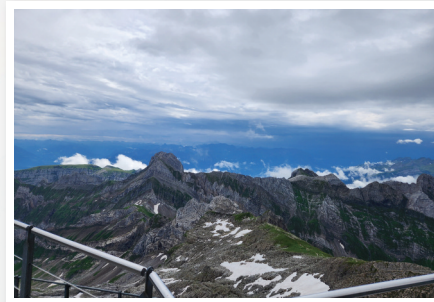
솔직하게 나는 참가 학생들과 같은 나이대이기에 교수님들이나 석·박사분들로 보이는 크루즈 탑승객분들과 조금의 거리감을 느껴졌다. 그래도 여러 나라의 화학 올림피아드뿐 아니라 언어학 얘기 등 (IChO 출신으로 교육학을 전공하시는 분도 있고, 상당히 다양한 분야의 분들이 계셨다.) 여러 신기한 관점을 얻을 수 있던 것 같다. 계속 제공되는 와인으로 서로 다들 재밌게 크루즈에서 커넥션을 만든 것 같다는 느낌이 들었다.

5일 차: Metrohm, Säntis, Cheese factory, Jury Meeting at UZH, Reunion and Lab tour

5일 차는 교수님들은 번역작업이 끝나셨고, 학생들은 이론 시험을 보는 동안 멘토와 게스트는 Metrohm (스위스의 화학 기기 제작 업체), Säntis 산, 산 밑의 치즈 공장을 둘러보고 UZH에서 실험 문제의 채점 방식과 결과에 대한 Jury meeting (지금까지 Jury meeting에 참석해본 적은 없지만 UZH로 따라가면서 얼떨결에 참석하게 되었다.)을 진행했다.

Metrohm에선 Metrohm에서 제작하는 여러 분석 기기와 최초의 pH 미터 등의 모형이 있는 작은 박물관, 그리고 분석 기기가 만들어지는 과정을 레이저 커팅과 회로부터 최종 조립까지 둘러볼 수 있었다. 잘 아는 분야가 아니라 실험 기기를 알아보진 못했지만, 하나의 회사에서 처음부터 끝까지 실험 기기를 모두 제작하는 과정을 보면서 신기하다는 느낌과 실험 기기들이 비쌀 만하다는 생각이 들었다.

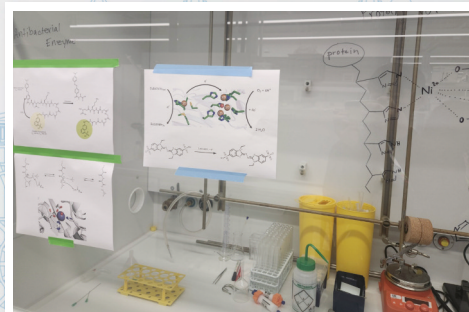
이후 Säntis 산으로 이동해 산의 정상으로 케이블카를 타고 올라갔는데, 고도가 높아 여름인데도 불구하고 매우 춥고 바람이 거셌다. (눈이 있는 곳도 있었다) 스위스라는 명성답게, 산의 정상에서 내려다본 자연의 풍경은 더할 나위 없이 아름다웠다. 이후 정상에 있는 건물에서 여러 구경을 했는데, 얼음 결정의 구조나 결정이 형성되는 과정의 홀로그램, Säntis 산의 수많은 광물, Säntis 산의 고기압 및 저기압, 전선 등으로 인한 기상 현상(Säntis 산에서는 어떤 부분에서 김이 나고 있었는데, 그러한 현상도 설명되어 있었다.) 등을 설명하는 그림과



Säntis 산 정상에서 찍은 풍경

글이 있었다. 고등학교 때 화학 및 지구과학을 공부하며 배웠던 내용이 실제로 Säntis 산과 관련해 설명되어 있으니 매우 감흥이 컸다. 내려와서는 치즈 공장에서 치즈가 제조되는 커다란 기기와 각종 치즈를 보았다. 개인적으로 치즈를 좋아하지는 않기에, 그 목장의 우유로 만든 것으로 추정되는 젤라토를 사 먹는 것으로 그쳤다.

이후 UZH로 이동해 Jury meeting을 진행했다. Jury meeting은 학생들이 절대로 봐서는 안 되기에 지금까지 그 내용을 직접 볼 수도 볼 일도 없었는데, 실험 Jury meeting은 각 문제의 평가 기준과 페널티 항목들, 실제로 관찰된 사례들, 학생들의 점수 분포, 실험실별로 차이가 없음을 보여주기 위한 실험실별 통계량의 비교 등을 보여주고 멘토들이 OK 할지, 이의를 제기할지 의견 수합을 하는 과정이었다. 내가 생각했던 것보다 IChO 문제들은 더욱 정교하게 설계되고 채점되고 있으며, 검토되고 있다는 것을 알 수 있었다. 주최 측에서 다양한 데이터를 제시하며 문제가 없었음을 보여 주었는데, 이를 사진으로 공개해도 되는지에 대한 여부가 확실치 않아 첨부하지 못함이 아쉬울 따름이다.



Enzyme engineering lab



Enzyme engineering lab



Rhine Fall의 배에서 찍은 사진. (1명은 뒤돌고 있지만 ...)

Jury meeting이 끝나자 이론 시험까지 끝난 학생들과 다시 만나 밥을 먹었다. 일부러 시험과 관련해서는 묻지 않았다. 이후 랩 투어가 예정되어 있었는데, 별생각 없었지만 학생들도 딱히 어딜 갈지 못 정하고 있었던 상황에 정헌 교수님께서 내가 생화학을 전공하려 하니 효소 랩을 관광해 보라고 하셔서 학생들과 함께 enzyme engineering lab에서 Ni-NTA 컬럼으로 protein purification을 진행하고 이를 FRET으로 확인하는 실험을 했다. 바로 직전학기에 생화학 수업에서 배운 내용이라 더 흥미로웠는데, 학생들도 그다지 관심 없던 생화학이 생각보다 재밌었다고 말을 하는 것을 듣고 다들 만족스럽게 들은 것 같아서 안심했다.

이후 학생들과 함께 다른 나라 대표단들과 카드게임을 했는데, 다들 카드게임에 열중해 끝까지 자기소개도 잊고 게임을 하던 것을 보면, 역시 보드게임은 전혀 안 친한 사람들끼리 친해지는데 적절한 수단인 것 같다는 생각을 했다. 아무튼, 다들 시험이 끝나고 이제 정말 대회를 즐기는 것 같아 기분이 좋았다.

6일 차: Free-time

6일 차에는 교수님들께서는 학생들의 답안을 받아 이의제기를 하시고 게스트에게는 자유시간이 주어졌다.

7일 차: Closing ceremony

대회 마지막 날 Closing ceremony 때, 우리는 학생들 성적을 이미 알고 있었는데, 갑자기 폐회식 시작 당시 점수 분포와 메달별 점수분포를 보여줘서, 그럼에도 커트라인 부분은 점수가 애매

모호해서 교수님들과 나도 숨을 죽이고 한 명 한 명씩 발표되는 결과를 기다렸다. 그때까지는 학생들의 긴장에 비할 바가 안 될 거로 생각했었는데, 둘 다 경험해본 입장에서 엄청나게 떨리는 건 매한가지인 것 같다.

그렇게 Closing ceremony가 끝나고 파티가 진행되었다. 결과가 만족스러운 학생도, 불만족스러운 학생들도 있었을 것이다. 그럼에도 모두 열심히 준비했다는 걸 교육에 참여했던 입장에서, 예전에 직접 참가했던 경험으로 미루어 보아서라도 알고 있기 때문에 그저 학생들이 마음을 잘 추스르고 자신에게 주어진 다음 일에 더 열중하길 바랄 뿐이다. IChO는 인생에서 그저 스쳐가는 하나의 대회일 뿐이기 때문이다.

10. Rhine Fall, 귀국

대회가 끝나고 귀국하기 전, 학생들, 교수님들과 함께 Rhine 폭포에 다녀왔다. 학생들이 그동안의 대회를 마무리하며 모두 잊고 즐겁게 관광하길 바란다. 그리고 이 글을 쓰는 지금은 한창 입시를 준비하고 있을 텐데, 다들 좋은 결과 있길 바라며, IChO 국가대표가 될 만큼 굳은 의지로 노력하는 자세로 먼 미래에도 (이는 나에게도 해당되지만) 다들 각자 위치에서 좋은 결과를 갖길 바란다.



신정철 Jeongcheol Shin

덕성여자대학교 화학과, 조교수

jcshin91@duksung.ac.kr

<https://sites.google.com/view/biomclab>

소개글

신정철 교수는 다양한 분광학 및 DFT 양자계산을 활용하여 10족 유기금속 화합물에 의해 매개되는 교차-짝지음 반응에 대한 메커니즘 연구를 진행해왔다. 특히, 탄소→금속 전하-이동 전이 에너지와 교차-짝지음 반응 속도와의 상관관계를 규명하였으며, 이를 활용하여 광유도 교차-짝지음 반응을 개발하는 연구를 지속해왔다. 최근에는 높은 활성, 반응 선택성, 안정성을 갖는 3d 전이금속 촉매를 활용한 수소금속화 반응을 개발하기 위한 기반 연구를 진행하고 있으며, 이산화황을 활용하는 다양한 유기금속 촉매 반응의 메커니즘 연구를 수행 중에 있다.

주요연구분야

- 무기화학-배위화학(Inorganic Chemistry-Coordination Chemistry)
- 분광학 & 양자계산화학(Spectroscopy & Quantum Computational Chemistry)
- 유기금속화학(Organometallic Chemistry)
- 환경화학(Environmental Chemistry)
- 수소금속화 반응(Hydrometalation Reactions)
- 교차-짝지음 반응(Cross-Coupling Reactions)
- 광유도 유기금속 반응(Photo-Induced Organometallic Reactions)

대표논문

1. J. Han, J. Yoon, **J. Shin**, E. Nam, T. Qian, Y. Li, K. Park, S. Lee, M. H. Lim, "Conformational and functional changes of the native neuropeptide somatostatin occur in the presence of copper and amyloid- β ." *Nat. Chem.* **2022**, *14*, 1021-1030.
2. V. Ganesan, J. J. Kim, **J. Shin**, K. Park, S. Yoon, "Efficient nicotinamide adenine dinucleotide regeneration with a rhodium-carbene catalyst and isolation of a hydride intermediate." *Inorg. Chem.* **2022**, *61*, 5683-5690.
3. **J. Shin**, J. Lee, K. Park, "Ligand-field transition-induced C-S bond formation from nickelacycles." *Chem. Sci.* **2021**, *12*, 15908-15915.
4. **J. Shin**, K. Gogoi, K. Park, "Light-promoted C-Cl bond-forming reductive elimination of a metal-metal bonded Pd^{III}-Pd^{III} complex." *Chem. Commun.* **2021**, *57*, 7673-7676.
5. **J. Shin**, S. Gwon, S. Kim, J. Lee, K. Park, "Correlation between the C-C cross-coupling activity and C-to-Ni charge transfer transition of high-valent Ni complexes." *J. Am. Chem. Soc.* **2020**, *142*, 4173-4183.
6. G. H. Gunasekar, **J. Shin**, K. -D. Jung, K. Park, S. Yoon, "Design strategy toward recyclable and highly efficient heterogeneous catalysts for the hydrogenation of CO₂ to formate." *ACS Catal.* **2018**, *8*, 4346-4353.

- 한국과학기술원(KAIST) 화학과, 학사 (2010.02-2015.02)
- 한국과학기술원(KAIST) 화학과, 박사 (2015.03-2021.02, 지도교수 : 박기영)
- 한국과학기술원(KAIST) 화학과, 박사 후 연구원 (2021.03-2023.02, 지도교수 : 박기영)
- 덕성여자대학교 화학과, 조교수(2023.3-현재)

연구자 되기 ⑦

연구자의 덕목 : 도전(挑戰) 정신

김태영 | 광주과학기술원 지구·환경공학부
kimtaeyoung@gist.ac.kr



Sogno di Volare – 하늘을 나는 꿈

티 없이 맑은 푸른 하늘을 자유롭게 비행하는 새의 날갯짓을 보고 있노라면, 하늘을 날고 싶은 생각이 절로 든다. ‘날갯짓 한 번으로 여섯 달 동안 날 수 있는 대붕(大鵬)이 되지는 못하더라도, 흰꼬리수리와 같이 큰 날개를 활짝 펼친 채 6분, 아니 6 초만이라도 날 수 있다면 얼마나 좋을까?’ 하늘을 날고 싶은 ‘꿈꾸는 몽상가(夢想家)’ 들의 상상은 대개 이쯤에서 멈춘다. 하지만 일부 ‘눈뜬 공상가(空想家)’ 들은 상상에 머무르지 않았고, 비행을 실현하기 위한 구체적인 작업을 한다. 레오나르도 다빈치(Leonardo da Vinci)도 그랬다.

레오나르도 다빈치의 비행 연구

“단 한번이라도 하늘을 날아 보았다면,
대지를 거니는 눈은 창공을 향할 것이다.
그곳에 머무른 적이 있기에, 그곳에 돌아가길 염원하기에.”

- 레오나르도 다빈치



▲ 레오나르도 다빈치의 비행에 대한 연구서 『새들의 비행』에 기록된 새의 비행과 이를 모방한 비행 기계에 대한 묘사¹

레오나르도는 인간의 비행을 꿈꾸며, 새가 어떻게 날아 오르고, 비행하며, 내려 앉는지를 오랫동안 관찰하고 꼼꼼히 기록했다. 그가 남긴 비행에 대한 연구서 『새들의 비행

1. <https://airandspace.si.edu/exhibitions/codex/>

『Codex sur le vol des oiseaux』에는 새가 오르내리거나 방향을 바꿀 때, 바람의 방향에 따라 날개와 꼬리를 어떻게 다르게 움직이는 지에 대한 자세한 묘사가 담겨 있다. 뿐만 아니라 그가 제작하려는 ‘비행 기계’가 새와 같이 날기 위해서 어떻게 설계되어야 하고 움직여야 하는지를 중력과 무게 중심 등의 개념을 이용하여 분석하였다. 이러한 새의 비행에 대한 꾸준한 관찰과 면밀한 분석을 바탕으로 레오나르도는 박쥐 모양의 날개를 가진 비행 장치인 ‘우첼로(Uccello, 거대한 새)’를 제작하였다. 이듬해 1496년 1월, 이태리 피렌체 근처의 체체리 산에서 그는 시험 비행에 나섰다. 비행에 필요한 동력을 얻기 위해 열심히 우첼로의 페달을 돌렸지만 하늘을 나는 데는 실패하고 말았다. 이후에도 수년간 레오나르도는 새의 날갯짓을 모방한 비행 시험을 이어 갔지만, 끝내 성공하지는 못했다. 인간의 힘만으로는 비행에 필요한 충분한 양력을 만들어 낼 수 없었기 때문이다. 하지만 그는 이렇게 계속되는 실패에도 굴하지 않았다. 레오나르도는 생을 다할 때까지 새의 신체 구조와는 다른 형태로 날 수 있는 방법을 계속 고민했고, 나사의 원리에 착안하여 나선형 날개를 회전시켜 하늘을 나는 오늘날의 ‘헬리콥터’ 형태를 고안하기도 했다

하늘을 나는 도전

사실 하늘은 인간의 영역이 아니었다. 인간은 땅의 주인이고, 하늘의 주인은 신이다. 따라서 하늘을 날고자 하는 인간의 노력은 신의 세계를 침범하는 불경스러운 일이다. 아버지 다이달로스(Daedalus)의 충고를 어기고 하늘을 나는 매력에 취해 태양에 더 가까이 가고자 했던 이카루스(Icarus)는 결국 날개를 떨어뜨리고 추락할 수밖에 없었다. 그럼에도 불구하고 인류는 이차원의 대지를 벗어나 삼차원의 하늘로 도약하는 도전을 멈추지 않았다. 진정으로 하늘을 나는 것은 높은 곳에서 출발해서 떨어지는 추락이 아니라, 땅에서 공중으로 몸을 날려 힘차게 뛰어오르는 도약부터 시작되어야 한다. 그러나 거대한 돌덩어리 지구가 끌어당기는 중력을 이겨 내기는 쉽지 않았다. 아무리 빠른 걸음으로 땅을 박차고 하늘을 향해 뛰어 날아올라도, 중력은 곧바로 인간을 원래의 땅으로 되돌려 보냈다. 마치 산꼭대기까지 열심히 밀어 올려 보지만, 번번히 다시 원래 자리로 굴

러 내려오는 시지프스(Sisyphus)의 큰 바위처럼. 하지만 결국 인류는 공기의 흐름에 대한 과학 연구를 바탕으로 열기구를 만들어내고, 내연기관을 사용하여 양력에 필요한 동력을 얻음으로써, 천형(天刑)과도 같은 중력을 극복하고 자유롭게 하늘을 날 수 있게 되었다.

아기새의 비행

사실 새도 날 수 있는 능력을 태어날 때부터 가지고 있지는 않다. 아직 하늘을 날 수 있을 정도로 충분히 날개 근육이 발달하지 못한 아기새는 어미새의 날갯짓을 유심히 관찰하면서 하늘을 이리저리 나는 그림을 나름대로 그려본다. 그리고 시간이 지남에 따라 아기새의 근육이 점차 늘어나면, 하늘을 날기 위한 여러 날갯짓들을 ‘시도(試圖)’할 수 있는 능력이 생긴다. 하지만 한 두번의 시도만으로는 새가 날 수 없다. 어미새의 멋진 비행을 그럴듯하게 따라하기 위해서는, 시도를 시도 때도 없이 꾸준히 해야 한다. 이렇게 여러 상황과 다른 조건에서의 수많은 시도들을 통해 경험이 넉넉히 쌓여야만, 아기새는 비로소 버둥거리는 날갯짓에서 벗어나 어미새와 같은 우아한 비행에 도전해 볼 수 있다.

도전 정신

‘도전(挑戰)’은 ‘挑(돋을 도)’와 ‘戰(싸울 전)’이 결합된 단어로서 싸움을 돋우는 것, 즉 정면으로 맞서 싸움을 거는 것을 의미한다. 도전을 통해 맞서 싸우고자 하는 대상은 여러가지가 될 수 있겠지만, 가장 중요한 싸움 상대는 ‘나 자신’이다. 나 자신에게 도전한다는 말의 의미는 ‘기존의 나’에게 거는 싸움이라는 것이다. 이렇게 나 자신에게 ‘n 번의 도전’을 하면, 내 안에 ‘n 개의 새로운 나’를 생성시킬 수 있다. 새로운 나에게 패배한 이전의 나는 사라지지 않고, 또 다른 나로서 그대로 존재하기 때문이다. 내 안에 서로 다른 내가 더 많이 존재할수록, 내가 도전하면서 맞닥뜨리는 실패에 대한 완충용량은 더욱 더 커지게 된다.

실패에 대한 두려움과 새로움이 주는 낯섦은 새로운 도전을 주저하게 만든다. 하지만 불안감과 불편함을 견딜 수 있어야 편안함과 익숙함의 기쁨을 맛볼 수 있다. 새로운 도

전의 두려움과 낯섬을 극복하기 위해서는 도전의 대상을 회피하지 않고 정면으로 맞서는 자발적인 용기가 필요하다. 외부에서 주어지는 자극에 의해서가 아니라 내 안에서 자체적으로 생성되는 용기여야만 지속적인 도전이 가능해진다. 도전을 하면서 겪게 되는 실패의 경험은 피할 수 없는 숙명이다. 하지만 실패를 거듭하면서 실패의 길은 줄어들게 되고, 성공의 길이 점점 뚜렷해진다.

연구와 도전 정신

도전 정신은 과학 연구를 수행하는데 있어 여러가지 핵심적인 역할을 한다. 첫째, 도전 정신은 과학자들이 기존에 연구되지 않았던 분야를 개척하고, 쉽게 풀리지 않는 복잡한 문제에 뛰어들게 하는 원동력이다. 때로는 무모해 보이는 이러한 도전들을 통해 기대하지 않았던 획기적인 발견을 하기도 한다. 둘째, 도전 정신은 새로운 변화에 대해 능동적인 대처를 가능하게 한다. 연구자의 연구 주제와 내용은 한 곳에 머무르지 않고 계속 변화하며 진화한다. 새로운 도전에 준비된 연구자들은 연구가 진행되면서 마주치게 되는 연구 방법이나 방향의 변화에 쉽게 적응하여 대응할 수 있다. 셋째, 도전 정신은 연구 하면서 무수히 겪게 되는 실패와 좌절을 극복할 수 있는 기반이 된다. 연구를 수행할 때 실험이 번번히 실패하는 것은 전혀 드문 일이 아니다. 힘들고 어려운 실험을 할수록 실패의 빈도는 더 잦아질 수밖에 없다. 실패를 새로운 기회가 주어진 것으로 간주하는 도전적인 연구자는 연구 중에 어려움에 처했을 때 연구를 포기할 가능성이 낮고, 해결책을 찾아 장애물을 극복해 낼 수 있

다. 넷째, 도전 정신은 서로 다른 분야의 연구자들간에 공동 연구를 진행하는데도 중요한 요소이다. 여러 학문 분야를 가로지르는 복잡한 문제를 해결하기 위한 다학제적 연구에서는 연구자들의 유기적인 협업이 연구의 성과를 좌우한다. 도전을 즐기는 연구자들은 다른 학문 분야에 대한 수용에 보다 적극적이고, 문제 해결을 위해 자신의 시간과 노력을 더 투자하는 희생을 감수하는 것을 마다하지 않는다. 끝으로, 도전 정신은 과학 연구자의 문제 해결 능력을 키우는데 필수적이다. 과학 연구는 본질적으로 답을 찾지 못한 질문들이나 풀리지 않은 문제들을 해결하는 과정이다. 도전적인 연구자들의 특징인 호기심, 인내력, 꾸준함, 열린 마음, 긍정적 사고는 문제에 대한 체계적이고 논리적인 분석을 통해 목표 달성을 위한 실행 전략을 세우고, 이를 상황에 맞게 유연하게 적용함으로써 문제 해결의 가능성을 높여준다.

과학 연구의 역사는 무수한 도전의 역사이다. 갈릴레오 갈릴레이(Galileo Galilei)는 천동설에 도전했고, 알버트 아인슈타인(Albert Einstein)은 시공간의 절대성에 도전했다. 이들은 당시에 '진리'라고 믿어 의심치 않았던 철옹성 같은 이론들에 대한 과감한 도전을 통해 과학의 영역을 넓혀왔다. 비록 한 연구자의 무모해 보이는 도전들이 결국 실패로 마무리 되더라도, 그 도전들을 통해 얻은 실패의 경험과 기록들은 다음 연구자들이 새로운 도전을 하는데 든든한 디딤돌이 되었다. 새처럼 하늘을 나는 것을 꿈꾸었던 인간은 이제 대기권을 벗어나 새들은 날아갈 수 없는 우주까지 날아가 우주의 시작과 끝의 증거를 찾고 있다.



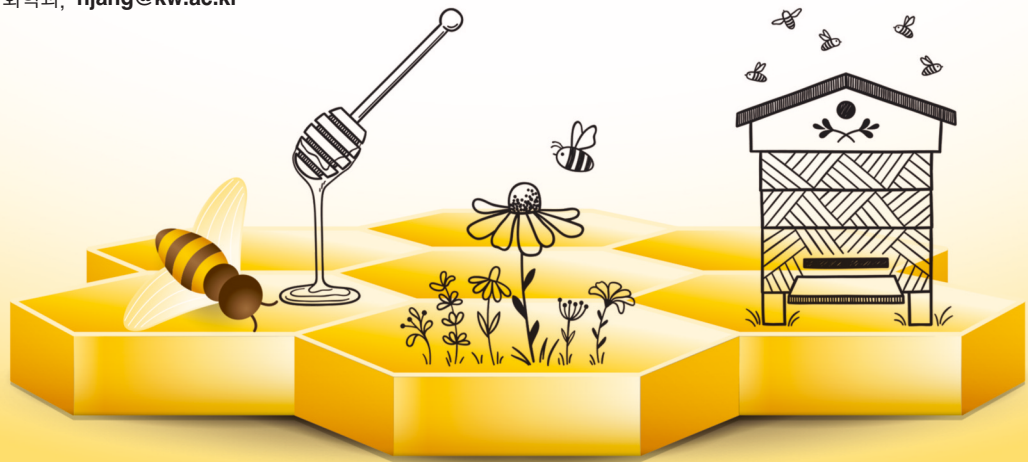
김태영 Tae-Young Kim

- 서울대학교 화학과, 학사(1993.3-1999.2)
- 서울대학교 화학과, 석사(1999.3-2001.2, 지도교수 : 김희준)
- Indiana University 화학과, 박사(2002.1-2009.9, 지도교수 : James P. Reilly)
- California Institute of Technology 박사 후 연구원(2009.9-2010.9, 지도교수 : Jesse L. Beauchamp)
- University of California at Los Angeles 박사 후 연구원(2010.9-2012.2, 지도교수 : Peipei Ping)
- 광주과학기술원 기초교육학부 조교수(2013.3-2016.2)
- 광주과학기술원 지구·환경공학부 조교수, 부교수(2016.3-현재)



꿀에 대한 속설과 화학적 관점

장흥제 | 광운대학교 화학과, hjang@kw.ac.kr



“화학은 우리 삶과 어떤 관계가 있나요?”

강연이나 인터뷰를 하면 가장 자주 듣는 질문 중 하나다. 그리 유별나고 날카로운 질문은 아니다. 물리나 생명과학 등 어느 과학 분야에도 적용될 수 있고, 과학이 아닌 다른 학문 분야로도 치환될 수 있다. 그럼에도, 단순함에도 명확한 표현이 어려운 질문이기도 하다. ‘인간, 환경, 도구, 자연 등 주위의 모든 것이 화학과 화학 분자로 이루어져 있으며, 화학 반응을 통해 시간 축을 따라 세상이 움직인다.’ 설명함이 가장 거대한 답변이다. 웬지 모를 씩쓸한 끝 맛이 남는다. 뻔한 질문에 당연한 대답은 누구를 납득시키기 위한 것이었을까? 그럼에도, 부인 못 할 사실을 이야기한 것이며 우리 생각보다도 더 깊이 화학 원리들이 경험적 지식 위에 깔려있음을 이야기해보자. 그것도 아주 달콤하게.

‘꿀은 상하지 않는다’에 대해

모든 식품은 시간이 흐르면 신선한 상태를 잃게 된다. 차

갑게 보관하지 않으면 과일이나 채소는 며칠 만에 짓무르고 변색되며 끈적한 냄새를 풍기기 시작한다. 물론 냉장보관 역시 영원한 신선함을 보장하지 않는다. 탄수화물과 단백질, 지방으로 이루어진 식재료들은 어디선가 날아들어 달라붙은 세균의 증식에 의해 부패로 변질됨이 자연스러운 과정이다. 세균 역시 생명체인 만큼 섭취해 증식하기 위한 영양소와 환경이 필요하며, 대부분은 당분의 공급이 열쇠를 쥐고 있다. 하지만 기묘하게도, 사실상 거의 당분으로만 이루어진 식품인 꿀은 의외로 상하지 않는 식품이라는 속설이 있기도 하다.

강렬한 단맛에서 예상되듯 꿀을 구성하는 물질의 대부분은 즉각적으로 흡수되는 단당류가 대부분을 차지한다. 과당이 38.5%를 차지하며 그 뒤를 31.0%의 함량으로 포도당이 뒤따른다. 단 두 종류의 당 분자가 무려 70%를 구성하며, 이들의 결합(과당+포도당)으로 이루어지는 설탕은 단 1.5%에 불과하다. 물론 그 외 성분 또한 다른 이당류(포도당+포도당)인 말토스가 7.5%인 만큼 당 덩어리라 해도 과

장이 아니다.

세균의 먹잇감임에도 꿀이 상하지 않는 것은 두 가지 이유로 요약된다. 첫째로 과한 것은 독이 되기 때문이다. 꿀에 포함된 수분은 아무리 많아도 20%를 넘지 않는다. 꿀과 비슷하게 상한 것을 찾아보기 힘든 유사한 식재료인 잼이나 시럽을 살펴봐도 비슷한 경향을 보인다. 이들 모두 33% 내외의 수분을 포함하며, 사실상 섭씨 20도에서 설탕의 용해도를 고려했을 때 포화상태에 속한다. 이보다도 적은 수분으로 이루어진 꿀은 세균이 증식하기에 과도하게 높은 당과 적은 수분으로 이루어진 물질인 썸이다.

두 번째는 꿀이기 때문에 갖는 항균성이다. 꿀벌은 꽃을 찾아다니며 꿀을 채취해 체내의 꿀주머니(honey stomach)에 저장한다. 소화를 위한 위(stomach)와는 구분되는 장기이자 꿀의 저장과 처리만을 위한 특별한 장소다. 꿀주머니에 모인 꿀은 이제 꿀벌의 하인두선(hypopharyngeal gland)에서 생성되는 자당 분해 효소인 인버테이스(invertase)에 의해 분해된다. 꽃에서 채취한 설탕(자당)이 어째서 꿀에는 포도당과 과당의 형태로 분해되어 있는가에 대한 해답은 꿀벌의 역할에 있다. 임무를 마치고 돌아온 꿀벌은 모아 처리한 꿀을 토해내 벌집을 채우는 방식으로 저장하는 데, 이 과정에서 소량의 포도당 산화효소가 뒤섞여 들어간다.

포도당 산화효소는 이름 그대로 수분 환경 속에서 포도당과 산소의 화학 반응을 일으켜 글루코노락톤(gluconolactone)과 과산화 수소를 생성한다. 과산화 수소는 소독약으로도 흔히 사용되는 만큼, 과량은 독성을 보일 수 있지만 꿀에 함유된 소량은 단순히 항균 물질로 세균의 발생과 증식을 억제해 부패를 방지하는 효과가 있다. 추가적으로 글루코노락톤은 남아있는 수분과 반응해 산성 물질인 글루콘산(gluconic acid)로 변화하는데, 3.2~4.5에 해당하는 꿀의 낮은 pH는 여기서 기인한다. 물론 약산성 환경 역시 세균의 증식을 억제하는 효과에 기여함은 당연하다.

결국, 꿀의 달콤함과 끈적임, 꿀벌의 노력에서 유래한 항균성 과산화 수소의 생성과 산성 환경의 조성은 꿀이 세균에 의해 상하지 않는 식품이 되게 한다. 꿀의 관리가 소홀해 과산화 수소를 분해하는 과산화 효소(peroxidase)나 카탈레이스(catalase)가 뒤섞인다면, 그리고 높은 습도로 수분 함량이 높아진다면 꿀 역시 변질된다. 절대 상하지 않는



꿀은 성분과 첨가물 덕분에 상하지 않는다.

기묘한 식품은 존재하지 않으며, 단지 복합적인 화학 원리들이 꿀을 특별하게 만드는 것뿐이다.

‘금속은 꿀을 상하게 한다’에 대해

이 칼럼을 쓰는 이유를 솔직히 이야기한다면, 최근 꿀을 털어내려고 평소 사용하던 스테인리스강 재질의 금속 숟가락을 사용했고, 금속 도구를 사용하면 꿀이 상하니 나무 재질을 사용해야 한다는 가벼운 꾸중을 들었기 때문이다. 의아함을 느꼈던 것은 다큐멘터리에서 본 양봉업에서는 목재 도구만을 고집하지 않고 누가 봐도 금속으로 여겨지는 다양한 물품들도 사용하고 있었기 때문이다. 제아무리 천연 꿀을 취급한다 해도, 많은 양을 생산함에 필수적인 현대 산업에서 목재를 고집하는 것은 합리적이지 못하다. 결국 내구성있고 관리가 편리한 금속 제품의 도입이 중요해진다. 양봉업자들이 벌통에서 꺼낸 벌집을 모으고 가공하는 데 금속 기계들이 사용되며, 꿀을 퍼 옮기는 도구인 허니 스틱 역시 고급스러운 금속제가 많이 판매되고 있다.

결론부터 이야기하자면 금속은 꿀을 부패시키지만, 모든 금속이 그렇지는 않는다. 꿀의 가공이나 취급에 사용되는 금속은 스테인리스강에 해당한다. 스테인리스강은 이름 그대로 녹슬지 않는 철강 물질이다. 성분으로는 기본적으로 철합금에 해당하는 만큼 절반가량이 철(Fe)로 이루어져 있으며, 녹슬지 않는다는 고유의 성질을 부여하기 위한 크롬(Cr)과 니켈(Ni)이 각각 20% 내외씩 뒤섞여 있다. 그 외 몰리브덴(Mo)이나 알루미늄(Al), 구리(Cu)와 같은 미량 금속과 더불어 철강 특유의 탄성과 강도를 부여하기 위한



산화 철은 인공 효소의 한 종류로 과산화 수소를 분해하는 능력이 있다.
[출처: Wikipedia]

금속과 더불어 철강 특유의 탄성과 강도를 부여하기 위한 탄소(C)역시 0.1% 미만 포함되어 만들어진다. 철보다 쉽게 녹슬지만 투명하고 튼튼한 산화물을 이루는 크로뮴 등이 표면을 뒤덮어 철이 녹슬지 않게 된다. 여러 금속 원소들이 나열되었지만, 꿀의 관점에서 가장 주의해야 하는 것은 철이다.

철이 녹슨다는 현상은 산소와 결합하는 산화의 관용적인 표현이다. 철은 두 개의 전자를 잃는 대신 하나의 산소와 결합해 산화 철(II)(FeO)을 형성하며, 그중 일부의 철이 추가적으로 전자를 더 잃어버린다면 두 종류의 철 이온이 뒤섞여 만들어진 산화 철(II, III)(Fe₃O₄)로 변모한다. 모든 철이 산화된다면 산화 철(III)(Fe₂O₃)이 되어 우리가 상상하는 붉은빛의 바스라지는 녹이 된다. 중요한 것은 단순히 철제 손가락을 꿀에 담가 오염되는 것을 우려하는 것이 아니다.

산화된 철은 우리 몸속에서도 중요한 작용에 포함된다. 적혈구 속 헤모글로빈에 잡힌 채 산소를 운반하는 데 사용되며, 다양한 효소 작용으로 인체의 기능을 유지하는 데 쓰인다. 철은 효소의 일부이기도 하지만, 그 자체로 효소가 되기도 한

다. 산화 철은 무기물이 생체 효소의 작용을 모사하는 인공 효소(artificial enzyme)의 시작이었으며 나노입자 형태의 작은 알갱이로 작동하는 나노자임(nanozyme)의 대표적인 예다.

조각, 알갱이, 나노입자 등 무엇이 되었건 산화 철 인공 효소의 작용은 두 가지로 구분된다. 만약 매질의 산성도가 염기성(pH>7)이라면 과산화 수소를 분해해 산소로 변화시키는 카탈레이스로 작동하며, 매질의 산성도가 산성(pH<7)이라면 이번에는 과산화 수소를 다른 방식으로 분해해 높은 반응성을 갖는 활성 산소종인 수산화 라디칼(\cdot OH)로 변환시키는 과산화 효소가 된다. 앞서 살펴봤듯 꿀은 산성 물질이니 과산화 효소 작용이 발생하게 된다. 물론 어느 환경이든 꿀이 부패하지 않도록 보호하는 과산화 수소가 소모되어 언제든 상할 수 있는 위태로운 상태가 됨은 자명하다.

스테인리스강이 발명되지 않은 과거에도 꿀은 달콤함으로 인간의 곁에 있었다. 그리고 구리나 철 등이 함유된, 산화에 그다지 강한 저항성을 보이지 않는 금속 도구들을 사용한다면 꿀의 산성 환경에 의해 산화되어 보이지 않는 아주 작은 인공 효소 금속조각들을 꿀에 미량 흩뿌려왔을 것이다. 촉매나 효소는 그 자체는 변화하지 않은 채 계속해서 화학 반응을 일으키는 물질인 만큼, 아무 문제 없어 보였던 꿀도 어느 순간 부패하고 말았을 것이다. 금속으로 꿀을 다루면 상한다는 이야기는 근거 있는 과거의 일화였음이 충분히 예상되며, 스테인리스가 보급된 현대 사회에서 같은 결과가 관찰되지 않았다고 미신이나 속설로 치부할 필요는 없겠다.

꿀의 속설만으로도 이야깃거리가 쏟아지듯, 화학은 우리 삶 어디에나 있다.



장 홍 제 Hongje Jang

- KAIST 화학과, 학사(2004.3 - 2008.2)
- KAIST 화학과, 박사(2008.3 - 2013.8, 지도교수 : 한상우)
- 서울대학교 화학과 박사 후 연구원(2013.9 - 2015.1, 지도교수 : 민달희)
- Georgia Institute of Technology, Department of Chemistry and Biochemistry 박사 후 연구원(2015.1 - 2016.1, 지도교수 : Mostafa A. El-Sayed)
- 광운대학교 화학과 부교수(2016.3 - 현재)

132회

대한화학회 학술발표회 초록등록 안내

2023년 10월 25일~27일(3일간)
김대중컨벤션센터, 광주

사전등록 2023년 6월 22일~9월 21일, 17:00까지



01. 기조강연



Prof. **Sukbok Chang**

KAIST / IBS

“Catalytic C-H Amination Reactions: Scope and Intermediacy of Metal Nitrenoids”

02. 심포지엄 및 구두발표 주제/조직책임자

심포지엄

분과회	No.	주제	조직책임자	이메일
고분자화학	1	고분자 합성 연구의 최신 동향	이인환(아주대학교)	ilee@ajou.ac.kr
	2	중건 고분자화학 연구자 심포지엄	서명은(한국과학기술원)	seomyungeun@kaist.ac.kr
	3	지속가능형 고분자 소재의 최신 연구동향	박제영(서강대학교)	jeypark@sogang.ac.kr
무기화학	1	무기재료화학의 최신 연구동향	임주현(강원대학교)	jlim@kangwon.ac.kr
	2	배위화학 및 유기금속화학의 최신 연구동향	김진영(서울대학교)	jykim@snu.ac.kr
	3	나노화학의 최신 연구동향	박정은(광주과학기술원)	parkje@gist.ac.kr
물리화학	1	광전기화학 연구의 최근 동향	황윤정(서울대학교)	yjhwang1@snu.ac.kr
	2	컴퓨터와 화학: 최신 연구 동향	김현우(광주과학기술원)	hwk@gist.ac.kr
	3	에너지 과학을 위한 물리화학의 최신 연구동향	손운용(충북대학교)	nunyong@chungbuk.ac.kr
분석화학	1	산업 문제 해결을 위한 분석화학 최신 연구 동향	김기훈(한국과학기술연구원)	kihun.kim@kist.re.kr
	2	첨단 분석화학 최신 연구 동향	김민식(대구경북과학기술원)	mkim@dgist.ac.kr
생명화학	1	생체분자 응집현상 연구의 최신 동향	박종민(강원대학교)	jpark@kangwon.ac.kr
	2	바이오시스템 엔지니어링 연구의 최신 동향	고민섭(부산대학교)	mikoh@pusan.ac.kr
유기화학	1	국외 유기화학자 심포지엄	이흥근(서울대학교)	hglee@snu.ac.kr
	2	유기화학의 최신 연구 동향	윤주영(이화여자대학교)	jyoon@ewha.ac.kr
	3	촉매유기화학의 최신 연구 동향	배한용(성균관대학교)	hybae@skku.edu

분과회	No.	주제	조직책임자	이메일
의약화학	1	의약화학인상 수상 강연	임상민(한국과학기술연구원)	smlim28@kist.re.kr
	2	최신 유전자 암호화 라이브러리 기술 동향	이규명(한국화학연구원)	kmlee@kricr.re.kr
재료화학	1	2023 BKCS의 선택-재료화학	박성진(인하대학교)	sungjinpark@inha.ac.kr
	2	배터리 응용을 위한 재료화학의 최근 동향	김종순(성균관대학교)	jongsoonkim@skku.edu
	3	양자특성을 갖는 나노소재의 합성부터 응용까지	김인영(이화여자대학교)	iykim@ewha.a.kr
전기화학	1	전기유기합성: 전기화학 그리고 유기화학	최창혁(포항공과대학교)	chchoi@postech.ac.kr
	2	탄소중립을 위한 전기촉매 화학 반응	황윤정(서울대학교)	yjhwang1@snu.ac.kr
	3	기초전기화학의 최신 연구 동향	박준희(충북대학교)	jhp@cbnu.ac.kr
화학교육	1	화학교육의 최근 이슈와 연구 동향	최원호(순천대학교)	stensil@scnu.ac.kr
	2	과학영재를 위한 화학교육	김기향(세종과학예술영재학교)	matari@sasa.hs.kr
환경에너지	1	(초)미세플라스틱 검출 및 인체/환경영향	김은주(한국과학기술연구원)	eunjukim@kist.re.kr
	2	이산화탄소 포집·활용 알키미스트 기술: 탄소부터 액체 연료까지	박현웅(경북대학교)	hwp@knu.ac.kr
KCS	1	[미래혁신 화학심포지엄 및 BKCS 심포지엄] 화학이 만드는 우리 인생의 이야기	조재흥(울산과학기술원)	jaeheung@unist.ac.kr
	2	[미래혁신 화학심포지엄] 4차 산업혁명 시대 화학교육의 선진화를 위한 최신 화학 소개	이혁진(공주대학교)	hyuckjin@kongju.ac.kr
	3	[미래혁신 화학심포지엄] Sub-nm 급 반도체용 소재 혁신 위한 화학의 역할	정현담(전남대학교)	hdjeong@chonnam.ac.kr
	4	[미래혁신 화학심포지엄] 엔트로피 접근법을 통한 고성능 다성분계 거대분자 소재	고두현(성균관대학교)	dhko@skku.edu
	5	[미래혁신 화학심포지엄] 상 전이 거동에 대한 융합적 이해	최정모(부산대학교)	jmchoi@pusan.ac.kr
	6	[KCS-ACS Applied Bio Materials Research Publications Summit] 나노바이오 화학 분야 주요 연구 트렌드와 도전	김종승(고려대학교)	jongskim@korea.ac.kr
	7	[IBS 심포지엄] 탄소 및 탄소 관련 재료	Rodney S. Ruoff(IBS)	ruofflab@gmail.com
	8	[KCS] 젊은 화학자 특별 심포지엄	김태규(연세대학교)	tkkim@yonsei.ac.kr
			이윤미(광운대학교)	ymlee@kw.ac.kr
9	[KCS-RSC Joint 심포지엄] 에너지 과학의 다학제적 접근	황성주(연세대학교)	hwangsju@yonsei.ac.kr	

구두발표

- 발표자 선정 및 발표시간 확인은 추후 홈페이지를 통해 확인 가능합니다.

분과회	No.	주제	조직책임자	이메일
고분자화학	1	젊은 고분자화학 과학자를 위한 구두발표	김정곤(전북대학교)	jeunggonkim@jbnu.ac.kr
무기화학	1	젊은 무기화학자를 위한 구두발표	이경훈(경상국립대학교)	klee1@gnu.ac.kr
물리화학	1	젊은 물리화학자 구두발표	민승규(울산과학기술원)	skmin@unist.ac.kr
분석화학	1	젊은 분석화학자 구두발표	유성주(아주대학교)	sungjuyu@ajou.ac.kr
	2	후속세대 분석화학자 구두발표	하지원(울산대학교)	jwha77@ulsan.ac.kr
생명화학	1	젊은 생명과학자를 위한 구두발표	이민희(숙명여자대학교)	minheelee@sookmyung.ac.kr
유기화학	1	젊은 유기화학자 구두발표	최이삭(충북대학교)	isaac.choi@chungbuk.ac.kr
의약화학	1	젊은 의약화학자 구두발표	김중훈(숭실대학교)	jhkim19@ssu.ac.kr
재료화학	1	젊은 재료화학자를 위한 구두발표	양지웅(대구경북과학기술원)	jiwoongyang@dgist.ac.kr
전기화학	1	젊은 전기화학자를 위한 구두발표	박준희(충북대학교)	jhp@cbnu.ac.kr
환경에너지	1	환경에너지 일반발표	김효원(한국에너지공과대학교)	hwkim@kentech.ac.kr

03. 연회비 및 참가비 안내

연회비 및 참가비 납부 안내

*종신회원 회비 : 1,400,000원 (가입 당시 정회원 연회비의 20년치)

회원구분	연회비	사전등록		현장등록	
		A	B(연회비 면제)	A	B(연회비 면제)
종신회원	1,400,000원*	100,000원	-	120,000원	-
정회원	70,000원	100,000원	170,000원	120,000원	190,000원
교육회원	50,000원	60,000원	110,000원	70,000원	120,000원
학생회원					
비회원		-		250,000원	

- 학술발표회 및 총회 참가자는 올해 회비를 납부한 본회 회원이어야 합니다. 따라서 지난해 정회원, 교육회원, 학생회원은 먼저 2023년도 회비를 납부하여 주시기 바랍니다.
- 참가비 사전등록 : 2023.6.22(목)-9.21(목) ※사전등록 마감 후에는 현장등록을 하셔야 합니다.
- 학부생(대학원생 제외) : 학생증을 제시할 경우 참가비 면제(단, 학부생이어도 초록 저자/공동저자/발표자는 면제에서 제외됩니다.)
- 만 65세 이상 회원 : 참가비 면제

학회 참가비 지원 프로그램 안내

회원구분	사전등록		현장등록	
	A	B(연회비 면제)	A	B(연회비 면제)
종신회원	50,000원	-	60,000원	-
정회원	50,000원	120,000원	60,000원	130,000원
교육회원	30,000원	80,000원	35,000원	85,000원
학생회원				

- 연구비 지원을 받지 않고 자비로 학술발표회에 참가하는 회원들에게는 학회에서 일정액을 지원해 주는 제도입니다. (참가비의 50% 지원)
- "연구비 지원이 없는 국내 화학자 지원 프로그램으로 학술발표회 참가비 일부 금액을 대한화학회에서 지원함"이라는 문구가 영수증에 명시됩니다.
- 신청 방법: 참가비 결제페이지에서 온라인 접수

환불규정

연회비와 참가비 환불 마감일

- 초록 수정 및 삭제 기한까지 초록을 접수 취소(삭제)할 경우 연회비와 참가비를 환불해 드립니다.
- 초록 수정 및 삭제 기한 종료 후에는 초록의 접수 취소(삭제)는 불가하며, 발표 취소로 처리됩니다.
- 기념강연 및 특별 강연, 심포지엄, 구두발표, 포스터발표의 발표자가 초록 수정 및 삭제 기한 종료 후에 발표를 취소할 경우 연회비는 환불 불가하고, 참가비는 사전등록 마감일(9월 21일(목), 17:00)까지만 요청에 의하여 환불해 드립니다.
- 개인 사정으로 참가비를 환불해야 할 때에는 사전등록 마감일까지 접수된 요청에 한하여 환불해 드립니다.
- 재결제 규정 : 재결제를 포함한 결제 변경에 대한 최종 요청일은 학술발표회 종료 후 14일 이내만 처리 가능합니다. 사전등록 결제 기간이 지나고 재결제 시 현장등록비로 변경되어 결제 진행됩니다.
- 영수증 출력 : 마이페이지에서 회원확인/회비 및 참가비 결제/영수증 출력 등이 가능합니다.
- 환불 및 재결제 요청 접수 : member@kcsnet.or.kr

04. 심포지엄 및 구두발표 주제 요약문

고분자화학분과회

| 심포지엄 1 |

고분자 합성 연구의 최신 동향

본 심포지엄에서는 고분자 합성 연구의 최신 동향들을 공유할 수 있는 시간을 마련하였다. 고분자 합성 방법론은 고분자의 구조를 정밀하고 다양하게 합성하는데 있어 근간이 되는 학문 분야이다. 최근 고분자 합성 연구의 발전은 물성, 기능성, 더 나아가 분해성을 고려한 신규 고분자 재료의 탄생을 가능하게 하고 있다. 고분자 합성에 대한 발표와 토론을 통하여 관련 연구의 잠재력과 발전 방향에 대한 의견을 서로 교류할 수 있는 시간이 될 것이다.

| 심포지엄 2 |

중견 고분자화학 연구자 심포지엄

고분자화학분과회의 중견 연구자 특별심포지엄으로, 고분자화학 분야에서 중요 연구주제를 다년간 수행해온 중견 연구자의 주목할 만한 연구성과를 보고하는 시간을 마련하였다. 최근 고분자 화학 연구의 발전에 대한 발표와 토론을 통하여 고분자화학 관련 연구가 앞으로 어떤 방향으로 나아가야 할 것인지에 대한 해답을 찾아볼 수 있는 기회가 될 것으로 기대한다.

| 심포지엄 3 |

지속가능형 고분자 소재의 최신 연구동향

본 심포지엄에서는 지속가능형 고분자 소재의 최신 연구동향들을 공유할 수 있는 자리를 마련하고자 한다. 최근 들어, 플라스틱의 급격한 생산량 증가에 의한 탄소배출 위기 및 폐기되는 플라스틱에 의한 환경 오염 문제가 심각해지면서 이와 같은 사회문제를 해소할 수 있는 지속가능형 고분자 소재 연구에 대한 관심이 증가되고 있다. 지속가능형 고분자 소재의 범위로 바이오매스 활용, 생분해성, 기계화학적 재활용, 업사이클링, 탄소중립 특성에 국한하지 않고 다양한 최신 고분자 소재를 소개하고 토론하는 교류의 장을 제공할 것으로 기대한다.

| 구두발표 |

젊은 고분자화학 과학자를 위한 구두발표

다양한 고분자 화학 분야에서 연구하고 있는 대학원생, 박사 후 연구원 및 신진 연구 인력들의 최신 연구 결과들을 접할 수 있는 기회를 청중들에게 제공하는 것을 목적으로 한다. 고분자화학분과회에서 마련

한 심포지엄 연구발표 주제 이외의 모든 고분자 분야의 주제를 다룰 예정이기 때문에 다양한 분야의 젊은 연구자들 뿐만 아니라 여러 분야에서 연구해 온 청중들에게 좋은 기회가 될 것이다.

무기화학분과회

| 심포지엄 1 |

무기재료화학의 최신 연구동향

무기재료화학은 분자, 초분자, 그리고 고체 무기 재료에 이르는 다양한 형태의 재료 개발을 통해 현재 우리가 직면한 여러가지 문제를 해결하는 실마리를 제공한다. 본 심포지엄에서는 이러한 무기재료화학 분야의 최신 연구 결과를 공유하고 새로운 발전 방향을 모색하고자 한다.

| 심포지엄 2 |

배위화학 및 유기금속화학의 최신 연구동향

최근 무기화학 분야에서는 철저한 분석을 통해 물질에 대한 이해를 심화하고 이를 다양한 응용 분야에 적용하거나 현안을 해결하는 것이 강조되고 있다. 이번 심포지엄은 유기금속화학 및 배위화학 분야의 우수 연구자들의 최근 연구동향 및 다양한 응용 연구 결과를 공유하는 것을 목적으로 한다. 본 심포지엄을 통해 향후 융합 연구를 위한 교류 자리를 마련하고자 한다.

| 심포지엄 3 |

나노화학의 최신 연구동향

나노화학은 화학적 지식을 활용해 나노스케일의 물질을 합성하고 광학적, 화학적, 전기적 속성 등을 연구한다. 그 결과를 바탕으로 물리학, 재료 과학, 생명 과학, 의학, 에너지 등 다양한 분야로의 응용 연구도 활발히 진행 중이다. 본 심포지엄에서는 나노물질을 활용한 연구의 최근 동향과 새로운 연구 방법의 개발에 대해 소개하고자 한다.

| 구두발표 |

젊은 무기화학자를 위한 구두발표

본 세션에서는 다양한 무기화학 분야에서 연구 활동을 하고 있는 박사후연구원 및 대학원생들이 최근 연구 결과를 발표할 수 있는 기회를 제공하고 있다. 이를 통해 국내외 최신 연구 동향을 파악하고 자유로운 토론과 심도 있는 학문적 교류의 장을 갖고자 한다. 또한, 젊

은 무기화학자들의 연구 의욕을 높이고 무기화학 분야의 차세대 리더로 성장할 수 있는데 일조하고자 한다.

물리화학분과회

| 심포지엄 1 |

광전기화학 연구의 최근 동향

광 또는 전기화학 기반의 화학 반응을 제어하기 위해서는 분자의 에너지, 구조, 전자 전달, 촉매 표면과의 상호 작용 및 반응 동역학에 대한 물리화학적 이해가 중요하다. 이러한 광전기화학적 반응은 에너지 및 환경 문제를 해결하기 위한 방안으로 많은 관심을 받고 있다. 계면에서의 반응을 이해하기 위해서, 이론적 접근이나 실시간 반응 중에 특성을 관찰하기 위한 연구 방법이 적용되고 있다. 본 심포지엄에서는 광전기화학 분야의 최근 동향과 새로운 연구 방법 개발 사례에 대해 소개하고, 물리화학이 기여할 수 있는 방향에 대해서 논의하고자 한다.

| 심포지엄 2 |

컴퓨터와 화학: 최근 연구 동향

컴퓨터를 이용한 화학 연구는 실험으로 관찰된 현상을 설명하고 가설을 실현하기 쉽게 하는 귀중한 통찰력을 제공할 수 있다. 본 심포지엄은 컴퓨터를 이용한 화학 연구의 최신 경향을 탐구하는 것을 목표로 한다. 본 심포지엄은 계면에서 현상을 연구하는 데 중점을 둔 양자 화학 계산과 포텐셜 함수나 자율 실험실을 연구하기 위한 인공 지능의 응용이라는 두 가지 하위 주제를 살펴볼 것이다.

| 심포지엄 3 |

에너지 과학을 위한 물리화학의 최신 연구동향

본 심포지엄에서는 에너지 과학을 위한 물리화학 분야의 최신 연구 동향들을 공유할 수 있는 자리를 마련하고자 한다. 최근 환경오염 및 자원 고갈에 대한 이슈로 인해 대체에너지 개발 관련 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 일환으로 분광학적 기술들을 활용하여 효율 향상의 원인을 밝히고, 그 결과를 바탕으로 더 높은 효율을 갖는 디바이스 개발에 기여하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 다양한 에너지 과학을 위한 물리화학 분야의 최신 연구동향들에 대한 정보를 나눔으로써 향후 이 분야의 국내외 발전 방향을 예측할 수 있는 좋은 교류의 장을 제공할 것으로 기대한다.

| 구두발표 |

젊은 물리화학자 구두발표

이 포럼은 이론 및 실험 물리화학 전 분야의 최신 연구 동향을 공유하고, 새로운 연구 주제 발굴하고 공동 연구할 수 있는 플랫폼을 제공하고자 한다. 국내외 젊은 물리화학 연구자뿐만 아니라 박사과정 학생 및 박사 후 연구원의 최근 연구 성과 발표를 권장하며, 이를 통해 젊은 물리화학 연구자의 연구 의욕을 고취시키고 연구자 간 교류를 활성화하는데 기여하고자 한다.

분석화학분과회

| 심포지엄 1 |

산업 문제 해결을 위한 분석화학 최신 연구 동향

현대 산업에서 발생하는 다양한 문제 해결을 위해 혁신적인 분석 기술과 방법을 개발하여 산업 분야에서 발생하는 복잡한 문제를 분석하고 해결하는데 있어 분석화학의 역할이 점점 중요해지고 있다. 본 심포지엄에서는 산업 분야에 적용 가능한 분석화학 연구 동향을 학문적 관점에서 논의하고, 최신 연구 결과를 공유하고, 연구자들의 의견 교류 및 다양한 토론의 장을 마련하고자 한다. 본 심포지엄을 통해 산업 현장에서 발생하는 문제에 대한 신속하고 정확한 해결책을 모색하는데 큰 도움이 될 것으로 기대한다.

| 심포지엄 2 |

첨단 분석화학 최신 연구 동향

본 심포지엄은 첨단 분석화학 분야에서의 최신 연구 동향을 다루는 것을 목표로 한다. 첨단 분석화학은 높은 수준의 연구와 혁신적인 기술 개발로 매우 빠르게 진보하고 있다. 이와 동시에 산업 분야에서의 응용 가능성과 실용성이 중요해지고 있다. 본 심포지엄에서는 분석화학 분야에서의 최신 연구 동향을 공유하고, 신규 분석 기술과 방법의 개발, 응용 분야의 확장 등에 대한 다양한 연구 결과를 논의하고자 한다.

| 구두발표 1 |

젊은 분석화학자 구두발표

본 일반 구두발표에서는 분석화학 전 분야의 최신 연구 동향을 공유하고, 새로운 연구 주제 발굴과 공동 연구 모색을 위한 토론의 장을 마련하고자 한다. 특히, 분석화학을 전공하는 대학원생에게 최근 연구 성과를 발표할 수 있는 기회를 제공하고, 이를 통해 젊은 분석화학

자의 꿈을 키울 수 있도록 격려한다. 본 구두발표를 통해 분석화학의 최신 연구 동향을 파악하고, 대학원생, 신진 연구자, 중견 연구자 간 연구 교류가 활성화될 것을 기대한다.

| 구두발표 2 |

후속세대 분석화학자 구두발표

본 일반 구두발표에서는 분석화학 전 분야의 최신 연구 동향을 공유하고, 새로운 연구 주제 발굴과 공동 연구 모색을 위한 토론의 장을 마련하고자 한다. 특히, 박사학위 취득 예정자, 박사후 연구원, 연구 교수 등 신진 연구자들의 최근 연구 성과를 발표할 수 있는 기회를 제공하고, 이를 통해 학문 후속세대의 독립된 연구자로서 한 단계 더 성장할 수 있도록 한다. 본 구두발표를 통해 분석화학의 최신 연구 동향 공유와 더불어 학생, 신진 연구자, 중견 연구자간 연구 교류가 활성화될 것을 기대한다.

생명화학분과회

| 심포지엄 1 |

생체분자 응집현상 연구의 최신 동향

세포의 주요한 기능을 수행하기 위해서 핵, 미토콘드리아와 같은 세포막으로 구성 되어있는 기관들이 존재한다. 최근에는 이런 세포 소기관 이외에 막이 없더라도 생체분자들이 응집되어 생성되는 다양한 세포 구획들이 존재한다는 사실이 속속 보고되고 있다. 이런 생체 분자들의 응집체들은 다양한 세포의 기능을 조절하는 역할을 할 뿐만 아니라 다양한 질병과도 연관이 있음이 밝혀지고 있다. 본 심포지엄에서는 생체분자 응집현상에 대한 최신 연구 동향을 소개하고 심도 있는 논의를 진행하고자 한다.

| 심포지엄 2 |

바이오시스템 공학 연구의 최신 동향

이 심포지엄에서는 합성생물학 및 단백질 공학 분야를 포함하는 바이오시스템 공학 분야의 최첨단 연구를 소개하고자 한다. 합성 생물학은 유전자 및 단백질과 같은 생물학적 구성 요소를 인공적으로 설계하고 합성하여 유용한 유기 물질 또는 유기체를 만드는 학문이다. 이 기술을 활용하여 고부가가치의 대사물질 및 효소를 생성하고 바이오 연료를 생산할 수 있다. 본 심포지엄에서는 바이오시스템 공학의 새로운 화학 및 생물학적 접근법을 알아보고, 미래 연구 방향에 대한 토론의 장을 마련하고자 한다.

| 구두발표 |

젊은 생명과학자를 위한 구두발표

본 세션에서는 생명과학 분야에서 활발한 연구 활동을 하고 있는 신진 연구자, 박사후연구원 및 대학원생들의 최근 연구결과를 발표하는 기회를 제공하고자 한다. 이러한 기회를 통하여 국내외 최신 연구 동향을 파악하고 자유로운 토론과 심도 있는 학문적 이해를 도모하며 연구자들 사이의 창의적인 융합 연구 및 협력 연구의 기회를 모색하는 기회를 마련한다. 본 세션을 통해 젊은 생명과학자 에게 해당 분야 발전을 선도하는 차세대 리더로서 성장할 수 있는데 일조한다.

유기화학분과회

| 심포지엄 1 |

국외 유기화학자 심포지엄

이 심포지엄은 국외 유기화학 연구자의 최신 연구동향을 공유할 수 있는 자리를 마련하고자 한다. 새로운 광촉매 접목 분야, 비대칭 촉매 분야, 유기붕소화학 등에 대한 혁신적인 아이디어를 토론, 학습 및 교환하기 위한 플랫폼을 제공하는 것을 목표로 한다. 이를 통해 향후 유기화학의 국내외 발전 분야를 예측하고 연구 아이디어를 교환할 수 있는 좋은 기회가 제공될 것이다.

| 심포지엄 2 |

유기화학의 최신 연구동향

유기화합물의 효율적 합성과 다양한 응용은 현대 유기화학의 핵심을 이룬다. 이번 심포지엄에서는 우리나라의 유기화학 분야를 이끌어가고 있는 역대 유기화학분과 회장을 연사로 초청하여 새로운 반응성의 발전과 선택성의 증가, 다양한 응용 분야를 세부 내용으로 하여 최근 연구 동향을 공유하고 유기 화학 및 관련 분야의 연구자들과 의견 교류를 할 수 있는 기회를 제공하고자 한다.

| 심포지엄 3 |

촉매유기화학의 최신 연구동향

새로운 촉매 및 합성 방법을 개발하는 화학은 다양한 분자의 효율적 합성에 직접적으로 적용되는 유기화학에서 매우 중요한 분야이다. 본 심포지엄에서는 이러한 유기합성방법론 및 촉매 반응의 최신 동향에 대해, 전문가들의 활발한 발표 및 토론의 장을 마련하여, 최근의 학문적 진보 및 미래 방향을 조명하고자 한다.

| 구두발표 |

젊은 유기화학자 구두발표

유기화학의 다양한 주제에 관한 발표를 통해 최신 연구 결과들을 공유하고, 새로운 연구 주제를 소개하는 기회를 마련하고자 한다. 특히 대학원생들과 박사후과정 연구원들의 발표를 적극 권장하여 연구 결과를 공유하고 토론할 수 있는 폭넓은 교류의 장을 제공함으로써 유기화학 분야의 발전을 선도하는 차세대 리더로서 성장할 수 있도록 한다.

의약화학분과회

| 심포지엄 1 |

의약화학인상 수상 강연

의약화학분야에서 우수한 과학적 성과를 도출하신 또는 새로운 치료제 개발연구에 기여하신 의약화학자를 선정하여 의약화학인상을 수여하고 수상자의 대표 성과 또는 그간의 의약화학분야에의 기여에 대한 강의를 듣는 심포지엄을 마련하였다. 아울러 의약화학인상 수상자와 밀접한 관계를 가지고 계신 연구자 분들을 초청하여 최신 의약화학 연구동향을 공유하는 심포지엄이 될 것이다. 이 심포지엄을 통해 의약화학 연구자의 우수한 연구성과를 대내외적으로 홍보하고 신약개발 연구의 질적 향상을 모색할 것이다.

| 심포지엄 2 |

최신 유전자 암호화 라이브러리 기술 동향

본 심포지엄에서는 유전자 암호화 라이브러리(DNA-encoded library, DEL) 기술의 최신 연구동향을 공유할 수 있는 자리를 마련하고자 한다. 최근 신약개발의 연구비용을 낮추고, 성공 가능성을 높이기 위한 기반 기술의 개발은 지속적으로 요구되고 있다. 유전자 암호화 라이브러리(DEL) 기술을 이용한 유효물질 발굴은 전통적인 합성이나 스크리닝 방법들보다 획기적으로 빠른 시간 내에 저비용으로 우수한 후보물질을 도출할 수 있는 기회를 제공하고 있다. 본 심포지엄에서는 국내 의약화학분야 연구자들의 역량 제고와 아이디어를 공유를 통해서, 향후 연구 교류에 기여할 수 있는 자리를 마련하고자 한다.

| 구두발표 |

젊은 의약화학자 구두발표

신약개발을 위한 의약화학 전 분야에서, 새로운 연구 주제 발굴과 공동 연구 모색을 위한 토론의 장을 마련하고자 한다. 국내외의 젊은

연구자를 포함해 박사과정 학생 및 박사 후 연구원의 최근 연구 성과 발표를 권장하며, 본 포럼을 통해 젊은 의약화학 연구자의 연구 의욕을 증진하고 연구자간 교류를 활성화하고자 한다.

재료화학분과회

| 심포지엄 1 |

2023 BKCS의 선택-재료화학

재료화학은 고체 무기 재료를 비롯하여, 유기 및 고분자 재료, 바이오 재료 등을 아우르는 대표적인 다학제 연구 분야로 발돋움해 왔다. 재료화학 분야는 새로운 기능성 재료의 개발 및 분석 기법의 개발과 함께 새롭게 개발된 재료의 촉매, 에너지, 광학 및 바이오 분야 개척을 통해 나날이 발전을 거듭하고 있다. 본 심포지엄에서는 Bulletin of the Korean Chemical Society (BKCS) 편집인들이 선택한 국내 재료화학 분야 우수 연구진들을 초청하여 최신 재료화학 연구 결과들을 공유하고 토론할 수 있는 장을 제공하고자 한다.

| 심포지엄 2 |

차세대 이차전지를 위한 재료화학의 최근 동향

리튬이온전지는 현재 소형전자기기에서부터 전자자동차와 같은 중대형 에너지저장 매체로 까지 적용 범위가 확대되고 있습니다. 이에 따라 리튬이온전지의 고에너지밀도와 안전성을 개선하고, 생산 단가를 낮추는 차세대 이차전지의 개발에 많은 관심이 집중되고 있습니다. 이를 위해 양극, 음극, 전해질 소재 등 이차전지의 주요 구성 요소에 대한 원천 기술 연구가 전세계적으로 활발히 진행되고 있습니다. 이 심포지엄에서는 최근 연구되고 있는 차세대 이차전지인 전고체 전지, 소듐 이온전지, 금속-공기 전지 등에 적용되는 고성능 양극, 음극 및 전해질 소재에 관련된 최신 연구 결과를 공유하고, 이에 대해 연구자들이 토론할 수 있는 기회를 제공하고자 합니다.

| 심포지엄 3 |

양자특성을 갖는 나노소재의 합성부터 응용까지

양자특성은 매우 작은 크기의 나노소재들이 가지는 특징으로, 이를 이해하고 제어함으로써 전자 소자를 비롯한 다양한 분야에서 혁신적인 기술 응용의 발전을 이끌 수 있다. 본 심포지엄에서는 양자특성을 갖는 나노소재의 합성부터 물성 분석, 응용 연구를 하고 있는 연구자들을 초청하여 최첨단 나노과학기술의 연구동향을 공유하고자 한다.

| 구두발표 |

젊은 재료화학자를 위한 구두발표

●
 다양한 재료 화학 분야에서 연구하고 있는 대학원생, 박사 후 연구원 및 신진 연구 인력들의 최신 연구 결과들을 접할 수 있는 기회를 청중들에게 제공하는 것을 목적으로 한다. 특히, 재료화학분과회에서 마련한 심포지엄 연구발표 주제 이외의 다양한 재료 분야의 연구 주제를 다룰 예정이기에, 본 포럼을 통해 최신 연구동향을 배우고 연구자 간의 교류 활성화에 좋은 기회가 될 것이다.

기화학 응용 분야가 성장을 거듭하고 있으며 더불어 인접 분야 학문과의 융합을 통해 전기화학의 영역은 빠르게 확장하고 있다. 이러한 전기화학 기반 응용 산업들의 지속적인 성장과 더불어 새로운 응용 기술 개척을 위해서는 제한된 공간에서의 전기화학 반응과 전기적 이중층에서의 반응 조절, 향상된 물질 이동, 전자 전달 동역학과 같은 기초전기화학의 깊이 있는 연구와 이해가 더욱 중요하다. 본 심포지엄에서는 학제 간 토론과 협업을 통해 기초전기화학의 발전을 꾀하는 한편 기술혁신과 다양한 응용분야로의 활용 가능성을 논의하는 기회가 될 것으로 기대한다.

전기화학분과회

| 심포지엄 1 |

전기유기합성: 전기화학 그리고 유기화학

●
 전기화학은 이전에 전통적인 방법을 통해 접근할 수 없었던 다양한 유기 분자의 합성을 가능하게 함으로써 유기화학 분야의 새로운 가능성을 보여주고 있다. 본 심포지엄은 전기화학적 유기 합성이라는 공동의 목표를 바탕으로 유기화학과 전기화학에서 바라보는 두 개의 다른 학문적 관점 및 목표 등을 조화롭게 논의하고자 한다. 서로 간의 심도 있는 토론을 통해 유기화학과 전기화학 사이의 학문적 견해를 좁혀 나가고, 향후 본 학문의 발전을 위한 연구 방향과 통찰력 그리고 적극적인 협업의 기회를 제공하고자 한다.

| 구두발표 |

젊은 전기화학자를 위한 구두발표

●
 다양한 전기화학 분야에서 활발히 연구를 수행하고 있는 젊은 전기화학자들에게 연구 결과를 공유하고 토론할 수 있는 기회를 마련한다. 특히, 대학원생과 박사후 과정 연구원들의 참여를 권장하며, 본 세션을 통해 최신 연구동향을 파악과 동시에 동료 연구자들 간 아이디어 교환을 통해 공동 연구를 모색할 수 있는 기회를 제공한다.

화학교육분과회

| 심포지엄 1 |

화학교육의 최근 이슈와 연구 동향

●
 중등 및 대학 화학교육의 현황, 문제점, 발전 방안 등에 관한 발표와 토론을 통해 화학교수학습 이론의 효과 연구, 화학 교육과정 및 평가 관련 연구, 화학교사의 전문성 신장 및 교사양성 방안, 학교 밖 화학 교육 연구, 스마트 교육 관련 연구, 과학의 본성 연구 등 다양한 화학 교육 이슈와 연구 분야를 소개하는 것을 목적으로 한다. 개별 연구 결과의 발표보다는 여러 연구 결과의 종합에 기반을 둔 통합적인 시각을 제공하고, 중등 및 대학의 화학교육 발전을 위하여 화학 연구자, 화학교육 연구자, 현장 화학교사 사이의 폭 넓은 교류의 장을 제공하고자 한다.

| 심포지엄 2 |

탄소중립을 위한 전기촉매 화학 반응

●
 전기화학적 촉매 반응은 신재생 발전 기술과 융합이 용이한 친환경 촉매 반응 기술로서 관심을 높게 받고 있다. 그 대표적인 반응으로는 수전해 그린 수소 생산 반응, 이산화탄소 전환 반응, 바이오 매스 유래 분자의 고부가가치화 반응, 질소 순환 반응, 혹은 이들의 조합으로 이루어진 C-N 결합 형성 반응 등이 있다. 작은 분자의 산화/환원 반응을 통해 부가가치를 높일 수 있는 전기 촉매 반응에 대해서 다양한 각도에서 살펴보고, 향후 전기 촉매 화학이 탄소 중립 기술 개발에 기여할 수 있는 방향에 대해서 논의하고자 한다.

| 심포지엄 2 |

과학영재를 위한 화학교육

●
 초중등 및 대학에서 이루어지고 있는 과학영재를 위한 화학교육의 현황과 문제점에 대한 발표와 토론을 통하여 미래의 화학자들을 양성하기 위한 효과적인 방안을 모색한다. 발표 주제는 과학영재를 위한 화학교육 프로그램, R&E 프로그램, 탐구 프로그램, AP 프로그램, 학부생 연구 프로그램, 국제공동연구 프로그램 등 과학영재를 위한

| 심포지엄 3 |

기초전기화학의 최신 연구 동향

●
 이 세션은 기초전기화학 분야의 최신 동향과 중요한 발전을 논의하는 것을 목표로 한다. 최근 배터리, 에너지 변환, 바이오센서와 같은 전

화학교육과 관련된 다양한 분야를 폭넓게 다룬다.

환경에너지분과회

| 심포지엄 1 |

(초)미세플라스틱 검출 및 인체/환경영향

미세플라스틱(microplastics; MPs)과 나노플라스틱(nanoplastics; NPs)의 광범위한 확산은 다양한 환경 매체에서 심각한 우려를 야기하고 있다. 국내외 다양한 연구 그룹에서 미세플라스틱과 나노플라스틱의 검출, 거동 및 인체/환경영향과 관련하여 활발한 연구가 진행되고 있지만 검출과 독성 분야에서는 여전히 상당한 지식 격차가 있다. 본 심포지엄에서는 (i) 다양한 환경 매트릭스에서 미세플라스틱과 나노플라스틱의 검출 및 (ii) 수생 생물, 식물 및 인간 세포주에서 그들의 독성에 대한 최근 연구 동향 및 결과를 소개하고자 한다.

| 심포지엄 2 |

이산화탄소 포집·활용 알키미스트 기술: 탄소부터 액체연료까지

최근 이산화탄소 포집 및 전환(Carbon capture utilization, CCU) 기술에 대한 세계적인 관심이 고조되고 있다. 열, 전기, 광 등을 기본 에너지원으로 하여, 이산화탄소를 유용한 화합물로 전환하는 기술은 인류를 구원할 마지막 도전이다. 본 심포지엄은 최근 진행 중인 산업 기술알키미스트프로젝트에서 진행 중인 이산화탄소를 액체화합물로 전환하는 다양한 기술들을 소개하고, 현재 직면한 난관과 이를 극복하는 전략 등에 대해 심도 있는 논의의 장을 제공하고자 한다.

| 구두발표 |

환경에너지 일반발표

본 구두발표에서는 환경에너지화학 분야의 최신 연구동향을 살펴보고자 한다. 특히 환경 및 에너지 관련 기초화학 및 이와 관련된 응용 분야에서 다양한 연구를 수행하고 있는 석·박사 학생 및 연구원들의 최신 연구결과를 소개하며 이를 바탕으로 연구방법에 대한 아이디어를 얻고 최신 분석기술 및 실험기술들을 교류하고자 한다.

KCS

| 심포지엄 1 |

[미래혁신 화학심포지엄 및 BKCS 심포지엄]

화학이 만드는 우리 인생의 이야기

이번 융합 심포지엄은 무기화학분과-의약화학분과-BKCS가 주최하며 "화학이 인간 생활에 미치는 영향"을 실제적인 연구 내용 발표를 통해 토론의 장을 마련하고자 한다. 무기화학, 의약분야 및 화학전반(BKCS) 분야의 석학들이 모여 최신 동향과 연구 결과를 발표하며, 이를 바탕으로 미래 인간 삶의 질 향상을 위한 화학 방향에 대해 토론하고자 한다.

| 심포지엄 2 |

[미래혁신 화학심포지엄]

4차 산업혁명 시대 화학교육의 선진화를 위한 최신 화학 소개

새로운 4차 산업혁명 시대 화학 교육의 최신화를 위하여 다양한 분야에서 활용되고 있는 화학의 최신 연구를 알아가는 것은 중요합니다. 무기화학, 유기금속화학, 생무기화학, 생화학 등 화학의 여러 분야의 발전은 현재 인류가 직면하고 있는 다양한 환경 문제와 에너지 문제 해결 및 의약학분야에서의 발전에 많은 기여를 하고 있습니다. 이러한 화학의 최신 연구를 바탕으로, 4차 산업혁명 시대에서 요구하는 화학 관련 직업군의 다변화에 대응하고, 화학분야 전문성을 강화할 수 있는 교육 방향과 방법을 찾아내어 화학 교육의 최신화와 선진화를 위한 발전 방향에 대한 논의의 장을 마련하고자 합니다.

| 심포지엄 3 |

[미래혁신 화학심포지엄]

Sub-nm 급 반도체용 소재 혁신 위한 화학의 역할

무어의 법칙에 따르면, 반도체 집적 회로의 성능은 24개월마다 두 배로 증가하고 제조 비용은 절반으로 줄어들게 됩니다. 이런 변화를 가능하게 하는 것이 반도체 미세화 공정입니다. 2031년에는 1 nm 급 반도체가, 2034년에는 sub-nm 급 반도체가 개발될 것으로 예측되고 있으나 이를 구현하기 위해서는 새로운 개념의 핵심 반도체 소재 개발이 관건입니다. 초미세 반도체 용 신소재 개발이 쉽지 않은 이유는 소재 분자 구조와 그 특성의 상관 관계를 이해하는 것이 매우 어렵기 때문입니다. EUV 레지스트 소재 분야에서는 전자와 분자의 충돌에 관한 기초 과학적 이해가 부족하여 체계적인 소재 설계의 한계에 봉착해 있습니다. Ultra low-k 소재의 유전율 대비 기계 특성의 극대화가 필요하나 플라즈마 반응에서 저에너지 전자의 역할이 규명되어 있지 않아 많은 어려움을 겪고 있습니다. 이를 극복하기 위해서는 양자화학, 계산화학, 표면과학 등의 여러 물리화학 연구자와 무기화학, 유기화학, 재료화학의 연구자, 그리고 고체물리, 광학, 재료과학 분야의 연구자들이 협력하여 기초 이론 및 모델을

정립할 필요가 있으며, 특히 화학 분야의 기초 과학 연구자들이 주도적으로 전자-분자 충돌에 의한 분자 내 결합 해리 메커니즘을 정립할 필요가 있습니다. 본 심포지엄을 통하여 산학연 연구자들의 최신 반도체 소재 연구 및 개발 현황을 소개함으로써 여러 화학 분야 연구자들의 창의성과 기초 과학 연구 역량 및 지식을 바탕으로 sub-nm 급 반도체 용 소재 기술의 난제 해결을 모색할 수 있는 논의의 장을 마련하고자 합니다.

| 심포지엄 4 |

[미래혁신 화학심포지엄]

엔트로피 접근법을 통한 고성능 다성분계 거대분자 소재

거대분자 소재는 소재의 응용성으로 그 이용 범위가 급속히 확대되어 산업계의 큰 관심을 받고 있다. 특히 이종 물질의 블렌드를 통한 소재의 성능 향상은 산업계 뿐만 아니라 여러 학문 측면에서 시도가 되고 있다. 그러나 두 개의 비상용성 물질의 단순한 혼합 이성분계 블렌드를 통해 원하는 물성을 얻는다는 것은 아주 드문 경우로, 보다 이론적이고 다차원적인 접근 방법이 요구된다. 이에 본 발표에서는 다성분계 열역학적 엔트로피 접근법을 통한 소재의 성능 향상을 논의하고자 하며, 특별히 다성분계 거대분자 시스템에 대한 이해와 블렌드 morphology 분석, 상분리 제어를 통한 소재의 성능 향상을 다학제간 측면에서 논의하고자 한다.

| 심포지엄 5 |

[미래혁신 화학심포지엄] 상 전이 거동에 대한 융합적 이해

상 전이는 물질의 변화 현상을 보편적으로 기술할 수 있는 개념 틀로서, 다양한 화학 현상을 설명하는데 널리 활용되고 있습니다. 특히 고체 물질의 구조 변화, 나노 물질의 핵화, 생체 분자의 상 분리 및 섬유화 등 최근 연구 현장에서 높은 관심을 받고 있는 여러 현상이 상 전이를 통해 설명될 수 있습니다. 본 심포지엄에서는 분야를 막론하고 상 전이라는 개념으로 묶일 수 있는 여러 주제를 연구하는 연구자들을 모아 각 분야의 독창적인 관점을 공유하고 이를 통해 혁신적인 연구 아이디어를 창출하고자 합니다.

| 심포지엄 6 |

[KCS-ACS Applied Bio Materials Research Publications Summit]

나노바이오 화학 분야 주요 연구 트렌드와 도전

미국 화학회인 ACS Publications은 전 세계 화학 분야의 중요 저널을 보유하고 있으며, ACS-KCS Applied Bio Materials Research Publications Summit이라는 제목으로 제132회 대한화학회에서 특

별심포지엄으로 개최합니다. 나노바이오 기술과 소재과학기술 분야를 주로 리딩하고 있는 ACS Applied Materials Interfaces, ACS Applied Bio Materials 등에서 활동하고 있는 미국화학회 에디터 및 국내 대한화학회의 리더들을 초청하였습니다. 이번 심포지엄에서는 화학 각 분야의 학문적 맥락, 발전 과정, 해결해야 할 난제, 최근 연구 동향 및 미래의 연구 방향에 대한 정보를 국내 화학자들과 공유하고자 합니다.

| 심포지엄 7 |

[IBS 심포지엄] 탄소 및 탄소 관련 재료

IBS 다차원 탄소소재 연구단(Center for Multidimensional Carbon Materials, CMCM)은 새로운 탄소 및 관련 소재(예: 질화붕소)를 합성하고 연구합니다. IBS CMCM은 다양한 합성 접근법과 다양한 기기를 사용하여 이러한 물질을 합성, 분석하고, 양자 분자 역학(및 기타)과 같은 최첨단 전산 모델링 방법을 사용하여 반응 경로, 에너지 지형, 특성을 더 깊이 탐구합니다. 이 심포지엄에서는 액체 금속 사용과 같은 새로운 합성 방법을 포함하여 탄소 및 질화붕소 재료의 최근 발전 내용을 소개합니다.

| 심포지엄 8 |

젊은 화학자 특별 심포지엄

미래 한국의 화학연구를 이끌어갈 각 분야의 가장 젊은 화학자들을 모시고 이 분들의 연구주제, 방향 및 비전을 대한화학회 구성원들과 공유하고자 합니다. 본 심포지엄을 통해 발 빠르게 변화하고 있는 연구의 주요 화두, 연구환경 및 연구주제범위에 대해 다양한 분야의 젊은 화학자들간의 토론과 인적교류를 유도할 수 있는 장이 되기를 기대합니다.

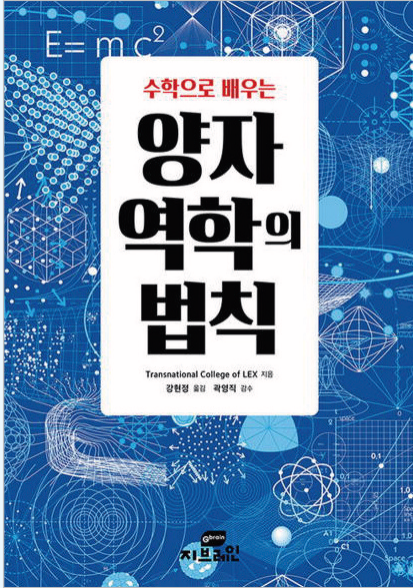
| 심포지엄 9 |

[KCS-RSC Joint 심포지엄] 에너지 과학의 다학제적 접근

국내 화학계의 국제적 위상의 재도약을 위해, RSC의 Chemical Science 및 Journal of Materials Chemistry 에디터들을 초청하여, RSC-KCS 에너지 심포지엄을 개최하고자 한다. 기후 변화에 따른 지속 가능한 에너지의 필요성이 매우 중요한 상황에서, 에너지 과학을 주제로, 소재화학, 물리화학, 인공지능 등 다학제간 관점에서 해결해야 할 난제, 최근 연구동향, 그리고 미래의 연구방향에 대해 토의하고, 국내화학자들과 공유하고자 한다.

수학으로 배우는 양자역학의 법칙

Transnational College of LEX 지음 | 강현정
번역 | 지브레인 | 2020.7.31 출간 | ISBN
9788959796489



목차

- 제1장 플랑크와 아인슈타인_ 빛이란 무엇인가? / 1. 들어가며 / 2. 슬릿 실험 / 3. 플랑크 / 4. 작은 상자 안에는 무엇이 있을까? / 5. 광전 효과 / 6. 콤프턴 효과 / 7. 안개상자 실험 / 8. 마치면서
- 제2장 보어_ 고전 양자론 / 1. 모험 2라운드 시작 / 2. 원자의 이상한 움직임 / 3. 보어 등장 / 4. 고전 양자론 / 5. 이론의 모순과 해결방법 / 부록 보어가 사용한 역학
- 제3장 하이젠베르크_ 양자역학의 탄생 / 1. 양자역학 여행을 떠나기 전에 / 2. 고전역학으로 단진동을 풀다 / 3. 양자역학을 만든다 / 4. 행렬이 되다 / 5. 아인슈타인과의 대화
- 제4장 드브로이와 슈뢰딩거_ 새로운 이미지를 / 1. 모험의 전반부를 돌아보자 / 2. 느긋한 남자 드브로이 등장 / 3. 저돌적인 남자 슈뢰딩거 등장 / 4. 자연에게 물어봐! / 5. 복잡한 전자의 파동
- 제5장 슈뢰딩거_ 잘 가려 행렬 / 1. 이미지를 찾아서 / 2. W와 E의 수수께끼를 풀어라! / 3. 완벽을 찾아서 / 4. 위태로운 슈뢰딩거 방정식
- 제6장 보른과 하이젠베르크_ 신세계를 향해 출발 / 1. 원자에 관한 물리학자들의 대토론회 / 2. 보른의 확률해석 / 3. 불확정성 원리 / 4. 양자역학의 결론

책 소개

우리의 경험 세계와 다른 아주 작은 세계에서 일어나는 일들을 설명하는 언어는 수학이다. 그러나 양자물리학을 다루는 수학은 만만하지 않다. 양자물리학이 등장한 지 100여 년이 되는데도 대부분의 사람은 양자물리학을 잘 이해하지 못하게 되었다. 대학에서 양자물리학의 기본개념을 공부한 사람들마저도 양자물리학을 모르기는 마찬가지이다.

『수학으로 배우는 양자역학의 법칙』은 양자물리학은 양자물리학의 언어인 수학을 이용해 정면 도전해야 한다는 것을 보여주고 있다. 따라서 이 책에는 양자역학을 이해하는 데 필요한 수식들 그리고 중요한 증명들이 수많은 그림과 함께 아주 잘 설명되어 있다. 그래서 그동안 양자물리학을 이해하고 싶었지만 실패했던 사람들에게 이 책은 좋은 길잡이가 되어줄 것이다.

파동함수, 행렬, 푸리에 급수, 파동방정식과 같이 양자물리학을 전문으로 공부하는 사람들이나 다룰 것 같은 수식들을 과감하게 다루며 큰 주제를 가지고 양자물리학이 성립하는 과정을 상세히 설명하는 이 책은 양자물리학에 대한 새로운 도전이며 모험이라고 할 수 있다.

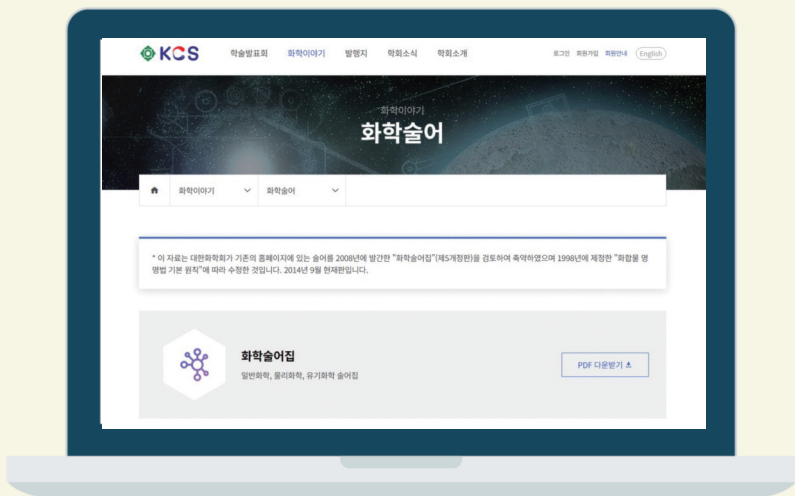
21세기를 살아가면서 과학의 큰 흐름을 알고 싶다면 『수학으로 배우는 양자역학의 법칙』은 아주 좋은 방향을 제시해줄 것이다.

저자 소개

Transnational College of LEX : Hippo는 스페인어, 한국어, 영어, 일본어, 독일어, 중국어, 프랑스어 7개 국어를 기본으로 여러 나라의 말을 동시에 자연 습득하는 다언어 활동 프로그램이다. 이에 참여하는 사람들의 모임인 Hippo Family Club의 활동을 기반으로 ‘언어와 인간’을 자연과학적으로 탐구하는 데 몰두하는 교육 기관이 Transnational College of LEX이다. 이 모임은 고등학교 졸업 이상의 다양한 연대의 학생들과 연구조수, 각 분야의 전문가에 의해 구성되어 종래의 언어관을 전환하여 새로운 ‘자연적인 언어관’의 확립을 지향하고 있다. 그 연구 성과는 매년 3월에 발표하며, 연구지로도 출판되고 있다. 그중에서 『수학으로 배우는 파동의 법칙』, 『수학으로 배우는 양자역학의 법칙』, 『DNA의 법칙』은 일본, 미국의 대학, 연구기관에서도 교과서로 채택되는 등 세계 속에서 큰 반응을 불러일으키고 있다.

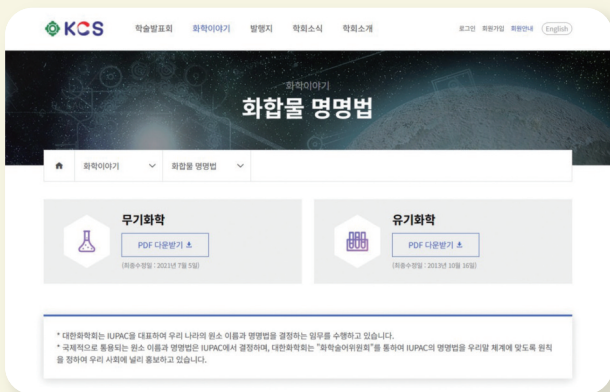
화학술어

(<http://new.kcsnet.or.kr/cheminfo>)



영문

번호	영문	한글	용어변경요청
6655	ab initio (method)	순이론적 방법	신청하기
6654	abnormal scattering	비정상 산란	신청하기
6653	abrasion	마멸	신청하기
6652	absolute (reaction) rate theory	절대 반응속도론	신청하기
6651	absolute alcohol	무수 알코올	신청하기
6650	absolute asymmetric synthesis	절대 비대칭 합성	신청하기
6649	absolute configuration	절대 배열	신청하기



플랫폼 소개

이번 9월호에는 대한화학회에서 발간한 화학술어집이 담긴 웹사이트를 소개해 드리고자 합니다. 대부분의 화학 관련 서적이 영어를 기반으로 저술되어 있지만, 국문 화학 서적이나 문서도 많이 발간되고 있습니다. 회원 여러분께서도 기술 문서를 번역하거나 여러 업무를 통해서, 체계적으로 정비된 국문 화학술어에 대한 필요를 많이 느끼실 것으로 생각합니다. 이러한 경우, 대한화학회 홈페이지 (<http://new.kcsnet.or.kr/cheminfo>)에 방문하시면 화학술어집을 내려받으실 수 있습니다. 이 자료는 대한화학회가 2008년에 발간한 “화학술어집”(제5개정판)을 검토하여 축약한 것으로 1998년에 제정한 “화합물 명명법 기본 원칙”에 따라 수정한 것입니다. 화학술어집을 내려받을 수 있을 뿐만 아니라, 해당 사이트에서 영문/국문 검색을 통해 필요한 화학술어를 찾으실 수 있습니다. 게다가, 화학술어집에 없는 화학 용어가 있는 경우, “신규용어 추가신청”을 통해서 신청할 수 있습니다. 그러면, 대한화학회 화학술어 위원회에서 심의를 거쳐 적절한 국문 화학 용어를 제정하여 정리합니다. 또는, 기존에 해석된 국문 용어가 부적절하다고 생각하실 “용어변경요청”도 하실 수 있습니다. 적절하고 체계적인 국문 화학술어 활용을 통해 화학이 더 많은 대중에게 다가갈 수 있기를 바랍니다.

유기화학물 명명법 발간

1996년 대한화학회 창립 50주년 기념사업으로 시작되었던 유기화학물과 무기화학물 명명법 출판 사업이 결실을 보았습니다. 2권으로 출판된 “유기화학물 명명법”(개정판)에 이어 구입처를 통하여 구입할 수 있습니다. 구입처: 영문국: 전화 02-965-3453, 팩스 02-962-9879 / 가격: 5만원/회원 425천원 (2000년 4월)

무기화학물 명명법 발간

1996년 대한화학회 창립 50주년 기념사업으로 시작되었던 유기화학물과 무기화학물 명명법 출판 사업이 결실을 보았습니다. 2권으로 출판된 “무기화학물 명명법”(개정판)에 이어 구입처를 통하여 구입할 수 있습니다. 구입처: 영문국: 전화 02-965-3453, 팩스 02-962-9879 / 가격: 5만원/회원 425천원 (2000년 4월)

대한화학회는 IUPAC을 대표하여 우리 나라의 원소 이름과 명명법을 결정하는 일무를 수행하고 있습니다. 국제적으로 통용되는 원소 이름과 명명법은 IUPAC에서 결정하며, 대한화학회는 “화학술어위원회”를 통하여 IUPAC의 명명법을 우리말 체계에 맞추도록 원칙을 정하여 우리 사회에 널리 홍보하고 있습니다.

대한화학회 (Korean Chemical Society) All Rights Reserved

>>> 운영위원회

8월 운영위원회

2023년 8월 14일에는 제11차 운영위원회가 진행되었다. 먼저 대한화학회 홈페이지 개편을 위한 주관 업체로 씽크온을 결정하였고, 구체적 개편 내용과 중요한 업무 진행 순서를 확인하기 위한 미팅을 8월 29일 진행하였다. 화학세계 온라인화 진행 상황을 공유하였는데, 광고 규정에 대한 논의를 진행하였고, 클릭 및 조회 수 정보를 광고 업체에 제공할 필요가 있으며, 광고 유입을 위해 회원들에게 구독을 독려할 필요가 있음을 논의하였다. 기초과학협회의 교육정책포럼 ‘고교학점제와 수학 과학 기초역량 강화 모색’이 개최될 예정인데, 대한화학회 추천 토론자로 백성혜 교육부회장이 참석하기로 하였다. 추계 대한화학회에서 수상작이 전시되는 ‘초·중·고 등학생 대상 화학포스터 그리기 및 시화 대회’가 현재의 시대적 흐름에 맞는지 검토해볼 필요가 있다는 의견이 제기되었다. 올해의 과학교사상은 세종과학예술영재학교 김기향 선생님을 추천하기로 하였다. 학술발표회 기기전시 부스는 약 25개 업체가 신청하였는데, 9월 말까지 추가 독려하기로 하였다. 예년 대비 학술발표회 중 수요일에 진행되는 심포지엄이 많고 대관료 할인이 어려워져 김대중컨벤션센터 대관료가 상승하였는데, 9월 말에 회장님과 부회장단이 3차 답사 및 방문하여 할인 방안에 관해 논의하기로 하였다. 동우화인켐 심포지엄 연사로, 화장품/헬스케어 관련 전문가인 성균관대학교 화학공학과 김진웅 교수님을 섭외하기로 하였다. 8월 18일부터 25일까지 네덜란드 헤이그(Hague)에서 개최된 IUPAC 학회에는 신석민 회장님, 성재영, 윤재숙 부회장님, 장락우 실무이사가 참석하여 총회에서 논의된 안건을 공유하기로 하였다.

이후에는 분과별로 차기연도 운영위원회에 인수인계할 업무 자료를 정리하여 공유하였다. 총무 분과는 이사회, 인사위원회, 선거관리위원회 구성 및 준비, 후원사 협약 관리, 대외 협의체 협조, 학술 발표회 및 위성학회, 미래혁신 화학심포지엄 지원, 회계 관리에 관한 세부 내용을 정리하여 발표하였다. 기획 분과는 대외 협의체 및 연합회 회의 참석, 화학세계 온라인화 진행 사항을 공유하였다. 학술 분과는 기초 연사 및 특별 심포지엄, 기념 강연 조직 책임자 선정, 분과별 세션장(좌석) 배치, 포스터 수상작 결정, 카드 뉴스 홍보 내용 제작 등 전반적인 학술발표회 준비를 위한 주요 업무들을 공유하였다. 홍보 분과는 화학세계 원고 및 온라인화 사업 내용

을, 산학협력 분과는 산업체 교류 확대를 위한 방안을 발표하였다. 국제협력 분과는 춘·추계 학술 발표회에서 진행되었던 에디터 심포지엄 주제와 각국 대표 화학회와의 MOU 및 학술대회 교차 방문 계획에 대해 정리하였고, 추후 국제학회 저널을 통해 적극적으로 교류해야 할 부분을 강조하였다. 교육 분과에서는 중고생 특강, 미래화학자 대회 및 포스터, 시화 대회 진행 일정을 공유하고, 화학교육개발 논의 과정에 지속적으로 참여할 것을 강조하였다.

>>> 부 고

2023.8.25	임우택(안동대 화학생명공학과) 회원	모친상
2023.8.25	이용섭(경희대 약학) 회원	모친상
2023.8.21	박정영(KAIST 화학과) 회원	부친상
2023.8.18	윤경병(서강대학교 화학과 석학교수) 회원	빙모상
2023.8.16	오한빈(서강대학교 화학과) 회원	빙부상
2023.8.13	이계형(한국화학연구원) 회원	빙모상
2023.8.7	이광필(전 경북대학교 화학교육과) 회원	빙모상
2023.8.4	지대윤(서강대학교 화학과 명예교수, (주)퓨처캠 대표) 회원	모친상
2023.8.1	신은주(순천대 화학과) 회원	모친상

>>> 신입회원

강민지	고려대학교	학생회원
강수진	엔비스아나 주식회사	정회원
곽지민	KAIST	학생회원
권인찬	GIST	정회원
김민정	공주대학교	학생회원
김영욱	DGIST	정회원
김예림	고려대학교	학생회원
김예연	충북대학교	학생회원
김재성	연세대학교	학생회원
김정형	한국표준과학연구원(KRISST)	정회원
김준우	포항산업과학연구원	정회원
김철현	(주)동성케미컬	정회원
김현정	연세대학교	학생회원
김혜수	연세대학교	학생회원
김호윤	경북대학교	학생회원
노지훈	울산대학교	학생회원

류종혁	GIST	학생회원	이주연	연세대학교	학생회원
마현수	경북대학교	학생회원	이찬우	국민대학교	정회원
민수린	연세대학교	학생회원	이택호	부산대학교	정회원
박기태	건국대학교	정회원	이현룡	공주대학교	학생회원
박성민	KAIST	학생회원	이후인	케이씨텍	정회원
박성준	건국대학교	학생회원	임광신	엔비스아나 주식회사	정회원
박신혜	공주대학교	학생회원	장복원	충남대학교	학생회원
박유림	강원대학교	학생회원	장호현	건국대학교	정회원
박윤서	공주대학교	학생회원	전민혁	건국대학교	학생회원
배완수	건국대학교	학생회원	전영준	금오공과대학교	학생회원
서종민	KAIST	학생회원	전유임	연세대학교	학생회원
서주희	금오공과대학교	학생회원	전현열	한국화학연구원	정회원
서지원	GIST	학생회원	정예진	공주대학교	학생회원
성원경	기초과학연구원	정회원	조현미	강원대학교	학생회원
송영경	전남대학교	정회원	천승현	세종대학교	정회원
신민영	한밭대학교	학생회원	최민지	연세대학교	학생회원
안정훈	연세대학교	학생회원	최지원	금오공과대학교	학생회원
엄다인	한밭대학교	학생회원	최희재	연세대학교	학생회원
오누리	한국과학영재학교	정회원	함종완	울산대학교	학생회원
오세빈	광운대학교	학생회원	홍석창	서울대학교	정회원
유용환	철원플라즈마산업기술연구원	정회원	홍채영	연세대학교	학생회원
유제상	KAIST	학생회원	황성주	연세대학교	정회원
윤지은	경북대학교	학생회원	Bag Sudipta	UNIST	학생회원
윤지은	고려대학교	학생회원	Banti Boka Fikadu	충남대학교	학생회원
이가은	연세대학교	학생회원	Baskoro Ghanyatma Adi	울산대학교	학생회원
이경훈	DGIST	학생회원	Li shi	DGIST	학생회원
이동건	성균관대학교	학생회원	Lutfi Rafi Muhammad	울산대학교	학생회원
이동주	아주대학교	정회원	Nguyen Anh Thu	전북대학교	학생회원
이서형	금오공과대학교	학생회원	Singh Ravi	GIST	학생회원
이소연	DGIST	학생회원	Tran Thi QuyeN	울산대학교	학생회원
이예림	충남대학교	학생회원	Vuong Duy Nghiem	충남대학교	학생회원

부고 공지 안내

대한화학회 회원 대상 '부고 공지' 방법을 안내드립니다. 아래 내용을 참조하셔서, 공지에 필요한 내용(3번, 신청내용)을 대한화학회에 이메일로 발송해주시고, 회원 여러분들께 이메일로 공지해 드립니다. 단, 회원 별세, 부(모)친상, 조부(모)상, 시부(모)상, 빙부(모)상, 배우자상, 형제/자매상, 자녀상에 한합니다.

1. 신청 자격

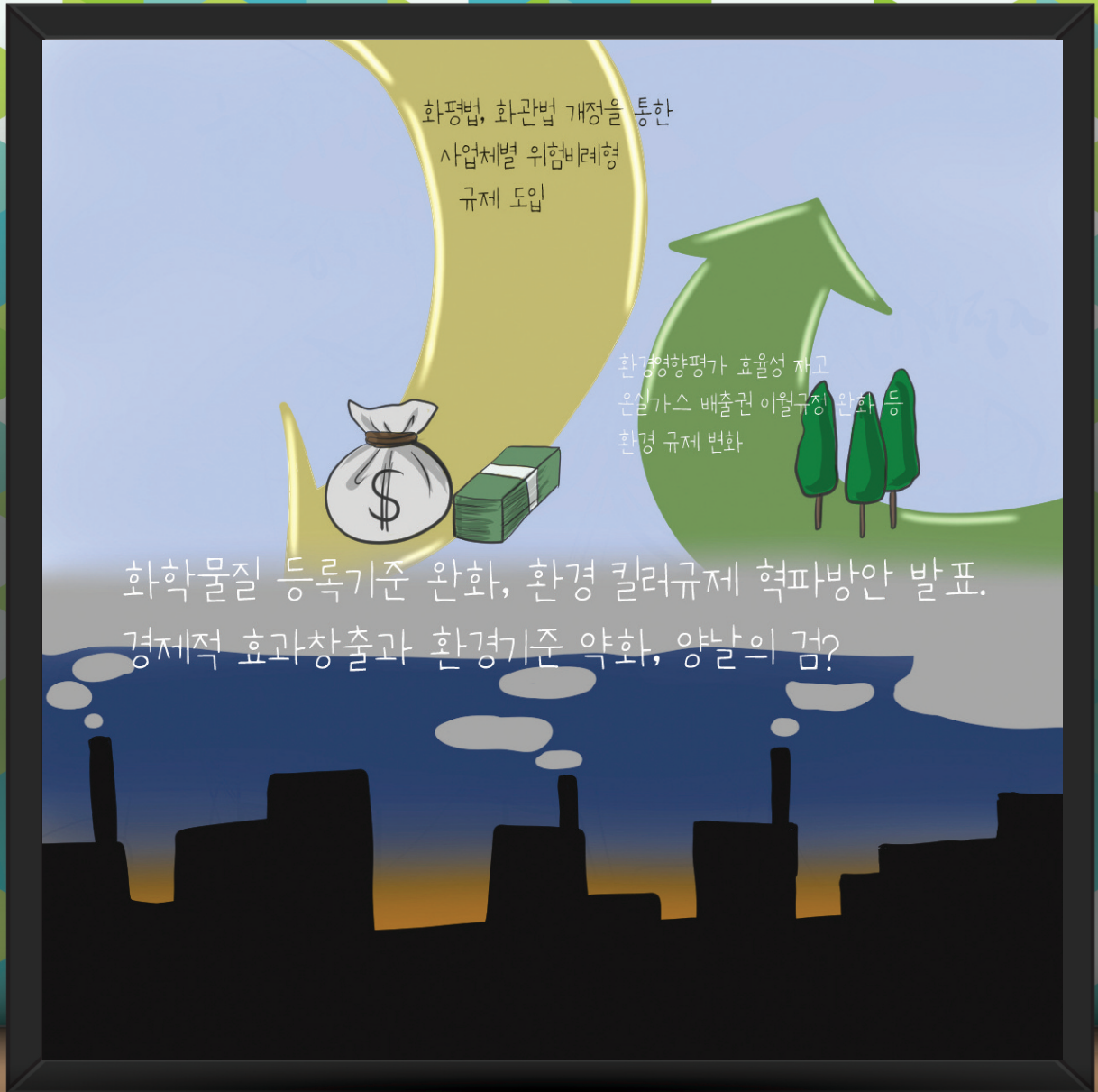
부고 당사자 혹은 신청인이 대한화학회 회원인 경우

2. 신청 방법

이메일(office@kcsnet.or.kr)로 신청
※ 휴일에도 이메일로 신청하십시오.

3. 공지 내용

① 빈소 ② 발인일 ③ 장지
④ 연락처(성명과 연락처 필수)



기기전시회 안내

1. 주최 : 대한화학회

2. 일자 및 장소

제132회(추계)	2023.10.25(수)~27(금)	김대중컨벤션센터(광주)
-----------	---------------------	--------------

3. 부스 신청 정보

- 기본 부스 규격 : 3m×2m×2.5m(가로×세로×높이)/1 부스
- 신청 가능 개수 : 1개 이상
- 참가비



※ 부가세 별도

구분		신청 가격
기본	1개	200만원
	2개	380만원
독립	1개	180만원
	2개	342만원

2개 이상 신청시 5% 할인

- 기본 제공물
 - 간판(Sheet/고딕 1조), 인포메이션데스크(1×0.5×0.75m, 가로×세로×높이) 1개, 의자 2개, 테이블보 1장, 사각테이블(1.8×0.85×0.75m, 가로×세로×높이) 1개, 조명등 3개, 콘센트 1개(2구), 전력 1kw(220v 단상)
- ※ 독립부스의 경우, 전력 1kw와 콘센트 1개만 제공되며, 다른 기본 제공물은 제공되지 않습니다.
- 별도 제공물(업체 실비 부담)
 - LAN이용료, 추가 전력, 추가 의자, 추가 테이블 및 기타 비품(익스텐션, 변압기 등)

4. 참가 신청 방법

신청 방법	① 대한화학회 홈페이지(www.kcsnet.or.kr) 접속 ② (하단) 광고 → 기기전시회 선택 ③ '참가신청' 에서 참가신청서를 작성 후, '입력' 클릭 ※ 학회에 별도로 신청서를 제출하지 않으셔도 됩니다. ④ 참가비 입금 후 부스 위치 선택 ※ 사전 완납하셔야 좋은 자리를 선택하실 수 있습니다. ※ 화학회에서 입금 확인 후 부스 위치 선택 가능
신청 마감	• 추계 : 2023. 6. 22(목) ~ 9. 21(목) *접수 현황에 따라 조기 마감될 수 있음 - 본 학회 발급 세금계산서 수령 후, 계좌 입금 기업은행 201-000106-04-212 (예금주 : 대한화학회)
기 타	- 입금 하신 후 입금증 사본을 팩스로 보내주시거나 이메일로 입금 여부를 알려 주십시오.

특별부스 참가는 별도 협의 바랍니다.

관련 문의 : 대한화학회 사무국(02-953-2096, young@kcsnet.or.kr)으로 해 주시기 바랍니다.

대한화학회장상, 외부단체협찬상

※수상후보자는 선정되는 해를 포함하여 최근 연속 3년 이상 대한화학회 회원이어야 합니다.

시상시기	상	구분	시상주기	수상인	상금	공고	후보자 추천 마감
춘계	학회상	공로상	매3년 춘계	1인	100만원	시행 전 연도 12월	시행 연도 1월 중순
		학술상	매년 춘계	1인	600만원		
		우수논문상	매년 춘계	1인	100만원		
		화학교육상	홀수연도 춘계	1인	50만원		
		학술진보상	매년 춘계	Bulletin지 1인, 대한화학회지 1인	각 100만원		
		교육진보상	매년 춘계	1인	50만원		
	외부상	한만정 학술상*	매년 춘계	1인	3,000만원 내외**	시행 연도 1월	시행 연도 2월 초
		전민제화학인상	매년 춘계	1인	500만원		
추계	학회상	기술진보상	매년 추계	1인	50만원	시행 연도 6월	시행 연도 6월 말
		초중등학교화학교사상	매년 추계	1인	50만원		
		우수박사학위논문상***	매년 추계	5인 내외	20만원		
		우수지부(회)상****	매년 추계	1개 지부(회)	50만원		
		화학경영자상	매년 추계	1인	순금 상패		
		이태규학술상	매년 추계	1인	500만원		
	외부상	KCS-Wiley 젊은화학자상	매년 추계	1~2인	150만원	서울, 지방소재 각1인 각 300만원	
		Sigma-Aldrich 화학자상	매년 추계	2인			
아이센스 여성화학자상		매년 추계	1인	500만원			
춘·추계	포스터상	대한화학회 포스터상	매년 춘,추계	40인	상장 및 부상	시행 연도 3월, 9월	선정위원회 별도 구성
		IUPAC 포스터상	매년 춘계	3인			
		동우화인켐(주) 포스터상	매년 춘·추계	2인			

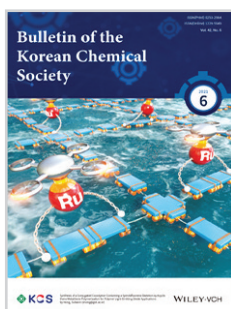
* 2017년도 제2차 이사회(2017.9.22) 의결에 따라 '헬스켐 한만정 학술상'에서 '한만정 학술상'으로 상의 명칭이 개정됨.

** 후원금과 주식의 배당금에 따라 변동될 수 있음.

*** 우수박사학위논문상의 수상자격, 추천 및 심사 절차는 별도의 공고문을 통해 확인.

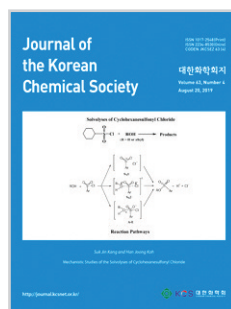
**** 우수지부(회)상: 전년도에 개최된 학술발표회에 참석한 소속 회원 수의 비율과 지부(회)에서 주관한 학술활동 등으로 학회 발전에 기여한 1개 지부(회) 선정.

대한화학회 발간(참여) 학술지



Bulletin of the Korean Chemical Society

- 월간
- SCI 저널
- 언어: 영어



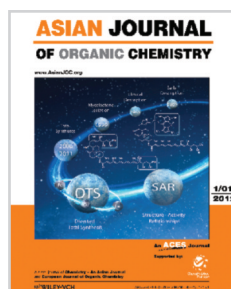
Journal of the Korean Chemical Society

- 격월 간행
- 언어: 한글, 영어



Chemistry - An Asian Journal

- 월간
- ACES와 Wiley-VCH 공동발행



Asian Journal of Organic Chemistry

- Wiley-VCH에서 발행하는 Chemistry, An Asian Journal 자매지



ChemNanoMat

- Wiley-VCH에서 발행하는 Chemistry, An Asian Journal 자매지



Physical Chemistry Chemical Physics

- 대한화학회를 포함한 18개국 화학회에서 공동 발행하는 RSC 저널

지면광고 안내

화학세계

- 광고 마감일 : 전월 10일 까지 (매월 1일 발간)
- 원고 마감일 : 전월 5일 까지
- 광고 크기
가로 210mm, 세로 270mm(바탕색이 있을경우 상하좌우 여백 3mm씩 추가[216mm*276mm], 해상도 300dpi 이상)
- 광고 파일 보내실 곳 : 웹하드 <http://www.webhard.co.kr>

구분		단가	비고
화학세계	표지	10,000,000 원	칼라
지면광고	내지	1,000,000~5,000,000 원	칼라
웹사이트	배너	100,000 원	칼라

- ※내지 및 배너 6개월 이상 광고 계약 시 별도 협의 요청 바랍니다.
- ※화학세계에 광고 게재 시 1개월 동안 대한화학회에 홈페이지에서 업체명과 URL을 홍보해드립니다.

광고의뢰 및 문의 : 대한화학회 사무국(office@kcsnet.or.kr)
서울 성북구 안암로 119 한국화학회관 4층 (02856) / 전화 : 02-953-2095 / 팩스 : 02-953-2093

회비 및 구독료 안내

1. 모든 회원에게는 『화학세계』가 무료로 배포됩니다.
2. 이에 회원 제위께서는 회비 및 구독료를 납부하시어 본회 각종 간행물을 중단없이 받아보시기 바랍니다.

2023년도 본회 회비 및 각종 간행물의 구독료는 다음과 같습니다.

(단위: 원)

구분	종신회원	정회원	교육회원	학생회원
회원기간	2023.1.1~2023.12.31			
연회비	1,400,000 (가입 당시 정회원 연회비의 20년치)	70,000	50,000	50,000
회지 · Bulletin지	30,000	30,000	30,000	15,000
분과회비	공업, 화학교육, 환경 : 10,000원			
	고분자 : 20,000원			
	무기, 분석, 생명, 유기, 의약, 재료, 전기 : 30,000원			
	물리 : 50,000원			
책 발송 안내	<ul style="list-style-type: none"> • 정·교육회원의 '화학세계' 및 '유료 구독 학술지' 등은 회비 및 구독료 납부월의 다음 달부터 1년간 발송됩니다. • 학생회원에게는 회원으로 가입한 해당 연도 동안 '화학세계'가 발송됩니다. 단, 유료 구독학술지는 납부월의 다음 달부터 1년간 발송됩니다. ※학생회원에게는 재학 중인 학교로만 보내드립니다. 			

■ 회비납부 관련문의

- 전화 : 02-953-2095
- 팩스 : 02-953-2093
- 전자우편 : member@kcsnet.or.kr
- ※ 회비납부 기간 : 1월 2일~11월 30일
- ※ 지로용지는 별도로 발송하지 않습니다.

- 납부방법 : 홈페이지에서 회원확인 / 회비납부 / 영수증 출력 등을 할 수 있습니다.

회원확인 → ID 변경 → 회원 로그인 → 결제 및 영수증 출력

지속적인 기술 혁신을 지향하는 동우화인켐은

대한민국 IT산업의 중심에 서 있습니다!



디스플레이 전자 재료 및 화학 분야의
GLOBAL COMPANY

동우화인켐은 LCD, OLED 등의 필수 소재인 편광필름과 컬러필터, 터치센서, 고순도 첨단 프로세스 케미컬 등의 원천기술을 확보하고 있으며, 이를 통해 보다 나은 미래를 열어가고 있습니다.

동우화인켐은 글로벌 화학회사인 스미토모화학의 자회사이며, 핵심기술을 보유한 매출 2조원의 대기업으로서, 정보전자소재의 글로벌 리더로 성장하고 있습니다.

지속적인 연구개발과 체계적인 설비투자를 통해 차별화된 품질과 서비스를 제공하고, 회사 창립시부터 지켜온 이념인 윤리경영과 사회공헌을 바탕으로 업계 최고의 파트너, 동우화인켐으로 인정받겠습니다.

BIONEER

Life Science Total Solution

바이오니아는

끊임 없는 연구개발을 통해
장비, 키트, 서비스를 독자적으로
공급하고 있으며

생명과학 분야의

Total Solution을

제공합니다.

Our Services

- DNA/RNA Amplification
- DNA/RNA Extraction
- Protein Synthesis
- CRISPR
- Sequencing
- Gene expression analysis
- RNAi

www.bioneer.co.kr



BIONEER
Innovation • Value • Discovery