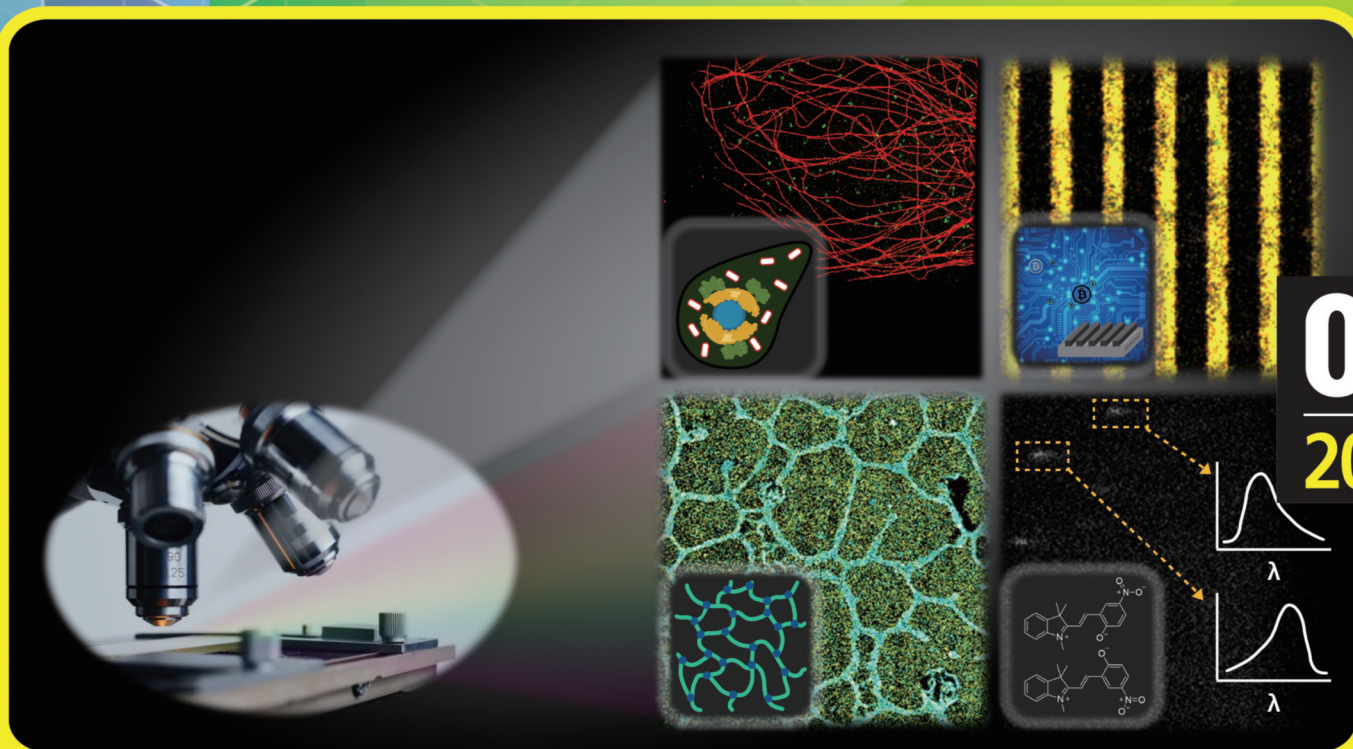


CODEN HWSEEX 63(04) ISSN 1225-004X

화학세계

CHEMWORLD

화학이 지구를 푸르게



04
2023

〈이달의 하이라이트〉 초고해상도 형광 현미경 기술의 최근 발전 방향과 다양한 응용 연구

읽기쉬운 총설

총설에 부쳐: 인공지능과 화학
인공지능을 활용한 단백질 구조 예측

이달의 하이라이트

초고해상도 형광 현미경 기술의 최근 발전 방향과
다양한 응용 연구

화학교육

‘노벨화학상 수상자 Stefan Hell’과의 면담을 통한
학생 탐구역량 강화에 대한 교사의 시선

우수선도연구기관

울산대학교 화학산업융합연구소

INTERVIEW

화학세계가 만난 화학자 | 박한오 (주)바이오니아 대표

“앞서가는 화학회, 공식후원사와 함께 합니다”



지속적인 기술 혁신을 지향하는 **동우화인켐**은

대한민국 IT산업의 중심에 서 있습니다!

START

TOP PARTNER

CHALLENGE

 DONGWOO
FINE-CHEM

 SUMITOMO CHEMICAL

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.

케어센스®
과학으로 케어하다



2023 대한민국 퍼스트브랜드 대상
혈당측정기 부문 12년 연속 수상



2022 올해의 브랜드 대상
혈당측정기 부문 10년 연속 수상



제43회 국가품질경영대회
국가품질혁신상 대통령표창

대한민국 No.1 혈당관리 파트너

국내 시장점유율 1위
케어센스®



3D프린터 보관장



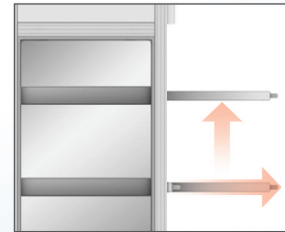
프레임

내화학성 · 내마모성 · 내식성 등이 매우 우수한 T5 계열 알루미늄 프로파일 적용



컨트롤부

1.5인치 OLED 모니터와 터치 방식의 직관적인 컨트롤 적용



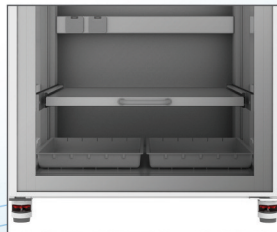
선반

사용자의 편의에 따른 높낮이 조절과 슬라이딩 방식 입출입 설계



유틸리티

220V-2구와 LAN 포트 2구가 기본으로 장착되어있으며 추가장착 및 변경 가능



하부 수납공간

하부 수납공간에 PP재질의 선반을 기본 제공하며 필라멘트 등 보관 가능



공간활용

워크테이블 (풋베이스 / 캐스터 타입)을 추가하여 4대의 프린터 보관 가능

Brown 일반화학 제15판

신간

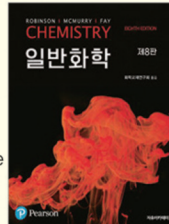


역 자: 화학교재연구회
출판년도: 2023년 쪽수: 1316쪽
ISBN: 9791158084196

원서 정보

Chemistry: The Central Science 15/e
출판년도: 2022년 쪽수: 1320쪽
ISBN: 9781292407616

McMurry 일반화학 제8판

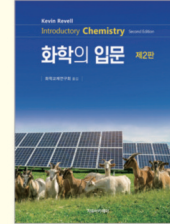


역 자: 화학교재연구회
출판년도: 2020년 쪽수: 1200쪽
ISBN: 9791158082444

관련 서적

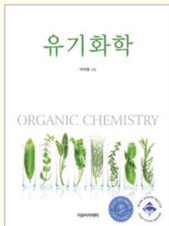
핵심일반화학 제8판
출판년도: 2020년 쪽수: 720쪽
ISBN: 9791158082499

Revell 화학의 입문 제2판



역 자: 화학교재연구회
출판년도: 2022년
쪽 수: 556쪽
ISBN: 9791158083410

유기화학



저 자: 이덕형
출판년도: 2020년
쪽 수: 960쪽
ISBN: 9791158082635

Smith 유기화학 제6판



역 자: 유기화학교재연구회
출판년도: 2020년 쪽수: 1416쪽
ISBN: 9791158082420

원서 정보

Organic Chemistry 6/e
출판년도: 2019년 쪽수: 1392쪽
ISBN: 9781260565843

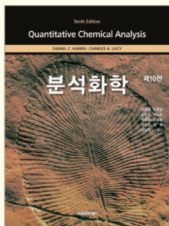
합성 유기화학

신간



저 자: 하현준
출판년도: 2023년
쪽 수: 262쪽
ISBN: 9791158084318

Harris 분석화학 제10판



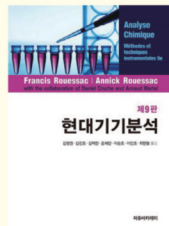
역 자: 이승호 외
출판년도: 2021년 쪽수: 1092쪽
ISBN: 9791158082932

원서 정보

Quantitative Chemical Analysis 10/e
출판년도: 2020년 쪽수: 833쪽
ISBN: 9781319324506

Rouessac 현대기기분석 제9판

신간



역 자: 이승호 외
출판년도: 2023년 쪽수: 572쪽
ISBN: 9791158084172

원서 정보

Chemical Analysis 3/e
출판년도: 2022년 쪽수: 624쪽
ISBN: 9781119701330

전기화학 제4판

신간



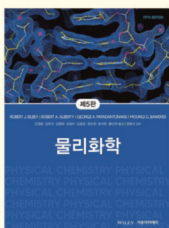
저 자: 오승모
출판년도: 2023년 쪽수: 380쪽
ISBN: 9791158084219

관련 서적

Electrochemistry 3/e
출판년도: 2020년 쪽수: 342쪽
ISBN: 9791158082765

Silbey 물리화학 제5판

신간



역 자: 강영중 외
감 수: 정병서
출판년도: 2023년 쪽수: 960쪽
ISBN: 9791158084165

원서 정보

Physical Chemistry 5/e
출판년도: 2021년 쪽수: 928쪽
ISBN: 9780470566602

알기 쉬운 고분자 이야기



저 자: 박오목
출판년도: 2022년 쪽수: 200쪽
ISBN: 9791158083472

관련 서적

고마운 고분자 이야기
출판년도: 2021년 쪽수: 512쪽
ISBN: 9791158082963

화장품 화학 개론

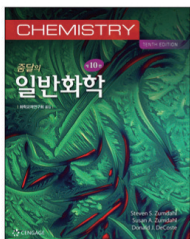
저 자: 김 건 출판년도: 2022년
쪽 수: 216쪽 ISBN: 9791158083281

Selinger 장바구니에 담긴 화학 제6판

신간

역 자: 류 설 출판년도: 2022년
쪽 수: 644쪽 ISBN: 9791158083656

줌달의
일반화학 10판



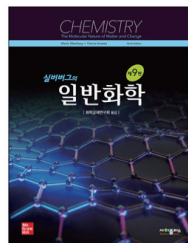
저 자 : Zumdahl
판 수 : 10
발 행 : 2019
페 이 지 : 1168
I S B N : 9788962184358

신간 레이먼드 창의
일반화학 14판



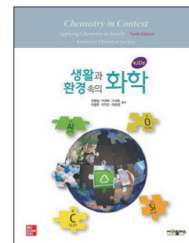
저 자 : Overby, Chang
판 수 : 14
발 행 : 2023
페 이 지 : 1080
I S B N : 9791188731343

신간 실버버그의
일반화학 9판



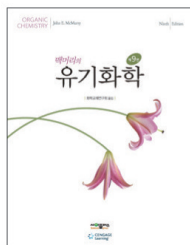
저 자 : Silberberg
판 수 : 9
발 행 : 2023
페 이 지 : 1034
I S B N : 9791188731367

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



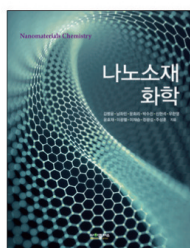
역 자 : 소호원
판 수 : 1
발 행 : 2022
페 이 지 : 300
I S B N : 9791188731275

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



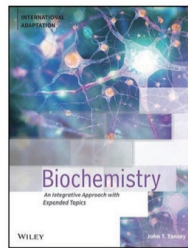
저 자 : 김병윤 외
판 수 : 1
발 행 일 : 2023
I S B N : 9791188731404

신간 화학자를 위한
결정학



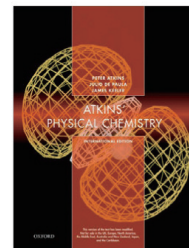
역 자 : 유우진, 윤희섭
판 수 : 1
발 행 일 : 2022
페 이 지 : 236
I S B N : 9791188731329

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

CONTENTS

2023년 4월 광고 목차

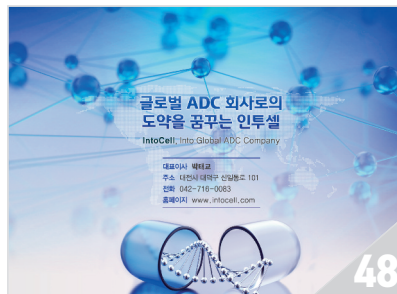
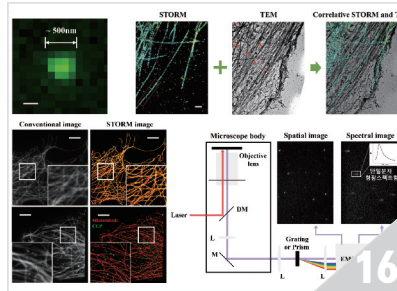
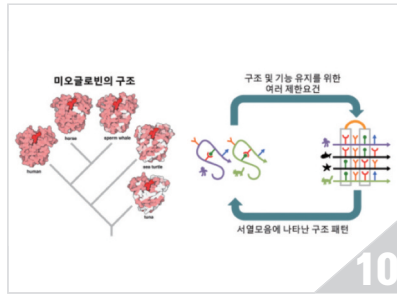
뒤표지	바이오니아
앞표지 안쪽	동우화인켐
뒤표지 안쪽	시마즈 사이엔틱 코리아
p.01	아이센스
p.02	삼인사이언스
p.03	자유아카데미
p.04	사이플러스

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) 윤홍재(기획) 정우성(국제협력) 남좌민(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
- 52 신진연구자 소개 · 임종민/김정민
- 80 월간학회소식

PAPER

- 08 총설에 부쳐 | 인공지능과 화학 · 이주용
- 10 읽기 쉬운 총설 | 인공지능을 활용한 단백질 구조 예측 · 백민경
- 16 이달의 하이라이트 | 초고해상도 형광 현미경 기술의 최근 발전 방향과 다양한 응용 연구 · 고가은, 김두리*

SPECIAL

- 29 우수선도연구기관 | 울산대학교 화학산업융합연구소 · 이영일
- 34 INTERVIEW | 화학세계가 만난 화학자 · 박한오 (주)바이오니아 대표
- 41 KCS 하이라이트 | 시간-분해 분광법을 이용한 연구 · 김태연
- 48 Chemistry & Industry | 글로벌 ADC회사로의 도약을 꿈꾸는 인투셀

EDUCATION

- 23 화학 교육 | '노벨화학상 수상자 Stefan Hell' 과의 면담을 통한 학생 탐구역량 강화에 대한 교사의 시선 · 박진홍

COLUMN

- 57 화학칼럼 | 화학사 돌아보기: 세기초의 두 논쟁 · 최정모

TREND

- 54 우리 실험실은요! | 테라그노스틱분자연구실(THERAGNOSTIC ADVANCED BIOMOLECULE LAB: TABL) · 김정범, 서동혁
- 61 Book & App
- 79 화학만평

131TH GENERAL MEETING

- 63 주요행사
- 68 연회비/참가비/경품추첨
- 69 포스터 발표 일정
- 70 일정표
- 71 심포지엄 및 구두발표 주제, 조직책임자
- 73 심포지엄 및 구두발표 주제 요약문

ADVERTISING & CAMPAIGN

- 05 클린 인터넷을 선언합니다
- 85 대한화학회 발간(참여) 학술지
- 86 기기전시회 안내
- 87 대한화학회장상, 외부단체협찬상
- 88 지면광고 안내/회비 및 구독료 안내

APRIL

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						

- 제131회 학술발표회, 총회 및 기기전시회(4월 26일~28일, 수원컨벤션센터)
 - 현장등록(3월 17일~4월 28일)
- 한국화학올림피아드 여름학교 입교대상자 접수(3월 13일~4월 9일)
- 2023년 대한화학회 과학포스터 그리기 및 과학시과 대회
 - 신청접수(4월 3일~4월 20일)/작품제출(4월 3일~4월 28일)

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)

May

- 제132회 학술발표회, 총회 및 기기전시회
 - 학회상, 외부상 수상 후보자 추천 접수(5월 24일~6월 28일)

June

- 제132회 학술발표회, 총회 및 기기전시회
 - 학회상, 외부상 수상 후보자 추천접수(5월 24일~6월 28일)
 - 분과회별 심포지엄 주제확정(6월 21일)
 - 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
 - 초록 접수(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
 - 초록 접수(7월 14일~8월 25일)
 - 초록수정 및 삭제 마감(8월 31일)
 - 사전등록(6월 22일~9월 21일)
- 한국화학올림피아드
 - 여름학교(7월 30일~8월 11일)
 - 겨울학교 입교대상자 평가(8월 26일)
 - 한국중학생화학대회(8월 19일)

September

- 제132회 학술발표회, 총회 및 기기전시회
 - 사전등록 마감일(9월 21일)

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

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)

CONFERENCE OF THE MONTH

2023년 4월 13일~14일

International Conference on Smart Materials & Structures

장 소 | Rome, Italy

안 내 | <https://smartmaterials.pagicle.com/>

2023년 4월 26일~28일

131st General Meeting of the Korean Chemical Society

장 소 | Suwon, Korea

안 내 | <https://kcsnet.or.kr>

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 만들어나가고자 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 구체적으로 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 · VI

인공지능과 화학



이주용 Juyong Lee

- 서울대학교 화학부 학사(2001 - 2005)
- 서울대학교 화학부 석사(2005 - 2007)
- 서울대학교 화학부 박사(2007 - 2011)
- 고등과학원 계산과학부 방문연구원(2011 - 2012)
- National Institutes of Heart, Lung and Blood Institute/NIH, Visiting Fellow(2012 - 2017)
- 강원대학교 화학과 조교수(2017 - 2022)
- 서울대학교 제약학과 조교수(2022 - 현재)

이 글을 쓰고 있는 2023년 초, ChatGPT가 전세계적으로 많은 반향을 불러일으키고 있습니다. 몇 년 전만해도 불가능할 것만 같았던 정확도의 다양한 언어 번역, 마치 사람이 쓴 것 같은 자연스러운 문장 생성 및 대화, 자동화된 컴퓨터 코드 작성 등의 다양한 작업을 빠른 시간에 수행하는 ChatGPT는 현재 인공지능 기술의 발달의 속도와 정도가 우리의 예상을 뛰어 넘고 있다는 것을 보여주고 있습니다. 2016년에 있었던 알파고와 이세돌의 대결로 우리에게 성큼 다가온 인공지능의 발전은 2023년 현재에도 계속되고 있습니다.

역사적으로 현재까지 인공 지능 분야의 발전에는 크게 세 번의 큰 발전이 있었다고 여겨지고 있습니다. 첫 번째 인공지능 발전의 봄은 1956년 다트머스 학회 이후 시작되었습니다. 존 맥카시와 마빈 민스키에 의해서 조직된 이 다트머스 학회에서 현재 인공지능 분야에서 사용되는 많은 용어들과 개념들이 정립되었습니다. 그 이후, 1970년대 초반까지 기계 추론, 자연어 처리 등의 문제들이 정의되고 이 문제들을 해결하기 위한 다양한 알고리즘들의 원형들이 제안되었습니다. 그러나 당시의 컴퓨터의 성능이 매우 제한적이었기 때문에 많은 알고리즘들이 실제로 구현되지 못하고 첫 번째 인공지능 연구의 겨울을 맞이하게 됩니다. 그 이후, 1980년대 초중반에 논리적 규칙에 따라서 특정 분야의 문제를 해결해주는 전문가 시스템(expert system), 신경망 모델을 효율적으로 학습시킬 수 있는 역전파(back propagation) 알고리즘 등이 제안되면서 두 번째 인공지능의 봄이 일어났습니다. 그러나 이러한 두 번째 봄도 여전히 하드웨어와 소프트웨어의 한계에 부딪혀 실생활에서 사용할 수 있을 만큼 발전된 인공지능을 만들어내지 못하였습니다. 그 이후, 인공 지능 분야는 다양한 수학, 통계학, 컴퓨터 과학 분야의 세부 분야로서 큰 주목을 받지 못한 채 연구되어 오다가 2010년대 초반 딥러닝의 발전으로 현재에 이르는 새로운 전기를 맞이하게 됩니다.

현재의 딥러닝의 발전이 지난 두 번의 인공지능의 봄과 다른 점은 데이터의 양과 컴퓨팅 파워가 기존에 비해서 획기적으로 증가했다는 점이라고 볼 수 있습니다. 또한, 2000년대 후반 그래픽 카드를 이용해서 인공 지능에 관련된 연산을 CPU를 사용하는 것에 비해서 훨씬 빠르게 할 수 있다는 점이 발견되면서 연산 능력이 획기적으로 향상되었습니다. 또한, 저장 장치의 발전으로 인해서 기존에 비해서 학습할 수 있는 데이터의 양이 폭발적으로 증가하여 현재의 인공지능의 발전을 가능하게 하였습니다. 이렇게 빠르게 발전하고 있는 인공지능 기술은 최근 들어 화학에도 많은 영향을 끼치고 있습니다.

따라서 이번 <읽기 쉬운 총설>에서는 최근 인공지능이 어떻게 화학에 적용되고 있는지에 대해서 다양한 전문가들의 글을 통하여 소개하고자 합니다. 이번 4월 호에는 단백질 구조 예측 전문가이시며 로제타 폴드 프로그램을 개발하신 서울대학교 생명과학부 백민경 교수님께서 인공지능이 단백질 구조 예측 및 디자인을 어떻게 바꾸고 있는지에 대해서 소개하는 글을 작성하여 주셨습니다. 5월 호에는 인공지능을 이용해서 원하는 물성을 가진 기능성 분자를 생성하고 이러한 분자들의 합성 경로를 예측하는 방법들이 산업에서 어떻게 활용되고 있는지에 대해서 삼성종합기술원의 이동선 책임연구원님께서 설명해 주실 예정입니다. 또한, 6월 호에서는 카이스트 화학과의 김우연 교수님께서 새로운 분자 생성 및 전이 상태 예측을 수행하는 인공지능에 대해서 설명해 주실 예정입니다. 3개월에 걸쳐 진행될 총설 연재를 통해 인공지능이 어떻게 화학에 적용되고 화학 연구의 방향을 바꾸고 있는지에 대해서 조금 더 깊이 이해하실 수 있는 기회가 되기를 바랍니다.

마지막으로 이번 읽기 쉬운 총설에 참여해 주신 전문가분들께 진심으로 감사드립니다. 🙏

인공지능을 활용한 단백질 구조 예측

백민경 | 서울대학교 생명과학부, minkbaek@snu.ac.kr

서론

단백질은 우리 신체를 구성하는 주요 물질일 뿐만 아니라 거의 모든 생명현상에 관여하는 아주 중요한 생체분자이다. 예를 들어 시각, 미각, 후각 등 우리가 외부의 자극을 감지하는 과정에도 단백질이 관여하고 있고, 음식을 통해 세포가 사용할 에너지를 얻는 소화 및 대사 과정에도 다양한 단백질들이 관여하고 있다. 단백질은 우리가 보고, 먹고, 느끼고, 숨을 쉬며 살아가는 데 있어 가장 핵심적인 역할을 하는 생체분자라고 해도 과언이 아니다. 이러한 단백질에 대해 더욱 잘 이해할 수 있게 된다면, 이를 바탕으로 우리 몸에서 일어나는 다양한 생명현상이 어떻게 나타나고 조절되는지에 대해 이해할 수 있게 된다. 생명현상에 대한 단백질 분자수준의 이해는 단백질 기능의 이상으로 인해 나타나는 다양한 질병에 대한 치료제를 개발하는데 도움을 줄 수 있고, 플라스틱 분해효소 개발이나 태양광발전 효율 향상을 위한 광에너지 흡수 단백질 개발 등을 통해 환경 및 에너지 문제를 해결하는데 도움을 줄 수도 있다.

20가지의 아미노산이 적게는 수십 개, 많게는 수천 개 연결된 단백질이라는 분자가 이렇게 다양한 기능을 가지는 것은, 단백질의 서열(아미노산의 조합)에 따라서 서로 다른 3차원 구조를 가지고 이에 따른 기능을 수행하기 때문이다. 즉, 우리가 단백질의 서열로부터 그 3차원 구조를 알아낼 수 있다면 단백질의 기능을 이해하는데 아주 큰 도움이 될 수 있다. 이러한 중요성 때문에 그동안 수많은 실험과학자가 단백질의 구조를 X-선 결정학, NMR 자기공

명학, 초저온 전자현미경 등을 활용하여 실험적으로 밝히기 위해 많은 노력을 쏟아왔다. 하지만, 실험을 통해 단백질의 구조를 결정하는 데는 많은 비용이 소모될 뿐만 아니라, 짧게는 수개월에서 길게는 수년이라는 엄청난 시간이 소요된다.

단백질의 서열로부터 그 3차원 구조를 컴퓨터 계산을 통해 빠르게 알아낼 수 있다면, 단백질 구조 및 기능 연구에 드는 시간을 훨씬 단축할 수 있지 않을까? 이를 위해 지난 50여 년 동안 단백질 구조를 예측하는 다양한 프로그램들이 개발되어 왔고, 2010년대 중반부터는 인공지능을 결합한 단백질 구조 예측 방법들이 개발되기 시작하였다. 그 정점에 있는 것이 2021년 발표된 구글 딥마인드의 알파폴드¹와 워싱턴대학교의 로제타폴드² 방법이다. 알파폴드와 로제타폴드 방법은 실험구조에 준하는 높은 정확도의 단백질 구조를 단 몇 분 만에 빠르게 예측해낼 수 있다. 빠른 속도와 높은 정확도를 기반으로 알파폴드와 로제타폴드는 기존의 실험 위주의 단백질 구조 연구를 계산과 결합한 연구로 변화시키고, 신약개발을 가속하는 등 생물학 및 관련 분야 전반에 걸쳐 막대한 영향을 줄 것으로 기대되고 있으며, 세계적인 과학학술저널인 사이언스에서는 2021년의 가장 혁신적인 연구로 인공지능 기반의 단백질 구조 예측 기술을 선정하기도 했다. 본 총설에서는 인공지능 기반의 단백질 구조 예측 방법이 어떻게 발전해왔는지를 소개하고, 이를 응용한 단백질-단백질 상호작용 예측 연구에 대해 소개하고자 한다.

본 론

1. 단백질 구조 예측 인공지능의 출발점: 진화정보 기반의 단백질 구조 예측

단백질을 구성하는 아미노산 20가지는 그 성질이 조금씩 달라 서로 가까이 있는 것을 좋아하기도, 혹은 멀리 떨어져 있는 것을 좋아하기도 한다. 아미노산 사이의 상호작용 에너지를 계산하여 가장 안정한 구조를 찾는다면, 주어진 서열로부터 단백질의 구조를 예측해 볼 수 있다. 말로는 간단해 보이지만, 실제로 물리화학 원리만을 이용해서 단백질의 구조를 예측하는 것은 거의 불가능에 가깝다. 주어진 단백질의 가장 안정한 구조, 즉 에너지가 가장 낮은 구조를 찾기 위해서는 해당 단백질이 가질 수 있는 모든 가능한 구조를 탐색해보고 어떤 구조가 가장 안정한지 그 에너지를 계산해 보아야한다. 아미노산 300개로 이루어진 평균길이의 단백질을 생각해보자. 아미노산 한 개에 대략 10개의 구조를 가질 수 있다고 하면, 이 단백질이 가질 수 있는 구조는 단순히 계산해도 10^{300} 개가 된다. 아무리 빠른 컴퓨터를 사용한다고 하더라도 모든 경우의 수를 탐색해보려면 우주의 나이(약 137억년, 4.3×10^{10} 초)보다도 더 긴 시간이 필요하다. 그렇다면 이러한 한계를 극복할 방법은 없을까?

우리의 근육에는 “미오글로빈”이라는 단백질이 풍부하게 존재한다. 이 단백질은 사람 뿐만 아니라 대부분의 포유류, 심지어 참치와 같은 일부 어류에도 존재한다. 미오글로

빈 단백질은 혈액 속의 헤모글로빈보다 산소와의 친화도가 훨씬 높아 헤모글로빈에게서 산소를 받아와 근육에서 사용할 수 있도록 저장하는 역할을 한다. 근육에서 사용할 산소를 저장한다는 역할은 같지만, 사람의 미오글로빈과 말의 미오글로빈, 참치의 미오글로빈은 모두 그 서열이 다르다 [그림 1]. 진화과정에서 단백질 서열의 변이가 일어났지만 그 기능은 똑같이 유지된 것이다. 진화과정에서 단백질의 서열에 변이가 생겼을 때, 아미노산 사이의 상호작용이 변하여 단백질의 구조가 크게 변한다면 어떻게 될까? 해당 변이 단백질은 기능에 필수적인 구조를 잃으면서 더 이상 본래의 기능을 하지 못하게 되고 이를 가진 생명체는 도태될 것이다. 즉, 진화과정을 거쳐 살아남은 생명체에서 비슷한 기능을 하는 단백질들은 그 서열에 변화가 생겼더라도 기능 유지를 위해 그 구조가 유사하게 유지된다. 이를 역으로 생각해보자. 진화적으로 연관이 있는 단백질들의 서열을 모아본다면, 거기에서 단백질의 구조에 대한 정보를 얻을 수 있지 않을까?

이 아이디어를 바탕으로 진화정보를 담고 있는 단백질 다중서열정렬(Multiple Sequence Alignment, MSA)로부터 단서를 찾아 단백질의 구조를 예측하려는 연구들이 활발히 이루어졌다.^{3,4} 진화정보를 활용한 단백질 구조 예측 문제에서 결국 우리가 찾고자 하는 것은 진화정보를 담고 있는 단백질 다중서열정렬이라는 주어진 데이터 안에 숨어있는 단백질 구조에 대한 패턴이다. 인공지능이 가장 잘한다고 알려진 일 중의 하나가 바로 “데이터에 숨어있는 패턴 찾기”이다. 인공지능이 이미지 분류에 두각을 나타내

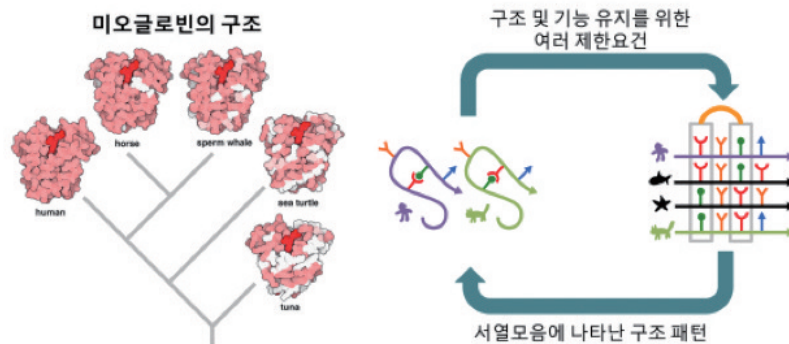


그림 1. (좌) 여러 종에서의 미오글로빈 단백질의 구조. 분홍색은 사람의 미오글로빈과 아미노산 서열이 같은 부분을, 흰색은 그 서열이 다른 부분의 의미. (우) 진화데이터(서열모음)에 나타나는 구조 패턴에 대한 모식도

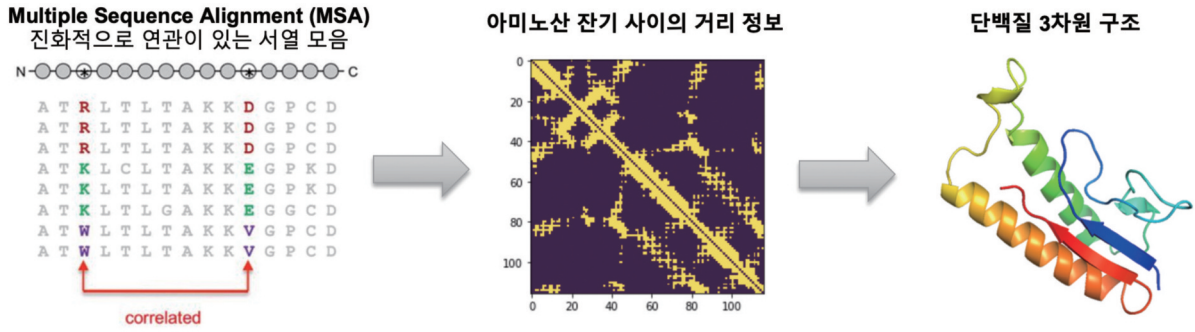


그림 2. 진화정보 기반의 단백질 구조 예측 과정

기 시작한 2010년대부터 인공지능을 활용한 단백질 구조 예측 연구가 활발히 진행되기 시작하였다.^{5,6}

2. 단백질 구조 예측 인공지능의 발전: 알파폴드와 로제타폴드

인공지능 활용의 출발점이 된 진화정보 기반의 단백질 구조 예측은 크게 [그림 2]에 나타낸 것과 같이 단백질 다중 서열정렬로부터 단백질을 이루는 아미노산 잔기(residue) 사이의 거리정보에 대한 예측을 하고, 이를 바탕으로 단백질의 3차원 구조를 만들어내는 과정으로 구성된다.

진화정보로부터 단백질의 구조에 대한 패턴, 즉 아미노산 잔기 사이의 거리정보에 대한 예측 과정에 인공지능을 활용하기 위해선 어떻게 해야 할까? 이에 대한 답을 찾기 위해 인공지능과 좀더 밀접한 연관이 있는 이해하기 쉬운 문제로 한번 바꾸어 생각해보자. 단백질의 다중서열정렬은 텍스트로, 단백질 아미노산 잔기 사이의 거리정보는 2차원 이미지로 나타낼 수 있다. 즉, 진화정보로부터 단백질의 구조에 대한 패턴을 찾는 과정은 일종의 글을 읽고 그 글이 묘사하는 그림을 그리는 과정과 유사하다고 볼 수 있다[그림 3a]. 인공지능을 활용해 글을 바탕으로 그림을 그리는

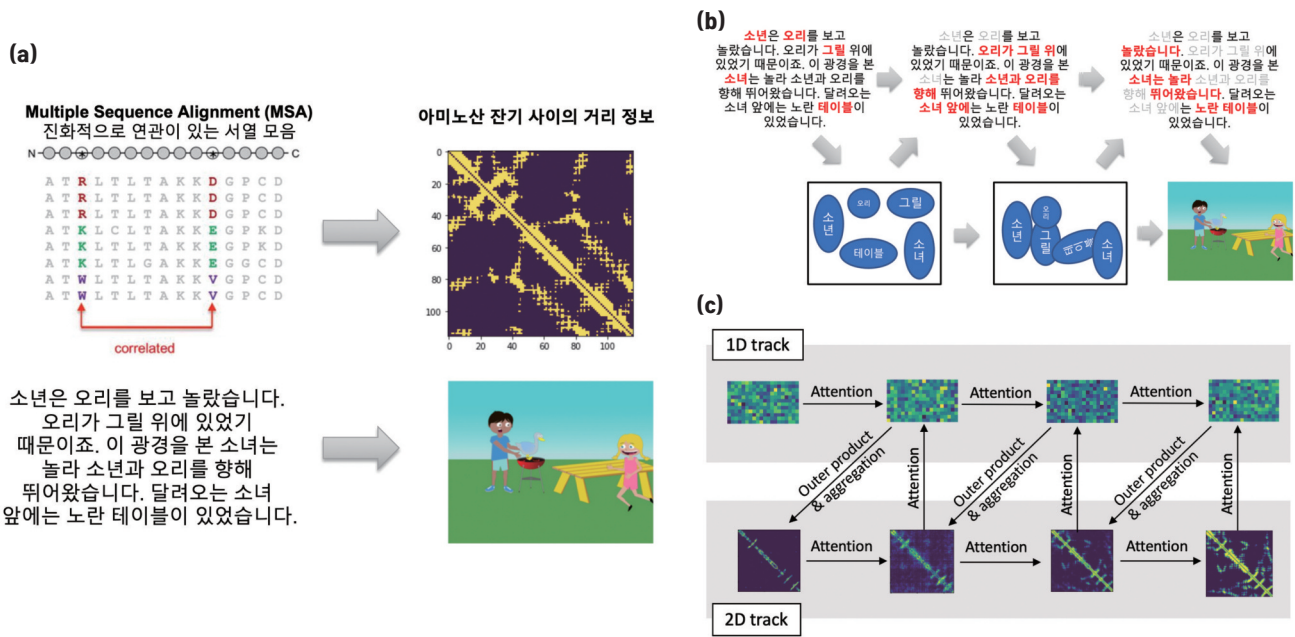


그림 3. 다중서열정렬로부터 아미노산 잔기 사이의 거리정보를 찾아내는 과정. (a) 글을 읽고 그림을 그리는 과정과의 유사성. (b) 글을 읽고 그림을 그리는 과정에 필요한 요소. (c) 다중서열정렬로부터 아미노산 잔기 사이의 거리정보를 찾아내는 과정에서의 대응도

위해서는 우선 글의 내용을 이해하는 부분, 찾아낸 정보를 바탕으로 그림을 업데이트하는 부분, 현재까지 그려진 부분들을 바탕으로 그림의 디테일을 추가해 나가는 부분, 그림에 빠진 부분은 없는지 글에서 새로 찾은 정보는 없는지 그림과 글을 비교하는 부분 이렇게 네가지 요소가 유기적으로 연결되어 반복하는 것이 필요하다[그림 3b]. 이를 다중서열정렬로부터 아미노산 잔기 사이의 거리 정보를 예측하는 과정에 적용시켜보면, 1) 다중서열정렬을 읽고 이해하는 부분, 2) 다중서열정렬로부터 구조에 대한 정보를 찾아 2차원 아미노산 잔기 사이의 거리정보를 업데이트하는 부분, 3) 현재의 거리정보를 바탕으로 비어 있는 디테일을 추가하는 부분, 4) 거리정보와 다중서열정렬을 비교하면서 새로 찾아낸 정보는 없는지를 탐색하는 부분으로 대응시켜 볼 수 있다[그림 3c]. 이런 일련의 과정을 통해 얻어낸 단백질 서열에 대한 정보와 아미노산 잔기 사이의 거리에 대한 정보를 종합하여 단백질의 3차원 구조를 만들어내는 인공지능을 결합하면 다중서열정렬로 표현되는 단백질의 진화정보를 기반으로 인공지능을 통해 단백질의 3차원 구조를 예측할 수 있다.

이러한 아이디어를 기반으로 만들어진 것이 2021년 발표된 구글 딥마인드의 알파폴드¹와 워싱턴대학교의 로제타폴드²이다. 알파폴드는 위에 기술한 일련의 과정을 거쳐 다

중서열정렬로부터 아미노산 잔기사이의 거리정보를 이해하고 이를 기반으로 단백질의 3차원 구조를 마지막에 만들어낸다[그림 4a]. 로제타폴드의 경우에는 단백질의 3차원 구조를 중반부터 만들어보면서 다중서열정보로부터 아미노산 잔기 사이의 거리 정보를 업데이트하는데 직접적으로 피드백을 주고받는다라는 점에서 차이가 있다[그림 4b]. 두 방법 모두 인공지능을 활용하여 다중서열정렬이라는 단백질의 진화정보 안에 숨어있는 구조에 대한 패턴을 잘 찾아내도록 함으로써 비약적으로 발전한 단백질 구조 예측 성능을 보여주었다[그림 4c].

3. 단백질-단백질 상호작용 및 결합구조 예측으로의 활용

앞에서 설명한 바와 같이 알파폴드와 로제타폴드는 단백질의 진화정보를 활용하여 단백질의 구조를 예측한다. 이는 진화과정에서 단백질이 그 기능을 유지하기 위해 단백질의 구조를 유지할 필요가 있었기 때문이다. 결과적으로, 진화적으로 연관이 있는 단백질들의 서열 모음(다중서열정렬) 안에 구조에 대한 패턴이 나타나게 되고 이를 인공지능을 활용하여 찾아냄으로써 고정확도의 단백질의 구조 예측이 가능해진 것이다. 그렇다면 단백질-단백질 사이의 상호작용 예측은 어떻게?

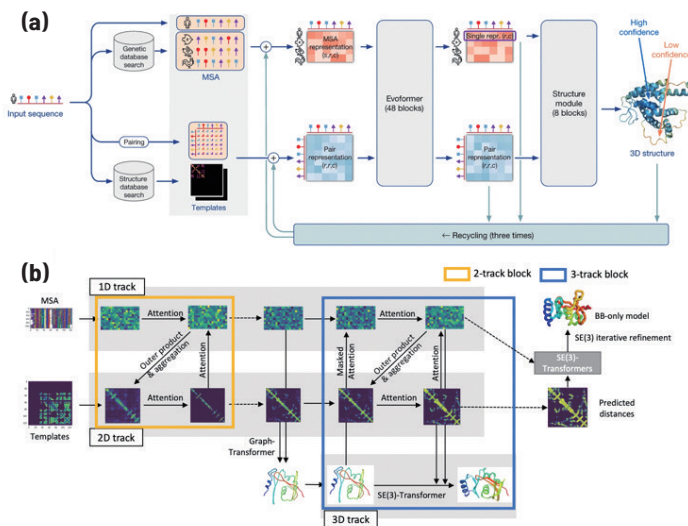


그림 4. 알파폴드와 로제타폴드 인공지능 모델 구조 및 구조예측 정확도. (a) 알파폴드 인공지능 모델 구조(알파폴드 논문¹에서 발췌). (b) 로제타폴드 인공지능 모델 구조(로제타폴드 논문²에서 발췌). (c) CASP 단백질 구조예측 대회 평가결과

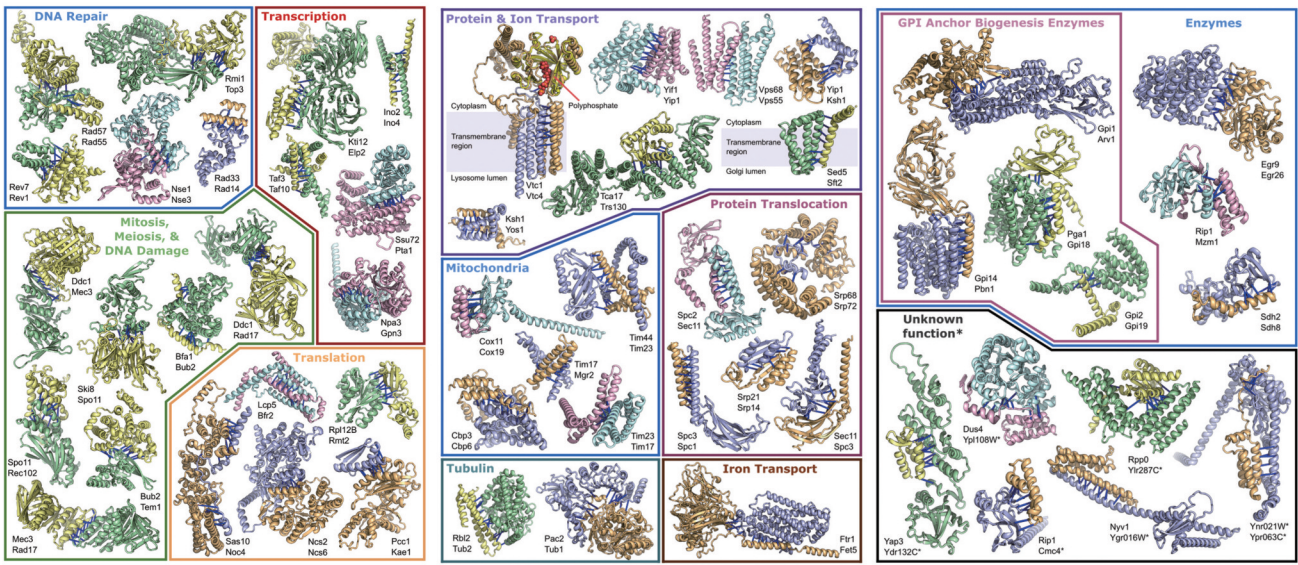


그림 5. 로제타폴드, 알파폴드를 활용한 효모에 존재하는 단백질-단백질 쌍에 대한 상호작용 예측 결과 예시(해당 논문⁷에서 발췌)

두 단백질이 결합하는 것이 기능을 하는데 중요하다면, 진화과정에서 두 단백질의 결합이 항상 유지되는 방향으로 진화가 일어났을 것이다. 즉, 진화정보 안에 두 단백질의 결합에 대한 패턴 및 결합구조에 대한 패턴도 숨어있을 것이라 기대할 수 있다. 알파폴드와 로제타폴드가 이미 진화정보에 숨어있는 구조에 대한 패턴을 찾아내는데 특화되어 있으므로, 단백질-단백질 상호작용에 대해서도 두 단백질 사이의 진화정보만 잘 찾아 넣어준다면 1) 두 단백질이 결합을 하는지, 2) 결합한다면 어떤 구조를 이루는지를 예측해 낼 수 있지 않을까?

이러한 아이디어에서 출발하여 워싱턴 대학교의 데이비드 베이커 교수 연구팀은 로제타폴드와 알파폴드를 활용하여 효모에 존재하는 모든 단백질들 사이의 상호작용을 예측하여 사이언스에 그 결과를 발표하였다.⁷ 로제타폴드, 알파폴드 모두 기존 DCA(Directed Coupling Analysis) 기반의 방식보다 단백질-단백질 상호작용 여부를 훨씬 더 잘 예측했을 뿐만 아니라, 실제 결합구조 역시 잘 예측함을 보였다. 효모에 존재하는 모든 단백질 사이의 상호작용을 예측하여 1,500여 개의 단백질-단백질 상호작용을 밝히고 그 결합구조를 예측하여 공개하였다(그림 5). 이러한 구조들은 실제 생화학 실험을 통해 검증되었으며, 이 구조들을 바탕으로 다양한 영역의 생명현상에 대해 분자 구조수준에

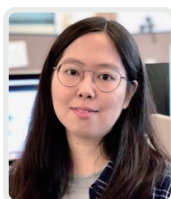
서의 이해를 제공해 줄 것으로 기대되고 있다.

결론

지난 50여 년간 수많은 연구자들에 의해 축적된 단백질 구조 예측에 대한 아이디어와 노하우는 인공지능을 만나면서 그 빛을 발하였다. 진화정보를 활용해 단백질의 구조를 예측하자는 아이디어와 인공지능이 결합되면서 단백질의 구조 예측에 비약적인 발전이 이루어졌으며, 인공지능 기반 단백질 구조 예측 연구는 생명과학 연구의 혁신이라고 평가받고 있다. 이러한 단백질 구조 예측 인공지능을 잘 활용하여 단백질의 단일 구조 뿐만 아니라 단백질-단백질 사이의 상호작용 예측과 결합구조 예측 역시 가능성이 증명되었다. 이러한 연구를 밑거름삼아 자연계에 존재하지 않는 새로운 단백질을 설계하는 인공지능^{8,9} 단백질 뿐만 아니라 유기분자¹⁰나 핵산¹¹을 고려할 수 있는 인공지능 등, 다양한 분야로의 응용이 활발히 이루어지고 있다. 인공지능이 불러온 생명과학 연구의 혁신은 여전히 현재 진행형이며 앞으로 인류가 당면하고 있는 다양한 보건, 에너지, 환경 문제 등의 해결에 큰 도움을 줄 것으로 기대되고 있다. ☺



1. John Jumper, et al. "Highly accurate protein structure prediction with AlphaFold." *Nature* **2021**, 596(7873), 583-589.
2. Minkyung Baek, et al. "Accurate prediction of protein structures and interactions using a three-track neural network." *Science* **2021**, 373(6557), 871-876.
3. Debora S. Marks, et al. "Protein 3D structure computed from evolutionary sequence variation." *PloS one* **2011**, 6(12), e28766.
4. Sergey Ovchinnikov, et al. "Protein structure determination using metagenome sequence data." *Science* **2017**, 355(6322), 294-298.
5. Andrew W. Senior, et al. "Improved protein structure prediction using potentials from deep learning." *Nature* **2020**, 577(7792), 706-710.
6. Jianyi Yang, et al. "Improved protein structure prediction using predicted interresidue orientations." *Proceedings of the National Academy of Sciences* **2020**, 117(3), 1496-1503.
7. Ian R. Humphreys, et al. "Computed structures of core eukaryotic protein complexes." *Science* **2021**, 374(6573), eabm4805.
8. Ivan anishchenko, et al. "De novo protein design by deep network hallucination." *Nature* **2021**, 600(7889), 547-552.
9. Jue Wang, et al. "Scaffolding protein functional sites using deep learning." *Science* **2022**, 377(6604), 387-394.
10. Gabriele Corso et al. "Diffdock: Diffusion steps, twists, and turns for molecular docking." *arXiv preprint arXiv:2210.01776*, **2022**.
11. Minkyung Baek, et al. "Accurate prediction of nucleic acid and protein-nucleic acid complexes using RoseTTAFoldNA." *bioRxiv* **2022**, 2022.09.09.507333.



백민경 Minkyung Baek

- 서울대학교 화학부, 학사(2009.3 - 2013.2)
- 서울대학교 화학부, 박사(2013.3 - 2018.8, 지도교수 : 석차욱)
- 서울대학교 화학부, 박사 후 연구원(2018.9 - 2019.3, 지도교수 : 석차욱)
- 워싱턴대학교 생화학부, 박사 후 연구원(2019.5 - 2022.7, 지도교수 : David Baker)
- 서울대학교 생명과학부, 조교수(2022.9 - 현재)

초고해상도 형광 현미경 기술의 최근 발전 방향과 다양한 응용 연구

고가은, 김두리* | 한양대학교 화학과, doorykim@hanyang.ac.kr

서론

오늘날 다양한 현미경 기술의 발전으로 인해 관심 시료를 직접 관찰하는 연구에 대한 중요성이 높아졌다. 특히 빛의 회절 현상으로 인해 극복하기 어려워 보였던 광학 현미경의 해상도의 한계가 2000년대 초반부터 개발되기 시작한 초고해상도 형광 현미경으로 극복되면서 기존에 전자현미경으로만 관찰 가능했던 세포 내 다양한 나노 구조들의 관찰이 광학 현미경으로도 가능해졌고, 이로 인해 기존 광학 현미경으로 관찰하기 어려웠던 새로운 바이오 현상들이 많이 보고되었다.¹⁻⁴ 이러한 초고해상도 형광 현미경 기술은 형광체 라벨링을 필요로 하기 때문에 오늘날까지 세포 등 바이오 샘플에 주로 활용되어 왔는데, 이 기술이 나노미터 수준의 높은 해상도를 가지기 때문에 바이오 분야 외의 다양한 영역에서도 이를 활용하고자 하는 바람 또한 높아지고 있다. 이러한 요구로 인해 최근 들어서는 초고해상도 형광 현미경을 반도체, 고분자 등의 나노 재료 연구와 화학반응에 활용하는 연구들이 시도되었는데, 이와 같은 발전은 초고해상도 형광 현미경의 응용 범위를 획기적으로 넓힐 수 있는 방향으로서 주목받고 있다. 이에 따라 본고에서는 오늘날 이러한 초고해상도 형광 현미경 기술의 최근 발전 방향과 이러한 기술이 어떠한 다양한 분야에 활용될 수 있는지 그 구체적 최근 연구 사례들을 소개하고자 한다.

본론

1. 초고해상도 형광 현미경 기술의 발전

빛은 파동의 성질을 가지기 때문에 렌즈를 통과하면서 회절 현상이 일어나 카메라에 맺힐 때에 수 백 나노미터 너비의 점 확산 함수(PSF: point spread function)를 보여 이론적인 공간 분해 능력의 한계를 가진다(그림 1a). 이러한 광학 현미경의 이론적인 해상도 한계는 아베에 의해 제안되었는데, 가시광선 영역의 빛을 사용할 경우 그 파장의 절반 정도인 200~400 nm의 해상도 한계를 보인다고 알려져 있다. 하지만 2000년대 초반부터 다양한 초고해상도 형광 현미경 기술이 개발되면서 이러한 이론적인 해상도를 뛰어넘을 수 있었다. 대표적인 초고해상도 형광 현미경 기술로는 단일 형광 분자를 기반으로 하는 방법인 STORM (STochastic Optical Reconstruction Microscopy)³/PALM(Photo-Activated Localization Microscopy)⁴, 빛의 패턴을 기반으로 하는 방법인 SIM(Structured Illumination Microscopy)², 유도 방출을 이용하는 방법인 STED(STimulated Emission Depletion Microscopy)¹가 있다. 이들 기술은 그 원리는 상이하지만, 모두 수 나노미터에서 수십 나노미터의 공간 해상도를 보여 기존 광학 현미경으로 관찰하지 못했던 세포 내 나노 구조를 관찰 가능하게 해주는 등 바이오 연구에 있어 획기적인 발전을 가

저다 주었고[그림 1b], 그 파급 효과를 인정 받아 이 기술들을 개발한 과학자들(Eric Betzig, Stefan W. Hell, William E. Moerner)이 2014년도 노벨 화학상을 받기도 하였다.

이러한 초고해상도 형광 현미경 기술은 단지 해상도를 높일 뿐만 아니라, 최근 들어서는 다른 현미경 또는 분광학 기술과 연계됨으로써 그 기능이 강화되기도 하였다. 예를 들어, 형광 현미경 기술과 반대되는 장단점을 가지고 있는 전자 현미경 기술과 연계함으로써 두 현미경 기술의 장점을 모두 얻을 수 있게 되었다.⁵⁻⁶ [그림 1c] SEM, TEM 등과 같은 전자 현미경은 시료에 따라 나노미터 이하의 해상도까지 보이기도 하지만 초고진공 상태와 전도체의 시료를 필요로 하기 때문에 살아있는 세포 혹은 비건조된 시료에 적용하기 어렵고, 분자 특이성이 제한되어 흑백 이미지로만 보여준다. 반면, 형광 현미경은 진공 상태를 필요로 하

지 않기 때문에 다양한 상태의 시료로의 적용이 가능하고 분자 특이성이 높지만, 초고해상도 형광 현미경조차도 전자 현미경에 비해서는 아직 낮은 해상도를 보인다. 하지만 최근 들어 이렇게 서로 다른 장단점을 가진 두 현미경 기술을 합칠 수 있는 연계형 현미경 기술이 개발됨으로써 샘플 내 같은 영역에 대해 적용하여 다양한 구조 정보를 관찰할 수 있게 되어, 기존의 초고해상도 형광 현미경 기술 또는 전자 현미경 기술만으로는 얻을 수 없었던 새로운 정보를 얻을 수 있게 되었다.⁵

한편, 초고해상도 형광 현미경 기술은 최근에 분광학 기술과도 연계되었는데, 특히 STORM 과 같은 단일분자 이미징 기술과 분광학 기술이 합쳐짐으로써 기존의 분광학 기술로는 얻을 수 없었던 단분자 수준에서의 분광학 정보를 얻을 수 있게 되었다. 예를 들어, 최근에 STORM 현미

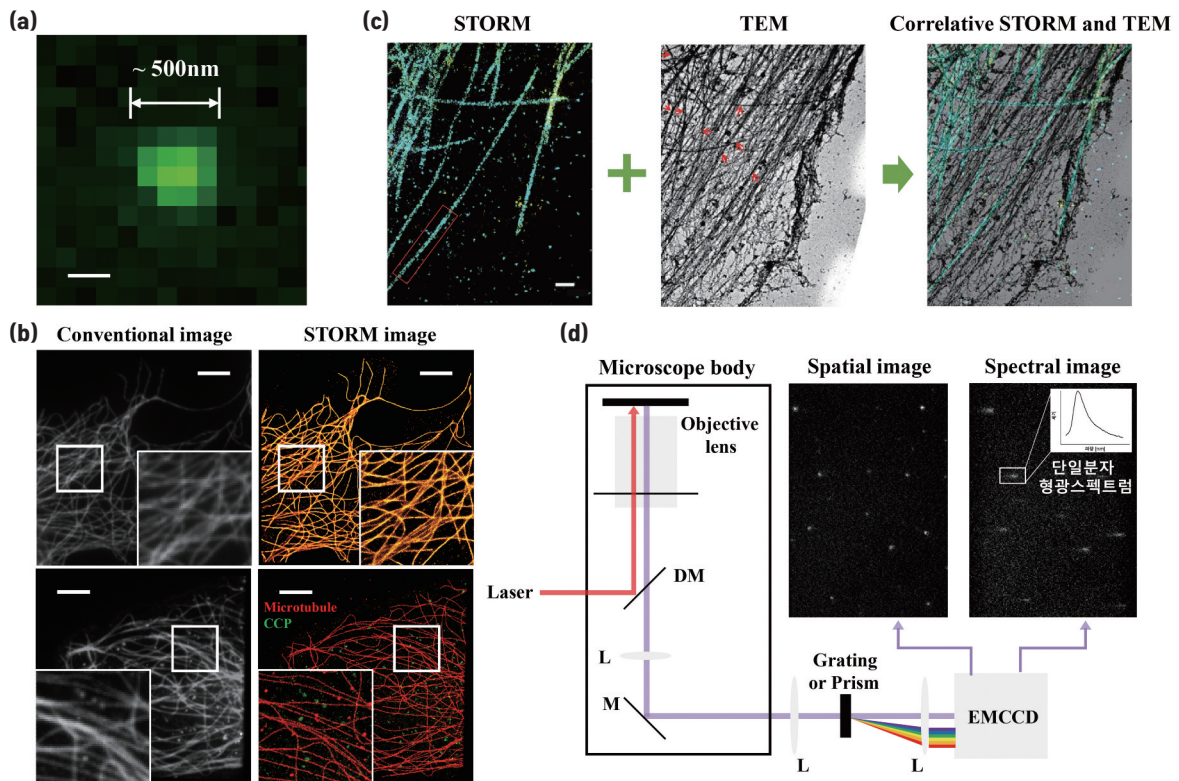


그림 1. 초고해상도 형광 현미경 기술의 발전. (a) AF647 형광 분자의 단분자 이미지와 점 확산 함수(PSF) 크기. (b) 세포 내 미세소관의 일반 형광 이미지(왼쪽)와 STORM 이미지(오른쪽) 비교. (위)Single-color STORM 이미지. (아래)미세소관과 clathrin-coated pit (CCP)에 대한 Two-color STORM 이미지. (c) 세포 내 미세소관에 대한 correlative STORM and TEM 이미지.⁵(Creative Commons Attribution (CC BY) license) (d) Spectrally resolved STORM 장비 구성과 이를 통해 얻는 공간적(왼쪽) 이미지, 분광적(오른쪽) 이미지, 단분자 형광 스펙트럼 데이터.

경 장비에 프리즘 또는 회절 격자를 추가함으로써 단분자의 형광 스펙트럼을 그 이미지와 함께 얻을 수 있는 기술이 개발되었다.⁷⁻⁸ [그림 1d] 이러한 기술은 수분 내에 수백만 개 수준의 단일 분자에 대해 위치 정보와 스펙트럼 정보를 동시에 얻을 수 있게 해줄 뿐 아니라, 약 10 nm 정도의 분광 해상도를 가지기 때문에 기존의 필터에 기반한 multi-color STORM 을 대체할 수 있는 기술로서 더 많은 컬러의 다중컬러 이미징을 가능하게 하였다.⁷

이러한 초고해상도 형광 현미경 기술의 최근 발전은 단지 높은 공간해상도의 이미지를 얻을 수 있게 해줄 뿐 아니라, 기존에 초고해상도 형광 현미경 기술만으로는 얻지 못했던 다양한 공간적, 분광학적 정보를 나노미터 수준 또는 단분자 수준에서 제공함으로써 그 기능을 획기적으로 향상시켰다. 이렇게 기능이 강화된 초고해상도 형광 현미경 기술이 오늘날 어떤 분야에 다양하게 쓰일 수 있는지를 알아보기 위해 본고에서는 바이오 이미징, 나노 재료, 단분자 수준에서의 화학 반응 연구로의 응용으로 나누어 그 구체적인 최근 연구 사례들을 소개하고자 한다[그림 2a].

2. 바이오 이미징으로의 응용

앞서 기술하였듯이 초고해상도 형광 현미경 기술은 비교적 형광체 라벨링이 쉬운 바이오 시료에 주로 응용되고 있는데, 개발 초기에는 주로 포유류 일반 세포에 적용되다가 최근 들어서는 신경 세포, 박테리아, 바이러스, 세포외소포체 등 다양한 바이오 시료 연구로 확장되어 응용되고 있다 [그림 2b].

예를 들어 신경세포의 액틴 필라멘트에 대한 초고해상도 이미징 연구를 통해 축삭돌기(axon)에서 액틴과 스펙트린이 링의 형태로 약 180~190 nm의 주기성을 띠며 축삭돌기의 장축을 따라 교대로 배치되어 membrane-associated periodic skeleton(MPS)를 형성하여 축삭돌기의 기계적 안정성을 제공한다는 것이 처음으로 보고되었다.⁹ 이러한 주기는 아베의 회절 한계(~300nm)보다 짧은 길이이기 때문에 기존 광학 현미경으로 관찰되지 않은 현상이었고, 추후 후속 연구를 통해 1차원 MPS가 축삭 돌기보다 수상돌기(dendrites)에서 느린 속도로 발달하고 체성수상돌기 영역(somatodendritic compartment)에서 2차원 다각형

격자 구조를 형성한다는 것이 추가로 관찰되었다.¹⁰

또한, 최근에는 무핵세포이자 일반 세포보다 더 작은 크기를 가진 혈소판 연구에도 초고해상도 형광 현미경 기술이 응용되었는데, 혈액 응고 과정에서 일어나는 혈소판의 활성화 현상과 혈소판 생성 과정에서 일어나는 혈소판 내 소기관의 초미세구조 변화를 초고해상도 형광 현미경으로 관찰함으로써 혈소판 주요 기능 과정에 있어서 각 소기관의 역할이 규명되었다.¹¹⁻¹² 예를 들어 초고해상도 형광 현미경(STORM)과 전자 현미경의 연계 현미경 기술을 통해 혈소판 활성화 과정에 있어서 액틴 결절(actin nodules)과 액틴 다발(bundle)이 생성되면서 혈소판이 상처 부위 주변으로 퍼질 수 있고, 넓어진 접촉면적을 통해 혈소판 응집 현상을 일으키는 것이 관찰되었다.¹² 또한, 이전까지는 소기관들이 혈소판 내에 균일하게 분포되어 있을 것이라고 예측되었지만, 초고해상도 현미경 관찰을 통해 퍼진 혈소판의 중앙 부분으로 이들 소기관들이 모여들고, 중앙 부분에 많이 형성된 열린 세관계(open canalicular system: OCS)와의 연결(fusion)을 통해 소기관 내 단백질들이 출혈 신호로서 외부로 배출된다는 것이 처음으로 관찰되었다.

한편, 높아진 해상도의 이점 때문에 기존 광학 현미경으로 관찰하기 어려웠던 바이러스, 박테리아 등 미생물도 단일 입자 수준에서 관찰이 가능해졌다. 직경 100 nm 수준의 원형 또는 필라멘트 형태의 독감 바이러스가 숙주 세포에서 생성되는 과정이 STORM 과 전자현미경의 연계 현미경(correlative STORM and EM)을 통해 관찰되었고, 숙주 세포에서 생성된 virus progeny의 tip에서 vRNP (viral ribonucleoprotein)가 budding 현상을 이끌어내는 것이 관찰되었다.⁵ 숙주 세포에서 생성된 바이러스 필라멘트들이 초고해상도 현미경 해상도 한계보다 좁은 영역 내에서 겹쳐져서 budding 하고 있었는데 이렇게 겹쳐진 바이러스들을 전자 현미경을 통해 구별할 수 있었고, 초고해상도 형광 현미경을 통해서도 같은 영역에 대해서 바이러스 내의 단백질들을 구별하여 다색으로 이미징을 할 수 있었다. 이는 기존의 어떤 현미경으로도 관찰할 수 없었던 현상으로 연계형 초고해상도 현미경의 필요성을 보여주는 대표적인 사례라 할 수 있다.

초고해상도 형광 현미경 기술의 해상도가 나노미터 수준이기 때문에 최근에는 미생물보다도 더 작은 세포외소포체

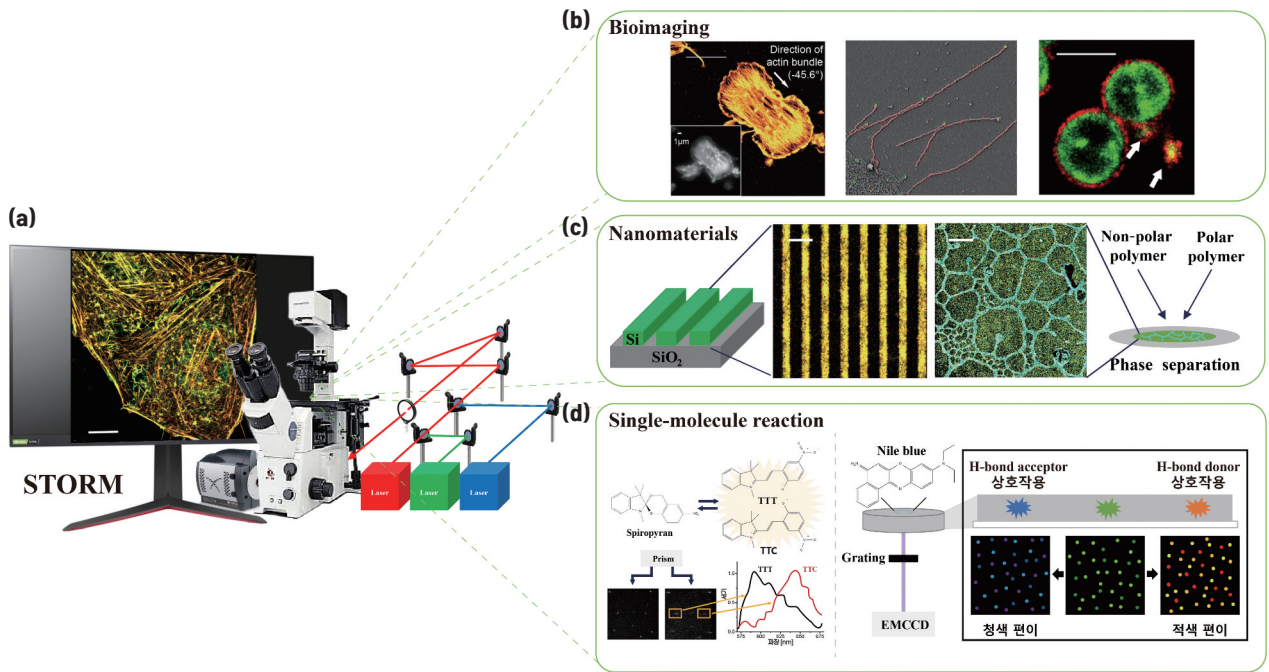


그림 2. 초고해상도 형광 현미경 기술의 다양한 응용 분야. (a) STORM 장비 구성. (b) 바이오 이미징 응용 사례. (왼쪽)혈소판 (scale bar = 5 μm)¹² (Creative Commons Attribution(CC BY) license). (가운데)독감 바이러스 (scale bar = 500 nm)⁵ (Creative Commons Attribution (CC BY) license). (오른쪽)박테리아에서 생성된 세포외소포체 (Extracellular vesicle) (scale bar = 1 μm)¹³ (Creative Commons Attribution (CC BY) license). (c) 나노 재료 이미징 응용 사례. (왼쪽)반도체 (scale bar = 1 μm). (오른쪽)상분리된 고분자 필름 (scale bar = 5 μm). (d) 단분자 수준의 화학 반응 연구 응용 사례. (왼쪽)Spiropyran-merocyanine의 단분자 수준 동역학 연구. (오른쪽)단분자 수준의 수소 결합 센싱 연구.

(extracellular vesicle: EV) 관찰도 가능하게 하였다.¹³ EV는 생체 적합도가 높고 원하는 단백질, 유전자, 분자 등을 내부에 넣기 쉬운 약물 전달 또는 백신 재료로서 최근에 큰 각광을 받고 있다. 하지만 EV는 그 크기가 직경 20~400 nm로 기존의 광학 현미경으로는 관찰이 어려워 해상도가 높은 전자 현미경을 사용하여 주로 관찰되었는데, 전자 현미경은 분자 특이도가 낮아 그 구성분을 단일 EV 수준에서 관찰하는 데에 한계가 있었다. 이러한 한계를 STORM과 correlative STORM and EM 기술로 극복할 수 있었으며, 기존에 보고되지 않았던 그람양성균의 EV 생성 과정을 단백질 종류별로 다색으로 초고해상도 이미징함으로써 그람양성균의 EV 생성 메커니즘이 처음으로 제안되었다.¹³ 이 연구에 있어서 연계형 현미경 기술을 사용함으로써 그람양성균의 세포막과 세포벽 사이에 EV 전구체(EV precursor)가 존재함이 처음으로 관찰되었으며, 이후 세포벽 분해 상태에 따라 3가지 EV 생성 메커니즘으로 나뉘게 된다는 것이

제안되었다. 이는 초고해상도 형광 현미경 기술과 그 연계형 현미경 기술을 사용함으로써 수십 나노 크기의 단일 입자도 성분별로 초고해상도 이미징이 가능하며 이에 따라 나노 입자 별 정량화 또한 가능성을 의미한다.

3. 나노 재료 응용

초고해상도 형광 현미경 기술이 바이오 연구에 있어 기존에 관찰되지 못했던 나노 구조를 관찰 가능하게 해줌으로써 큰 발전을 가져오자 바이오 분야 외에 다양한 나노 재료 분야에서도 이 기술을 활용하고자 하는 관심이 높아졌다[그림 2c].

예를 들어 오늘날 반도체 제조에 있어 그 패턴의 크기가 작아지고 복잡해지게 되면서 나노 수준의 패턴이나 결함을 검사할 수 있는 새로운 측정 방법이 필요하게 되었지만, 기존의 반도체 검사 기술인 광학 현미경, 전자 현미경, AFM

기술 등으로는 이러한 반도체 웨이퍼 내 나노 패턴을 성분별로 빠르게 3차원으로 초고해상도 이미징할 수 없다는 한계가 지적되었다. 이러한 한계를 극복할 수 있는 반도체 산업의 차세대 기술로서 초고해상도 형광 현미경 기술이 최근에 주목을 받게 되었다. 하지만, 이 기술은 형광 현미경 기술이기 때문에 형광체 라벨링을 필요로 하였고 초고해상도의 이미지를 생성하기 위해서는 나노 미터 수준에서 높은 밀도로 형광체를 보고자 하는 대상에 특이적으로 라벨링할 수 있어야 했는데, 바이오 기술에 있어 면역형광법에 해당하는 형광체 라벨링 기술이 나노 재료에서는 부재하다는 한계가 있어 그 응용이 제한되어 왔다. 이러한 한계를 극복하기 위해 전하를 띤 고분자와 형광체가 달린 항체를 이용한 라벨링 기술이 최근에 구현되었다.¹⁴ 산화규소-구리(silicon oxide-Cu)로 이루어진 기관에서 상대적으로 음전하를 가지는 산화규소(silicon oxide)에 형광 염료를 선택적으로 부착하기 위해 양전하를 띤 폴리에틸렌이민(polyethyleneimine, PEI) 고분자로 산화규소 층을 코팅하고, 뒤이어 음전하를 띤 항체에 형광염료를 붙여 라벨링하는 방식으로 산화규소 층에 높은 밀도로 형광체를 붙일 수 있음이 확인되었다. 이에 대한 STORM 이미징 수행 결과 30 nm 너비의 산화규소 라인 패턴이 구별되어 초고해상도 이미징이 가능함이 확인되었고, 이러한 기술은 산화규소-구리(silicon oxide-Cu), SiO_2 -Si, Si-Si₃N₄ 등 다양한 구성분으로 이루어진 나노 패턴 이미징에도 적용 가능함이 보고되었다. 이러한 기술로 나노 수준의 라인 패턴 뿐만 아니라 반도체 제조 공정에서 수율에 큰 영향을 미치는 SiO_2 나노 입자 결함 또한 STORM으로 검출 가능하였다. 반도체 시료의 같은 영역에 대해 STORM 과 SEM 이미징을 수행해본 결과 STORM 이미지에서 더 높은 대비(contrast)를 보임으로써 더 높은 민감도로 이러한 나노 입자 결함이 검출 가능함이 보고되었다.

또한, 최근에 반도체 이외에도 초고해상도 형광 현미경을 활용한 고분자 필름 이미징 또한 성공적으로 구현되어 그 기술이 보고되었다.¹⁵ 먼저, 고분자 필름 내부를 이미징하기 위해서는 형광 염료를 고분자 용액에 섞어 스핀코팅하여 필름을 만드는 방법으로 형광염료를 필름 내부에 높은 밀도로 라벨링하여 초고해상도 형광 이미징이 가능하게 하였다. 반면 고분자 필름 표면을 이미징하기 위해서는 고

분자 필름에는 아무런 형광체 라벨링을 하지 않은 상태에서 형광염료를 포함한 이미징 버퍼를 사용하여 PAINT(points accumulation for imaging in nanoscale topography) 방식으로 이미징하는 방법이 개발되어 고분자 필름 표면 또한 초고해상도 이미징이 가능함이 보고되었다. 한편, 주변 극성(polarity)에 따라 그 색이 변하는 용제변색(solvatochromism) 성질을 가진 형광 염료와 SR-STORM 기술을 함께 활용함으로써 단분자 수준에서 고분자 필름의 국소적인 극성 또한 측정함과 동시에 초고해상도 이미징도 가능함이 보고되었다. 이러한 기술을 활용하여 기존 기술로 관찰 불가능했던 고분자의 상분리 현상이 나노 수준에서 관찰 가능함이 보고되었다. 전자 현미경 기술로는 부도체인 고분자 필름에 대한 이미징이 불가능하고, AFM 기술로는 팁에 의한 약한 고분자 필름의 손상 우려가 크며, 기존 광학 현미경 기술로는 나노 수준의 고분자 필름 구조를 관찰하기 어렵기 때문에 이러한 초고해상도 형광 현미경 기술을 활용한 고분자 필름 나노 이미징 기술은 앞으로 다양한 고분자 나노 재료 분석과 그 메커니즘 이해에 있어 큰 기여를 할 수 있을 것으로 기대한다.

4. 단분자 수준에서의 화학 반응 연구로의 응용

앞서 기술한대로 초고해상도 형광 현미경 기술과 분광 기술의 연계형 기술은 앙상블 레벨의 분광 정보만 받을 수 있었던 기존의 분광 기술의 한계를 뛰어넘어 단분자 수준의 형광 스펙트럼을 얻을 수 있게 해주었다. 이러한 연계형 기술은 단분자 수준의 형광 스펙트럼을 카메라 속도(수십~수백 Hz)로 받을 수 있게 해주었기 때문에 시간대별로 변화하는 단분자 수준 형광 스펙트럼을 높은 시간 분해능으로 관측함으로써 단분자의 동역학 연구 또한 가능하게 하였다.⁷⁻⁸ [그림 2d]


예를 들어 SR-STORM 기술을 활용하여 대표적인 광 변형성 분자인 스파이로피란-메로사이아닌(spiropyran-merocyanine)의 광이성질화 현상을 단분자 수준에서 관찰한 연구가 보고되었다.¹⁶ 스파이로피란 분자는 두 개의 링이 수직으로 배향되어 있어 형광을 방출하지 않다가 열이나 빛 에너지를 받게 되면 고리 열림 반응을 거쳐 형광을 방출하는 평면형인 메로사이아닌 분자로 전환되는데, 이때

메로사이아닌 분자는 트랜스(trans)와 시스(cis)의 이성질체인 TTT 또는 TTC의 형태로 존재할 수 있다. 이러한 서로 다른 이성질체의 존재는 기존의 분광학 연구와 이론적인 계산으로 제안된 바는 있었지만 SR-STORM 을 통해 처음으로 그 단분자 수준의 형광 스펙트럼을 관찰할 수 있었고, 특히 주변 환경의 극성에 따라 이 두 이성질체의 존재 비율이 달라짐이 관찰되었다. 뿐만 아니라 실시간으로 메로사이아닌의 단분자 스펙트럼을 관찰함으로써 TTT, TTC, 스파이로피란 간의 이성질화 동역학 반응을 단분자 수준에서 관찰할 수 있었다. 이와 같은 연구 사례는 SR-STORM 기술이 바이오 이미징 뿐만 아니라 기존의 분광학 기술의 한계를 극복함으로써 다양한 단분자 수준에서의 동역학 연구로 쓰일 수 있음을 의미한다.

뿐만 아니라, 최근에는 이러한 SR-STORM 기술을 활용한 단분자 수준의 형광 스펙트럼 관찰을 통해 단분자 수준에서 수소 결합의 유무와 종류를 센싱할 수 있는 기술이 개발되었다[그림 2d].¹⁷ 수소 결합은 화학 및 생물학 분야에서 매우 중요한 역할을 하기 때문에 국소적인 영역에서 이에 대해 검출할 수 있는 분석 기술에 대한 요구는 있어왔으나, 해상도의 한계와 적합한 센싱 역할을 할 수 있는 분자의 부재가 한계로 지적되어 왔다. 이러한 한계를 극복할 수 있는 기술로 최근에 수소 결합의 유무와 종류에 따라 그 형광 스펙트럼이 변하는 센싱 역할을 할 수 있는 Nile blue 분자가 보고되었다. 이러한 Nile blue 분자는 광스위칭을 일으키기 때문에 STORM 을 활용한 단일 분자 이미징이 가능해서 분광 기술과 합쳐진 SR-STORM 기술을 적용함으로써 나노미터 수준에서 국소적인 부분의 수소 결합을 센싱하고 이에 대해 초고해상도로 이미징할 수 있음이 구현되었다. 이러한 기술을 수소 결합 주개의 역할을 하는 용매 분자와 수소결합 반개의 역할을 하는 용매 분자를 서로

섞은 용액에 적용하여 보았을 때 단분자 형광 스펙트럼을 통해 성공적으로 그 용매 분자의 비율을 검출할 수 있었던 것으로 보아, 이 기술이 단분자 수준에서 수소 결합 성질을 높은 정확도로 센싱할 수 있음을 알 수 있다. 추후 수소 결합 뿐 아니라 다른 화학적 성질에 따라서 그 형광 스펙트럼이 변하고 광스위칭 현상을 일으키는 센싱 염료 분자를 적절하게 찾을 수 있다면, 다양한 단분자 수준의 화학적 성질 센싱 연구가 가능할 것으로 기대한다.

결론

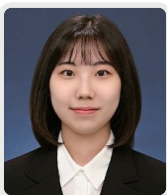
본고에서는 최근 초고해상도 형광 현미경 기술의 기능 발전 사례와 바이오, 반도체, 고분자, 단분자 분광학 연구 등 다양한 최근 응용 분야에 대해 알아보았다. 이러한 사례 이외에도 낮은 레이저 파워로도 이미징이 가능한 초고해상도 형광 현미경 기술의 개발¹⁸, 인공지능을 활용한 공간 및 시간 해상도 향상 기술 등 초고해상도 형광 현미경 기술의 다양한 발전 방향이 보고되고 있다. 이러한 지속적인 발전이 이어진다면, 초고해상도 형광 현미경 기술은 단지 해상도가 향상된 형광 현미경으로서의 역할을 할 수 있을 뿐 아니라, 그 응용 분야와 기능이 확장됨으로써 핵심 현미경 기반 분석 기술로 자리잡을 수 있을 것으로 기대한다. 이 기술이 다양한 유기 나노 물질 및 화학 분자 연구에 대한 핵심 분석 기술이 되기 위해서는 광학적인 접근을 넘어서 앞서 소개한대로 다양한 화학적인 기술들이 뒷받침되어야 할 것으로 보인다. 이러한 화학 기술을 기반으로 초고해상도 형광 현미경 기술이 차세대 핵심 분석 기술로 자리잡음으로써 이를 토대로 다시 한번 이 분야가 노벨 화학상의 주역이 될 수 있기를 기대해본다. 



- Hell, S. W.; Wichmann, J. "Breaking the diffraction resolution limit by stimulated emission: stimulated-emission-depletion fluorescence microscopy." *Opt. Lett.* **1994**, *19* (11), 780-782
- Gustafsson, M. G. "Nonlinear structured-illumination microscopy: wide-field fluorescence imaging with theoretically unlimited resolution." *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* **2005**, *102* (37), 13081-13086

- Rust, M. J.; Bates, M.; Zhuang, X. "Sub-diffraction-limit imaging by stochastic optical reconstruction microscopy (STORM)." *Nat. Methods* **2006**, *3* (10), 793-796
- Betzig, E.; Patterson, G. H.; Sougrat, R.; Lindwasser, O. W.; Olenych, S.; Bonifacino, J. S.; Davidson, M. W.; Lippincott-Schwartz, J.; Hess, H. F. "Imaging intracellular fluorescent proteins at nanometer resolution." *Science* **2006**, *313* (5793), 1642-1645.

5. Kim, D.; Deerinck, T. J.; Sigal, Y. M.; Babcock, H. P.; Ellisman, M. H.; Zhuang, X. "Correlative stochastic optical reconstruction microscopy and electron microscopy." *PLoS One* **2015**, *10* (4), e0124581.
6. Hauser, M.; Wojcik, M.; Kim, D.; Mahmoudi, M.; Li, W.; Xu, K. "Correlative super-resolution microscopy: new dimensions and new opportunities." *Chem. Rev.* **2017**, *117* (11), 7428-7456.
7. Zhang, Z.; Kenny, S. J.; Hauser, M.; Li, W.; Xu, K. "Ultra-high-throughput single-molecule spectroscopy and spectrally resolved super-resolution microscopy." *Nat. Methods* **2015**, *12* (10), 935-938.
8. Kim, G. h.; Chung, J.; Park, H.; Kim, D. "Single-molecule sensing by grating-based spectrally resolved super-resolution microscopy." *Bull Korean Chem Soc* **2021**, *42* (2), 270-278.
9. Xu, K.; Zhong, G.; Zhuang, X. "Actin, spectrin, and associated proteins form a periodic cytoskeletal structure in axons." *Science* **2013**, *339* (6118), 452-456.
10. Han, B.; Zhou, R.; Xia, C.; Zhuang, X. "Structural organization of the actin-spectrin-based membrane skeleton in dendrites and soma of neurons." *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* **2017**, *114* (32), E6678-E6685.
11. Go, S.; Jeong, D.; Chung, J.; Kim, G.-h.; Song, J.; Moon, E.; Huh, Y. H.; Kim, D. "Super-resolution imaging reveals cytoskeleton-dependent organelle rearrangement within platelets at intermediate stages of maturation." *Structure* **2021**, *29* (8), 810-822. e813.
12. Chung, J.; Jeong, D.; Kim, G.-h.; Go, S.; Song, J.; Moon, E.; Huh, Y. H.; Kim, D. "Super-resolution imaging of platelet-activation process and its quantitative analysis." *Sci. Rep.* **2021**, *11* (1), 10511.
13. Jeong, D.; Kim, M. J.; Park, Y.; Chung, J.; Kweon, H.-S.; Kang, N.-G.; Hwang, S. J.; Youn, S. H.; Hwang, B. K.; Kim, D. "Visualizing extracellular vesicle biogenesis in gram-positive bacteria using super-resolution microscopy." *BMC Biol.* **2022**, *20* (1), 1-14.
14. Nguyen, D. T.; Mun, S.; Park, H.; Jeong, U.; Kim, G.-h.; Lee, S.; Jun, C.-S.; Sung, M. M.; Kim, D. "Super-Resolution Fluorescence Imaging for Semiconductor Nanoscale Metrology and Inspection." *Nano Lett.* **2022**, *22* (24), 10080-10087.
15. Park, Y.; Jeong, D.; Jeong, U.; Park, H.; Yoon, S.; Kang, M.; Kim, D. "Polarity Nano-Mapping of Polymer Film Using Spectrally Resolved Super-Resolution Imaging." *ACS Appl. Mater. Interfaces* **2022**, *14* (40), 46032-46042.
16. Kim, D.; Zhang, Z.; Xu, K. "Spectrally resolved super-resolution microscopy unveils multipath reaction pathways of single spiropyran molecules." *J. Am. Chem. Soc.* **2017**, *139* (28), 9447-9450.
17. Park, H.; Kim, D. "Nanoscale local hydrogen-bonding sensing using single-molecule spectroscopic imaging." *Sens. Actuators B Chem.* **2022**, *372*, 132593.
18. Chung, J.; Jeong, U.; Jeong, D.; Go, S.; Kim, D. "Development of a new approach for low-laser-power super-resolution fluorescence imaging." *Anal. Chem.* **2022**, *94* (2), 618-627.



고 가 은 Ga-Eun Go

- 한양대학교 화학과, 학사(2019.3-2023.2)
- 한양대학교 화학과 석·박통합과정(2023.3-현재, 지도교수 : 김두리)



김 두 리 Doory Kim

- 서울대학교 화학부, 학사(2002.3-2006.2)
- 서울대학교 화학부, 석사(2006.3-2008.2, 지도교수 : 김성근)
- 미국 하버드대학교 화학과, 박사(2008.9-2015.5, 지도교수 : Xiaowei Zhuang)
- 미국 하버드대학교 박사 후 연구원(2015.6-2015.12, 지도교수 : Xiaowei Zhuang)
- UC Berkeley 박사 후 연구원(2016.1-2017.12, 지도교수 : Ke Xu)
- 한양대학교 화학과 조교수(2018.3-현재)

‘노벨화학상 수상자 Stefan Hell’과의 면담을 통한 학생 탐구역량 강화에 대한 교사의 시선

박진홍 | 대전문지중학교 과학교사, realwide@naver.com

서론

1. 노벨 수상자 Stefan Hell 과학자와의 만남

필자는 늘 중학교 1학년 신입생들을 맡게 될 때면, 첫 과학 수업에서 다음과 같은 질문을 한다. ‘과학 어때요? 좋아 하나요?’ 다행히 학생들의 대답은 거의 긍정적이었다. 그러면 어떤 점이 그렇게 좋았냐고 물으면 학생들은 흥미로웠던 실험을 이야기한다. 이런 학생들은 과학이 신기한 현상, 재미있는 볼거리가 있는 과목이라고 생각하곤 해서, 금세 과학 수업에 대한 관심을 잃고 만다. 과학의 진정한 탐구 과정이란 시행착오를 통한 인고의 과정이 필수적이기 때문에 또 다른 관점의 동기부여가 필요하다. 문제는 학생

시절의 과목에 대한 호불호는 과목뿐만 아니라 자신에 대한 자존감에도 영향을 준다.

그렇다면 학생들이 진정으로 탐구 과정을 즐기게 하는 것은 왜 이토록 중요한 것일까? 개인적인 생각을 넘어서 2014년 노벨화학상을 수상한 Stefan Hell 과학자와의 면담에서 얻은 깨달음을 정리해보겠다. Stefan Hell 과학자에게 “과학을 지도하는 저희에게 향후 한국에 돌아가 학생들을 지도하는데 어떤 조언을 주실 수 있으세요?”라고 여쭙었더니, 자신 역시 자녀가 여럿인데, 코로나 시기에 직접 자녀 교육에 참여도 해보셨다고 하셨다. 과학자께서 어렸던 시절과는 다르게 온갖 유혹의 매체들이 많아서 마음을 다잡고 집중하는 것이 어려운 것을 보셨는데 과학자인 본인도 학생들이 학업에 집중하는 것이 어려운 부분이라고



그림 1. 대전경제, 대전교육청, ‘노벨과 화학상 수상국 교수법 연수’ 운영 기사 중 사진

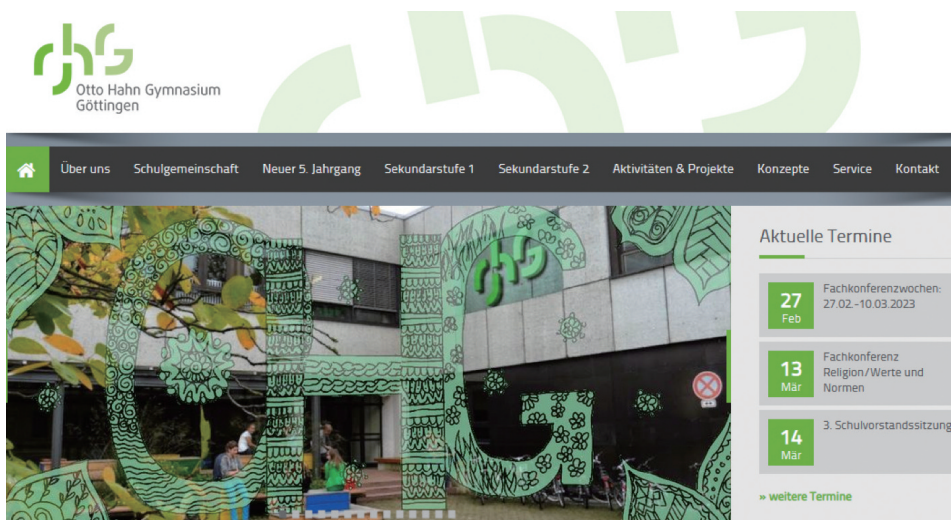


그림 2. Otto-Hahn-Gymnasium(오토한 김나지움) 홈페이지

민스럽다고 하셨다. 과학에 저명하신 분께 해답을 기대했던 필자였기에, 연수 내내 한국의 과학수업에 대한 대안을 찾고자 관심을 기울이게 되었다.

‘자신과의 싸움에서 이기는 과학을 하는 방법, 학생들에게 과학자가 되는 길을 알려주는 것’은 과학자들이 할 수 있는 조언이라고 생각한다. ‘학생들이 자신의 삶을 탐구하는 자세를 익히게 하는 방법’은 교사인 우리가 더 잘 알고 있다. 세상이 바뀌어도 아직도 안 바뀌는 ‘청출어람’의 가치와 ‘교학상장’의 마음가짐으로 교사가 다시금 노력을 쏟아야한다는 귀결을 깨닫는 순간이었다. 그분은 분명히 현명한 과학자이시지만 교실에서는 교사인 우리가 전문가이고 교육 현장을 누구보다 잘 알고 있다. 탐구하는 자세, 포기하지 않는 의지, 긍정적으로 묵묵히 걸어가는 교사가 더 많아질 때 우리 아이들이 지금보다 훨씬 나아질 것이라고 생각한다.

2. 그날의 감동과 결심을 글로 정리해본다.

필자는 그간의 학생들의 과학 지도에 대한 노고를 인정받아서 대전광역시 교육청에서 주관하는 2022학년도 노벨과학상 수상국 교수법 연구 연수를 독일로 올해 1월 29일~2월 6일 다녀왔다. 주된 연수의 목적은 2014년 노벨화학상을 받은 Stefan Hell 과학자를 만나서 강연을 듣고 독일의 라이프치히, 괴팅겐의 몇몇 대표적 초중등학교를 탐방

하는 것, 훔볼트대학, 하이델베르크 대학교의 사범대학교에서 과학교수법에 대한 강의를 듣는 내용이었다.

본론

1. 한국과 독일, 우리는 무엇이 다른가?

과학을 탐구하는데 지식적 기반과 실천적 조작성이 겸비되어야한다는 점을 감안할 때, 여러 문제점을 안고 있으나 한국 교육의 지식 기반 교육은 상당한 경지에까지 이르렀다. 실제로 독일에서 학력 저하 문제는 점차 대두되고 있는 부분이기도 하며, 이를 위해 학교 밖 교육 프로그램보다는 방과 후 학교 등의 대안이 강조되면서 전체 학생들의 학업 능력의 일정 수준 이상 유지 및 향상을 위한 공교육의 관리가 요구되고 있다. 독일은 주마다 교육체계가 상이해서 이에 대한 인식과 대처방식도 조금씩 다르다.

그렇다면 대한민국의 교육은 과학교육에서 실천적 조작 능력이 부족한 형태로 지도하고 있는가? 받은 맛고 받은 틀리다. 본 연수에 참가했던 교사들을 비롯하여 많은 과학교사들이 탐구 과정에서 지켜야하는 어느 것 하나 소홀함이 없는 최상의 지도에 힘을 기울이고 있다. 그러나 성과와 결과만 중시하고, 과정을 소홀히 하는 현실이 늘 이런 문제들에서 대두되는 것이 아닌가 한다.

2. Otto-Hahn-Gymnasium(오토한 김나지움)에서 발견한 참된 탐구의 가치

필자는 연수 중에 독일의 괴팅겐에 있는 Otto-Hahn-Gymnasium을 탐방하였다. 오토한 김나지움은 1944년 노벨화학상을 수상한 Otto-Hahn(오토한)을 명예 과학자로 지정한 학교이다. 인근지역에서 선호되는 인문계 고등학교이며, 해외 우수대학으로 학생들이 유학을 가기도 하는 명문이라고 볼 수 있다. 이공계중심의 융합 방식의 교육 과정을 유지하여 MINT(Mathematik-Informatik-Naturwissenschaft-Technik, 수학-정보-자연과학-기술)의 수업을 적용하고 있었다. 다소 차이는 있으나 한국의 STEAM(Science-Technology-Engineering-Arts-Mathematics) 융합모형을 보다 이공계형으로 적용하여 교육한다고 볼 수 있다.

방문 당일에 학생들의 한 학기동안의 프로젝트 탐구 활동을 소개 해주신다하여, 11학년(한국의 고2)에 해당하는 학생들의 광합성에 대한 연구 장면에 참관할 수 있었다. 학생들은 실험 전후의 식물 질량을 측정하고 성장을 통한 변화를 관찰해서 기록하고 있었다. 이런 내용은 한국에서 초등학교 학생들이 하는 실험 수준이라서, 뭔가 특별한 장치나 조각이 들어가는가를 물었더니 거의 없었다. 그러나 한국과 다른 독일 과학 수업이 갖는 가장 중요한 차이점을 알게 되었는데, 그것은 학생들에게 탐구의 A~Z를 몸소 스스로 체득하게 하는 지식보다는 스스로 깨닫게 하는 과정을 중시하는 진정성에 있었다.

과학실은 늘 개방되어 있었다. 학생들은 탐구를 설계하고 자신들의 가설을 입증할 수 있는 실험 방식에 대한 실험 도구를 챙겨서 이런저런 시행착오를 기꺼이 즐기면서 탐구에 몰입한다. 물론, 독일의 모든 학교가 실험실 환경이 이처럼 개방적이거나 훌륭한 시설을 구비한 것은 아니라고 한다. K-edu의 우수성도 확인할 수 있는 면이 많이 있었는데, 그중 한국의 국가주도 교육과정 하에서 이뤄지는 일정 수준 이상의 교육의 질이다. 현대화된 과학실 시설, 정보통신 교육을 위한 최첨단화된 인프라, 교사 선발 수준과 연수 시스템, 양질의 교육 콘텐츠 제공 등이 매우 훌륭한 수준임을 알 수 있었다. 그러나 한국에서는 평가의 객관성 확보, 과학실 안전수칙 준수 등으로 위와 같은 학생 탐구의 자율성 확보가 어려운 부분은 아쉬움을 남겼다.

3. 우리는 무엇을 개선해야하는가?

본 연수에 참가한 교사들의 절반 이상이 중학교 교사였던 점을 감안할 때, 학생의 인지 수준과 입시 교육의 현실 속에서 학생들과 제대로 된 탐구 수업을 할 수 있는 적기는 중학교 시절이다. 그나마도 중학교 1학년의 자유학년(기)이라는 골든타임을 최대한 활용해야한다는 중요성을 재인식하는 계기가 되었다. 학생들이 인생에서 탐구활동을 통해서 얻은 기쁨은 앞으로 살아가면서 겪을 어려움을 극복하는 인내심과 성취감을 준다. 향후 과학에 관련된 직종에 근무하게 된다면 대입 이전에 제대로 된 탐구 활동을 했던 인상 깊은 유의미한 마지막 실험 연구가 될 수도 있다. 이



그림 3. 필자가 2022학년도 대전문지중학교 과학수업시간에 중학교 2학년 학생들과 MBL을 활용한 학생 주도 탐구 활동을 실시하는 장면

런 탐구 경험은 학생 개개인이 평생에 걸쳐서 어려움이 닦쳐도 포기하지 않고 극복해나가면서 더 많은 성과를 내게 하는 미래역량이다. 과학과 문학, 예술의 학문이 숨 쉬는 독일이라는 국가 브랜드와 선진국의 반열, 노벨상이라는 결과들에 대한 비교를 살펴볼 때 한국의 과학 수업 개선에 대한 구체적 대안이 필요하다고 생각되었다.

3.1. 몰입하는 탐구 경험의 중요성

필자 역시 교직에서 학생 지도를 하면서 탐구의 가치와 흥미를 새롭게 얻게 되었다. 제대로 된 실험과 연구에 몰입하는 경험이 있어야만 탐구 소양이 길러지고, 향후 과학자의 길을 걷게 되는 학생들에게 자신의 소질과 흥미를 찾을 수 있는 길을 열어 줄 수 있다. 이러한 유의미한 탐구 경험은 빠를수록 좋고, 지속되어야 그 효과가 배가 된다.

독일에서도 의대, 법대를 선호하는 성향은 과거부터 현재에 이르기까지 이어지고 있다고 한다. 이는 우리나라 입시에서 특정 학과 선호도, 쏠림 현상과 그다지 다르지 않았다. 따라서 독일에서는 이를 심각한 사회적 문제로 인식하고 이공계 진학 학생을 늘리고, 부족한 인력 인프라 확보를 위해서 조기 과학 교육에 관심을 갖고 있다고 한다. 연수에서 방문했던 하이델베르크 대학교의 사범대학에서는 영유아 조기과학교육을 위한 연구소를 운영하고 있었는데, 0~3세 학생들을 어린 과학자 만들기 프로젝트라는 활동으로 꾸준히 지도하고 있었다.

4. 막스플랑크 연구소의 자유로운 연구 문화

향후 과학에 소질을 보이는 학생들의 진로 등을 감안할 때, 탐방했던 막스플랑크 연구소의 연구의 자유성을 보장해주는 풍토는 참 부러웠다. 그런 특수성은 독일 내에서도 막스플랑크 연구소가 가지는 차별성과 우수성으로 손꼽힌다. 그날 연구소 안내를 해주신 NMR 연구팀(한국인 과학자팀 3분)께 연구소 과학자들의 성향을 여쭙었는데, ‘각자 맡은 소임과 몫을 해내는 사명감 있는 과학자’라고 답해주셨다. 또한 독일에서는 과학자에 대한 사회적 예우가 높고, 보수가 상당히 안정적이라서 자신의 직장에 대해 매우 만족스럽다고 하셨다. 한국에서도 많은 현실적 개선의 여지가 살펴지는 부분이었다.

4.1. 노벨 수상자 Stefan Hell (Nobody Believed in my idea.)

Stefan Hell(2014년 노벨화학상 수상자, STED 초고해상도 형광현미경을 이용한 회절한계 극복 공로)의 강연 중에 인상깊은 내용을 회고하고자 한다. 현재는 막스플랑크 연구소의 생물물리학 연구소 소장으로 재직 중이었다. 루마니아 출신으로 13살에 부모님과 서독으로 이주를 결심하셨다고 한다. 물리를 전공해서 취직이 어려워 실업을 수개월 했고, 회절한계 극복에 대한 현미경 개발 투자처를 찾지 못 해서 고생스러웠다고 하셨다. 그분의 그날 강연 영상 자료에 있던 Nobody Believed in my idea! ‘아무도 내 생각을 믿어주지 않았지만, 굳은 의지로 끊임없이 연구했다’는 자기성찰 문장은 지금도 너무나 인상 깊다. 현재도 끊임없이 ‘STED 현미경의 성능 향상을 위한 문제 해결’이 자신의 유일한 관심사라고 하실 만큼 연구에 몰입하고 계셨다. 전 세계 과학자들의 호기심에 대한 창의적 연구들이 모여서 세상을 발전시키고 인류의 난제에 대한 솔루션을 제시한다고 하셨다. 또한 청소년들이 안정적이고 지루한 일보다는 가슴 뛰는 진취적인 일에 열정을 쏟아야만 참된 인생의 보람과 가치를 찾을 수 있다는 조언을 덧붙여주셨다.

결론

1. 탐구 수업교사에 대한 지원, 조력

이러한 탐구 능력을 향상시키는 과학 수업을 정착시키기 위해서는 열정과 능력을 겸비한 과학 교사들의 업무 경감을 고려해주는 교직문화 풍토 개선이 필요하다. 이공계 인력이 부족하고 탐구 능력이 향상이 중요하다는 것에는 공감 하지만, 추가 업무가 발생하는 부분에 대한 배려가 현실적으로는 이뤄지지 않고 있다. 많은 업무량을 감수하면서 교육활동까지 겸하려니 교육의 성패는 교사의 헌신에 많은 영향을 받는다. 독일에서는 학교 업무 분장이 이원화 되어 있어서, 교장은 모든 행정업무를 처리하고 교사들은 수업에만 집중한다. 물론 한국에도 수석교사제도가 있지만 더 많은 교사가 제대로 된 탐구 수업을 참여하고 실현시키려면 또 다른 개선책들이 필요하다.

이를 위해서 먼저 선행되어야 하는 것은 교사들의 자발적 자기수업 브랜드화를 통한 탐구 수업 내실화이다. 필자는

연구주제	탐구중심 MAKE-up 활동을 통한 즐거운 과학수업 (길길길길)			
연구과제	M(Master) 오개념(선개념) 분석을 통한 과학개념 익히기	A(Apply) 에듀테크를 활용한 탐구활동 적용하기	K(Key) CBT- 긍정적 자아 정체성 열쇠찾기	E(Expand) 확산적 Communication 통한 개념 확장하기
실행목표	SWOT 활용 인지구조 분석	Data 탐구도구 고차원 사고적용	완전소통형 의사소통 활용	온·오프라인적 Academic 문화형성
실행전략	학습개념 바르게 익히기 • 교육과정 분석 • 마이드맵 작성 • 메타인지 파악	탐구활동 적용하기 • Data 탐구도구 • 락커벨, 클래스룸 • 콘텐츠 프로듀싱	지속가능성장형 I-열쇠찾기 • CBT 이론적용 • 워드클라우드 • 소통체계	과학적 향유 확장하기 • MAKE-up 아카데미 • 학부모 공개 • 수업 나눔
눈길	손길	글길	새길	그림 4. 노벨화학상 수상국 교수법 연구-개발 자료(에듀랑 탑재, 필자 개발 수업모형 변형)
• PBT적 문제의 인식(관심)	• MBL 활용 Lap형 • 실험수행	• Discussion-결과 정리 • 일반화	• 온라인 공유 • 학생(학부모) 공유 • 지역사회 공유	

과학수업에 대한 학생들의 탐구 능력 향상을 위한 체계적 단계인 MAKE-up 수업 모형을 개발하여 적용하고 있다. 단편적 흥미에 치중한 과학 수업을 넘어서는 진정한 탐구 활동을 통한 학생 성장을 만들어가는 프로젝트 학습이다. 한 프로젝트마다 M-A-K-E(과학개념 익히기-탐구 적용해보기-긍정적 자의식 찾기-응용 및 확장하기) 단계를 거치도록 수업을 구성하고, 한 학기동안 눈길-손길-글길-새길이라는 테마로 진행되는 즐거운 탐구형 과학수업이다. 문제 인식을 통한 관심을 가지도록 수업을 고안하고 MBL 등을 활용한 탐구를 스스로 설계하고 일반화하여 공유하는 활동까지 연계한다.

2. 탐구형 수업 연구에 대한 교사의 책임과 사명감

본 연수를 다녀온 교사들 뿐만 아니라 다양한 교사 층들이 이미 다수의 연구회를 꾸려서 학교 교육 개선을 위한 노력을 이어오고 있다. 입시제도 속에서도 참으로 고무적인 현상이라고 생각한다. 본 연수의 성과발표회를 통해서 앞으로 과학 교육 현장의 개선을 위한 노력을 어떻게 이어갈

지 계획하고, 이번 연수와 연계하여 개발한 교재를 보다 효과적으로 배포하기로 하였다. 필자는 MAKE-up 탐구 수업모형을 토대로 실생활의 과학 현상을 흥미롭게 탐구할 수 있는 학습 프로그램을 개발하였으며, [중2 I 물질의 구성 1.(1) 원소, 물의 전기 분해] 연계 내용을 바탕으로 콘텐츠를 구성하였다. 기후 위기에 관한 관심 유발로 시작하여, 다양한 탐구 실험을 진행하며, NMR(노벨상)의 물을 이용한 물질의 내부구조알기, 분자 요리로 생활 속 과학을 즐겁게 만끽하는 프로젝트 학습을 구현하였다. 과학교수법-마이크로티칭(학생영상) 분석 활동을 실시하여 교육심리학적으로 학생들의 자신감을 향상시키는 긍정적 과학 수업이 되도록 구성하였다.

3. 과학교육의 보편화

자신의 삶을 과학적으로 탐구하는 태도는 자라나는 우리 학생들이 누구나 익혀야하는 미래역량이다. 이런 맥락에서 영재학교, 과학고등학교라는 차원을 넘어서 과학, 철학, 예술 등에 독보적이고 범세계적인 학자를 명예 학자화하는

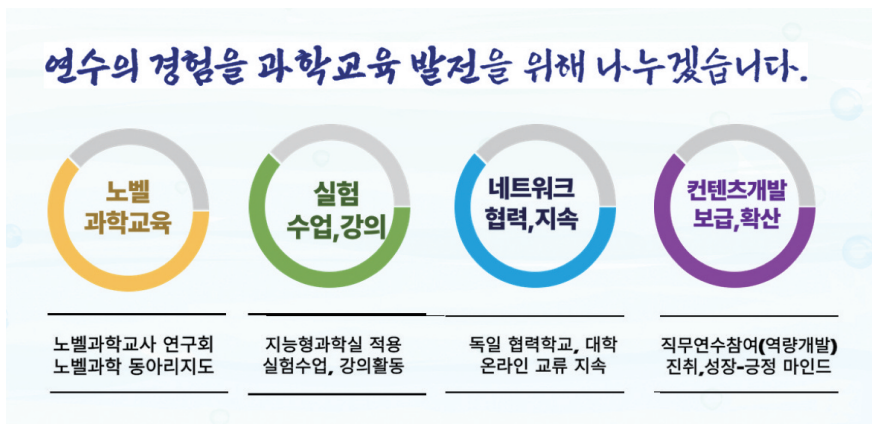


그림 5. 2022학년도 노벨과학상 수상국 교수법 연수 성과 발표회-발표 자료

것은 어떨까라는 생각이 들었다. 당시 탐방했던 학교들은 오토한, 칸트, 멘델스존 등을 학교에서 지향하는 교육 이념에 부합하는 명예학자로 정하고 있었다. 이것은 학교마다 존경하는 인물을 설립자가 아니더라도 교육이념, 가치관에 따라 정립해두는 것으로 보인다. 아직도 학생들은 과학자 하면 아이슈타인을 떠올린다. 매체나 홍보 효과가 한 몫을 했다는 생각이다. 한국에도 대중에게 많이 알려지신 훌륭한 과학자가 많이 있을 뿐 더러 이미 돌아가신 석학들도 계셔서 학생들에게 큰 영감을 주실 수 있을 텐데 참 아쉽다. 꼭 과학에 특화되지 않은 일반 학교에서도 교화, 교목을 정하듯이 특정 학문을 새롭게 정립한 위인을 교육 이념화한다면 학교의 학구적 풍토를 지향하는데 보다 효과적인 방안이 되지 않을까 생각해본다.

3.1. Nobody Believed in my idea! (하나 된 마음은 하나보다 강하다)

노벨 수상자 Stefan Hell 과학자께서는 세상에 대한 이런(Nobody Believed in my idea!) 명언을 주셨지만, 본 연수를 통해 필자는 ‘하나 된 마음은 하나(1등)보다 강하다’는 마음가짐을 다지게 되었다. 인류를 구하는 과학자는

소수일 수는 있지만, 1명은 아니다. Stefan Hell 과학자께서 말씀하신 것처럼 많은 과학자들이 인류의 안전과 행복을 위해서 기여하고 있다. 대부분의 학생들이 거쳐가는 학교에는 수많은 교사들이 계신다. 교단에 서는 교사마다 하나 된 마음으로 과거에도 그랬듯이 앞으로도 사랑으로 학생들을 지도해나간다면, 학생들의 탐구 역량 강화를 통한 대한민국 교육의 발전은 지속적으로 이어지리라 기대가 생긴다. 필자 역시 신학기를 맞이하며, 새로운 다짐과 부끄럽지 않은 각오로 교단에 서야겠다. 🌟



1. 교육부 과학과 교육과정. 2015. 교육부 고시 제2015-74호[별책 9]
2. 강남화, 최원호, 이준기, 박영순 공저 중등과학교육 2020. 266-294
3. 정기섭 저 독일의 학교교육 2021. 43-289
4. 조학규 편저 교육전문직 길라잡이 2022.
5. <http://m.djenews.co.kr/news/articleView.html?idxno=113677>
6. <https://www.ohg-goe.net/home.html>
7. <https://www.edurang.net/daa/main.do>



박진홍 Pak Jinhong

- 국립공주대학교 화학교육과, 학사(2001.3 - 2005.2.)
- 대전대학교 교육대학원(상담심리교육학과), 석사 과정(2022.3 - 현재, 지도교수: 이재창)
- 대전광역시 교육청 교사(2007.6 - 현재)
- 현재 대전문지중학교 근무

화학산업융합연구소

“산학융합기반 신산업 창출형
나노화학소재 연구개발”

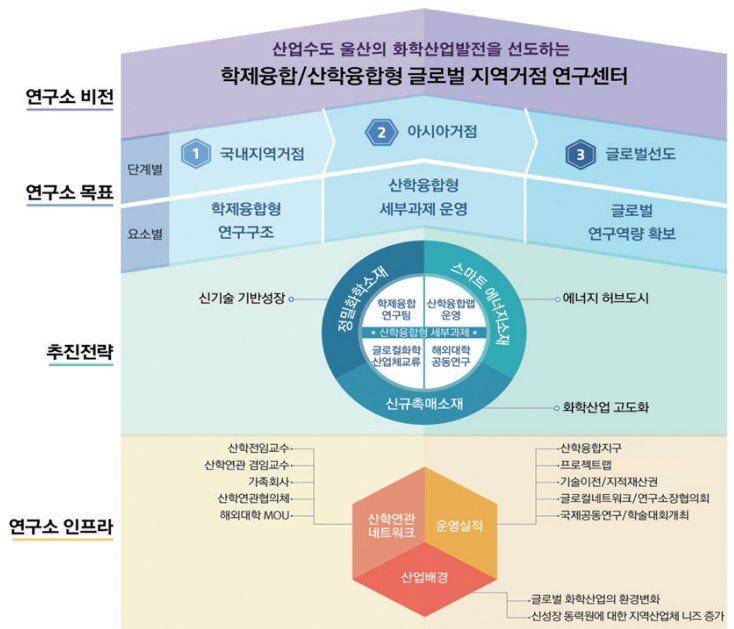
울산광역시 남구 테크노산업로 55번길 12 울산대학교 나노에너지화학과

052) 712-8024

nmryil@ulsan.ac.kr

http://icit.ulsan.ac.kr

울산대학교 화학산업융합연구소(소장: 이영일 교수)는 울산지역 주력산업인 화학산업의 지속적인 성장과 발전을 위해 울산대학교 학제융합팀과 지역 화학산업체로 구성된 산학융합랩을 운영하며 산학융합기반 신산업 창출형 나노화학소재 연구개발을 수행함으로써, 학제융합/산학융합형 화학산업 글로벌 지역거점 연구센터로 발전하는 것을 목표로 한다. 본 연구소는 “지역과 함께 세계로 발전하는 산학협력 선도대학”이라는 울산대학교의 비전을 바탕으로, 국내 화학산업의 중심지인 울산지역에서 신산업 창출형 나노화학소재 개발 분야의 원천기술 확보를 위해 신규 촉매 소재, 정밀화학 소재, 스마트 에너지 소재 연구를 지역화학산업체와 함께 유기적으로 수행할 뿐만 아니라, 산업도시 울산발전에 기여할 전문인력을 양성하며 울산지역 화학산업의 종합적인 성장을 선도하고자 한다.

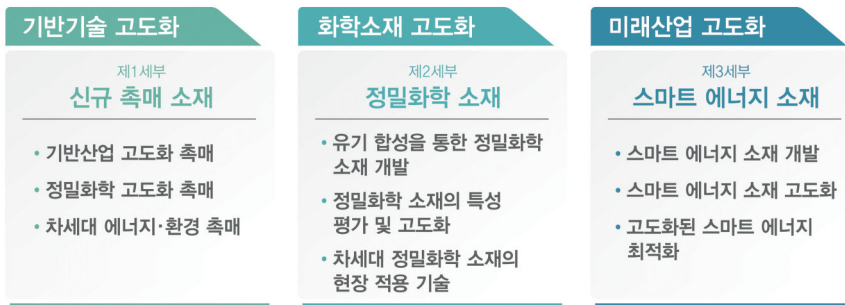


1 연구소의 구성

본 연구소는 울산대학교 나노에너지화학과 교수 4인(이영일, 이형일, 이승구, 김범진 교수), 화학공학부 교수 1인(최원목 교수), 연구교수 3인(이영훈, 트란반탐, 자레이모하마드 연구교수), 박사 후 연구원 6인, 그리고 참여 대학원생으로 구성되어 있다(2023년 3월 현재). 위 구성원들은 현재 울산 화학산업의 강점을 활용하여, 미래 화학 산업시장의 변화를 예비하고 선도하고자 아래와 같은 세부연구주제를 수행하고 있다.

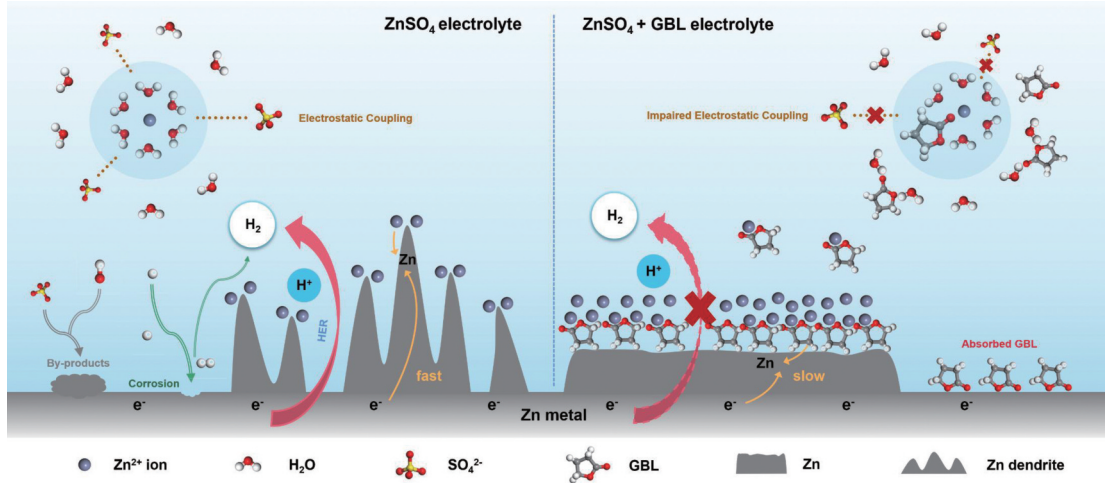
- [제1세부] 신규 촉매 소재 : 석유정밀화학 고도화를 위한 차세대 정밀화학, 환경에너지 촉매 개발
- [제2세부] 정밀화학 소재 : 차세대 디스플레이 및 환경 유해 물질 센서 제조를 위한 정밀화학 소재 개발
- [제3세부] 스마트 에너지 소재 : 스마트 에너지 소재 개발, 고도화 및 최적화 연구

● 산학융합기반 신산업 창출형 나노화학소재 연구개발 ●

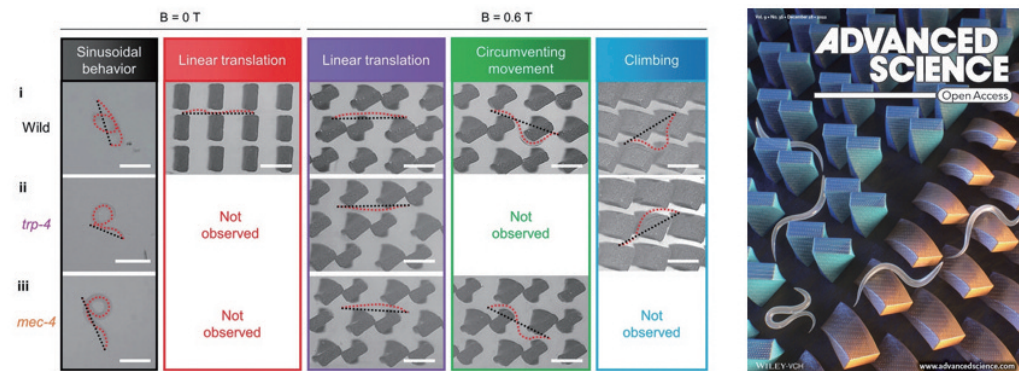


2 연구소의 최근 연구성과

본 연구소의 최근 대표 연구성과는 다음과 같다. 첫째, 수계 아연전지의 전해질 첨가제를 이용해 전극 표면의 덴드라이트(dendrite) 형성을 억제하여 전지 수명을 크게 증가시키는 연구 결과와 그 메커니즘을 규명하였다. 현재 대표적인 에너지 저장장치인 리튬 이차전지는 리튬 원료의 제한된 매장량과 높은 가격, 유기 전해액과 리튬계 소재의 폭발 위험성이 문제에 대한 대안으로 물 기반 전해질을 사용해 폭발 및 화재 위험성이 적고, 풍부한 매장량으로 수계아연 이차전지가 차세대 에너지 저장장치로 각광을 받고 있다. 하지만 수계아연 이차전지도 물 기반 전해질 특성상 아연 전극의 부식과 함께 전극 표면에 불균일한 결정인 덴드라이트가 형성돼 전지 수명이 떨어지는 한계점이 있었다. 이에 연구진은 황산아연 수계 전해질에 산업용 용매인 감마부티로락톤(γ -butyrolactone, GBL)을 첨가하여, 감마부티로락톤이 아연 전극에 균일하게 흡착해 '아연이온-물분자-황산이온-감마부티로락톤' 형태의 결합을 이루어 전극 표면의 덴드라이트 형성을 억제하는 것을 확인하였다. 그 결과 향상된 전지용량과 탁월한 사이클 특성을 확보하는 연구결과를 얻었다. [Adv. Energy Mater. 2022, 12, 2202419]

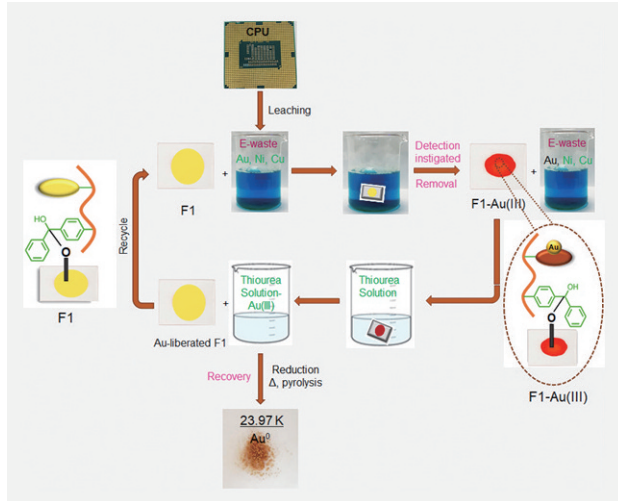


둘째, 자성에 응답하여 형태가 변화하는 3차원 마이크로 장벽 표면을 개발해 인간과 60%의 유전 유사성을 가지는 예쁜꼬마선충(Caenorhabditis Elegans, *C. elegans*)의 행동을 외부 구조체 변화만으로 제어하고 이를 신경 연구 시스템으로 활용하였다. 예쁜꼬마선충은 알츠하이머나 파킨슨병과 같이 노화 질병의 치료제를 시험해보는 마이크로 크기의 생체 모델로 질병 관련 신경이 망가진 돌연변이(mutant) 모델에 특정 치료제를 투여한 후, 정상(wild) 모델이 가지는 머리와 몸의 다양한 신경들로 주변의 구조체를 감지하는 기계감지능력(mechanosensing ability)이 유효한지를 관찰해 치료제를 시험할 수 있다. 정상 예쁜꼬마선충은 마이크로 장벽들의 3차원 형태 변화 시 우회 운동과 등반 운동이 모두 가능하지만, 머리 및 꼬리 신경 돌연변이(*trp-4*) 예쁜꼬마선충은 우회 운동이 불가하며 몸체 신경 돌연변이(*mec-4*) 예쁜꼬마선충은 등반 운동이 불가하다는 연구 결과를 바탕으로 노화 질병 치료제 연구 개발을 위한 새로운 신경 연구 시스템으로써 생물 및 의료계의 활용 가능성을 입증하였다. 『어드밴스드 사이언스(Advanced Science)』 (IF=17.521)의 표지논문으로 게재되었고, 와일리(Wiley) 학술지 전문 채널인 ‘어드밴스드 사이언스 뉴스(Advanced Science News)’와 생물학연구정보센터(BRIC) 『한국을 빛내는 사람들』(한빛사)의 우수 논문에도 소개되었다. [Adv. Sci., 2022, 9, 2203396]



셋째, 금 이온만 선택적으로 추출 가능한 고분자 박막 필름을 제조하여 전자폐기물로부터 초고순도

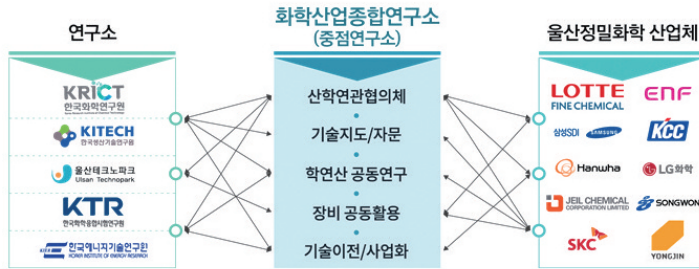
(23.97K 이상)의 금 회수 기술 방법을 개발했다. 전자폐기물을 녹인 용액에는 다양한 금속(니켈, 구리, 철, 망간, 아연 등) 이온들이 존재하는데 이 중에 금만 회수하는 연구는 최근에 많이 진행되어왔다. 하지만, 다양한 금속 이온들로부터 금 이온만 선택적으로 분리하는 기술은 개발에 어려움이 있어서 초고순도의 금을 회수하는 데는 한계가 있었다. 이번 연구에서 금 이온만 선택적으로 추출하는 화합물을 합성하고 이를 포함한 고분자를 이용하여 얇은 박막 형태의 필름을



제조하였다. 이 고분자 필름은 금 이온에만 감응하여 색깔이 바뀌는 특성이 있어 복잡한 성분 분석을 거치지 않고서도 전자폐기물 용액에서 금 이온 존재 여부를 알 수 있다. 또한 필름을 전자폐기물 용액에 잠시 담았다가 꺼내면 금 이온이 필름에 붙어서 추출되는 방식이기에 금 회수 방식 또한 간단하다. 본 논문에서는 5회까지만 고분자 필름이 재사용 가능함을 보여줬지만, 필름이 손상되지 않는다면 이론적으로는 무한대의 재사용이 가능하기에 높은 경제성을 보여 준다. 이번 연구 결과는 전자폐기물로부터 이처럼 초고순도 (23.97K 이상)의 금 회수를 성공한 첫 사례이며 향후 백금, 코발트 등의 다양한 고가의 금속에 대해서도 전자폐기물로부터 초고순도의 회수가 가능할 것으로 기대된다. [Chem. Eng. J. 2023, 451, 138506]

Project 3 연구소의 산학협력 활동

본 연구소는 울산지역의 산업체와의 산학협력을 통해 국내선도 지역거점 산학융합 연구센터로의 입지 확보를 발판으로 아시아 나아가 글로벌 산학융합 연구센터를 목표로 하고 있다. 이를 위해 울산지역 화학산업의 고도화, 산업 현장에서의 애로기술 해결 등을 위한 산학협력 연구를 지속적으로 추진할 수 있는 산학일체화 랩을 운영하고 있으며, 가족회사, 기술교류회 그리고 산학연관협의체의 정기적인 운영을 통해 지역 연구 주체 간의 산학연 네트워크 활성화에 노력하고 있다. 또한 액티프컨퍼서 제도를 도입하여 울산지역 화학 소재 산업체의 기술자문을 연간 약 40건을 수행하고 있으며, 이를 바탕으로 울산지역 정밀화학소재 산업체와의 공동연구과제 수주 및 기술이전 수행의 성과를 보였다. 이외에도 정기적인 국내·외 전문가 초청 세미나 및 심포지엄과 산학연관 심포지엄을 개최함으로써 지역 거점 산학융합 연구센터 기반을 구축하고 있다. 올해에는 본 연구소의 중기 목표인 아시아 거점 산학융합형 연구센터 구축을 위해 인도네시아대학 그리고 인도네시아 정부출연연구소인 BRIN과 업무협약을 체결하였으며, 후쿠오카대학 그리고 상해공정기술대학과 매해 국제심포지엄도 공동으로 개최하고 있다.



About



울산대학교
화학산업융합연구소



이영일 연구책임자
울산대학교
나노에너지화학과 교수

본 연구소의 소장인 이영일 교수는 고체상 핵자기공명분광학을 전공으로 1994년 미국 루이지애나 주립대에서 박사학위를 수여받은 후 동부한농화학 중앙분석센터, 포항가속기연구소를 거쳐 2005년에 울산대학교 화학과에 부임한 이래로 다양한 학연산 공동연구를 비롯하여 다수 국책연구과제를 주도적으로 수행하였다. 이영일 교수는 산업체와 연구소의 현장 경험을 바탕으로 핵자기공명분광학 기반의 이차전지 에너지 관련 분야 연구를 수행하여 현재까지 100여 편의 SCI(E) 논문을 게재하였으며, 6건의 국내 특허를 등록하였다. BK21 Four 사업팀장, 공동기기센터장, 자연과학대학 학장 등의 교내 연구 및 행정에서 중심적인 역할을 함과 동시에, 최근에는 화학산업융합연구소장으로서 2022년 교육부 기초과학 연구역량 강화 사업(핵심연구지원센터 조성 사업)에 선정되는 성과를 거두었다. 더불어 대한화학회 등재이사, 한국연구재단 전문위원, BKCS 편집위원, ISCPFM 국제학술회의 자문위원 등 활발한 국내외 학술활동을 수행하였다.



BIONEER

화학세계가 만난 화학자 ⑮

“미래 글로벌 헬스케어 최고기업을 꿈꾸다”



〈화학세계가 만난 화학자〉는 대한민국 화학계에 공헌한 화학자에 대한 인터뷰 기사를 소개해 드리고 있습니다. 지난해 가을 제130회 대한화학회 총회 및 학술발표회에서 ‘화학경영자상’을 수상하신 박한오 회장님을 모셨습니다. 박한오 회장님께서서는 30여 년 전 유전자 기술의 완전 국산화를 목표로 국내 1호 바이오벤처인 바이오니아를 설립하신 이래, 유전자 합성기술, 진단장비 개발 분야의 국내외 선두기업으로 회사를 이끄셨고, 이제는 그 동안의 축적된 기술을 바탕으로 유전자 기반 신약개발 분야에서도 본격적으로 성과를 내고 계십니다. 회장님의 성공 스토리와 다양한 면모를 대한화학회 회원분들께 소개드립니다.

[모더레이터: 한순규 교수 (KAIST 화학과)]

1. 회장님께서서는 서울대 학사학위와 KAIST 박사학위를 모두 화학과에서 받으셨습니다. 학창 시절부터 화학에 관심이 있으셨나요?

어려서부터 발명을 좋아했는데 고교 시절 노벨상 수상자 등이 쓴 에세이와 물리·화학·생물학 분야의 다양한 책을 재미있게 읽고나서 목표를 바꿨어요. 노벨상을 받을 만한, 인류에 도움이 되는 연구업적을 만들어 낼 수 있는 기초과학자가 되겠다는 거였어요. 1980년 서울대 자연과학대학에 입학한 건 물리학을 공부하고 싶어서였습니다.

당시 화학은 논리적으로 풀어가는 재미보다 외우는 것이 많아 선호하는 과목이 아니었지요.

대학 1학년 때 과학사·과학철학을 깊이 있게 공부해보려고 과학사연구회에 가입했는데 나중에 보니 운동권 서클이었어요. 매주 2권씩 사회과학·인문철학 필독서를 읽고 토론하며 사회적 모순 해결 방안을 고민하다 공부에 소홀해져 물리학과에 지원할 성적을 받지 못했어요. 고민 끝에 ‘인간을 위한 가장 실용적인 기초과학’을 연구하는 화학과를 선택했습니다.

2. 서울대가 아닌 KAIST 대학원을 선택하신 이유가 있으신가요?

당시 학생운동권은 노동·농민운동에 참여해 정권을 쟁취하는 걸 바람직한 해결책으로 내세웠어요. 하지만 저는 ‘우리나라 노동자의 저임금은 만드는 제품의 부가가치가 낮아서인 만큼 과학기술로 산업을 고도화·첨단화하는 게 근본적인 해결책이다. 산업화의 질적 향상 없이는 민주화도 이룰 수 없다’고 생각했죠. 그래서 부가가치를 높여줄 새로운 산업을 만드는 데 기여하는 과학자가 되겠다고 결심했습니다. 당시, 실용적 산학협력 연구에 더욱 특화된 KAIST 대학원 화학과를 선택했습니다.



■ 1985년 KAIST 석사과정 동기들과 함께 한 산행. 맨 왼쪽이 대학원생 박한오.

3. 석사과정 때 DNA 합성을 전공하기로 결심한 계기가 있으셨나요? 처음 합성을 성공하셨을 때 이기도 궁금합니다.

KAIST 화학과 입학 후 고부가가치 산업을 만들 전공이 무엇인지 고민하던 중 심상철 지도교수님이 “DNA 합성 과제(유전공학진흥법 시행 후 정부가 연구비를 첫 지원한)를 수주한 생명공학과 이현재 교수님이 과제를 진행할 화학과 학생을 찾고 있다”고 제안해주셨습니다. 모든 생명체의 설계도가 담긴 DNA 합성법을 개발하면 수많은 사용 용도가 생기고, 부가가치 높은 응용 분야가 무궁무진할 것이라는 생각에 전공하기로 결심했습니다.



■ 1980년대 말 서울 흥릉연구단지에 있던 KAIST 부설 유전공학센터의 박한오 연구원. 대학원 박사과정을 병행했다.

화학·생명공학의 핵심 과목들을 공부하고 두 교수님의 지도를 받아 매일 밤 늦게까지 DNA 합성 연구를 했는데 2학기가 끝나갈 무렵인 1984년 말 DNA 자동 합성기 발명을 가능케 한 고체상(solid phase) 펩티드 합성법을 1960년대에 개발한 미국의 생화학자 브루스 메리필드 박사가 노벨화학상을 받더군요. 저도 DNA 고상합성법을 연구 중이었는데 뿌듯했죠. 이듬해 수동 DNA 합성장치를 만들었는데 12bp의 DNA를 처음 합성하는데 아침 7시부터 밤 10시까지 15시간 동안 쉬지 않고 장치를 조작해야 했어요. 자동 합성기의 필요성을 절감했습니다.

이현재 교수님이 안타깝게도 1985년 말 갑자기 돌아가셔서 한국과학기술연구원의 유전공학센터 분자생물학연구실장을 맡게 되신 이대실 박사님으로부터도 공동지도를 받을 수 있었습니다. 석사과정을 마친 뒤 유전공학센터 연구원으로 입사하였고, 이후 도입된 연구원 박사과정을 병행하였습니다.

DNA 합성으로 돌아가서 바이오히아 자동 합성기 자체 개발에 성공한 건 창업 8년

뒤인 2000년, 창업 후 외국인 장비로 DNA 합성 서비스를 해 번 돈으로 세계에서 가장 많은 384종의 DNA를 동시에 합성할 수 있는 '슈퍼 합성기'를 11번 실패 끝에 개발하고 하루 최대 3만 종의 DNA를 생산할 수 있는 세계 최대 규모의 공장을 지었습니다. 대량생산에 들어간 2003년 합성 DNA 공급가격을 1 base당 44% 낮추고, 이듬해 합성 RNA 생산도 시작했습니다.

4. 연구와 회사 경영을 하시면서 화학과 나오기를 잘했다고 생각하신 것이 언제이었나요?

지금 생각하면 화학과를 선택한 게 제 인생에서 가장 잘한 결정 중 하나였어요. 어렸을 적부터 꿈 꾸어 온 과학자, 사업가로서의 목표를 달성할 수 있게 해준 기초지식과 아이디어 중 가장 많은 부분이 화학 공부를 통해 얻은 것들입니다. 저는 KAIST 대학원에서 화학·생명공학을 공부하며 유전자 연구에 꼭 필요한 DNA 합성을 전공했고, 유전공학센터(현 한국생명공학연구원)에서 DNA를 합성하며 PCR과 염기서열 분석에도 큰 관심을 가졌습니다. 셋다 노벨화학상을 수상한 기술인데 제가 1992년 바이오니아 창업 이후 관련 시약·원료·장비를 국내 처음으로 상용화학 대학·연구소에 공급하며 노하우를 쌓았습니다.

5. 화학은 분자 거동을 다루는 중요한 기초학문임에도 불구하고 최근들어 학생들의 화학에 대한 관심이 줄어들고 있는 경향이 있습니다. 이에 대해 한 말씀해주실 수 있을까요?

화학은 분자과학의 동의어로 분자 수준에서 여러 현상을 이해하고자 하는 학문입니다. 우리 생명체도 마찬가지입니다. 생명 현상을 분자 수준에서 이해할 수 있다면 당연히 질병도 고칠 수 있을 것입니다. 저희 회사가 기반을 두고 있는 DNA 관련 기술 중, DNA 합성 기술, DNA 시퀀싱 기술, 그리고 NGS(Next Generation Sequencing) 기술은 노벨 화학상을 받은 기술입니다. 많은 사람들이 유전자 증폭 기술은 바이오 기술인줄 아는데 사실 노벨 화학상이 주어진 화학적 발견입니다. 이렇듯 화학은 생명현상과 아주 밀접하게 관련되어 있습니다.

요즘 인류의 화두는 지속가능한 개발입니다. 그러한 측면에서 저는 합성생물학 분야에 크게 주목하고 있습니다. 합성 생물학은 우리가 화합물을 생산하는 방식의 근본적인 변화를 가져다줄 것입니다. 유전자를 합성하고 조절하고, 그렇게 발현되는 효소들을 통해서 세포를 이용해서 화학물질을 합성하겠다는 것이 합성생물학입니다. 현재 듀폰이 연구비의 50% 이상을 합성생물학 R&D에 사용하고 있는 것으로 알고 있습니다. 그런데 합성생물학 연구를 위해서는 화학이 필수적입니다. 합성생물학 연구의 진행을 위해서는 화합물의 합성에 대해서 알아야 하고 화합물의 분석을 잘 해야 하는데 이는 화학의 영역입니다. 그런데 현재 합성생물학 분야의 주도권을 생물학, 대사공학분야에서 쥐고 있는데 한계가 있다고 봅니다. 화학자들도 합성생물학에 더욱 관심을 가지면 좋겠습니다. 화학은 역사와 전통이 깊은 학문이다 보니 유기화학, 물리화학, 무기화학, 생화학, 고분자화학, 분석화학 등으로 학문 분야가 구획되어 있는데, 융합적인 접근으로 중요한 문제를 풀어나가는 것이 중요하다고 생각합니다.

이외에도 화학은 “네트 제로(온실가스와 같은 유해 물질의 배출량을 줄이고 불가피한 배출량은 흡수하도록 하여 실질적인 순 배출량을 0으로 만드는 것을 가리키는 말)”의 구현을 위해서 아주 중요한 역할을 해야 한다고 생각합니다. 이를테면 태양전지나 연료전지 개발의 핵심 키는 화학자들이 쥐고 있다고 생각합니다.

6. 유전공학센터(현 한국생명공학연구원)를 나와 1992년 바이오니아를 창업하시는 과정에서 고민, 희망, 비전 등 여러가지 생각이 있으셨을 것 같은데, 이에 대한 이야기를 해주실 수 있을까요?

제가 80학번입니다. 대학 1학년 때 당시 우리나라의 인권 상황이 좋지 않았습니다. 그러한 사회적 환경에서 대

학 생활을 보내면서 한국 사회의 문제를 해결해야겠다는 의식이 강하게 싹텄던 것 같습니다. 그런데 연구실에서의 연구만으로는 현실적인 문제를 풀 수 없겠다는 생각이 들었습니다. 유전공학 연구에 필수적인 DNA 합성기와 PCR 장비·시약 등 핵심 연구소재들을 국산화하지 않으면 똑같은 아이디어로 연구를 시작해도 특허와 사업화 경쟁에서 뒤처져 우리나라 생명공학의 미래는 없다고 생각해 창업을 결심했습니다. PCR에 필요한 합성 DNA나 시약을 미국 기업에 직접 주문하거나 국내 대리점에서 구입하면 1개월 이상 지나야 받아보거나 미국 연구진보다 2배가량 비싼 비용을 지불해야 하는 경우가 많았던 시절입니다. 21세기에 진행될 생명공학 경쟁에서 이기려면 기자재들을 빠르게 국산화해 선진국 수준의 연구개발 환경을 만들고, 바이오니아와 국내 기업들의 국제 경쟁력과 부가 가치를 높여 국가경제 발전에 기여하자고 생각했어요.

제가 연구원 시절 주로 다루었던 DNA 합성기는 미국에서 수입하여 우리나라에 하나밖에 없는 첨단 장비였는데 고장 나면 수리할 사람이 없어 직접 분해하여 원리를 파악한 뒤 수리해서 사용할 수밖에 없었어요. 그 과정에서 문제점을 극복한 더 나은 장비를 개발할 수 있다는 자신감이 생겼죠.

창업 이후 30여 년간 DNA 합성·증폭·시퀀싱 자동화와 질병 단백질을 분해하는 짧은 이중가닥 RNA인 siRNA 신약 시대를 열어준 4개의 노벨 화학상·생리의학상 수상 기술을 상용화했어요. 이를 기반으로 생명공학·신약 연구개발과 분자진단에 필요한 300여 종의 효소·단백질·시약·장비 등을 합리적 가격에 공급해 우리나라의 연구개발·진단 환경을 선진국 수준으로 끌어올리는 데 기여했다고 자부합니다.

7. 바이오니아가 1992년 창업 이래 지금의 규모로 성장할 수 있었던 원동력은 무엇인가요?

제가 설립한 바이오니아가 지금까지 성장을 계속할 수 있었던 것은 고객에게 더 나은 가치를 제공한다는 기업의 존재 이유에 충실했기 때문이라고 생각합니다. 첨단 기술을 적용해 기존에 못하던 걸 세계 최초로 해내는 기업이 되는 것이 성장의 핵심이라 생각해왔습니다. 기업이 고객에게 유용한 것을 만들고 가치를 제공해 보상 받는 것이 매출과 이익입니다. 이를 통해 주주와 투자자도 보상받는 것이고요.

HP, IBM도 처음엔 연구용 제품으로 출발했고, 일반인용 제품으로 시장을 확대하면서 글로벌 기업으로 성장했습니다. 바이오니아도 연구용 제품으로 출발해 일반인이 쓰는 분자진단, 항비만 기능성 유산균 제품을 출시하면서 매출이 급성장하고 있습니다. 분자진단의 경우 코로나19 대유행으로 2020~2021년 매출이 급성장했고 탈모완화 화장품 출시도 앞두고 있습니다.



■ 박한오(뒷줄 오른쪽 두번째) 대표가 바이오니아의 지원으로 유전체 기반의 약물 작용점 규명 등에 유용한 분열효소(*S. pombe*) 게놈적중 라이브러리 연구를 진행한 영국 왕립암연구소의 폴 너스(앞줄 왼쪽 세번째) 박사 등과 2006년 기념 촬영을 하고 있다. 폴 너스 박사는 세포주기의 주요 조절인자를 발견한 공로로 2001년 노벨 생리의학상을 수상했다.

조금 더 구체적으로 말씀드리자면 바이오니아는 DNA 합성, 시퀀싱, PCR, RNAi 등 노벨상을 받은 4개 기술을 국내 처음으로 상용화해 관련 연구 기자재를 대학·연구소에서 공급하며 노하우를 축적했습니다. 앞으로 세계에서 가장 중요하게, 많이 사용될 기술을 찾아 빠르게 개발하고 상용화해 온 결과죠. 제품군도 연구자만을 위한 것에서 분자진단, 체지방 감소 기능성 유산균, SAMIRNA™ 치료제와 탈모 완화 화장품 등 일반인·환자들을 위한 것으로 확대되면서 회사의 매출과 가치도 레벨 업 중입니다. 적자를 감수하며 오랜 기간 매출액의 30% 안팎을 연구개발에 투자한 것이 하나하나 결실을 맺어 가고 있다고 생각합니다. '바이오 산업은 특허로 보호받는 제조업'이라는 모토 아래 국내외에 등록·출원한 특허도 630여 건에 이릅니다. 끊임없는 혁신으로 특허 제품들을 성장동력으로 키워 가는 것이 미래 주주 가치를 높이는 지름길이라고 생각합니다.

8. 회사를 경영하시는 입장에서 우수 인재를 뽑고 육성하는 일이 매우 중요할텐데요. 회장의 인재관, 우수 인재를 영입하고 그들이 회사 생활에 만족함을 느끼게 하는 노하우를 소개해주신다면?

바이오니아는 자본을 갖고 출발한 회사가 아닙니다. 저의 KAIST 출신 후배들도 많이 왔다가 저희 회사를 거쳐 대기업으로 가는 경우가 많이 있습니다. 그런데 그것은 비단 저희 회사만의 문제가 아니라 삼성 같은 대기업도 1년 내에 박사급 신입 인력의 2/3가 나간다고 하더군요. 그런데 제가 생각하는 회사의 핵심인재는 아웃풋을 만들어내는 사람입니다. 회사에 잠깐 있다가 나가는 사람도 결과물을 만들어낼 수 없기 때문에 아무리 똑똑해도 핵심 인재는 아닌 것이지요. 명문대를 나왔든 지방대를 나왔든 최종적인 결과물을 만들어내는 사람이 회사 입장에서는 핵심 인재입니다. 제가 회사를 경영하면서 관찰해보니 결과물을 내는 인재들은 공통적으로 굉장히 강한 목표의식이 있습니다. 인생을 살아가면서 큰 족적을 남겨보겠다는 목표를 갖고 있는 사람들이 있습니다. 그런 사람들은 계획한 목표를 이루지 못하면 만족을 못하고 대기업에서도 적응을 잘 못하는 경향이 있지요. 대기업에서 연봉은 많이 주겠지만 이미 기술 개발이 많이 되어 있기 때문에 개개인의 입장에서는 할 일이 그리 많지 않다고 느낄 수 있기 때문입니다. 그런데 저희 회사처럼 기초는 잘 닦여져 있고 계속적으로 빠른 성장을 하는 회사에서는 개인의 열정과 역량에 따라 가시적인 결과가 금방 나타납니다. 대기업에서는 쉽지 않은 큰 성과를 내는 사람이 될 수 있고 수백억의 부가가치를 만들어내는 주인공이 될 수 있습니다. 그에 따른 보상도 즉각적으로 해줍니다. 그것이 저의 인재관이고 핵심인재에게 성장할 수 있는 동기를 부여하는 방식입니다.

그 외에도 2021년 말 개소한 글로벌센터의 경우 임직원들이 즐겁고 건강하게 일하며 새로운 아이디어를 펼칠 수 있도록 컬러풀한 건물 외관, 유전자의 DNA와 세포를 상징하는 조형물과 분수대 연못이 있는 정원, 다양한 체육시설(실내 탁구장·당구장·헬스장·검도장과 실외 인조잔디 족구장)과 기숙사, 교육장을 갖추는 데 신경을 썼습니다.

9. 회장님께서 대덕연구개발특구에서 회사를 일구고 성장시키셨습니다. 회장님께 대덕특구는 어떤 의미가 있나요? 그런데 한편으로 요즘 젊은 세대는 수도권에서 근무하고자 하는 성향이 강합니다. 이에 대한 회장의 생각 및 대처방안은 무엇인가요?

지금까지 우리나라 제약·바이오 산업은 복제약과 바이오시밀러 등을 중심으로 성장해 왔습니다. 하지만 앞으로는 유전자 코드와 인공지능(AI), 빅데이터 등을 기반으로 한 분자진단과 신약개발, 헬스케어 분야가 유망하다고 생각합니다. 이런 분야의 혁신적 기업은 생명공학연구원, 화학연구원, 전자통신연구원, 기계연구원 등 다양한 연구기관들과의 협업을 통해 나올 수 있습니다. 대덕특구는 다양한 인재와 기술이 모여 있어 글로벌 경쟁력을 가진 혁신적 기업과 기술이 탄생할 가능성이 어느 지역보다 높습니다. 신약개발, 코로나19 대유행으로 고성장한 진단 기업, 화학물질 합성하지 않고 생물학적 공정으로 생산하려는 합성생물학 기업, 연구·진단장비 기업, 건강기능식품과 기능성화장품 기업, 바이오 소재·농업 기업 등 다양한 분야의 바이오 기업들이 다양하게 있습니다.

요즘 젊은이들의 수도권 선호와 관련해서 이는 앞에서도 언급드린 지속가능성의 문제와도 직결된다고 생각합니다. 현재의 출생률이라면 우리 나라는 소멸하게 되겠지요. 지속가능하지 않은 것입니다. 그 이유는 모든 것이 수도권으로 몰리는 현상 때문입니다. 저도 사실 생명공학연구원이 대전으로 내려오기 전까지는 서울에서 살긴 했습니다. 다만, 대전은 좋은 게 1-2억이면 집을 살 수 있습니다. 즉, 몇 년 동안 열심히 돈을 모으면 내가 살 집을 장만하는 게 가능하다는 것입니다. 하지만 서울에서는 보통의 월급으로는 내 집을 갖기가 쉽지 않습니다. 주택 구매가 힘들니 결혼도 포기하고, 그러면서 출산율은 낮아지고요. 그 와중에도 사람들은 서울로 계속 모여 집값은 계속 올라가는 악순환이 계속되는 것입니다.

그런데 독일의 경우 우주선 로켓 추진체를 만드는 기업이 인구가 3천 명 밖에 안 되는 중소도시에서 창업을 하더라구요. 거기에 엘리트 대학 나온 인재들이 활약을 하고 있고요. 당연한 말이지만 로켓 개발 등을 위해서는 넓은 대지가 필요할텐데 그러한 요건을 충족시켜줄 수 있는 것은 시골 마을이었던 것이지요. 땅값도 싸고, 실험과 연구 환경 조성에도 좋겠지요.

그러한 문화를 우리나라도 본받고 정착시켜야 한다고 생각합니다. 최근 정부에서 각 지방대학의 지원체계를 지방자치단체 중심으로 재편한다는 뉴스를 접했습니다. 지방의 인재들이 창업을 했을 때 지방자치단체에서 전폭적으로 지원을 하는 풍토가 생기면 젊은 인재가 서울로 집중되는 문제는 점차 해결될 것입니다. 지방에서 서울 보다

재정적으로 더 풍요로운 삶을 살 수 있을테니깐요. 또한 우리 나라는 반 나절이면 전국 어디서든 서울을 갈 수 있는 교통망이 갖춰지고, 교통 인프라 건설이 확대되어 생활권의 광역화가 점점 현실화 될 것으로 기대합니다.

성공 공식의 기본 전제이자 핵심은 과학기술이라고 생각합니다. 저는 바이오니아를 통해 지방에서도 과학기술 기반으로 세계 최고 1등 기업을 만들 수 있다는 것을 보여주고 싶습니다. 대전의 넓은 지대에 세운 바이오니아 글로벌센터에서 지방이 갖고 있는 장점들을 극대화시켜 나가면서 지속가능한 성공기업의 모델을 제시하고 싶습니다.



■ 대전에 위치한 바이오니아 글로벌센터 전경

10. 회장님께서 현재 가장 중요하다고 생각하시는 문제가 무엇인가요? 회장님의 인생의 최종 목표가 무엇인가요?

저의 목표는 간단합니다. 대전을 기반으로 성장해 온 바이오니아를 삼성전자 같은 세계적 기업, 수십조 원 규모의 매출을 올리는 “글로벌 헬스케어 기업”으로 도약시키는 것입니다. 이를 위해 바이오니아는 “질병 예방 · 진단 · 치료 혁신기술을 창조하고 전 세계로 보급하는 미래 헬스케어 최고 기업”이 되자는 비전과 경영철학 실천을 위해 매진하고 있습니다.

질병관련 mRNA를 선택적으로 분해시켜 각종 난치병을 별다른 부작용 없이 치료할 수 있는 ‘초분자 siRNA 나노 구조체(SAMiRNA™)’ 신약의 경우 선도 프로젝트로 폐 · 신장 등을 망가뜨리는 섬유화증을 치료하는 신약 후보물질에 대해 올해 임상시험에 들어갈 계획입니다.

분자진단 시장에서 연 매출 1조원을 돌파하고 DNA · RNA · 유전자 · 유전체(genome) 합성, 나노 신소재와 자회사들이 영위하는 체지방 감소 BNR17 유산균 등 기능성 프로바이오틱스, siRNA 치료제, mRNA 치료제 · 백신 부문을 아울러 연결기준 연 매출 10조 원 규모의 글로벌 헬스케어 기업으로 우뚝 서고자 합니다.

증상기반 현장 분자진단장비 IRON-qPCR과 전자동 대량 분자진단장비 ExiStation FA 96/384를 시작으로 차세대 분자진단장비의 글로벌 중심이 되기 위해 1,000억원을 투자한 ‘글로벌센터’, 내년 부지 공사가 끝나는 남공주산업단지에 단계적으로 건설할 세계 최대 siRNA 생산공장과 미래 기후변화에 대응하기 위한 나노 신소재 공장은 그 핵심 인프라가 될 것입니다.

바이오니아의 첫 SAMiRNA 상용화 제품인 탈모 완화 화장품 코스메르나(CosmeRNA™)는 잠재시장이 의약품과 비교할 수 없을 정도로 큼니다. 세계 탈모 인구가 20억 명에 이르고 대량생산을 통해 가격을 대폭 낮추면 1~2억 명의 고객을 확보할 수 있는 엄청난 포텐셜을 갖고 있습니다. 현재 세계 siRNA 연간 생산 캐퍼가 6t 규모인데 1억 명의 탈모인에게 코스메르나를 공급하려면 연산 10t 규모의 세계 1위 siRNA 공장이 필요합니다.

11. 대표님은 성공적인 과학자이자 기업가로서의 커리어를 이어오고 계십니다. 마지막으로 묵묵히 화학자의 길을 걷고 있는 젊은 학생 및 연구자에게 한 말씀 해주실 수 있을까요? 또한 창업을 고려하고 있는 연구자 및 교수에게도 한 말씀 부탁드립니다.

지난 30년을 돌아보면 저도 연구원 출신으로서 숭한 시행착오와 어려움을 겪으면서 많은 고민을 한 것 같습니다. 기업의 기본적인 존재 이유인 고객 가치 창출을 위해 좀더 많이 고민했었다면 더 좋은 성과를 낼 수 있었지 않았나 생각합니다. 여러 가지 부족한 점이 많았지만 그래도 한눈팔지 않고 항상 연구개발에 매진해 왔기에 계획보다 시간이 좀 지연되는 것들도 많았지만 하나 둘 결실을 거두고 있다고 생각합니다.

글로벌 비즈니스의 정글에서 스타트업이 생존 발전해 나가려면 비즈니스 모델을 보호해줄 확실한 특허를 갖고 있어야 합니다. 글로벌 시장에서 통할 수 있는 특허도 없이 창업하면 언제든 제로(0) 또는 마이너스 마진과 불공평한 을(乙)의 신세를 감수해야 하는 상황으로 내몰릴 수 있습니다.

혁신적 제품을 개발했다라도 바이오 분야는 신뢰를 쌓고 세계시장에 판매하기까지 항상 예상보다 더 많은 시간이 걸립니다. 자금계획을 여유있게 세워 서 중간에 자금 고갈로 연구자들과 투자자들이 함께 만든 공동 탐이 완성되기 전에 무너지지 않게 해야 할 것입니다. 회사를 경영하다 보면 어려운 일들이 생기기 마련인데 임직원들과의 팀워크가 중요합니다. 어려울 때 모두 아이디어를 내서 해결책을 찾고 돌파해 나가는 게 기업가의 중요한 자질입니다.

저는 유전공학센터(현 한국생명공학연구원) 연구원으로 일하다 1992년 민간기업 근무 경험 없이 창업해 시행착오를 많이 겪었습니다. 이미 판매 중인 외국산보다 싸고 좋게 만들어 팔면 된다고 생각하던 시절이었습니다. 반면 미국 벤처들은 신기술을 기반으로 창업합니다. 사전에 잠재고객들을 만나 신기술을 필요로 하는지 시장성과 고객가치를 확인하고, 이들의 애로사항 해결을 도울 비즈니스 모델을 제시해야 벤처캐피탈 등으로부터 투자를 유치할 수 있습니다. 아무리 뛰어난 기술도 고객이 선택하지 않으면 무용지물이 되기 때문이죠. 연구자 출신 창업자가 개발한 기술을 다른 기업에 파는 수준이 아니라 제조업으로 끌고 가려 한다면 대기업이나 글로벌 기업에서 경험을 많이 쌓은 인재를 임원급으로 영입해 자신에게 부족한 부분을 보완해야 성장해 나갈 수 있습니다.

마지막으로 창업을 고려중인 연구자 및 교수님들께 기업의 존재 이유는 고객가치 창출이라는 점을 다시금 강조하고 싶습니다. 미국은 창업 희망자가 창업 아이템 갖고 오면 얼마에 팔려 하느냐 물어보고 가상 고객 100명을 만나 살 의향이 있는지 조사해 오게 한다고 합니다. 2/3 이상이 사겠다고 하면 창업 지원을 하지만, 2/3 미달 땀 대개 스스로 포기하게 합니다. 이를 통해 실패한 창업을 최소화합니다. 내 서비스, 내 제품, 내 기술의 고객 가치를 고려해야 한다는 것입니다. 과학기술 기반 창업에서도 연구자나 교수님이 갖고 있는 과학기술은 고객가치를 창출하기 위한 중요한 수단일 뿐이라는 점을 인식해야 합니다.

자본주의 시장원리를 관통하는 V, P, C 부등식이라는게 있습니다. V(value) > P(price) > C(cost)! 당연히 가격이 비용보다 높아야 이윤이 남게 될 것입니다. 과학기술을 통해서 비용을 낮추는 것이 이상적이고요. 인건비를 낮춰서 비용을 낮추면 악덕 기업이니깐요. 그런데 이것만으로는 부족합니다. 가치가 가격보다 월등히 높아야 합니다. 물건 혹은 서비스에 대한 고객의 인식이 중요한 겁니다. 즉 매우 가치 있는 물건, 서비스를 낮은 가격에 샀다는 인식을 고객이 해야 성공적인 기업이 될 수 있는 것입니다. 가성비 좋은 제품과 서비스를 개발해야 한다는 것이지요. 그런 측면에서 기업의 목표는 이윤 추구가 아닌 “고객가치 창출”이라는 점을 명심해야 할 것입니다.



■ 박한오(오른쪽) 바이오니아 대표는 벤처 창업 생태계 발전에 기여한 공로로 2021년 말 금탑산업훈장을 받았다. 왼쪽은 문재인 대통령을 대신해 훈장을 전달한 권철승 중소벤처기업부 장관.

KCS 하이라이트

16 시간-분해 분광법을 이용한 연구

이번 호에는 지난 4년(2018-2022년) 간 BKCS에 보고된 시간분해 분광학을 이용한 연구 논문을 소개합니다. 시간-분해 분광법은 타겟 시스템의 광물리/광화학 성질을 규명하고 다양한 광유도 동역학을 탐구합니다. 이번에는 클로로벤젠과 아세톤의 광해리, 메탈헥사피린의 전하이동, 피록시카프의 양성자이동, 다이아릴에텐의 고리달힘반응, 복소고리분자의 터널링동역학을 포함한 다양한 광유도 동역학에 관한 연구가 발표되었습니다. 관련 연구를 수행하는 회원분들의 많은 관심 부탁드립니다.

글 김태연(성균관대 화학과 조교수, taeyeon@skku.edu)

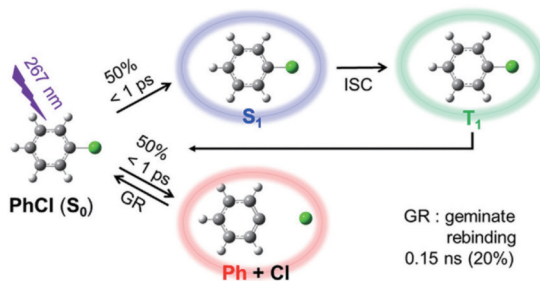
BKCS

Vol. 43 No. 04 p. 529-537 / Article

부산대 임만호 교수 연구팀에서 시간-분해 적외선 분광법을 이용해 클로로벤젠과 플루오로요오도벤젠의 광해리 동역학을 보고하였습니다. [2022년 4월호, DOI: 10.1002/bkcs.12495]

Photodissociation dynamics of chlorobenzene and 4-fluoroiodobenzene in CCl_4 probed using time-resolved infrared spectroscopy

The dynamics of photoexcited chlorobenzene (PhCl) and 4-fluoroiodobenzene (4-FPhI) in CCl_4 were investigated using time-resolved infrared spectroscopy. When excited at 267 nm, 50% (70%) of the excited PhCl (4-FPhI) dissociates the Cl (I) atom immediately, and the remaining molecules relax into the T_1 state via intersystem crossing (ISC) with a time constant of 70–80 ps. About half of the dissociated halogen atoms geminately recombine with the nascent radical with a time constant of 100–150 ps, reducing the number of generated radicals that are available to react with other reaction partners. The remaining radicals also recombine with the dissociated halogen atom on a timescale of tens of nanoseconds. Interestingly, the ISC of the light Cl-atom-involved PhCl was as efficient as that of the heavy I-atom-involved 4-FPhI. Detailed photoexcitation dynamic studies of PhCl and 4-FPhI can be utilized to understand the reaction dynamics of Ph and its derivatives.

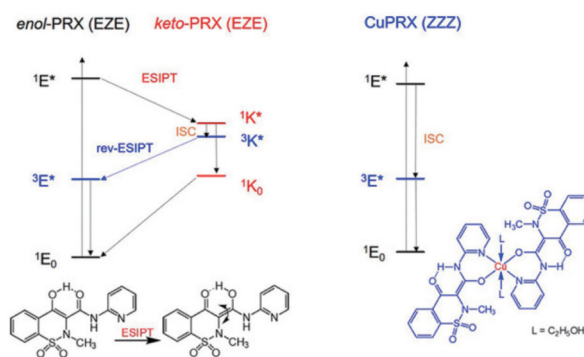


고려대 조대원 교수와 대구대 위경량 교수 연구팀에서 케토-피록시캠의 들뜬 상태 분자 내 양성자 이동 과정을 밝혔습니다.

[2021년 12월호, DOI: 10.1002/bkcs.12413]

Photophysical properties of anti-inflammatory piroxicam and its Cu(II) complex

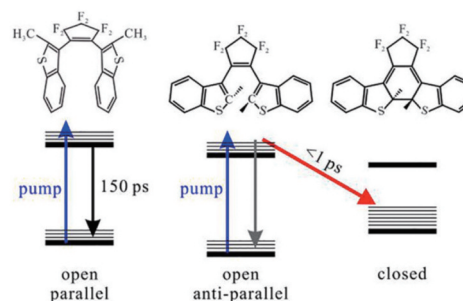
Piroxicam (PRX), a nonsteroidal anti-inflammatory drug, exhibits a large Stokes-shift emission owing to the excited-state intramolecular proton transfer (ESIPT) from *enol*-PRX to *keto*-PRX. In contrast, the Cu-coordinated PRX complex (CuPRX) does not show any emission at 300 K. In the time-resolved transient absorption (TA) spectra, PRX showed two positive TA bands at 430 and 700 nm, corresponding to the S_1 - S_n transitions of *keto*-PRX* and a negative bleaching band at 540 nm due to ESIPT emission. These TA bands decayed with a lifetime of approximately 50 ps. CuPRX showed similar TA features, but no bleaching band was observed for CuPRX and decayed rapidly within 3 ps, indicating a rapid intersystem crossing process owing to the heavy atom effect. Based on the experimental results and theoretical calculations, the fate for excited *keto*-PRX is discussed in terms of the ESIPT and reverse ESIPT processes.



포항공대 주태하 교수와 포항공속기연구소 염인태 박사 연구팀에서 시간-분해 형광 스펙트럼 측정을 기반으로 디아릴에텐의 고리닫힘반응을 밝혔습니다. [2019년 4월호, DOI: 10.1002/bkcs.11689]

Ring Closure Reaction Pathway of a Diarylethene in Solution Using Femtosecond Time-resolved Fluorescence Spectra

Photochromic ring closure reaction dynamics of 1,2-bis(2-methylbenzo[b]thiophene-3-yl)hexafluoro cyclopentene is investigated by means of time-resolved fluorescence spectra. Compared with a single wavelength probe, direct measurement of the emission spectra during the reaction provides unambiguous and straightforward picture for the ring closure reaction pathway. We observe two different emission bands in the fluorescence of the open ring isomer. From the global



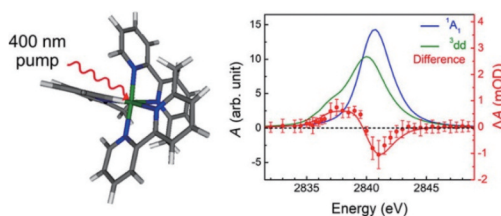
analysis for the spectra, we obtain <1 ps time constant for the ring closure reaction in polar solvent. Moreover, the ring closure reaction of the compound takes place entirely on the ultrafast timescale. The unreactive parallel conformer decays to the ground state by 150 ps time constant.

연세대 김태규 교수와 포항공속기연구소 이재혁 박사 연구팀에서 시간-분해 X-선 흡수 분광법을 통해 $[\text{Ru}(\text{m-bpy})_3]^{2+}$ 복합체의 광유도 동역학을 보고했습니다. [2021년 10월호, DOI: 10.1002/bkcs.12377]

Time-resolved X-Ray Absorption Spectroscopy of Solvated $[\text{Ru}(\text{m-bpy})_3]^{2+}$ Complex: Electronic Structures of ^3dd State

Ru L_3 -edge time-resolved X-ray absorption spectroscopy (TR-XAS) was applied to unravel photo-induced excited state dynamics of solvated $[\text{Ru}(\text{m-bpy})_3]^{2+}$ (m-bpy = 6-methyl-2,2'-bipyridine) complex. The Ru L_3 -edge probes 2p core-level transitions, enabling to monitor the electronic structure of excited ^3dd state. TR-XAS and time-dependent density functional theory were utilized to directly visualize the charge density of ^3dd state around the Ru atom during the relaxation cascade of $[\text{Ru}(\text{m-bpy})_3]^{2+}$ complex.

The formation of ^3dd state is attributed to the reduced effective ligand field strength, which was derived from the TR-XAS of ^3dd state at 100 ps. These results highlight the role of ligand-field ^3dd state in the photo-induced relaxation dynamics of $[\text{Ru}(\text{m-bpy})_3]^{2+}$ complex.

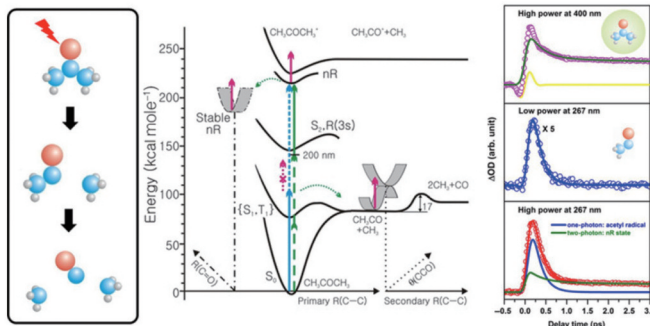


국민대 김형민 교수와 한국화학연구원 진승민 박사 연구팀에서 펨토초 순간흡수 분광법을 통해 아세톤의 광해리를 재조명했습니다. [2022년 5월호, DOI: 10.1002/bkcs.12514]

Photodissociation of acetone revisited: Femtosecond transient absorption of S1 state and highly excited Rydberg state in the gas phase

Photodissociation dynamics of acetone in gas phase were, for the first time, investigated using the pump-probe technique of femtosecond transient absorption. To obtain a genuine time profile of nR state, we employed 200-nm and 400-nm pulses for two-photon excitation and three-photon excitation, respectively. In gas phase of acetone, the extraordinarily stable nR state originated from nR states in the Franck–Condon region, whose decay time constant was 350 ± 10 fs, was observed after excitation by three-photon absorption of 400-nm pulses. In the low-power case of 267 nm, the photodissociation dynamics in the S1 state by one-photon absorption showed that acetone was completely dissociated into two methyl radicals and C=O via an acetyl

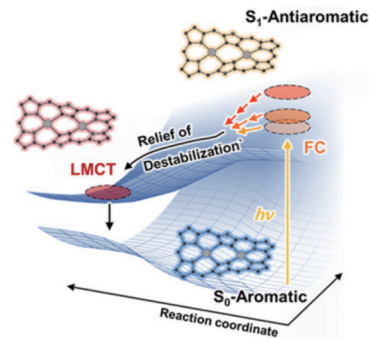
radical intermediate with a lifetime of 200 ± 10 fs. In the high-power case of 267-nm light, we interpreted the transient, although this is a subject of ongoing debate, as caused by both the photodissociation dynamics of the S₁ state for a fast component and the dynamics of nR states for long-lived species.



연세대 김동호 교수와 순천향대 오주원 교수 연구팀에서 시간-분해 적외선 분광법을 이용해 메탈헥사피린의 들뜬상태 방향성이 리간드-메탈 전하전달 과정에 어떤 영향을 미치는지 탐구했습니다. [2022년 4월호, DOI: 10.1002/bkcs.12483]

Ligand-to-metal charge transfer driven by excited-state antiaromaticity in metallohexaphyrins

We investigated the effect of excited-state antiaromaticity on the ligand-to-metal charge transfer (LMCT) process of metallohexaphyrins. According to Baird rule, the aromatic metallohexaphyrins in the S₀ state become antiaromatic in the S₁ state. Because of the metal-ligand redox-like nature of LMCT process, the LMCT process can release the antiaromatic nature and its energetic destabilization. The metallohexaphyrins show a correlation between the S₀-state aromaticity and time constants for the LMCT process, which well demonstrates that the excited-state antiaromaticity at the Franck-Condon state acts as a driving force for the LMCT process. These findings elucidate the effect of excited-state antiaromaticity on the excited-state behaviors and further provide an insight into the photochemistry of organic molecules.

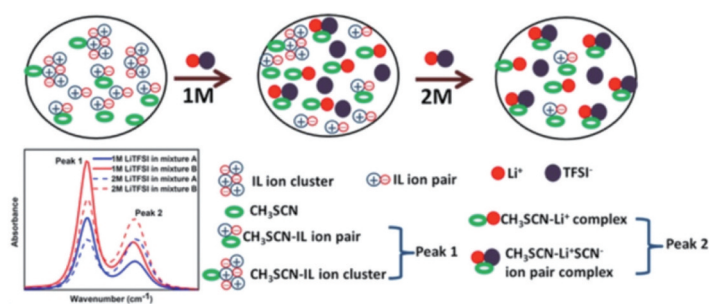


고려대 조민행 교수와 광경원 교수 연구팀에서 시간-분해 적외선 분광법을 이용해 실온 이온성 액체 기반의 리튬-이온 배터리 전해질의 용매화 구조와 동역학을 밝혔습니다. [2022년 2월호, DOI: 10.1002/bkcs.12463]

Solvation structure of phosphonium ionic liquid/CH₃SCN mixture as electrolytes for Li-ion batteries: Infrared pump-probe spectroscopic studies

Lithium-ion battery (LIB) electrolytes based on room-temperature ionic liquids (RTIL) are promising as safe and sustainable LIB electrolytes. However, there are no reports on the solvation structure and dynamics of

RTIL due to the existence of various solvation species in RTIL. Here, we investigated the solvation structure and dynamics of binary mixtures of the phosphonium ionic liquid, tributyl(2-methoxyethyl)phosphonium bis(trifluoromethanesulfonyl)imide (P_{444102} TFSI), and methylthiocyanate (CH_3SCN), with ultrafast mid-IR Spectroscopy. The changes of vibrational and rotational dynamics of $\text{CH}_3\text{SCN} \cdots \text{Li}^+$ complex and free CH_3SCN with an increase in CH_3SCN concentration suggest the presence of at least four solvation species, providing superior resolving power for various solvation species existing in complex LIB electrolytes. Our experimental results show that the environment of free CH_3SCN and $\text{CH}_3\text{SCN} \cdots \text{Li}^+$ complex changes drastically with change in CH_3SCN mole fraction and Li salt concentration in the mixture. We expect that this can affect the Li-ion transport mechanism in the IL-based electrolytes.



카이스트 김상규 교수 연구팀에서 페놀과 사이오페놀의 터널링 동역학에 대해 총설 논문을 발표했습니다.

[2022년 2월호, DOI: 10.1002/bkcs.12453]

Tunneling dynamics dictated by the multidimensional conical intersection seam in the $\pi\sigma^*$ -mediated photochemistry of heteroaromatic molecules

The $\pi\sigma^*$ -mediated photochemistry of heteroaromatic molecules has provoked the investigation of the conical intersection dynamics. The Born–Oppenheimer approximation fails at the conical intersection where the S_1 ($\pi\pi^*$) and S_2 ($\pi\sigma^*$) states cross. The nonadiabatic transitions are much influenced by the nuclear configuration of the reactive flux particularly in the curve-crossing region encountered along the reaction pathway. In this article, we focus on the tunneling dynamics of phenols and thiophenols. The O (S)–



H bond cleavage occurs via tunneling through the barrier which is dynamically shaped by the upper-lying S_1/S_2 conical intersection in terms of the couplings at the individual branching planes as well as along the (3N–8) dimensional seam coordinates. State-specific tunneling rates and their interpretation are given for phenol, substituted phenols, thiophenol, *ortho*-substituted thiophenols, and benzenediols including their 1:1 water clusters. The completely orthogonal modes to the tunneling coordinate are very critical in the dynamic shaping of the reaction barrier.

「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.

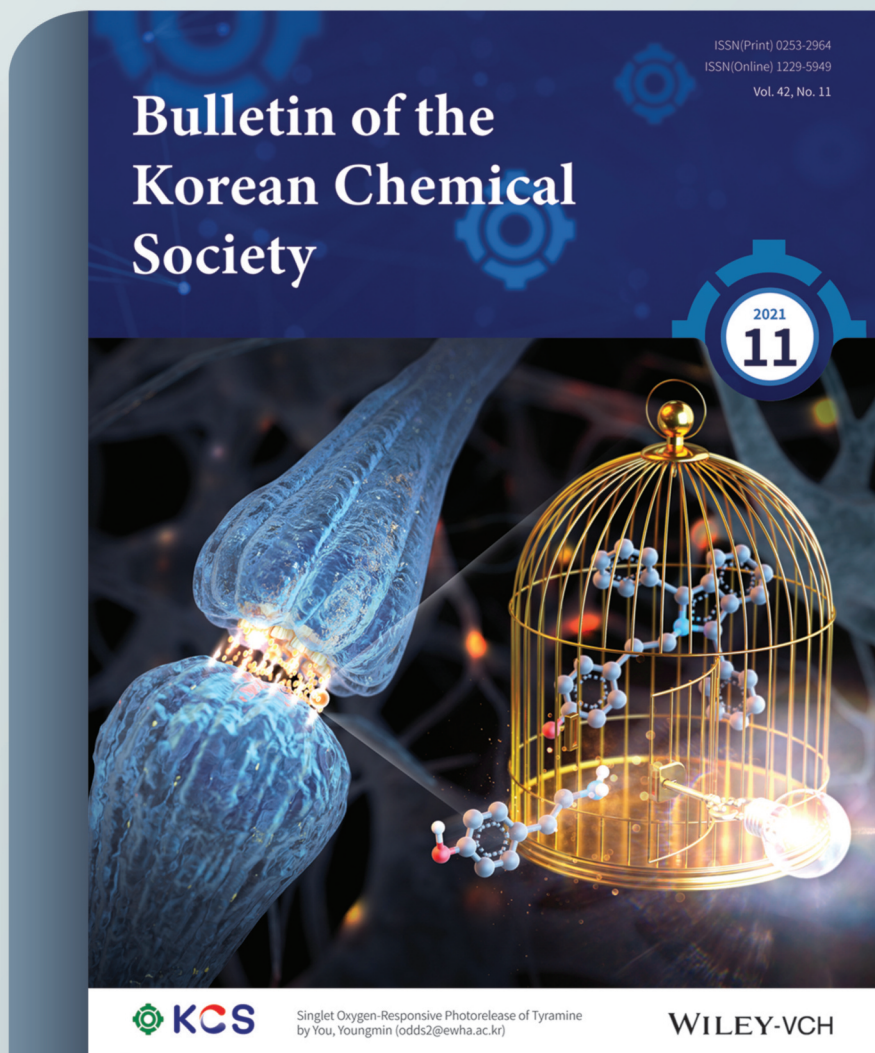
대한화학회 회장 신석민

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

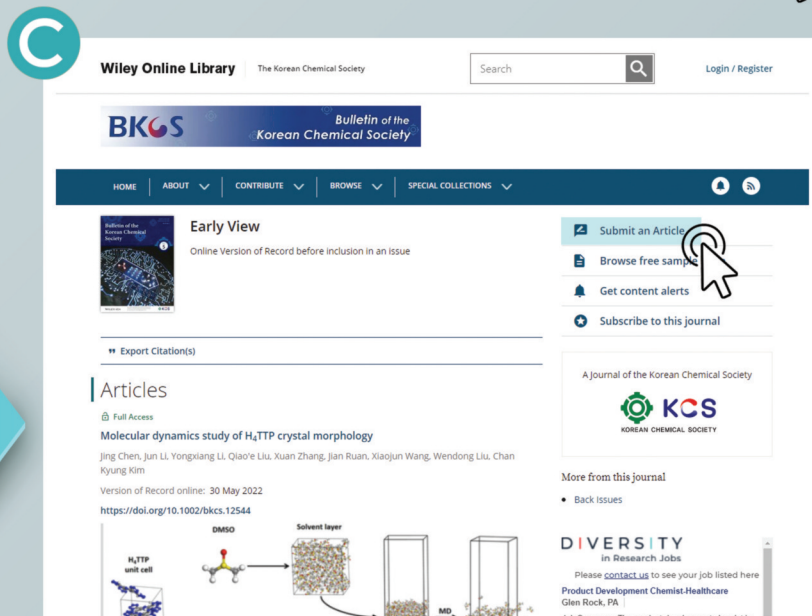
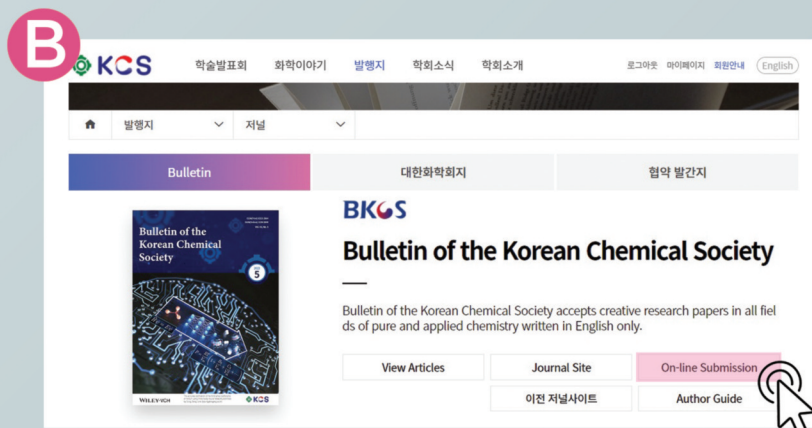
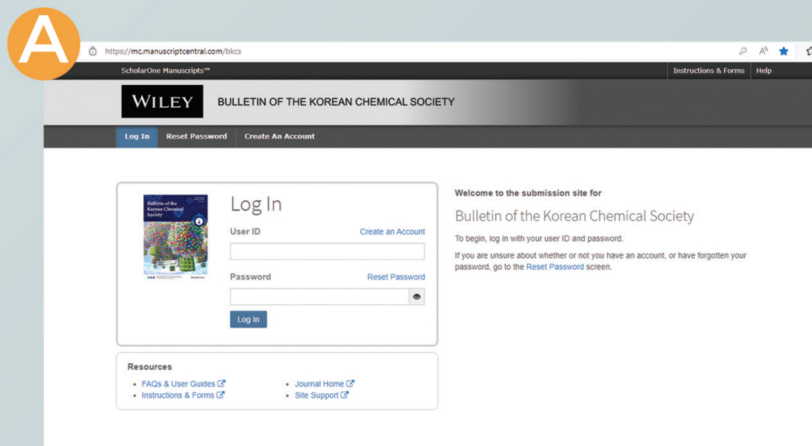
B

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/bkcs로 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

글로벌 ADC 회사로의 도약을 꿈꾸는 인투셀

IntoCell, Into Global ADC Company

대표이사 박태교

주소 대전시 대덕구 신일동로 101

전화 042-716-0083

홈페이지 www.intocell.com



인투셀은 항암제 시장에서 전 세계적으로 대세가 된 Antibody Drug Conjugate (ADC) 분야에서 독보적인 기술을 보유한 소위 “강소기업”이다. ADC는 암세포를 선택적으로 찾아가는 항체에 chemical drug이 링커를 통해 결합된 신개념 치료제이다. 박태교 대표는 LG생명과학을 거쳐 2006년 레고캠바이오를 공동 창업하여 CTO로서 동사의 ADC 기술 개발을 주도하고, 2013년 코스닥 상장에 일조한 바 있다. 2015년 4월에 인투셀을 창업한 후, 세계 최고 수준의 OHPAS, PMT 기술을 개발하는 등 그동안 업계에서 해결하지 못한 난제들을 하나씩 해결하며 글로벌 기업으로의 초석을 다지고 있다.

세계 최고 수준의 연구 인력

대전 소재 인투셀은 40명 내외의 바이오 벤처이나, 연구 인력의 풍부한 경험과 전문성을 보면 가히 세계 최고 수준이라고 할 수 있다. CTO 류요섭 부사장은 바이오 본고장 미국에서 Amgen 포함, 23년간 신약 연구개발

경험과 전문성을 갖췄다. CSO 문성주 전무는 ADC 분야에서만 18년 이상 경력의 전문가로, 전이성 유방암 ADC 치료제로 FDA 승인된 트로델비의 발명과 개발의 주역이었다. CDO 강종수 전무는 신약 임상개발 부문에서 38년 경력의 국내 최고 전문가로 평가받고 있다. CFO 서영석 전무는 증권업계 25년 경력의 금융전문가이다. 또한, BS 센터장 이향숙 상무와 CS 센터장 김선영 이사는 박 대표와 함께 레고컴바이오부터 ADC 연구를 같이했던 핵심 인력들이다.

주요 연구 개발 성과

1. OHPAS (Ortho-Hydroxy Protected Aryl Sulfate) Linker Technology

인투셀은 OHPAS Linker로 명명된 플랫폼 기술을 개발하여, ADC 분야에 도입 가능한 약물의 범위를 크게 확장하였다. 이 기술은 세포독성 약물에서 많이 발견되나 기존 Linker 기술로는 접목이 불가능했던 페놀류 약물에 범용적으로 적용 가능한 기술이다. 동시에 링커-약물 연결부위의 불안정성에서 기인하는 ADC 독성 문제를 최소화하고 타겟 암세포 내에서만 빠르고 선택적으로 끊어지게 함으로써 표적항암제로서 효능을 극대화할 수 있는 cleavable linker 기술이다[그림 1].

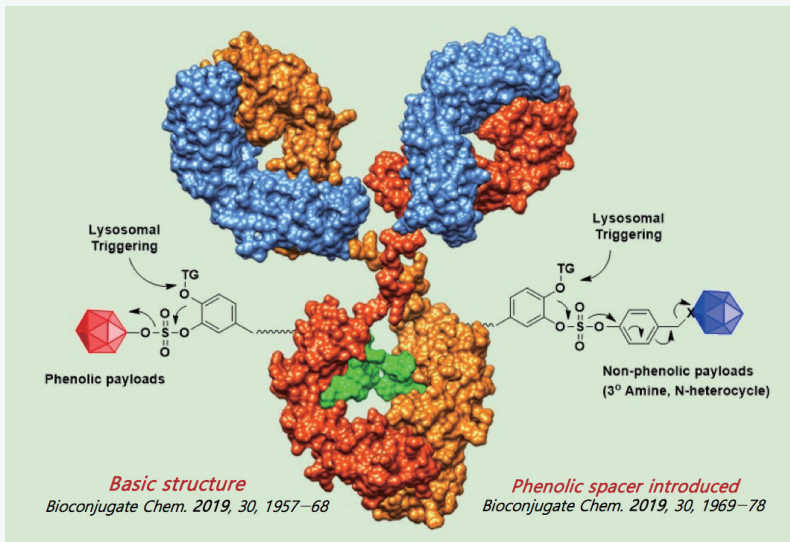


그림 1. 페놀류 약물이 sulfate bond로 카테콜에 연결되어 있는 구조로, 트리거링 그룹으로 보호되어 있어서 화학적으로나 혈액속에서는 안정하나, 세포내 효소-주로 lysosomal enzyme-에 의해서 트리거링 그룹이 제거되면 고리화 반응을 통해 약물이 세포내로 방출됨 (왼쪽 구조). 기본 구조에 페놀기를 포함하는 스페이서(para-hydroxybenzyl)를 도입하면 페놀류가 아닌 약물도 연결 및 방출이 가능함(오른쪽 구조)

2. PMT (Payload Modification Technology)

ADC는 신개념 표적 항암제임에도 불구하고 결합된 약물의 소수성에서 기인하여, 정상세포로 비선택적으로 유입되어 치료지수(Therapeutic Index)가 낮은 문제가 있다. 인투셀은 약물에 Modifying Group (MG)를 도입하여 ADC의 링커-약물 부위가 세포막과의 interaction을 방해하는 기술을 개발함으로써, 암세포와 정상세포 간의 선

택성을 크게 개선하고, 결과적으로 낮은 치료지수 문제를 해결하였다[그림 2].

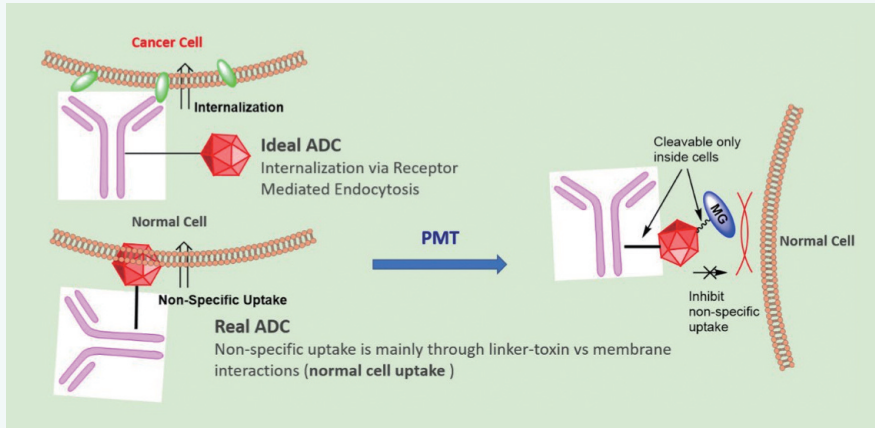


그림 2. 항체의 Fab 부분이 (표적)세포표면의 항원과 결합하여 세포 내로 유입되는 “이상적인” 메커니즘(그림 상단). 실제 ADC의 링커-독신 부분이 세포막과 interaction을 통해 세포 내 유입이 되고 선택성이 낮아짐. 이런 interaction을 방해하는 MG 그룹을 약물에 직접 도입하여, 정상세포로의 유입을 획기적으로 낮춤. MG 그룹은 세포 내에서 끊어지도록 설계되어 있음 (그림 하단)

3. 신규 Camptothecin 계열 약물연구

Camptothecin은 DNA 복제에 필수적인 효소인 topoisomerase I 활성을 선택적으로 저해하는 신규 기전의 항암제로, ADC 업계에서 상대적 안전성으로 인해(벤조디아제핀 계열 및 듀오카마이신 계열 대비) 큰 주목을 받고 있다. Daiichi Sankyo사가 개발한 Enhertu가 글로벌 블록버스터로 자리매김한 것도 동일한 맥락이다. 여기에는 Camptothecin 계열 약물인 Dxd를 펩타이드로 연결한 GGFG-Dxd(링커-독신명: Deruxtecan)를 사용하나, 이 역시 펩타이드가 골수에서 가수분해되는 문제가 있어서 호중구 감소증, 적혈구 감소증, 혈소판 감소증 등의 부작용이 크다. 인투셀은 GGFG-Dxd 처럼 펩타이드를 사용하지 않는 Camptotecin 계열 약물 발굴에 착수하여 이미 Dxd를 능가하는 약물을 여러 종 발굴하고 ADC에 적용 중이다. Camptothecin이 도입된 ADC는 호중구감소증 등에서 자유로워 훨씬 더 안전한 ADC가 기대된다.

4. Anti-B7-H3 ADC 개발

인투셀은 OHPAS와 PMT 기술 모두 적용된 Duocarmycin 계열 링커-약물로, 면역 관문 분자인 B7-H3를 표적으로 하는 ADC 치료제 비임상 후보물질(성분명: ITC-6146RO)을 발굴하였다. 회사는 2024년에 FDA IND filing을 목표로 개발 중이며, 올해 상반기 내 ITC-6146RO의 원숭이 GLP 독성 시험이 개시될 예정이다. 당사 플랫폼이 적용된 ADC 후보 물질의 첫 임상 결과가 확보되면, 향후 글로벌 제약사 중심으로 파트너십을 확대함과 동시에 자체 ADC 파이프라인도 한층 강화될 것으로 기대한다.

ADC 난제들을 해결한 독보적 기술

인투셀은 앞서 소개한 연구개발 성과들을 통해 ADC 업계에서 해결하지 못한 문제들에 대해 차례로 해법을 제시하고 있다.

첫째, 일반성과 확장성이 뛰어난 OHPAS의 발명이다. 기존 기술로는 아민 계열의 약물들만 접합이 가능하였으나, 동사의 신규기술을 통해 페놀 계열의 약물을 포함한 다양한 약물을 두루 연결할 수 있다.

둘째, OHPAS 기술을 통해 암세포 도달 전에 약물이 방출되는 문제를 해결하였다. 동 기술은 화학적으로도, 생물학적으로도 안정하며, ADC 영역뿐만 아니라 다양한 영역에서의 활용이 가능하다(예를 들면, Antibody-Protein Degradation Conjugate).

셋째, 신규 PMT 기술을 발명하여, 기존 ADC가 가진 좁은 치료범위 문제를 해결하였다. 2023년 기준 승인된 12개의 ADC 치료제들은 치료지수가 1.1 배 수준에 불과하다. 반면 PMT 기술을 이용하면, 치료범위 또는 선택성을 획기적으로 개선할 수 있다. 다양한 국내외 기업들이 이 기술의 높은 선택성에 매료되어 협력 요청이 쇄도하고 있다.

마지막으로, 면역세포 독성의 획기적 감소이다. 펩타이드에 기반한 기존 링커 기술들(예를 들면, Seagen, Daiichi Sankyo 기술)은 골수에서 분비되는 효소에 의해 약물이 방출되어 호중구, 적혈구 및 혈소판 감소로 이어지고, 결과적으로 면역력이 약화되는 심각한 문제가 있었는데, 당사 기술의 경우 세포 내에서 약물이 해리되어 나오는 메커니즘 외에는 끊어지지 않아, 이 문제를 크게 개선할 수 있다.

본격적인 기술 수출 시작

당사는 2022년 12월 스위스 소재 ADC 개발전문회사인 ADC Therapeutics로 상당한 규모(계약상 규모는 비공개)의 기술 수출을 한 바 있으며, 본격적인 기술 수출에 나섰다. 2023년 3월 현재 다양한 국내외 회사들과 CDA 및 MTA를 맺고 기술수출을 추진 중이다.

작년 기준 전세계 의약품 시장 규모는 1.3조 달러로 예상(IBK증권)되며, 항암제 시장은 약 20% 수준(340조 원)으로 가장 큰 시장을 형성하고 있다. 현재 ADC는 초기 시장(5~7조 원)임에도 불구하고 많은 글로벌 빅파마들이 연구에 뛰어들고 있으며 2026년까지 급격한 성장(CAGR 37%)이 예상되어 약 30조에 이를 것으로 예상(신한금융투자, Evaluate Pharma)된다. 면역항암제와 세포치료제가 암환자 중 비중이 높은 고형암 치료에 한계가 있다는 점을 감안할 때, 항암제 시장에서 ADC 치료제의 비중은 더욱 커질 것으로 보인다. 글로벌 메가 트렌드 ADC 시장에서 인투셀은 독보적인 기술과 차별화된 수익모델로 글로벌 바이오테크로의 도약을 꿈꾸고 있다. 세계 최고 수준의 기술을 개발하여 국내외 제약사들로부터 많은 러브콜을 받고 있는 점을 감안하면, 당사의 “2030+, into 10-10” (2030년대, 인투셀의 기술로 개발된 신약 10개+시가총액 10조)의 슬로건이 결코 허황된 꿈이 아님을 머지않아 입증할 것이다.



임종민 Jong Min Lim

경북대학교 화학과 조교수

jongmin@knu.ac.kr, <https://chem.knu.ac.kr/>

소개글

임종민 교수는 초고속 분광을 이용한 분자 동력학과 현미 분광법을 개발하고, 이를 이용한 에너지 물질의 광학 성질 연구, 생체 분자의 관찰 연구 등을 수행해왔다. 특히, 다양한 파이 공액 분자들의 구조에 따른 선형/비선형 광학형질, 정상/들뜬 상태 동력학의 관계를 규명하여, 분자 디자인의 방향을 제시하고 그 응용 가능성을 살펴보고 있다. 최근에는 미소공간에서 일어나는 분자 광학 성질의 변화와 에너지의 공간적 전달 과정을 시각화하는 연구를 진행하였으며, 초고속 분광법을 이용하여 생체 내부 생체분자의 거동을 관찰하는 연구 또한 수행하였다. 현재는 선형/비선형 광학 형질과 정상/들뜬 상태 동력학을 미소 공간상에서 구현, 관찰하는 다양한 연구를 수행하고 있다.

주요연구분야

- 물리화학(Physical Chemistry)
- 시간분해분광학(Time-resolved Spectroscopy)
- 적외선 흡수/결맞음 라만 현미경학(IR absorption/Coherent Raman Microscopy)

대표논문

1. Choi Y, Lim S, Shim J W, Chon B, **Lim J.M.**, Cho M, "Shot-Noise-Limited Two-Color Stimulated Raman Scattering Microscopy with a Balanced Detection Scheme." *J. Phys. Chem. B* **2020**, *124*, 2591–2599.
2. **Lim J.M.**, Park C, Park J-S, Kim C, Chon B, Cho M, "Cytoplasmic Protein Imaging with Mid-Infrared Photothermal Microscopy: Cellular Dynamics of Live Neurons and Oligodendrocytes." *J. Phys. Chem. Lett.* **2019**, *10*, 2857–2861.
3. Sung Y M, Yoon M C, **Lim J.M.**, Rath H, Naoda K, Osuka A, Kim D. "Reversal of Hückel (anti)aromaticity in the lowest triplet states of hexaphyrins and spectroscopic evidence for Baird's rule." *Nature Chemistry* **2017**, *7*, 418–422.
4. Schnedermann C, **Lim J.M.**, Wende T, Duarte A S, Ni L, Gu Q, Sadhanala A, Rao A, Kukura P, "Sub-10 fs Time-Resolved Vibronic Microscopy." *J. Phys. Chem. Lett.* **2016**, *7*, 4854–4859.
5. Bassolino G, Sovdat T, Duarte A S, **Lim J.M.**, Schnedermann C, Liebel M, Odell B, Claridge T D W, Fletcher S P, Kukura P, "Barrierless Photoisomerization of 11-cis Retinal Protonated Schiff Base in Solution." *J. Am. Chem. Soc.* **2015**, *137*, 12434–12437.
6. **Lim J.M.**, Ganesan G, Sung Y M, Srinivasan A, Chandrashekar T K, Kim D, "Photophysical Properties of Bridged Core-modified Hexaphyrins: Conjugational Perturbation of Thiophene Bridges." *Chem. Commun.* **2014**, *50*, 4358–4360.
7. **Lim J.M.**, Kim P, Yoon M-C, Sung J, Dehm V, Chen Z, Wurthner F, Kim D, "Exciton delocalization and dynamics in helical pi-stacks of self-assembled perylene bisimides." *Chem. Sci.* **2013**, *4*, 388–397.
8. **Lim J.M.**, Shin J-Y, Tanaka Y, Saito S, Osuka A, Kim D, "Protonated [4n]pi and [4n+2]pi Octaphyrins Choose Their Mobius/Huckel Aromatic Topology." *J. Am. Chem. Soc.* **2010**, *132*, 3105–3114.

- 연세대학교 화학과, 학사(2000.3 – 2007.2)
- 연세대학교 화학과, 박사 (2007.3 – 2013.2, 지도교수 : 김동호)
- 연세대학교 화학과, 연구교수 (2013.3 – 2014.8)
- 옥스퍼드 대학교 화학과, 박사 후 연구원 (2014.9 – 2017.2, 지도교수 : Philipp Kukura)
- 기초과학연구원(IBS) 분자 분광학 및 동력학 연구단(CMSD) 연구원 및 고려대학교 화학과 연구교수(2017.3 – 2023.2, 연구단장 : 조민행)
- 경북대학교 화학과, 조교수(2023.3 – 현재)



김정민 Jeongmin Kim

한국에너지공과대학교 에너지공학부 조교수
jeongmin@kentech.ac.kr

소개글

김정민 교수는 이론계산화학을 이용해 다양한 연성 물질의 물리화학적 성질 이해 및 예측에 관한 연구를 수행해왔다. 특히 구조-동역학-성능의 상관관계에 관심을 가지고 연구를 진행하고 있다. 분자모델링 및 이론 모델 연구를 활용해 에너지 저장 및 생성 응용에 적극 활용하고자 노력하였다. 예를 들어, 물의 움직임을 활용한 에너지 생성에 관한 멀티스케일 방법론을 활용하여 분자 수준의 매커니즘 이해 및 효율성 향상을 도모하고자 노력하였다. 또한 차세대 배터리 개발의 핵심이 되는 금속 전극 표면에 존재하는 고체 전해질막에서의 전자 및 이온 전달 현상에 관해 연구하였다. 현재는 차세대 전고체 배터리 개발 가속화에 도움이 되고자, 이론계산화학을 활용하여 차세대 고체 전해액 개발을 위한 분자 수준의 물질 디자인 법칙을 개발하고자 노력하고 있다.

주요연구분야

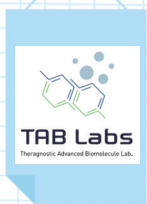
- 이론계산화학(Theoretical and Computational Chemistry)
- 분자 시뮬레이션 및 멀티스케일 방법론(Molecular simulation and multiscale approach)
- 연성 물질의 물리화학적 성질(Physico-chemical properties of soft materials)
- 에너지 생성 및 저장 응용(Energy conversion and storage applications)
- 물질 디자인 법칙 및 스크리닝(Materials design principles and screening)

대표논문

1. T. H. N. Minh, **J. Kim**, G. Pireddu, I. Chubak, S. Nair, and B. Rotenberg, "Electric Noise in Electrolytes: A Theoretical Perspective." *Faraday Discuss.* **2023**.
2. D. Rawlings, D. Lee, **J. Kim**, I.-B. Magdau, G. Pace, P. M. Richardson, E. M. Thomas, S. P.-O. Danielsen, S. H. Tolbert, T. F. Miller III, R. Seshadri, and R. A. Segalman, "Li⁺ and Oxidant Addition To Control Ionic and Electronic Conduction in Ionic Liquid-Functionalized Conjugated Polymers." *Chem. Mater.* **2020**, *33*, 6464–6474.
3. **J. Kim**, B. M. Savoie, and T. F. Miller III, "Interfacial Electron Transfer and Ion Solvation in the Solid Electrolyte Interphase." *J. Phys. Chem. C* **2020**, *141*, 15972–15976.
4. M. D. Boamah, E. H. Lozier, **J. Kim**, P. E. Ohno, C. E. Walker, T. F. Miller, and F. M. Geiger, "Energy conversion via metal nanolayers." *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **2019**, *116*, 16210-16215.
5. **J. Kim**, and B. Sung, "Tracer shape and local media structure determine the trend of translation-rotation decoupling in two-dimensional colloids." *Phys. Rev. Lett.* **2015**, *115*, 158302.
6. **J. Kim**, C. Kim, and B. Sung, "Simulation study of seemingly Fickian but heterogeneous dynamics of two dimensional colloids", *Phys. Rev. Lett.* **2013**, *110*, 047801.

- 서강대학교 화학과, 학사(2007.2 – 2011.2)
- 서강대학교 화학과, 석사 (2011.2 – 2013.2, 지도교수 : 성봉준)
- 서강대학교 기초과학연구소, 연구원 (2013.3 – 2016.4, 전문연구요원, 지도교수 : 성봉준)
- California Institute of Technology, Pasadena, CA, USA, 박사(2016.9 – 2021.8, 지도교수 : Thomas F. Miller III)
- PHENIX, CNRS and Sorbonne Université, Paris, France, 박사 후 연구원 (2021.10 – 2023.2, 지도교수 : Benjamin Rotenberg)
- 한국에너지공과대학교 에너지공학부, 조교수 (2023.2 – 현재)

☎️ 우리 실험실은요!



≡ 우리 실험실은요! ≡

테라그노스틱분자연구실

(THERAGNOSTIC ADVANCED BIOMOLECULE LAB: TABL)

글 | 김정범, 서동혁(성균관대학교 화학과,
kjbbb0827@gmail.com, tjehdgur9865@gmail.com)

저희 '테라그노스틱분자연구실'은 2021년 9월 성균관대학교 화학과에서 시작하여 이원화 교수님 지도하에 2023년 현재 석·박사통합과정 7명과 학부연구생들이 열심히 공부하고 있습니다. 저희 연구실의 이름에서도 알 수 있듯이 현재 저희 연구실은 융합중개연구를 기반으로 질병의 진단 및 치료후보 물질 개발을 위한 다양한 연구를 수행하고 있습니다. 환자 유래 샘플을 분석하여 질병의 조기 진단과 예후 예측을 위한 바이오 마커를 발굴하는 Multi-omics 연구, 중증 질환 진행 기전 규명을 통한 치료 타겟 검증, 치료 전략 수립 및 치료 후보 물질 개발 연구, 치료 효능 극대화를 위한 Biologics 연구들을 진행 중입니다. 또한, 지역거점병원과의 협업으로 보건 의료 데이터베이스 구축과 전임상 연구들을 중점적으로 수행하여 임상의 니즈를 해결하고 활용 가능한 새로운 치료 전략을 수립하고자 합니다.

현재 저희 연구실의 가장 큰 목표는 저희의 연구를 통해 Clinical unmet needs를 해결하는 것입니다. 현재 난치성 질환을 극복하기 위한 진단/치료제 개발에 관한 연구가 진행되고 있으나 실제로 임상에서 사용되는 것은 현저히 적습니다. 이런 기초 연구와 임상의 간격을 줄이기 위해 저희는 적극적으로 융합중개연구를 수행하고 있으며 다양한 분야의 전문가들과 유기적인 소통과 협력을 통해 연구주제와 가설을 수립하고 있습니다. 저희 연구실은 크게 네 가지의 주제의 연구를 수행 중입니다. 첫 번째, 환자 유래 샘플(혈액, 조직 검체 등) 기반 Multi-Omics 분석 및 보건 의료 정보의 연관성을 분석하여 진단 및 치료에 사용될 수 있는 바이오 마커의 발굴. 두 번째, *in vitro*, *in vivo*, Biochip을 활용하여 발굴한 바이오 마커의 검증 및 질환의 발병 기전 연구와 치료 타겟 발굴. 세 번째, 다양한 치료 후보물질(저분자화합물, 펩타이드, 단

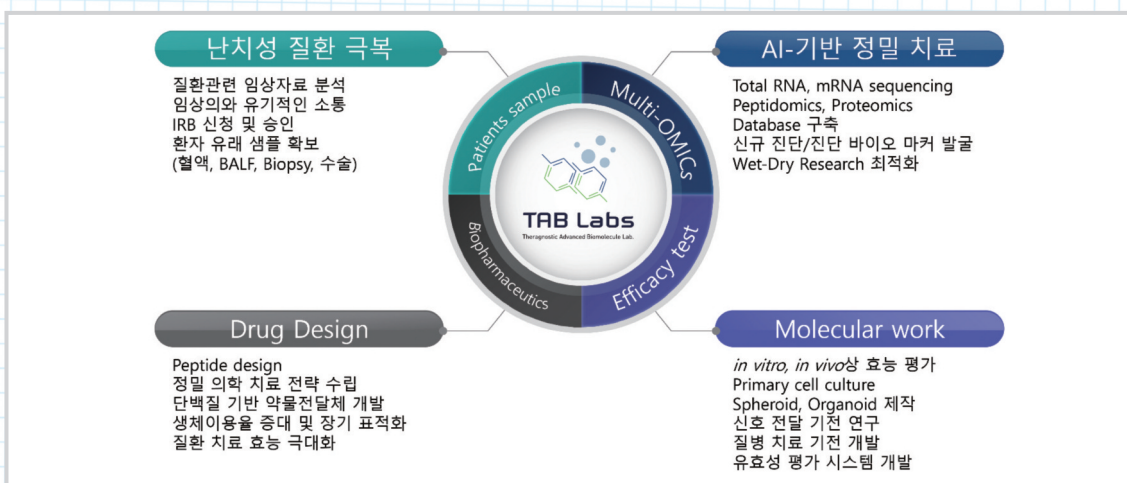


그림 1. 연구실 개요

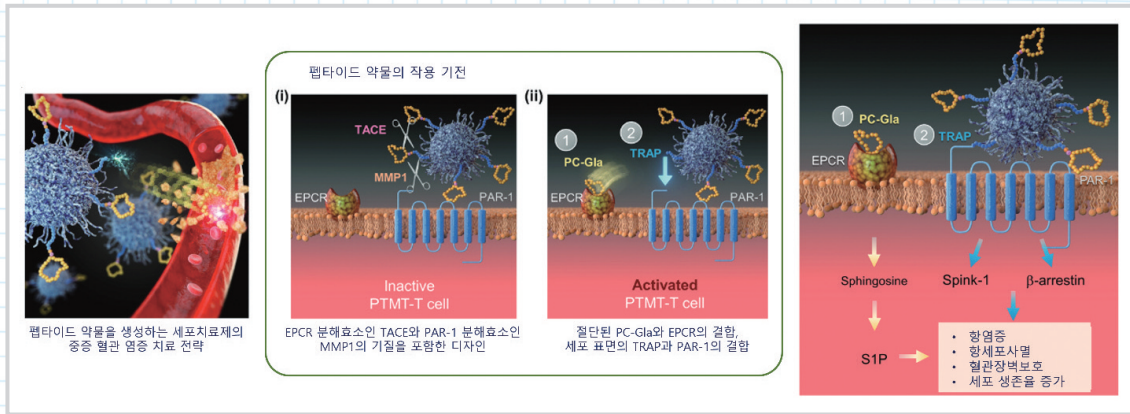


그림 2. 중증혈관염증을 개선하는 펩타이드를 생산하는 면역세포 개발 ‘바이오 팩토리’ 모식도

백질, 항체, 유전자 등)들의 유효성 평가 및 새로운 치료 전략 수립. 네 번째, 체내 단백질 기반 펩타이드/단백질 약물 전달체 개발에 관한 다양한 연구를 수행하고 있습니다. 이처럼 저희 연구실은 기초연구부터 약물개발 연구까지 All-in one 연구를 지향하고, 최신 분석 기술로 가설을 명확하게 증명하고자 노력합니다.

靑出於藍: 학생의 청출어람을 위해 노력하시는 교수님

저희 연구실은 아직 신생 랩이라 학생 수는 적지만 교수님의 지도로 자유로운 공부 분위기에서 다양한 프로젝트를 진행 중입니다. 교수님께서서는 학생별로 각자 원하는 연구를 할 수 있도록 최적의 실험 환경을 조성해주시고 또 학생들의 연구 프로젝트를 업그레이드할 수 있는 공동 연구팀도 매칭해 주십니다. 또한, 교수님께서서는 학생들이 어떤 분야의 연구를 하는 중간에 길을 잃지 않도록 잘 지도해 주십니다. 이러한 교수님의 지도가 잘 드러나는 부분이 바로 매주 월요일마다 진행되는 랩 미팅입니다. 랩미팅은 매주 각자의 연구 데이터를 검토하는 데이터 미팅과 저널미팅이 동시에 이루어지는데요, 데이터 미팅은 원하는 사람은 모두 참여가 가능하며 한 주 동안 본인의 연구 결과에 대해 구성원들에게 소개하는 시간을 보내고 저널미팅은 순번을 정해 매주 한 명씩 유명 저널에 실린 최신 논문의 데이터 및 연구 배경을

소개하는 시간을 보냅니다. 교수님께서서는 바쁘시지만 항상 랩미팅에 참여를 하시면서 모든 학생의 연구에 대해 검토를 해주시고 앞으로의 연구방향을 잡아 주십니다. 또한, 모두가 자신의 의견을 내고 그에 대해 고민을 해 볼 수 있도록 자유로운 분위기를 조성해 주십니다. 랩미팅 시간 외에도 실험이나 공부를 하다 궁금한 점이 있으면 교수님 오피스에 달려가 질문을 해도 항상 웃으면서 해결해 주십니다. 교수님께서서는 바쁘신 중에도 읽으셨던 논문 중 저희의 아이디어나 연구에 도움이 될 만한 논문을 카톡으로 보내주시거나 직접 오셔서 설명해주십니다. 이처럼 교수님께서서는 학생들의 성장을 위해 최선을 다해 도움을 주고 계십니다.

또한, 저희 연구실은 분기마다 다양한 학회에 참여하



☎️ 우리 실험실은요!



2022 스승의 날



2023 동계 KSBMB 학회



2022 연말 송별회 + 마니또 선물 증정식

여 다른 연구자들의 연구에 대해 공부하고 이를 바탕으로 추후 우리 연구실에서 어떤 연구를 진행해 보면 좋을지 이야기하는 시간을 보냅니다. 이처럼 교수님의 열정을 토대로 모든 학생이 각자의 연구의 보안점과 새로운 아이디어를 생각해 내는 힘을 기르고 있습니다.

不避之樂: 피할 수 없으면 즐겨라

저희 연구실의 홈페이지나 SNS 계정을 보면 알 수 있듯이 먹는 것에는 진심인 연구실입니다! 맛집 탐방을 좋아하는 친구들이 많아 학회를 가거나 워크숍을 갈 때에는 맛집을 꼭 수 소문해서 방문하는 편입니다. 학회일정이 끝나는 저녁 시간에는 맛있는 음식을 먹으면서 그날 학회에서 보고 배운 점들에 대해 자유롭게 토론합니다. 부산에서는 북어 코스 요리, 제주도에서는 흑돼지와 고등어회, 강릉에서는 순두부찌개 등 각 산지별 맛집을 방문했습니다. 또 학회 말고도 공동 연구를 진행하는 연구팀들과 워크숍을 통해 친구들과 친목을 다지고 있습니다. 각자 다른 분야의 팀끼리 모여 각자 진행한 연구 성과를 발표하고 회의하는 시간을 통해 대해 향후 연구 방향을 잡고, 친목을 다질 수 있는 기회가 되고 있습니다.

그 밖에도 평소에 머리를 식힐 수 있는 짹 짹 이벤트들이 있습니다. 저희는 매년 크리스마스 때 마니또를 정해 3만 원 이내의 가벼운 선물을 주는 이벤트를 진행하고 있습니다. 교수님도 같이 참여하시며 서로 누가 누구 마니또인지 비밀이기 때문에 남들 모르게 몰래 선물을 주는 재미가 있습니다. 오피스 내에 흐르는 묘한 긴장감은 저희 연구실 송년회 행사와

함께 끝이 나게 됩니다. 저희 연구실 송년회 행사에는 마니또 선물 증정 이벤트와 함께 1년을 뒤돌아보며 앞으로 계획에 대해 이야기하는 시간을 보내고 올해 가장 우수한 실적을 낸 5인에게 작은 상을 수여하고 있습니다. 이후 맛있는 저녁과 함께 1년간 추억들도 회상하고 한 해를 마무리합니다.

題目相對: 빠르게 발전하는 연구실

저희 연구실은 이제 시작하는 단계지만 1년 반 만에 10명의 학생들이 조인했습니다. 열정 있는 교수님과 친구들이 모여 좋은 연구환경을 구축하였고 빠른 속도로 연구력이 발전하고 있습니다. 저희 연구실의 연구주제에 관심과 열정이 있는 학생들은 언제나 환영합니다. 앞으로 저희 연구실의 성과와 발전을 지켜봐 주시길 바랍니다.

“우리실험실은요!”는 딱딱한 광고 같은 연구실 소개가 아닌 연구실의 구성원(대학원생 및 학부생)이 자유롭게 연구실의 구성원, 연구 내용, 또는 연구실의 특별한 점 등 원하는 것은 무엇이든 자유롭게 알리기 위한 코너입니다.

특별히 학생들의 자발적인 참여를 독려하기 위하여 원고를 작성해주신 분들께는 소정의 원고료도 드립니다. 무료로 실험실도 홍보하고 원고료도 챙길 수 있는 기회를 학생들이 잘 활용해 주었으면 합니다.

문의사항이나 작성한 원고는 화학회 오민영 선생님 (myoh@kcsnet.or.kr) 또는 코너 담당 편집위원이신 김정욱 교수님(jwkim@gist.ac.kr)께 보내주시면 감사하겠습니다.

화학사 돌아보기

Part.11

세기초의
두 논쟁최정모 | 부산대학교 화학과,
jeongmochoi@pusan.ac.kr

18세기까지 그 기반을 충실히 닦은 화학은 19세기에 들어서면서 폭발적인 발전을 하게 됩니다. 그런데 그러다 보니 19세기 화학을 정리하는 작업이 쉽지 않습니다. 화학 혁명까지는 그래도 (역지로라도) 하나의 줄거리를 따라가면서 역사를 정리할 수 있는데, 점차 여러 장소에서 다양한 주제의 연구가 동시다발적으로 진행되면서 이를 하나의 흐름으로 정리한다는 것이 불가능해지기 때문입니다. 그래서 많은 화학사학자들이 19세기에 들어서면서부터는 (어느 정도 시간 순서를 희생하면서라도) 주제별로 묶어서 그 역사를 정리하곤 합니다. 이러한 서술은 현대 화학의 여러 주제가 어떻게 발전되어 왔는지 각 주제별로 흐름을 따라 살펴볼 수 있다는 장점을 가지고 있으나, 당시 화학자들의 실제 상호작용을 가려버린다는 단점도 있습니다. 그래서 저는 이러한 면을 부각하고자 조금 더 시간의 흐름을 따라 화학의 역사를 정리해보고자 합니다. 오늘 글과 다음 글에서는 1800년을 전후한 시기의 화학을 다루겠습니다. 이 시기는 다양한 화학 현상에 관련된 여러 논쟁이 시작된 시기이고, 이 중에는 이 시기 안에 결론이 난 논쟁도 있었지만 더 긴 시간을 기다려야 끝나는 논쟁들도 있었습니다.

라부아지에 사후 프랑스 화학을 대표하는 인물은 베르톨

레(Claude Berthollet, 1748-1822)입니다. 베르톨레는 라부아지에의 가까운 동료로 함께 『화학 명명법』을 집필한 사이입니다. 그는 정치적 감각이 뛰어난 사람이었습니다. 라부아지에가 사형당한 이후에도 혁명 정부에서 중용되었고, 나폴레옹과도 가까운 사이로 지냈으며, 왕정복고 이후 루이 18세 정부에서도 상원 의원을 지내며 천수를 누렸습니다. 그는 1799년 파리 근교 아르케이(Arcueil)로 이주하여 개인 실험실을 차리고 젊은 화학자들을 훈련시켰습니다. 1806년 물리학자 라플라스도 아르케이로 이주하면서 아르케이는 당시의 프랑스 과학을 상징하는 도시가 되었죠. 화학자들은 자주 베르톨레의 집에서 소규모 모임을 가졌고, 모임에서 논의한 내용들을 논문으로 출판하기도 했습니다.¹

베르톨레는 19세기에 들어서면서 화학계를 뜨겁게 달군 논쟁의 주인공입니다. 이 논쟁은 화학 반응의 반응물들이 일정한 비율로 결합하는가에 대한 논쟁으로, 일명 “베르톨레-프루스트 논쟁”으로 알려져 있습니다. 그런데 이 논쟁을 다루는 많은 글들이 프루스트가 “정답”을 찾은 반면, 베

1. John Hudson, 『화학의 역사』 (서울: ㈜도서출판 북스힐, 2005), 131-133쪽.

르톨레는 아집에 사로잡혀 비합리적인 주장에 집착했다는 식으로 표현합니다. 하지만 이러한 평가는 베르톨레에게 다소 불공평한 평가입니다. 베르톨레의 생각은 그렇게 단순하거나 무지하지 않았고, 그의 논증은 오늘날의 시각으로 보아도 일리가 있습니다. 프루스트 역시 “정답”을 대번에 찾은 것이 아니었고, 자신의 주장을 다듬는데 오랜 시간이 걸렸습니다. 오늘 글의 첫 번째 부분에서는 베르톨레-프루스트 논쟁을 최대한 당시의 입장에서 살펴보도록 하겠습니다.²

프루스트(Joseph Proust, 1754-1826)는 스페인에서 활동하던 프랑스 화학자로, 1799년 산화 구리에 대한 실험을 기반으로 구리는 산소와 단일한 비율로 결합한다는 결과를 출판합니다.³ 그는 자연에서 발견되는 산화 구리와 자신이 실험실에서 합성한 산화 구리를 비교하여 각 화합물 내에서 산소와 구리의 질량비는 동일하다는 것을 보였습니다. 이는 놀라운 결과가 아니었습니다. 화학 반응에서 반응물들이 일정한 비율로 반응한다는 생각은 18세기 말의 화학자들에게 일반적인 생각이었고, 지난 글에서 살펴본 것처럼 “당량” 개념도 널리 퍼져 있었습니다. 따라서 프루스트가 일정 성분비의 법칙을 최초로 주장했다는 것은 역사적으로 오류입니다. 프루스트는 당시 화학계에서 널리 받아들여지던 가정을 열정적으로 변호했던 사람으로 보는 것이 좀 더 정확한 평가일 것입니다.

안타깝게도 실제로 많은 금속 화합물은 단일한 성분비로 반응하지 않습니다. 이러한 사실은 10년 전 라부아지에도 알고 있었던 사실이었고, 프루스트 역시 그 사실을 금방 깨닫습니다. 프루스트는 1801년 금속 황화물에 관한 논문에서 자연에서 발견되는 황화 철, 황화 구리 등의 성분비가 여러 가지임을 보고합니다. 그리고 실험실에서와는 달리 자연에서는(자연의 특별한 힘 때문에) 과량의 황이 함유될 수도 있다는 다소 불만족스러운 설명을 남깁니다. 그는 혹시 자신이 실험을 잘못된 것은 아닌지 계속해서 의심하고 있었고, 반복된 실험 끝에 실험실에서도 자연에서처럼 두 가지 비율

로 구성된 금속 황화물을 만들어내는데 성공합니다. 프루스트는 1802년 이 결과를 출판하면서 화학 반응에서 반응물들은 고정된 비율로 반응하지만, 그 비율이 여러 가지일 수 있다는 결론을 내립니다.

이제 베르톨레가 링 위에 등장할 차례입니다. 그는 1803년 『화학 정역학론(Essai de Statique Chimique)』을 출판합니다. 이 책은 화학 전반에 대한 이론 체계를 제공하려는 목적으로 쓰여진 책이었고, 19세기 초반 화학계에 큰 영향력을 행사했습니다. 베르톨레는 이 책에서 당시 널리 퍼져 있던 친화도 이론(affinity theory)을 비판적으로 검토합니다. 이 이론에 따르면 두 물질이 반응하여 새로운 물질을 만든다면 그 둘 사이의 친화도가 결정되어 있기 때문에 두 물질은 항상 동일한 비율로 반응해야 합니다. 그런데 이미 그 당시에도 압력이나 온도 등 실험 조건에 따라 반응비가 달라질 수 있다는 것이 알려져 있었습니다.⁴ 이로부터 베르톨레는 친화도는 실험 조건에 의존하는 상대적인 양이라는 결론을 내립니다.

그는 이를 설명하기 위해 물질을 구성하는 기본 입자를 가정하고,⁵ 그 입자들 사이의 화학적 친화력은 입자의 종류에 따라 달라지며, 그 모든 친화력이 완벽하게 평형을 이루는 조건이 물질이 안정하게 존재하는 조건이라는 이론을 수립합니다. 비록 물리학에서처럼 방정식을 풀어 완벽하게 해를 구한 것은 아니지만, 베르톨레는 이러한 상황에서 생성물이 안정해지는 조건은 단 하나가 아닐 수 있다고 주장합니다. 반응물의 종류뿐 아니라 반응물의 양, 계의 부피 등이 안정한 조건에 영향을 줄 수 있겠지요. 온도의 경우 온도가 올라가면 부피가 커지고 온도가 떨어지면 부피가 작아진다는 것이 알려져 있었고, 온도에 따른 상 전이 현상 역시 잘 알려져 있었습니다. 베르톨레는 자신의 이론을 적용하여 왜 일반적으로 기체의 반응성이 고체의 반응성보다 높은지를 설명하였습니다. 기체는 입자들 사이의 거리가 먼 상태이므로 서로 화학적 친화력이 강하게 작용하지 않는 반면, 고체는 입자들이 화학적 친화력으로 뭉쳐 있습니다. 고체

2. 이 내용은 다음 글들에서 큰 도움을 받았습니다. Satish C. Kapoor, "Berthollet, Proust, and Proportions," *Chymia* 10: 53-110 (1965); Kiyohisa Fujii, "The Berthollet-Proust Controversy and Dalton's Atomic Theory 1800-1820," *The British Journal for the History of Science* 19: 177-200 (1986).

3. 실제로는 구리의 산화수가 두 가지 이상 가능하기 때문에 틀린 내용입니다. 이 실험은 탄산 구리에 대한 실험으로도 알려져 있는데, 프루스트는 탄산 구리를 먼저 얻고 이를 가열하여 산화 구리를 얻었기 때문에 두 가지 설명 모두 맞다고 할 수 있습니다.

4. 한 세대 전 라부아지에(1786년)나 베리만(1779-88년) 등이 이미 "친화도"가 온도에 따라 어떻게 달라지는지 실험하여 그 결과를 보고한 바 있었습니다.

5. 다음 호에서 돌턴을 다루면서 깊이 살펴보겠지만, 기본 입자라는 개념은 당시 화학자들에게 보편적인 개념이었습니다.

상태의 입자들을 반응시키기 위해서는 이 친화력을 끊어내야 하므로, 고체를 반응시키기가 더 어려운 것이죠. 베르톨레의 이론이 오늘날의 이해와 크게 다르지 않은 것을 볼 수 있습니다.

베르톨레의 이론을 따라가다 보면 반응물이 반드시 일정한 비율로 반응할 필요가 없다는 결론을 얻게 됩니다. 반응물의 양조차도 반응비에 영향을 준다면, 반응비가 하나의 숫자로 나오는 것이 더 이상하겠죠. 베르톨레는 반응비가 최솟값과 최댓값 사이의 임의의 값을 가질 수 있으며, 이 값은 반응물의 양을 비롯한 여러 실험 조건에 의존한다고 보았습니다. 여기서 최솟값은 두 반응물이 결합하기 위해 필요한 최소한의 양이 존재하므로 필요하고, 최댓값은 결합이 더 이상 만들어지지 않는 포화 상태에 대응합니다.

그렇다면 실험적으로 일정한 성분비가 관찰되는 이유는 무엇일까요? 베르톨레도 이 명백한 실험적 사실을 부인하지 않았습니다. 그는 여기에 대해 두 가지 이유를 제시합니다. 먼저 실험 기법의 오차 때문에 성분비가 일정한 것처럼 보이는 경우가 있을 수 있고, 두 번째로는 반응 조건이 특수한 경우에 일정한 성분비가 관찰될 수 있다고 하였습니다. 예를 들어 당시에도 수소 기체와 산소 기체가 2:1의 부피비로 반응하여 액체 물을 만들어낸다는 사실이 알려져 있었는데, 베르톨레는 이 반응이 특수한 상황이라고 보았습니다. 기체가 액체로 응축되면서 부피가 크게 변하기 때문에 생성물이 가질 수 있는 안정적인 구조가 매우 제한적이고, 그 구조를 만들 수 있는 부피비는 2:1 밖에 없다는 것이었죠. 베르톨레는 여기에 더하여 실제로 성분비가 고정되어 있지 않은 다른 예들(대표적으로 금속 산화물)을 제시하며 자신의 주장을 뒷받침합니다.

베르톨레는 프루스트의 연구를 잘 알고 있었습니다. 『화학 정역학론』에서도 프루스트에 대한 반박이 등장합니다. 그 중 중요한 논점은 금속 황화물에 관한 것이었습니다. 황화 구리는 일정한 비율의 구리를 포함한 것처럼 보이지만, 황철석(pyrite)에 포함된 구리의 비율은 제멋대로였습니다. 그런데 베르톨레의 이론에 따르면 “화합물”과 “혼합물”은 명확히 구분되는 존재가 아니었습니다.⁶ 베르톨레는 프루

스트에게 둘 사이의 명확한 개념적 구분을 요구합니다. 프루스트는 1804년 반박 논문을 써서 화합물과 혼합물은 실험적으로 쉽게 구분할 수 있다고 답합니다. 혼합물은 쉽게 분리되는 반면 화합물을 그 구성 성분으로 분리하기 위해서는 훨씬 까다로운 작업이 필요하죠. 베르톨레는 이러한 답변에 만족하지 못했고, 보다 체계적인 반론을 준비하여 발표합니다. 이 둘 사이의 논쟁은 1807년까지 계속되었고, 어느 한쪽도 패배를 인정하지 않은 채 끝나버립니다.

이후 화학계는 프루스트의 손을 들어 주었습니다. 그런데 이것은 프루스트가 더 설득력이 있었기 때문이라기보다는, 이미 학계에 일정 성분비에 대한 개념이 널리 받아들여지고 있었기 때문이라고 보는 것이 옳습니다. 이 논쟁을 거치면서 화학계가 얻은 것은 이론과 실험 사이의 관계에 대한 고민이라고 할 수 있습니다. 베르톨레는 매력적인 이론 체계를 제시했고, 그 체계에 기반하여 실험 결과를 설명했습니다. 비록 반응의 비율에 관해서는 결국 프루스트의 설명이 채택되었더라도, 베르톨레의 이론 체계 역시 많은 인기를 끌었습니다. 보편적인 이론에 대한 관심이 점차 커지고 있었던 것입니다.

오늘 글에서 살펴볼 두 번째 주제는 물의 전기분해입니다.⁷ 18세기에 전기의 존재는 알려져 있었지만 정전기의 형태로만 다룰 수 있었습니다. 화학에서도 정전기 스파크를 이용해 수소와 산소로부터 물을 만드는 등 실험에 조금씩 응용하고 있었죠.⁸ 그러던 중 1800년, 이탈리아 물리학자인 알레산드로 볼타(Alessandro Volta, 1745-1827)가 서로 다른 금속판을 번갈아 쌓아 올린 후 소금물에 적신 섬유를 둘러주면 전류가 흐른다는 사실을 보고하였습니다. 이 사실이 영국에 전해지자마자 니컬슨(William Nicholson, 1753-1815)과 칼라일(Anthony Carlisle, 1768-1840)이 이 장치를 이용하여 물을 수소 기체와 산소 기체로 분해하는데 성공합니다. 실험은 단순했지만, 결과는 놀라웠습니다. 이 성공에 고무된 사람들은 전문 화학자들이나 아마추어 화학자들이나 할 것 없이 전기 실험에 달려들었죠.

그런데 이 단순한 전기분해 실험에는 큰 문제가 있었습니다. 언뜻 이 실험 덕분에 물이 수소와 산소로 구성되어 있다

6. 당시에는 “분자”의 개념이 없었다는 것을 기억해야 합니다. “분자” 개념 없이 화합물과 혼합물을 개념적으로 구분하기는 쉬운 일이 아니죠.

7. 이 내용은 다음 책에서 큰 도움을 받았습니다. 장하석, 『물은 H₂O인가? 증거, 실재론, 다원주의』, 전대호 옮김(김영사, 2021), 2장.

8. Aaron J. Ihde, *The Development of Modern Chemistry* (New York, NY: Dover Publications, Inc., 1984), pp. 124-125.

는 것이 실험적으로 완벽하게 증명되었다고 생각할 수 있지만, 수소 기체는 양극, 산소 기체는 음극에서 발생한다는 것이 문제였습니다. 하나의 물 입자에서 수소와 산소 입자가 생성되는 것이라면, 어떻게 이들은 먼 거리를 사이에 두고 만들어지는 것일까요? 당시 과학자들은 이 문제를 해결하기 위해 다양한 설명을 제시하였습니다. 물이 화합물이 아니라 원소라는 반동적인(!) 가설이 그 중 하나였습니다. 독일의 화학자 요한 리터(Johann Ritter, 1776-1810)는 양극에서는 양전기가 물과 결합하여 산소가 생성되고, 음극에서는 음전기가 물과 결합하여 수소가 생성되는 것이라는 합성 이론을 제안하였습니다. 플로지스톤 이론의 거두였던 프리스틀리 역시 관련 논문들을 읽고 스스로 연구를 진행하여 1802년 자신의 실험 결과를 발표하면서 음전기와 플로지스톤이 연결되어 있고, 양전기가 산소와 연결되어 있다는 가설을 제시하였죠. 예상할 수 있듯, 라부아지에가 승리한 세상에서 이러한 견해는 소수 견해였고 결국 무대에서 사라지게 됩니다.

프랑스에서는 유명한 박물학자 조르주 퀴비에(Georges Cuvier, 1769-1832)에게 볼타 전지 관련 현상들을 연구하도록 하였습니다. 퀴비에에는 이 문제에 대해 합성 이론 외에도 가능한 설명을 조사하여 보고합니다. 그 중에는 전기분해의 결과로 각 전극의 주변에서 입자들이 비대칭적으로 존재하게 된다는 설명과, 전기가 물 속에 들어가면 바로 분해가 일어나지만 한 종류의 입자만 즉시 방출되고 나머지 입자는 전류와 함께 흘러가서 반대쪽 극에서 방출된다는 설명이 있었습니다. 어느 설명도 만족스럽지 않았던 차에, 독일의 화학자 테오도르 그로투스(Theodor Grotthuss, 1785-1822)가 1806년 수소와 산소로 이루어진 물 입자들이 물 속에서 보이지 않는 사슬을 이뤄 양쪽 극을 연결한다는 가설을 제시합니다. 전기가 흐르면 한쪽 극에서 수소가 발생하고, 짝을 잃은 물 입자는 반대편 수소 입자를 사로잡습니다. 이 과정은 반대쪽 극까지 이어지고, 결국 혼자 남은 산소는 반대쪽 극에서 기체 형태로 방출되겠죠. 이 가설은 큰 인기를 끌었지만, “정답”의 위치에 오르지는 못했습니다.⁹ 당시 화학자들은 전기가 무엇인지 정확히 몰랐고, 전기가 물질에

어떤 작용을 하는지도 몰랐습니다. 따라서 “정답”을 못 찾았다는 것이 이상한 일은 아닙니다.¹⁰ 하지만 그럼에도 화학자들은 포기하지 않고 끊임없이 설명을 만들어냈고, 다양한 실험을 수행하여 데이터를 축적했습니다. 그 결과 19세기를 거치면서 전기화학은 화학의 주요 방법론으로 자리매김하게 됩니다.

오늘 글에서는 1800년을 전후한 두 가지 논쟁, 베르톨레-프루스트 논쟁과 물의 전기분해 논쟁을 살펴보았습니다. 이 두 가지 논쟁은 화학에서 “이론”의 위치에 대해 한 번 더 생각해 볼 기회를 줍니다. 전기분해 논쟁은 애초에 이론을 만들 수 있는 근본 개념들조차 확실하지 않은 새로운 분야에서 벌어졌기에, 다양한 이론이 튀어나와 각축을 벌였고 어느 하나가 정답으로 정해지지 못했습니다. 반면 베르톨레-프루스트 논쟁은 화학자들이 계속해서 탐구해온 분야에서 진행되었고, 당시 화학자들의 두 가지 입장을 잘 보여줍니다. 베르톨레는 완벽한 “이론”에 기반하여 화학 현상을 설명해야 한다고 생각했습니다. 프루스트는 그런 거창한 이론을 만들기보다는 실험 결과에 기반한 건조한 설명을 제시하는 사람이었습니다. 베르톨레의 이론은 결국 받아들여지지 않았지만, 그가 그리던 아름다운 화학 이론은 동시대를 살아가던 영국의 한 물리학자에 의해 제시됩니다. 바로 다음 글의 주인공인 존 돌턴(John Dalton, 1766-1844)입니다. ⚙



최 정 모 Jeong-Mo Choi

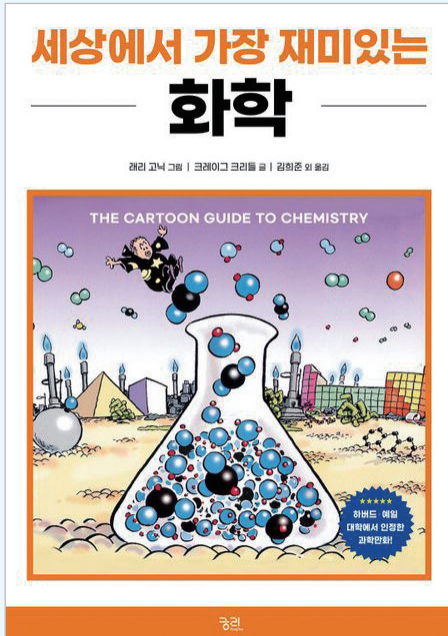
- 한국과학기술원 화학과, 학사(2003.3-2011.8)
- Harvard University 과학사학과, 석사 (2011.9-2015.5, 지도교수 : Naomi Oreskes)
- Harvard University 화학 및 화학생물학과, 박사 (2011.9-2016.5, 지도교수 : Eugene I. Shakhnovich)
- Washington University in St. Louis, 박사 후 연구원(2016.8-2019.4, 지도교수 : Rohit V. Pappu)
- 한국과학기술원 자연과학연구소, 연구조교수(2019.6-2020.8)
- 부산대학교 화학과, 조교수(2020.9-현재)

9. 이 가설의 변형된 버전이 오늘날 “그로투스 메커니즘”이라는 이름으로 물속의 빠른 전자 수송을 설명하는데 사용됩니다.

10. 결국 이 문제는 1880년대에 아레니우스의 이온 이론이 등장해서야 설명이 가능해집니다.

세상에서 가장 재미있는 화학

래리 고닉 그림 | 크레이그 크리들, 앨리스 아웃워드 글 | 김희준 외 번역 | 궁리 | 2022.12.25 출간
ISBN 9788958206965(8958206969)



목 차

- 1장. 숲과 물
- 2장. 돌고 도는 세상
- 3장. 전체는 진화하고 개체는 발버둥치고
- 4장. 물이 만드는 세상
- 5장. 흙이 만드는 세상
- 6장. 먹는 것이 남는 것이여!
- 7장. 사냥에서 농사로
- 8장. 답답해서 못 살겠다!
- 9장. 무너지는 생태계
- 10장. 에너지그물
- 11장. 소는 석유를 먹고 자란다
- 12장. 도시여, 정신 차리시게!
- 13장. 오염
- 14장. 지구는 섬

책 소개

『세상에서 가장 재미있는 화학』은 하버드대학 수학과를 수석 졸업한 래리 고닉과 스탠포드대학 교수로 수질화학과 환경생물공학 강의를 맡고 있는 크레이그 크리들의 공동 작업으로 탄생했다. 딱딱하고 어렵게만 느껴지는 화학을 쉽고 재기 발랄하고 흥미롭게 풀어냈기에 과학 전문 서적이 풍기는 복잡함과 난해함을 떨쳐낸 자연과학 책이다. 화학의 기본 개념을 한번쯤 경험해보거나 호기심을 풀어뒀을 법한 생활 속 주제로 풀었기 때문이다. 만화라는 형식을 띤 이들의 설명은 낯설고 생소하지만 했던 자연 현상들이 화학이라는 근본적인 열쇠를 통해 명쾌하고 쉽게 풀리는 놀라운 경험을 선사한다. 화학 하면 웬지 모를 거리감과 전문적인 내용이라는 선입견이 한방에 날아가는 유쾌한 경험 역시 할 수 있다. 이 책은 화학이란 마냥 어렵지만 한 이들에게 그동안 느껴보지 못한 화학만의 재미를 안겨주며, 보다 심화된 내용까지 알고 싶게 하는 의욕을 북돋워주는 것을 목표로 한다. 또한 책의 곳곳에 숨어 있는 흥미로운 주제들은 화학을 다루는 책임에도 불구하고 한 권의 만화책답게 키득거리며 끝까지 보게 하는 놀라운 힘을 발휘한다.

저자 소개

래리 고닉 : 1946년 미국에서 태어났다. 하버드대학 수학과를 최우등으로 졸업하여 학업성적이 우수한 사람만이 들어갈 수 있는 파이베타카파 회원이 되었으나, 하버드 대학원에서 수학 석사학위를 받고 박사 과정을 밟다가 홀연 그만두고 전업 논픽션 만화가의 길에 들어섰다. 그의 책들은 하버드대학, 버클리대학, 예일대학에서 부교재로 활용될 정도로 지적 완성도를 인정받고 있다. 1999년 탁월한 만화가에게 주는 잉크 포트상을, 2003년에는 만화의 오스카상이라 할 수 있는 하비상을 받았고, 『세상에서 가장 재미있는 세계사』 시리즈는 권위 있는 만화 전문지 《더 코믹 저널》이 뽑은 20세기 100대 만화에 뽑히기도 했다.

크레이그 크리들 : 스탠포드대학교 환경공학/환경과학 교수로 수질화학과 환경생물공학을 강의하고 있다.

앨리스 아웃워드 : 환경공학을 전공한 생태학 저술가로 버몬트대학을 졸업하고 MIT에서 석사학위를 받았다. 보스턴항구 정화공사라는 대규모 정부 프로젝트에도 참여했으며 이 경험을 바탕으로 환경에 관한 많은 논문을 썼고 다수의 책을 펴냈으며, 2008년 현재 폐수 관리에 대한 자문 및 집필 활동을 한다. 지은 책으로는 『물의 역사』, 『하수 침전물과 폐수 찌꺼기의 재활용』 등이 있다.

역자 소개

김희준 : 서울대학교를 졸업하고 미국 시카고대학교에서 물리화학 전공으로 박사학위를 받았다. 1997년부터 서울대학교 화학부 교수를 거쳐 현재 서울대학교 명예교수이며 광주과학기술원 석좌교수(2013~2017)로 재직하였다. 과학 교육에도 관심을 가지고 '국제화학올림피아드 학술위원장', '과학 교과과정 개정 위원장' 등을 역임하였다. 저서로 2015 개정 교육과정에 따른 고등학교 『상상 스토리로 이해하는 통합과학』, 『철학적 질문 과학적 대답』, 『자연과학의 세계』, 『생명의 화학, 삶의 화학』(공저), 『밀리와 함께 하는 기초화학』, 『과학으로 수학보기, 수학으로 과학보기』(공저), 옮긴 책으로 『리비트의 별』, 『세상에서 가장 재미있는 화학』, 『어떻게 원자를 쪼갤까』 등이 있다.

GPT API for spreadsheets



ChatGPT in Google Sheets

powered by gpt-3.5-turbo

`=GPT("Write a tagline for an ice-cream shop")`

	A
1	Tagline
2	Cool down with our delicious treats!

Generate copy ideas

`=GPT_LIST("Write 5 funny taglines for a garage",,1)`

	A
1	Taglines
2	If you can't fix it, we will!
3	Welcome to our garage- where your car comes alive!
4	These wheels have a funny way of spinning!
5	We know how to get your engine revving!
6	Come to our garage- we make it look effortless!

Clean lists

`=GPT_FILL(A2:B3, A4:A7)`

Examples	A	B
	Dirty full name	Clean full name
	Dr. Yuri ZHIVAGO	Yuri Zhivago
	Dwight Schrute Jr	Dwight Schrute
	☺ Pam beesly PhD	Pam Beesly
Dirty data	.DON Draper	Don Draper
	JAMES BOND	James Bond
	.Dr. gregory House	Gregory House
		Output

플랫폼 소개

이번 4월호에는 2023년 현재 아주 뜨거운 이슈인 ChatGPT를 업무에 활용하는 방법에 대해서 간단히 소개하고자 합니다. 이미 많은 회원 여러분들께서 OpenAI에 가입하셔서 ChatGPT를 활용하고 계시는 것으로 압니다. 학교 수업에서 ChatGPT를 어떻게 활용할지, 어떻게 제한할지에 대한 논의도 활발하게 진행되고 있습니다.

이 코너에서는 이런 논의를 떠나서 구글 스프레드시트에 GPT API를 연동하여, 다양한 연구 활동과 업무의 효율성을 높일 수 있는 방법을 소개하고자 합니다. 사용법은 간단합니다. 구글 스프레드시트의 "확장 프로그램"에서 "GPT for Sheets and Docs"를 설치하시고, API key를 OpenAI에서 발급 받아 입력하면 됩니다. 그러면, 구글 스프레드시트에서 GPT 함수를 불러서 활용할 수 있습니다. 사용자가 제안한 prompt에 따라 응답해 주는 "gpt" 함수, 사용자가 스프레드시트에서 제공한 데이터를 학습하여 새로운 데이터를 생산하는 "gpt_fill" 함수 등 다양한 api 함수들이 제공되어, 데이터를 가공하고 업무를 수행할 수 있는 환경을 제공해 줍니다. 자세한 활용 방법은 "GPT for Sheets and Docs" 홈페이지 (https://workspace.google.com/marketplace/app/gpt_for_sheets_and_docs/677318054654)를 참조하시기 바랍니다. 앞으로 GPT의 다음 버전이 공개되고 이를 활용할 수 있는 API 역시 제공된다면, 여러 앱 및 프로그램과 연동되어서 인공지능을 다양한 방면에서 활용할 수 있는 있는 기회가 생길 것으로 보입니다.

Classify into categories

`=GPT_CLASSIFY(A2, "vegetable, fruit, other")`

	A	B
1	Product	Category
2	banana	Fruit
3	salad	Vegetable
4	strawberry	Fruit
5	pineapple	Fruit
6	spinach	Vegetable
7	peach	Fruit
8	cucumber	Vegetable

131st General Meeting of the Korean Chemical Society

April 26-28, 2023,
Suwon Convention Center

Plenary Lecture

13:00-13:40, April 27, Convention Hall 2



Teri W. Odom

Northwestern University, USA
(Editor-in-Chief, Nano Letters)

*“Nanoparticle Shape Effects on
Nano-Bio Interactions”*

13:40-14:20, April 27, Convention Hall 2



Xiaodong Chen

Nanyang Technological University, Singapore
(Editor-in-Chief, ACS Nano)

*“Conformal Nano-bio Interfaces for
Sense Digitalization”*

KCS General Assembly

14:30-15:30, April 27, Convention Hall 2

KCS Awards Winners

Award	Winner	Affiliation
Academic Excellence Award	Minhaeng Cho	Korea University
Research Paper Award	Gyungse Park	Kunsan National University
BKCS Academic Advancement Award	Min Kim	Chungbuk National University
JKCS Academic Advancement Award	HyunJu Park	Chosun University
Education Advancement Award	Hyun Kyung Kim	Jeonbuk National University
Chemical Education Award	Taehee Noh	Seoul National University
Man Jung Han Academic Excellence Award	Chang Seop Hong	Korea University
MinChe Chon Chemist Award	Kyung Byung Yoon	Sogang University

2023 Academic Excellence Award



| Minhaeng Cho

Korea University

“Pure Dephasing, Quantum Decoherence, and Wave-particle Duality”

2023 Man Jung Han Academic Excellence Award



| Chang Seop Hong

Korea University

“Porous Materials: Design, Post-Molecular Engineering and Desirable Properties”

ACS Publications Summit at 2023 KCS Spring Meeting

13:00-18:00, April 26, Room 304+305+306

*Post-pandemic Transformations and Challenges in
Nanoscale and Materials Chemistry*

The first KCS-ACS Publications Summit will be held at the 131 KCS General Meeting. ACS Publications Summit is one of the flagship symposia hosted by ACS Publications, the leading chemistry journal publisher in the world, and KCS. This symposium is organized by inviting the editors, including the Editor-in-Chief of Nano Letters and the Editor-in-Chief of ACS Nano, in leading journals of the ACS Publications such as Nano Letters, ACS Nano, JACS Au, ACS Central Science and Accounts of Chemical Research to discuss the leading and emerging trends and key challenges in nanochemistry, materials chemistry and other related fields in the post-pandemic era.



| Xin Xu

Fudan University
(Associate Editor, JACS Au)

*Doubly Hybrid Functionals: From
Molecules to Extended Materials*



| Young Hee Lee

Sungkyunkwan University & IBS
(Associate Editor, ACS Nano)

*Van Der Waals Layered Materials:
From Synthesis to Applications*



Yury Gogotsi

Drexel University (Editorial Advisory Board Member, ACS Nano)

Chemistry of 2D Carbides, Nitrides, Oxycarbides, and Carbonitrides (MXenes)



Il-Doo Kim

KAIST
(Associate Editor, ACS Nano)

Multiscale Nanomaterials for Chemical Sensing Applications



Jennifer Dionne

Stanford University
(Associate Editor, Nano Letters)

Emerging Nanophotonic Platforms for Personal and Population Health



Jinwoo Cheon

Yonsei University & IBS
(Associate Editor, Accounts of Chemical Research)

Designer Nanoparticles for Biological Targets: the Case of Magneto-Genetics (MG)



Taeghwan Hyeon

Seoul National University & IBS
(Editorial Advisory Member, ACS Central Science)

Designed Synthesis and Assembly of Inorganic Nanomaterials for Energy and Catalytic Applications



Guangjun Nie

National Center for Nanoscience and Technology
(Associate Editor, Nano Letters)

Next Generation of Nanovaccines based on Membrane Vesicles

Tutorial 1

14:00-16:00, April 26, Room 401+402

Writing a Scientific Paper in English

Writing a scientific paper in English requires a set of writing skills specific to the scientific field. It is important to provide accurate and concise information. Firstly, the title should summarize the topic being written about and be clearly stated. Secondly, the introduction should explain the purpose and background of the paper in detail to give readers an appropriate expectation of the topic. Thirdly, the body should analyze the topic thoroughly using results from experiments, graphs, statistics, etc. and provide an interpretation of the main results to support the topic. Finally, the conclusion should summarize the results obtained and suggest future research plans. Precise language and structure are crucial elements in writing a scientific paper in English.



Dongho Kim

Yonsei University

Tutorial 2

16:10-17:40, April 26, Room 401+402

Computational Chemistry: Hands-on Electronic Structure Calculations

Predicting reaction dynamics and/or material properties by computational chemistry is important in modern chemistry and materials research. In particular, quantum chemistry is useful for understanding and interpreting experimental results because it enables calculation of electronic structures, including energies and geometric information that determine the physical properties and reactivity of molecules. Researchers have developed a variety of computational methods, which vary in the level of resources required and the accuracy of the results. Among them, Density Functional Theory (DFT) has been confirmed to make predictions that are in agreement with experimental observations in various fields. It is one of the most popular computational methods in recent studies due to its relatively low cost (computational time and computational resources required for computation).

This tutorial outlines the basic principles of quantum chemistry electronic structure calculations and practices basic computational procedures using various calculation methods. From writing the input file to interpreting the output file, it is a hands-on exercise for beginners without quantum computing experience.

※ Participants should prepare a personal laptop with internet access and a Google Colaboratory account ready to run PySCF Python code.



Eunji Sim
Yonsei University

BKCS Symposium

15:40-17:40, April 27, Convention Hall 2

Future of the Korean Chemistry

The BKCS symposium is held to pursue a better future for KCS. This third BKCS symposium is organized by inviting four world-leading Korean chemists, especially in organic, inorganic, physical, and materials chemistry, respectively, in order to discuss the general contents, the progress, and the challenging problems to be solved in these fields, with recent research trends and future research directions.



Nak Cheon Jeong
DGIST

*Current State of the BKCS and
Future Strategy*



Hyotcherl Ihee
KAIST & IBS

*Time-Resolved Studies of
Chemical Reactions: Progress,
Challenges, and Future Research
Directions*

**Hyeon Suk Shin**

UNIST

*Two-Dimensional Confined
High-Pressure Nanoreactors*

**Young Ho Rhee**

POSTECH

*Developing De Novo Glycochemistry
Based Upon Asymmetric Metal
Catalysis*

**Mu-Hyun Baik**

KAIST

*Easier said than Done:
Paradigm-shifting Research &
Disruptive Innovation*

Laboratory Safety Education

14:30-16:20, April 28, Room 204

“Laboratory Safety Education for the Graduate Students and Researchers” Initiated by the Korean Chemical Society

The laboratory safety education program will be provided to partially fulfill the requirements by the Laboratory Safety Law in the 131st General Meeting of Korean Chemical Society held in SCC, Suwon Convention Center.

It is believed that the best way for the lab safety is to enhance the safety consciousness of lab researchers doing lab works and this can be done by the lab safety education. Also, it is our duty to provide the qualified lab safety education. This is why we continue the lab safety education in the KCS General Meeting.

This time we plan to serve three classes this April in Suwon Convention Center (SCC), Suwon and 2 classes will be delivered by experienced lecturers.

After completion of these classes, “Laboratory Safety Education Completion Certificate” will be issued by KCS and 2 hr-lab safety education duty will be waived.

Speakers

- **Bong-Kyun Park** | National Institute of Chemical Safety |
- **Jin-Ho Chung** | Duksung Women's University |

연회비/참가비/경품 추천 안내

I 학술발표회 현장 등록 안내

- 학술발표회 및 총회 참가자는 올해 회비를 납부한 본회 회원이어야 합니다. 따라서 지난해 정회원, 교육회원 및 학생회원이었던 분은 먼저 2023년도 회비를 납부하여 주시기 바랍니다.
- 학부생: 학생증을 제시할 경우 참가비 면제 (단, 초록 저자/공동저자/발표자는 참가비 납부 필요)
- 만 65세 이상 회원: 참가비 면제

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

* 가입 당시 정회원 연회비의 20년치.

II 학회 참가비 지원 프로그램 안내

- 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 결제 페이지에서 온라인 접수 및 현장접수

회원구분	연회비	현장등록	
		A	B(연회비 면제)
종신회원	1,400,000원*	60,000원	-
정회원	70,000원	60,000원	130,000원
교육회원	50,000원	35,000원	85,000원
학생회원			

※ 비회원은 참가비 지원 불가.

* 가입 당시 정회원 연회비의 20년치.

III 환불 규정

- 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 마감일까지만 요청에 의하여 환불해 드립니다.
- 환불 요청 접수 : member@kcsnet.or.kr

IV 재결제 규정

- 결제방법 변경 등의 재결제는 학술발표회 종료 후 14일 이내 요청에 한하여 처리 가능합니다.
- 재결제 요청 접수 : member@kcsnet.or.kr

V 영수증 출력

- 마이페이지에서 회원확인 / 회비 및 참가비 결제 / 영수증 출력 등이 가능합니다.

VI 경품 참여 방법 및 추천 안내

- 응모 방법 : 등록하실 때 받은 응모권에 본인의 이름과 연락처를 기입하시고, 기기전시장을 방문하실 때 각 전시부스에서 확인 도장을 10개 이상 받았신 후 기기전시장 안에 마련된 “경품함”에 넣어 주세요.
- 응모 자격 및 추천 : 대한화학회 제131회 학술발표회, 총회 및 기기전시회에 정식 등록된 모든 회원

경품추천	4월 27일(목), 18:00 1층 로비	〈주의사항〉 경품 추천 시 현장에서 본인확인 및 등록확인(본인임을 증명하는 사진이 부착된 신분증과 등록 명찰과 대조하여 일치 확인)을 거쳐야만 경품을 수령할 수 있습니다(다른 사람의 명찰로 대리인 상품수령 불가). 추천 현장에서 당첨된 자가 본인임을 증명하지 못하면(신분증 미제시) 당첨이 취소되고 다른 당첨자를 재 추천합니다.

VII 프로그램북(학술발표회 진행표) 배포 안내

- 프로그램북(학술발표회 진행표)은 e-book으로 발간되고 있으며 학회 웹사이트(http://new.kcsnet.or.kr/pub_chemworld_ebook)에서 무료로 보실 수 있습니다.

포스터 발표 일정



- 발표자는 위와 같이 포스터 게시를 완료하고 발표시간에 대기하여 질문과 토의에 응해야 합니다.
- 포스터 게시와 철수 상황은 본회에서 별도로 확인할 예정이니, 시간을 엄수하여 주시기 바랍니다. 또한 본회에 별도의 연락 없이 포스터를 게시하지 않으면, 추후 본인뿐 아니라 해당 연구실의 발표를 제한받는 불이익을 당할 수 있으니 유의하시기 바랍니다.
- 철수시간에 수거되지 않은 포스터는 모두 폐기되며, 사무국에서 보관하지 않으므로 철수시간에 반드시 포스터를 수거해 가시기 바랍니다.
- 부착시간, 발표시간, 철수시간 등을 준수하지 않아 발생하는 불이익에 대한 책임은 모두 발표자 본인에게 있습니다.
- 대한화학회 제131회 학술발표회, 총회 및 기기전시회에서는 허가되지 않은 사진, 영상촬영 및 녹음을 하는 행위는 엄격하게 금지하며, 위반 시 진행요원의 제재가 있을 수 있습니다.

일정표

* Tentative Room Assignment.

 KCS Symposium
 Symposium
 Oral Presentation
 Poster Presentation

April 26 (Wed)	
304+305+306	401+402
13:00 14:00 15:00 16:00 17:00 18:00	<div style="background-color: #ffff00; padding: 5px; border: 1px solid #ccc;"> <p style="text-align: center;">[Award Lecture] 2023 Man Jung Han Academic Excellence Award (13:00-13:50)</p> </div> <div style="background-color: #ffff00; padding: 5px; border: 1px solid #ccc;"> <p style="text-align: center;">[Tutorial 1] Writing a Scientific Paper in English (14:00-16:00)</p> </div> <div style="background-color: #ffff00; padding: 5px; border: 1px solid #ccc;"> <p style="text-align: center;">[Tutorial 2] Computational Chemistry: Hands-on Electronic Structure Calculations (16:10-17:40)</p> </div>
<div style="background-color: #ffff00; padding: 5px; border: 1px solid #ccc;"> <p style="text-align: center;">[ACS Publications Summit at 2023 KCS Spring Meeting] Post-pandemic Transformations and Challenges in Nanoscale and Materials Chemistry (13:00-18:00)</p> </div>	

April 27 (Thu)												
	202+203	204	205+206	207	301	302	303	304+305+306	401+402	405+406	407+408	Convention Hall 2
9:00	Medicinal Chemistry		Electro-chemistry	Life Chemistry	Analytical Chemistry 1	Environmental Energy	Polymer Chemistry	Organic Chemistry	Physical Chemistry	Material Chemistry	Inorganic Chemistry	
11:00	Poster Presentation 1 (11:00-13:00, Exhibition Hall 2+3, 1F)											
13:00	KCS General Assembly (Convention Hall 2, 3F) Part 1. Plenary Lecture (13:00-14:20) 1. Teri W. Odom : Northwestern University (Editor-in-Chief, Nano Letters) 2. Xiaodong Chen : Nanyang Technological University (Editor-in-Chief, ACS Nano) Part 2. General Assembly (14:30-15:30)											
15:30	Medicinal Chemistry 1	Chemistry Education	Electro-chemistry 1	Life Chemistry 1	Analytical Chemistry 1	Environmental Energy	Polymer Chemistry 1	Organic Chemistry 1	Physical Chemistry 1	Material Chemistry 1	Inorganic Chemistry 1	[BKCS Symposium] Future of the Korean Chemistry
18:00	9:00 - 17:00 Exhibition (Exhibition Hall 2+3, 1F)											

April 28 (Fri)												
	202+203	204	205+206	207	301	302	303	304+305+306	401+402	405+406	407+408	Convention Hall 2
9:00		Chemistry Education	Electro-chemistry 2	Life Chemistry 2	Analytical Chemistry 2			Polymer Chemistry 2	Organic Chemistry 2	Physical Chemistry 2	Material Chemistry 2	Inorganic Chemistry 2
11:00	Poster Presentation 2 (11:00-13:00, Exhibition Hall 2+3, 1F)											
13:00	Lunch Break (13:00-13:30)											
13:30	Award Lecture – 2023 Academic Excellence Award (13:30-14:20, Room. 304+305+306) Minhaeng Cho (Korea University)											
14:30		Laboratory Safety Education for the Graduate Students and Researchers	Electro-chemistry 2		Analytical Chemistry 2			Polymer Chemistry 3	Organic Chemistry 3	Physical Chemistry 3	Material Chemistry 3	Inorganic Chemistry 3
16:30	Special Lecture for Suwon Middle & High School Student (16:30-18:00)											
9:00 – 16:00	Exhibition (Exhibition Hall 2+3, 1F)											

01. 심포지엄 및 구두발표 주제, 조직책임자

심포지엄

분과회	No.	주제	조직책임자	이메일
고분자화학	1	공유 적용 네트워크 고분자의 최신 연구동향	박치영(DGIST)	parkcy@dgist.ac.kr
	2	중건 고분자화학 연구자 심포지엄	송창식(성균관대학교)	songcs@skku.edu
	3	에너지 전환 고분자의 최신 연구동향	황도훈(부산대학교)	dohoonwang@pusan.ac.kr
무기화학	1	생무기화학의 소개	이승재(전북대학교)	slee026@jbnu.ac.kr
	2	배위화학의 최신 연구동향	박인혁(충남대학교)	ipark@cnu.ac.kr
	3	무기 촉매 및 반응 개발 연구의 최신 동향	유창호(KRICT)	cyoo@kRICT.re.kr
물리화학	1	분광학 및 이미징 연구의 최근 동향	권오훈(UNIST)	ohkwon@unist.ac.kr
	2	인공지능 및 계산화학 연구의 최근 동향	김형준(인천대학교)	kim.hyungjun@inu.ac.kr
	3	탄소중립: 기후위기 극복을 위한 화학산업의 미래	차현길(KRICT)	hgcha@kRICT.re.kr
분석화학	1	산업적, 사회적 문제해결을 위한 분석화학	나희경(한국표준과학연구원)	nahk@kriss.re.kr
	2	질병 진단을 위한 바이오센서의 최근 동향	오정욱(한국외국어대학교) 이정훈(순천향대학교)	jeongwoh@hufs.ac.kr jhlee67@sch.ac.kr

분과회	No.	주제	조직책임자	이메일
생명화학	1	노화 및 역노화 연구의 최신 동향	장영태(POSTECH)	ytchang@postech.ac.kr
	2	센서와 프로브를 이용한 바이오이미징	이준석(고려대학교)	junseoklee@korea.ac.kr
유기화학	1	유기화학의 최근 연구동향	이선우(전남대학교)	sunwoo@chonnam.ac.kr
	2	의약화학의 최근 연구동향	김인수(성균관대학교)	insukim@skku.edu
	3	한국의 여성 유기화학자 심포지엄	이은성(POSTECH)	eslee@postech.ac.kr
의약화학	1	최신 의약화학 동향	안홍찬(KMEDIHUB)	hongchanan@kmedihub.re.kr
재료화학	1	배터리 응용을 위한 재료화학의 최근 동향	김종순(성균관대학교)	jongsoonkim@skku.edu
	2	재료화학의 최신 동향	김진영(KIST)	jinykim@kist.re.kr
	3	무기나노소재의 디스플레이 응용	방지원(인천대학교)	jwbang@inu.ac.kr
전기화학	1	전기화학 기반 에너지 저장 연구의 최신 동향	변혜령(KAIST)	hrbyon@kaist.ac.kr
	2	이차전지 핵심 소재 기술 및 산업 동향	석정돈(KRICT)	jdsuk@kRICT.re.kr
	3	기초전기화학의 최신 연구 동향	권승용(경상국립대학교)	srkwon@gnu.ac.kr
화학교육	1	화학교육의 연구 동향	김현정(공주대학교)	chem95@kongju.ac.kr
KCS	1	[ACS Publications Summit at 2023 KCS Spring Meeting] 코로나 시대 이후의 나노화학 과 재료화학 분야 주요 트렌드와 도전	남좌민(서울대학교) 황성주(연세대학교)	jmnam@snu.ac.kr hwangsju@yonsei.ac.kr
	2	[튜토리얼 1] 영어 과학 논문 작성법	김태규(연세대학교)	tkkim@yonsei.ac.kr
	3	*[튜토리얼 2] 계산화학-전자 구조 계산 실습		
	4	[BKCS 심포지엄] 대한민국 화학의 미래	남원우(이화여자대학교) 정낙천(DGIST)	wnnam@ewha.ac.kr nc@dgist.ac.kr
	5	[연구실 안전교육 심포지엄] “대학원생 및 연구자를 위한 연구실 안전 교육”	이익모(인하대학교)	imlee@inha.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	윤홍석(한양대학교)	yunhs@hanyang.ac.kr
물리화학	1	젊은 물리화학자 구두발표	양재성(연세대학교)	jaesung.yang@yonsei.ac.kr
분석화학	1	젊은 분석화학자 구두발표 I	배제현(충남대학교)	jehyunbae@cnu.ac.kr
분석화학	2	젊은 분석화학자 구두발표 II	김연호(건국대학교)	yeonho@kku.ac.kr
생명화학	1	젊은 생명과학자를 위한 구두발표	박경민(대구가톨릭대학교)	kpark@cu.ac.kr
유기화학	1	젊은 유기화학자 구두발표	권용석(성균관대학교)	y.kwon@skku.edu
의약화학	1	젊은 의약화학자 구두발표	박성준(한국화학연구원)	sjunpark@kRICT.re.kr
재료화학	1	젊은 재료화학자를 위한 구두발표	사영진(광운대학교)	youngjinsa@kw.ac.kr
전기화학	1	젊은 전기화학자를 위한 구두발표	권승용(경상국립대학교)	srkwon@gnu.ac.kr
화학교육	1	화학교육의 최신 동향	윤희숙(강원대학교)	hsyoon@kangwon.ac.kr

03. 심포지엄 및 구두발표 주제 요약문

고분자화학분과회

| 심포지엄 1 |

공유 적응 네트워크 고분자의 최신 연구동향

본 심포지엄에서는 공유 적응 네트워크 고분자의 최신 연구동향들을 공유할 수 있는 자리를 마련하고자 한다. 최근 환경오염 및 자원 고갈에 대한 이슈로 인해 고분자의 재활용성 및 지속가능성을 증대 시키려는 연구가 활발히 진행되고 있는데, 이의 일환으로 재활용이 거의 불가능한 네트워크(열경화성) 고분자에 “가소성”을 부여한 새로운 개념의 고분자가 제시되었다. 다양한 동적 공유결합을 활용한 공유 적응 네트워크 고분자의 최신연구와 이를 적용한 응용사례들에 대한 정보를 나눔으로써 향후 이 분야의 국내외 발전 방향을 예측할 수 있는 좋은 교류의 장을 제공할 것으로 기대한다.

| 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 |

에너지 전환 고분자의 최신 연구동향

유기반도체 고분자 박막을 이용한 유기태양전지는 낮은 효율의 한계를 극복하고 최근 18% 이상의 높은 광전변환 효율을 얻는데 성공하였다. 또한 페로브스카이트 및 양자점 태양전지에는 이러한 유기반도체 고분자가 정공수송 재료로 사용되고 있으며 소자의 효율과 안정성 향상에 큰 기여를 하고 있다. 본 심포지엄에서는 유기태양전지, 페로브스카이트 및 양자점 태양전지에 사용되고 있는 고분자 재료의 최근 연구 동향과 결과를 소개하고자 한다.

| 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 마련한 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 |

생무기 화학의 소개

본 심포지엄은 다양한 학문 분야에 응용되어지고 있는 생무기 화학에 대한 소개를 목표로 구성되었다. 생체 내 금속 이온의 촉매적 그리고 구조적 역할이 밝혀지면서, 기초 기작 연구와 이에 대한 활성부위 묘사가 다양하게 연구되어 왔다. 특히 에너지, 환경, 및 의약학 분야에서 괄목한 성장을 이루었고 이에 대한 결과와 학문적 접근법을 공유하는 기회를 갖으려 한다.

| 심포지엄 2 |

배위화학의 최신 연구동향

최근 배위화학-기반의 다양한 유기-무기 착화물을 활용한 융합 연구의 중요성이 강조되고 있다. 본 심포지엄은 우수한 배위화학 연구자들의 최신 연구동향과 유기-무기 착화물의 응용성 연구 결과를 공유하고자 한다. 또한 향후 융합연구에 기초가 될 수 있는 자리를 마련하고자 한다.

| 심포지엄 3 |

무기 촉매 및 반응 개발 연구의 최신 동향

현대 사회는 탄소중립, 에너지, 환경 등 다양한 문제에 직면하고 있으며, 화학 분야에서도 이를 해결하기 위한 다양한 연구가 이루어지고 있다. 본 심포지엄에서는 미래 화학을 위해 이루어지고 있는 무기 촉매 및 반응 개발 연구의 최신 동향을 공유하고자 한다. 본 심포지엄을 통해 아이디어를 공유하고, 향후 연구 교류에 기여할 수 있는 자리를 마련하고자 한다.

| 구두발표 |

젊은 무기화학자를 위한 구두발표

본 세션에서는 다양한 무기화학 분야에서 연구 활동을 하고 있는 박사 후 연구원 및 대학원생들이 최근 연구결과를 발표하는 기회를 제공하고자 한다. 이를 통해 국내외 최신 연구 동향을 파악하고 자유로

운 토론과 심도 있는 학문적 교류의 장을 갖고자 한다. 본 세션을 통해 젊은 무기화학자들의 연구 의욕을 높이고 무기화학 분야의 차세대 리더로 성장할 수 있는데 일조하고자 한다.

물리화학분과회

| 심포지엄 1 |

분광학 및 이미징 연구의 최근 동향

빛과 물질의 상호작용을 이용하여 분자의 에너지, 구조, 반응 등의 물리화학적 성질을 관찰하는 다양한 실험과 이론 연구가 진행되어 왔다. 이러한 분광학/이미징 연구는 에너지나 환경문제에서 중요하게 사용되는 기능성 소재의 특성을 밝히거나 화학반응을 분자 수준에서 이해하는 데에도 널리 응용되고 있다. 본 심포지엄에서는 분광학/이미징 연구의 최근 동향과 새로운 연구방법의 개발에 대해 소개하고자 한다.

| 심포지엄 2 |

인공지능 및 계산화학 연구의 최근 동향

인공지능은 기계가 지능적으로 행동하는 것처럼 보이는 능력을 의미한다. 최근 화학 분야에서도 인공지능을 활용하여 합성 경로를 제안하고, 새로운 물질을 디자인하고, 복잡한 양자 계산 결과를 빠르게 예측하는 등 다양한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 본 심포지엄에서는 인공지능/계산화학 연구의 최근 동향과 새로운 연구방법의 개발에 대해 소개하고자 한다.

| 심포지엄 3 |

탄소중립: 기후위기 극복을 위한 화학산업의 미래

기후위기가 현실로 나타나고 있으며, 세계는 2050년까지 온실가스 배출량을 '0'으로 줄이는 탄소중립 시대를 목표로 하고 있음. 탄소중립은 탄소기반 문명과 사회경제적 시스템의 변혁을 포함하는 거대하고 포괄적인 패러다임 변화로 전통적인 화학 산업은 재료와 에너지를 거의 전적으로 화석 연료에 의존해 왔으며 내재적 특성 때문에 화학산업은 막대한 온실가스를 배출하는 산업 중 하나이며 배출을 최소화하기 위한 새로운 시도를 하고 있음. 본 심포지엄에서는 화학산업의 탄소중립적 개념과 방향에 대해 소개하고자 한다.

| 구두발표 |

젊은 물리화학자 구두발표

이론 및 실험 물리화학 전 분야의 최신 연구 동향을 공유하고, 새로운

연구 주제 발굴과 공동 연구 모색을 위한 토론의 장을 마련하고자 한다. 국내외 신입 물리화학 연구자를 포함해 박사과정 학생 및 박사 후 연구원의 최근 연구 성과 발표를 권장하며, 본 포럼을 통해 젊은 물리화학 연구자의 연구 의욕을 증진하고 연구자 간 교류를 활성화하고자 한다.

분석화학분과회

| 심포지엄 1 |

산업적, 사회적 문제해결을 위한 분석화학

본 심포지엄에서는 산업적 이슈 및 사회적 이슈가 되고 있는 분석화학 현안에 대해 다루고자 한다. 2019년 발생한 COVID-19와 같은 감염병 및 다양한 질환의 진단 등을 포함하는 의료 분야와 미세먼지와 같이 환경적으로 매우 중요한 이슈 등에 있어서의 분석화학의 역할을 살펴보고 산업적인 수요에 대해 파악하고자 한다. 산업계 및 학계에서 관련 연구를 수행중인 전문가를 초빙하여 정보를 나눔으로써 사회적으로 중요한 이슈에 대응할 수 있는 분석화학의 발전 방향에 대한 토론의 장을 제공할 것으로 기대한다.

| 심포지엄 2 |

질병 진단을 위한 바이오센서의 최근 동향

바이오센서는 생물학적 물질을 활용하여 분석하고자 하는 물질을 측정하는 시스템으로 바이오기술, 나노기술, 정보통신기술 등 다양한 학문분야를 연결하는 융합의 대표 연구분야이다. 최근 다양한 신호변환(광학, 전기화학, 비색법 등) 방식의 변화, 초고감도 검출 등 센싱 기술의 발전은 바이오센서의 응용을 의료, 환경, 식품 분야 등으로 확장하는 중이다. 바이오센서를 활용해 분석대상 물질을 보다 빠르고 간편하고 정밀하게 측정할 수 있기 때문에 의료 및 환경 분야에서 특히 예방과 통제를 위한 목적으로 크게 주목받고 있다. 본 심포지엄에는 다양한 형태의 감지 기술을 이용하는 바이오 센서 기술의 개발 및 응용에 대한 최신 연구 동향을 공유하고, 연구자들의 의견 교류 및 다양한 토론의 장을 마련하고자 한다.

| 구두발표 1,2 |

젊은 분석화학자 구두발표 I, II

본 일반 구두발표에서는 분석화학 전 분야의 최신 연구 동향을 공유하고, 새로운 연구 주제 발굴과 공동 연구 모색을 위한 토론의 장을 마련하고자 한다. 특히, 대학원생 및 박사 후 연구원에게 최근 연구 성과를 발표할 수 있는 기회를 제공하고, 이를 통해 젊은 분석화학자

의 꿈을 키울 수 있도록 격려한다. 본 포럼을 통해 분석화학의 최신 경향을 파악하고, 대학원생, 신진 연구자, 중견 연구자 간 교류가 활성화될 것을 기대한다.

생명화학분과회

| 심포지엄 1 |

노화 및 역노화 연구의 최신 동향

최근 들어 노화는 피할 수 없는 자연적 과정이라는 오랜 믿음과는 달리 치유와 조절이 가능한 질병으로 보는 관점이 설득력 있게 등장하고 있다. 노화를 늦추고 조절하는 항노화, 심지어는 생물학적인 나이를 되돌리는 역노화의 가능성이 제기되고 있으며, 다양한 접근 방법이 모색되고 있다. 다중 -omics의 데이터 분석과 화학 생물학적인 방법을 통한 새로운 노화 마커의 발굴 및 항노화/ 역노화 물질을 개발하는 화학적 접근법과 유전자 조작을 비롯한 다양한 생물학적 방법들이 제시되고 있다. 본 심포지엄에서는 노화 및 역노화 연구의 최신 연구 내용을 소개하고, 미래 연구방향에 대한 토론의 장을 마련하고자 한다.

| 심포지엄 2 |

센서와 프로브를 이용한 바이오 이미징

보이지 않는 생체내 다양한 현상들을 가시화시켜주는 센서와 프로브의 개발은 바이오 이미징 분야의 핵심적인 역할을 담당하고 있다. 센서와 프로브는 작은 분자에서부터, 고분자, 나노입자, 그리고 단백질에 이르기까지 다양한 크기와 형태로 그 응용 영역을 넓혀가고 있다. 본 심포지엄에서는 바이오 이미징의 기술적 한계를 돌파하고 새로운 영역을 열어가는 센서와 프로브 개발의 최신 연구 동향을 소개하고 심도 있는 논의의 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 기회인 장을 마련한다. 본 세션을 통해 젊은 생명과학자 에게 해당 분야 발전을 선도하는 차세대 리더로서 성장할 수

있는데 일조한다.

유기화학분과회

| 심포지엄 1 |

유기화학의 최근 연구 동향

유기합합물의 효율적 합성과 다양한 응용은 현대 유기화학의 핵심을 이룬다. 이번 심포지움에서는 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 2 |

의약 화학의 최근 연구 동향

인류가 당면한 질병과 환경 등의 문제를 해결하기 위한 유기분자의 합성 및 개발은 현대 유기합성화학과 의약 화학의 핵심을 이룬다. 본 심포지움에서는 의약화학 연구하고 있는 연구자들을 초청하여 현재 개발되고 있는 원료 의약품 목표 물질의 합성, 다양한 생물학적 활성을 갖는 유기분자의 고안 및 응용에 대한 최신 연구 동향을 소개하고, 미래 연구방향에 대해 심도있는 토론의 장을 마련하고자 한다.

| 심포지엄 3 |

한국의 여성 유기화학자 심포지엄

유기화학 분야에서 여성 화학자들의 역할과 기여는 실로 대단하다고 할 수 있다. 이 심포지움에서는 국내 유기 화학의 발전을 위해서 헌신하신 여성 유기화학자들을 초청하고자 한다. 특히 현재 유기화학의 중추적인 역할을 하고 있는 여성 유기화학자들을 초청하여 새롭고 다채로운 구조와 기능을 가지는 차세대 유기 분자를 효율적이고 선택적인 방법으로 합성할 수 있는 새로운 유기합성방법론의 개발에 대한 연구 내용을 공유하고, 유기화학 및 관련 분야의 연구자들과 의견 교류를 할 수 있는 기회를 제공하고자 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 유기

화학 분야의 발전을 선도하는 차세대 리더로서 성장할 수 있도록 한다.

의약화학분과회

| 심포지엄 1 |

최신 의약화학 동향

저분자 약물 후보물질의 개발을 목표로 최적화 연구를 수행하고 있는 학계, 연구소 및 제약회사의 의약 화학자를 위한 역동적인 학술 교류의 장으로서 본 심포지엄을 마련하였다. 본 행사는 신약 개발 공동체를 하나로 모으는 동시에 관련 분야의 최신 연구 동향에 대해 논의할 예정으로, 신약개발을 위한 의약화학 분야의 최신 기술과 표적 확인/검증에 관한 연구 결과를 공유할 것이다. 본 심포지엄을 통해 개별 연구자들이 저분자 중심 약물 개발 연구의 최신 동향을 이해하고 향후 연구 방향을 모색할 것으로 기대한다.

| 구두발표 |

젊은 의약화학자 구두발표

젊은 의약화학자들이 각자 수행하고 있는 연구 분야 및 최신 연구 결과들을 공유할 수 있는 기회를 마련하고자 한다. 특히 대학원생들과 박사후 과정 연구원들의 발표를 적극 권장하여 연구 결과를 공유하고 토론할 수 있는 폭넓은 교류의 장을 제공함으로써 의약화학 분야의 발전을 선도하는 전문가로서 성장할 수 있도록 한다.

재료화학분과회

| 심포지엄 1 |

배터리 응용을 위한 재료화학의 최근 동향

리튬이온전지의 적용범위가 핸드폰, 노트북과 같은 소형전자기기에서 전자자동차와 같은 중대형에너지저장매체로 확대되며, 현재 상용화되어 있는 리튬이온전지 대비 고에너지밀도 및 고안전성을 가지며 또한 보다 낮은 생산단가를 가지는 차세대 이차전지 개발에 대하여 전세계적으로 많은 관심을 가지고 있으며, 특히 이차전지의 주요 구성요소인 양극, 음극 및 전해질 소재에 대한 원천 기술을 선점하기 위한 많은 연구가 집중적으로 이루어지고 있다. 본 심포지엄에서는 최근 차세대 이차전지로 연구되고 있는 전고체 전지, 나트륨 이온전지, 금속-공기 전지 등에 적용되는 고성능 양극, 음극 및 전해질 소재에 관련된 최신 연구 결과를 공유하고 이에 관련하여 많은

연구자들이 토론할 수 있는 장을 제공하고자 한다.

| 심포지엄 2 |

재료화학의 최신 동향

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 현재 재료화학 분야에서 두드러진 연구를 수행하고 있는 연구자들의 발표를 통해 최신 재료화학 연구 결과들을 공유하고 토론할 수 있는 장을 제공하고자 한다.

| 심포지엄 3 |

무기나노소재의 디스플레이 응용

무기나노소재는 기존의 벌크 소재에서 관찰되지 않았던 독특한 광학적 전기적 특성들을 기반으로 소재의 혁신을 이끌고 있다. 특히 발광 나노소재는 차세대 디스플레이 소자의 필수 구성요소로서 많은 관심을 받으며 다양한 연구가 진행되고 있다. 본 심포지엄에서는 차세대 디스플레이 응용을 위한 새로운 재료화학에 대한 다양한 기여를 하고 있는 연구자들을 모시고 이에 대한 최신 연구결과들을 살펴보고, 다양한 의견 교류를 통해 향후 연구 교류에도 기여할 수 있는 자리를 제공하고자 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.

전기화학분과회

| 심포지엄 1 |

전기화학 기반 에너지 저장 연구의 최신 동향

최근 새로운 전극 및 전해질을 사용한 전기화학적 에너지 저장 관련

화학교육분과회

| 심포지엄 1 |

화학교육의 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, 화학 교육 연구자, 현장 화학교사 사이의 폭 넓은 교류의 장을 제공하고자 한다.

| 구두발표 |

화학교육의 최신 동향

화학교육의 연구 발표를 통해 국내 화학교육 연구의 최신 동향을 소개한다. 발표 주제는 화학교육에서 활발히 이루어지고 있는 탐구 중심 교수학습의 효과 연구, 화학 교육과정 및 평가 관련 연구, 화학교사의 전문성 신장 및 PCK 관련 연구, 학교 밖 화학교육 연구, 스마트 교육 관련 연구, 과학의 본성 연구 등 다양한 화학교육 연구 분야 및 기타 과학교육 분야의 연구까지 폭넓게 다룬다. 특히, 화학교육 연구자들 간의 정보 교류와 폭넓은 의견 교환이 이루어질 수 있는 연구의 발표와 신진연구자 및 대학원생의 연구 발표를 장려한다.

대한화학회

| 심포지엄 1 |

[ACS Publications Summit at 2023 KCS Spring Meeting]

코로나 시대 이후의 나노화학과 재료화학 분야

주요 트렌드와 도전

전세계 화학 분야 주요 저널들을 소유하고 있는 미국화학회의 ACS Publications에서 주관해서 개최하는 국제 심포지엄인 ACS Publications Summit을 한국에서 최초로 대한화학회에서 개최한다. 국제 화학계에서 주로 나노과학기술과 소재과학기술 분야를 리딩하고 있는 Nano Letters, ACS Nano, JACS Au, ACS Central Science, Accounts of Chemical Research 등에서 활동하고 있는 국내외 미국 화학회 에디터들과 대한민국 화학분야를 선도하시는 석학들 그리고

연구가 집중적으로 진행되고 있다. 특히 전극 계면에서의 심층적인 전기화학 분석 및 계면층 개발과 관련된 기초 및 실용 연구가 서로 연계되면서 괄목한 결과들이 보고되고 있다. 본 심포지엄에서는 관련 분야의 전문가들을 초청하여 최신 연구 동향에 대한 발표 및 토론의 기회를 가지며, 연구의 전망 및 비전을 공유하는 장을 만들고자 한다.

| 심포지엄 2 |

이차전지 핵심 소재 기술 및 산업 동향

친환경화와 탄소중립이라는 글로벌 트렌드 속에 이차전지는 그 핵심을 차지하고 시장 규모 또한 급격히 성장하고 있다. 특히 이러한 상황에서 이차전지분야를 국가 발전 핵심 전략으로 선정되면서 이차전지 핵심 소재의 개발 연구가 산학연에 활발하게 진행되고 있다. 본 심포지엄에서는 관련 분야의 산업계, 공공기관 전문가들을 초청하여 핵심 소재 기술, 산업 동향 및 정부의 전지 관련 정책 및 로드맵을 공유하여 이차전지 관련 미래 연구 방향 및 비전을 토론할 수 있는 기회가 될 것이다.

| 심포지엄 3 |

기초전기화학의 최신 연구 동향

최근 배터리, 친환경 에너지 변환, 웨어러블 바이오센서와 같은 전기화학 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 고체 전극 표면과 액체(또는 기체) 계면에서 발생하는 전기 이중층의 구조, 전자 전달 동역학과 같은 기초전기화학의 깊이 있는 연구와 이해가 더욱 중요하다. 본 심포지엄에서는 기초전기화학에서 활발히 연구를 진행하고 있는 연구자들의 발표를 통하여 최신 연구 동향을 공유하고 미래의 연구 방향성을 논의하는 기회가 될 것으로 기대한다.

| 구두발표 |

젊은 전기화학자를 위한 구두발표

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

대한화학회의 리더들을 초청하여 이번 KCS-ACS Publications Summit 심포지엄을 개최하고, 화학 각 분야의 학문적 맥락, 발전과정, 해결해야 할 난제, 최근 연구 동향, 미래의 연구 방향에 대한 코로나 시대 이후의 전망을 많은 국내 화학자들과 공유하고자 한다.

| 심포지엄 2 |

[튜토리얼 1] 영어 과학 논문 작성법

영어 과학 논문 작성법은 과학 분야에서의 글쓰기 기술이 필요하며, 정확하고 이해하기 쉬운 정보를 제공하는 것이 중요하다. 첫째, 논문 제목은 주제를 간단하게 요약하고 명확하게 표시해야 한다. 둘째, 소개부에서는 논문의 목적과 배경을 자세히 설명하여 읽는 사람들에게 주제에 대한 기대감을 제공할 수 있다. 셋째, 본문에서는 실험 결과, 그래프, 통계 등을 사용하여 주제를 자세히 분석하고, 결과를 증명할 수 있다. 마지막으로, 결론부에서는 얻은 결과를 요약하고, 앞으로의 연구 계획을 제안할 수 있다. 영어 과학 논문 작성에서는 정확한 언어와 구조가 매우 중요한 요소이다.

| 심포지엄 3 |

[튜토리얼 2] 계산화학-전자 구조 계산 실습

계산화학 기법으로 화학 반응의 동역학 또는 물질의 특성 정보를 예측하는 것은 현대 화학 및 재료 연구 분야에서 매우 중요하다. 특히 양자화학은 물질의 물성과 반응성을 결정하는 에너지 상태와 전자구조를 계산으로 얻어낼 수 있게 하므로 실험 결과의 이해와 해석을 돕는데 유용하다. 양자화학 연구자들은 다양한 계산 방법을 개발하였으며, 방법에 따라 필요 자원의 수준 및 결과의 정확도 차이가 크다. 그 가운데 밀도범함수법(Density Functional Theory, DFT)은 비용(계산 시간 및 계산에 필요한 컴퓨터 자원)이 상대적으로 적음에도 다양한 분야에서 실험 관찰 결과와 상당히 일치하는 예측을 한다는 것이 확인되었고, 따라서 현재 관련 분야 연구에서 가장 많이 사용되고 있는 계산법 가운데 하나이다.

본 튜토리얼에서는 양자화학 전자구조 계산의 기본 원리에 대해 간략히 설명하고 다양한 양자화학 방법을 사용한 기초적 계산 과정을 실습하고자 한다. Input file 작성에서부터 output file의 해석에 이르기까지 양자 계산 경험이 없는 초보자를 위한 실습을 진행할 것이며, 개인 노트북과 Google Colaboratory를 활용하여 PySCF 파이썬 코드를 실행시켜 학습자가 직접 간단한 계산을 수행한다.

※ 준비물: 온라인에 접속할 수 있는 개인용 노트북, Google Colaboratory를 사용 가능한 계정

| 심포지엄 4 |

[BKCS 심포지엄] 대한민국 화학의 미래

BKCS 위상의 재도약을 위한 “BKCS 심포지엄”을 개최한다. 대한민국 화학분야 연구에 선구자적 역할을 하시는 석학 네 분을 초청한 제3회 BKCS 심포지엄을 통해 해당 분야의 학문적 발전과정 및 해결해야 할 난제, 최근 연구 동향, 미래의 연구 방향에 대한 전망을 많은 화학자들과 공유하고자 한다.

| 심포지엄 5 |

[연구실 안전교육 심포지엄] 대한화학회 주최 “대학원생 및 연구자를 위한 연구실 안전 교육”

대한화학회에서 주최하는 “대학원생 및 연구자를 위한 연구실 안전 교육”은 수원컨벤션센터에서 개최되는 131회 대한화학회 춘계 학술발표회에서 실시될 예정입니다.

연구실 안전의 최선의 방법은 연구를 하는 연구자들의 안전 의식을 향상시키는 것이고, 이것은 지속적인 연구실 안전 교육으로 달성될 수 있다고 믿고 있습니다. 또한 내실있는 연구실 안전교육을 제공하는 것도 학회의 의무라고 생각합니다. 이것이 우리가 대한화학회 학회에서 연구실 안전교육을 계속하는 이유입니다.

이번의 교육은 올 4월 수원컨벤션센터(SCC)에서 2개 강좌를 제공하고자 하며, 유능한 강사들께서 강의할 예정입니다.

이 강좌를 수강하면 대한화학회가 발행하는 “연구실 안전교육 이수증”을 받게 되며 2시간 교육의무가 면제됩니다.

수명 6배 리튬 금속 전지 개발

초박형 공중합체 고분자 보호막을 이용하여
덴드라이트의 성장을 막고,
리튬의 높은 반응성을 제어하다

수명 6배 UP!



>>> 운영위원회

3월 운영위원회

2023년 3월 10일에는 제4차 운영위원회가 대한화학회 사무국에서 개최되었다. 총무분과에서는 대한화학회 회원들의 분과간 융합 학술 활동을 활성화하고자 추진기로 한 '미래혁신 화학심포지엄'과 '위성학회' 개최 신청 안내문의 전체 회원 대상 메일 발송 현황을 공유하였다. 본 운영위에서는 대한화학회지인 『화학세계』의 인쇄본 발행을 중지하고 23년 하반기부터 전면 온라인화하기로 함에 따라 온라인 플랫폼 구축사업에 대한 구체적인 방향성을 논의하였다. 이에 현재의 e-book 형태는 그대로 유지하되 검색이 가능하도록 기사별로 PDF 파일을 웹페이지에 업로드하기로 하였으며, 향후 구축하게 될 화학세계 온라인 웹페이지는 검색 및 공유가 가능한 형태로 진행하기로 하였다. 23년 대한화학회 춘계학술발표회에서는 연구실안전심포지엄을 그대로 진행하기로 하되 기타 일정을 고려하여 학회기간 중 금요일 오후 2시30분에 세션을 진행하기로 하였다. 추후에는 각 분과별 여름심포지엄에서 연구실안전관련한 프로그램을 마련하여 발표를 진행하거나 온라인 콘텐츠 등을 제작하여 각 연구기관에 배포하는 방안을 논의하였다. 또한, 대한화학회는 23년부터 (주)바이오니아 사를 공식후원기관으로 계약(연간 1억 원)하기로 하고, 바이오니아 박한오 대표님의 화학세계 인터뷰를 3월 16일에 진행하기로 하였다. 추가로 10월 대한화학회 추계 학술발표회 기간 동안 '2023 RSC-KCS Joint Symposium Energy Science & Gender Equality Panel Discussion'을 개최하기로 결정하였으며, 추계학술발표회에서는 미래융합심포지엄이 개최되므로 타 행사 프로그램을 감안하여 행사 일정을 조율하기로 하였다.

2023년 3월 24일에는 제5차 운영위원회가 개최되었다. 본 운영위원회에서는 주로 대한화학회 춘계 학술발표회의 준비사항 및 관련 주요 일정을 공유하고 논의하는 안건으로 진행되었다. 특별히 학술발표회의 주요행사인 기초강연의 좌장으로 남좌민 교수, 학술상 좌장 김지환 교수, 한만정 학술상 좌장으로 옥강민 교수를 각각 선정하였다. 또한 이번 춘계 학술발표회에는 총 471편의 포스터발표가 접수되어, 이로부터 분과별 포스터 스케줄 및 우수 포스터 시상 계획을 확정하였다. 학회 기간 중 실시될 ACS 심포지엄을 라이브로 유튜브 중계를 진행하기로 하고 기본 온라인 송출장비, 촬영감독, 카메라 대여 등에 관련한 논의를 진행하였다. 추가로 2023년 대한화

학회 추계 학술발표회에 실시될 RSC-KCS joint 심포지엄 관련하여 RSC 관계자와의 미팅이 지난 3월 16일에 있었으며, 이에 학회 기간 중 26일(수) 오후 half time 세션으로 RSC-KCS joint symposium을 진행하기로 하고 RSC에서 3~4명의 연사, 대한화학회에서 3명의 연사를 각각 섭외하여 본 행사를 진행하기로 하였다. 대한화학회에서는 Energy Science 관련 기초분야 RSC 저널 에디터의 방한을 추가로 요청하였다.

>>> 부 고

2023.3.29	박준우(서강대학교 화학과) 회원	부친상
2023.3.27	박형진(Quantum MicroMaterials Inc.) 회원	모친상
2023.3.21	이분열(아주대학교 분자과학기술학과) 회원	부친상
2023.3.18	전창림(홍익대학교 바이오화학공학과) 회원	모친상
2023.3.17	고수영(이화여자대학교 명예교수) 회원	모친상
2023.3.14	민창기(포항기속기연구소) 회원	모친상
2023.3.11	김기문 (POSTECH 화학과) 회원	모친상
2023.3.11	김강우(인천대 화학과) 회원	빙부상
2023.3.7	정광우(원광대 화학과) 회원	모친상
2023.3.6	엄태윤(전 한국원자력연구원 원자력화학부 본부장) 회원	별세
2023.3.3	김호징(서울대 화학부 명예교수) 회원	별세

>>> 신입회원

강동민	부산대학교	학생회원
강동진	한양대학교	학생회원
강동희	한국화학연구원	정회원
강선우	POSTECH	학생회원
강선웅	한국화학연구원 부설 안전성평가연구소	정회원
강승현	에이에스피	정회원
강형석	고려대학교	학생회원
강혜진	성균관대학교	정회원
고건희	성균관대학교	학생회원
고민지	POSTECH	학생회원
고은설	전북대학교	학생회원
고지연	POSTECH	학생회원
공예진	이화여자대학교	학생회원

곽윤아	서울대학교	학생회원	김이나	한국화학연구원	학생회원
권영주	한국화학연구원	학생회원	김재형	한화솔루션	정회원
권윤지	충남대학교	학생회원	김재후	연세대학교	학생회원
권은지	부산대학교	학생회원	김재희	서울대학교	학생회원
권정현	아주대학교	학생회원	김정연	아주대학교	학생회원
권혁인	한양대학교	학생회원	김주희	경희대학교	학생회원
기세운	DGIST	학생회원	김준영	협성대학교	학생회원
김교빈	단국대학교	학생회원	김지윤	부산대학교	학생회원
김기찬	경북대학교	학생회원	김지은	서울대학교	학생회원
김나연	POSTECH	학생회원	김지혜	가톨릭대학교	학생회원
김나영	아주대학교	학생회원	김진성	POSTECH	학생회원
김누리	전북대학교	학생회원	김진영	(주)판문	정회원
김다영	서울시립대학교	학생회원	김찬진	서울대학교	학생회원
김도영	KAIST	학생회원	김채린	울산대학교	학생회원
김도윤	POSTECH	학생회원	김하늘	경희대학교	학생회원
김도현	중앙대학교	학생회원	김하영	한양대학교	학생회원
김동현	협성대학교	학생회원	김현도	DGIST	학생회원
김동현	성균관대학교	학생회원	김현동	한양대학교	학생회원
김두호	인천대학교	학생회원	김현지	DGIST	학생회원
김미리	성균관대학교	정회원	김형희	동국대학교	학생회원
김미진	한양대학교	학생회원	김희애	부산대학교	학생회원
김미진	एको프로비엠	정회원	김희은	서울대학교	학생회원
김민영	아주대학교	학생회원	남득현	한국생산기술연구원	학생회원
김상지	성균관대학교	학생회원	노경호	성균관대학교	학생회원
김서영	부산대학교	학생회원	노하은	한국과학기술연구원(KIST)	학생회원
김성은	GIST	학생회원	노현주	부산대학교	학생회원
김소연	연세대학교	학생회원	도지수	성균관대학교	학생회원
김수민	한국과학기술연구원(KIST)	학생회원	류강현	고려대학교 세종캠퍼스	학생회원
김수빈	DGIST	학생회원	류원희	숙명여자대학교	정회원
김승기	송실대학교	학생회원	모유림	한국화학연구원	학생회원
김승환	연세대학교	학생회원	문준수	성균관대학교	학생회원
김시우	한양대학교	학생회원	민유진	경희대학교	학생회원
김여진	한국화학연구원	정회원	민지인	아주대학교	학생회원
김연수	한국화학연구원	정회원	박기범	인바이러스테크	정회원
김영신	에이에스피	정회원	박노윤	DGIST	학생회원
김영신	연세대학교	학생회원	박미현	POSTECH	학생회원
김영채	성균관대학교	학생회원	박민영	연세대학교	학생회원
김예진	이화여자대학교	학생회원	박민철	아주대학교	학생회원
김유현	연세대학교	학생회원	박소영	POSTECH	학생회원
김윤하	건국대학교	학생회원	박 용	삼성전기(주)	정회원

박유진	(주) 유니원팜젠	정회원	엄희원	경희대학교	학생회원
박종함	충남대학교	학생회원	예창희	한양대학교	학생회원
박주형	서울과학기술대학교	학생회원	오석진	가톨릭대학교	학생회원
박준용	연세대학교	학생회원	오지석	고려대학교	학생회원
박지우	한국과학기술연구원(KIST)	학생회원	우진성	아주대학교	학생회원
박채영	강원대학교	학생회원	원혁재	경희대학교	학생회원
박해수	중앙대학교	학생회원	위경태	가톨릭대학교	학생회원
박현철	국민대학교	학생회원	유성환	한양대학교	학생회원
박혜선	한국화학연구원	정회원	유승지	한국화학연구원	정회원
박혜원	협성대학교	학생회원	유장우	전남대학교	학생회원
박혜진	경희대학교	학생회원	유지은	성균관대학교	학생회원
반지연	고려대학교	학생회원	유형석	가톨릭대학교	학생회원
방예린	경상대학교	학생회원	윤경민	성균관대학교	학생회원
배가은	서울대학교	학생회원	윤민재	협성대학교	학생회원
배수연	충남대학교	학생회원	윤수경	한국화학연구원	학생회원
배준희	아주대학교	학생회원	윤영조	한국세라믹기술원	학생회원
백유진	한양대학교	학생회원	이가현	전남대학교	학생회원
백은우	성균관대학교	학생회원	이나루	협성대학교	학생회원
부연주	POSTECH	학생회원	이남수	경상대학교	학생회원
서민석	UNIST	학생회원	이내훈	한림대학교	학생회원
서재윤	POSTECH	학생회원	이동현	DGIST	학생회원
서지민	한국화학연구원	학생회원	이 린	이화여자대학교	학생회원
선동훈	연세대학교	학생회원	이미연	(주)LG화학	정회원
손수민	건국대학교	학생회원	이민정	이화여자대학교	학생회원
손아현	성균관대학교	학생회원	이민지	부산대학교	학생회원
손유진	부산대학교	학생회원	이민혁	연세대학교	학생회원
송병헌	(주) 아스타	정회원	이병주	연세대학교	학생회원
신 민	경기대학교	정회원	이상민	POSTECH	학생회원
신수아	인하대학교	학생회원	이성군	전남대학교	학생회원
신지예	연세대학교	학생회원	이성운	(주)레보스케치	정회원
안병인	인하대학교	학생회원	이소은	협성대학교	학생회원
안성빈	협성대학교	학생회원	이수은	영남대학교	학생회원
안세훈	UNIST	학생회원	이수진	성균관대학교	학생회원
안재환	DGIST	학생회원	이수진	인하대학교	학생회원
안혜진	성균관대학교	학생회원	이승환	한양대학교	정회원
양예진	연세대학교	학생회원	이시훈	서강대학교	학생회원
양요셉	경희대학교	학생회원	이연희	서울대학교	정회원
양은규	협성대학교	학생회원	이유빈	건국대학교	학생회원
양효정	중앙대학교	학생회원	이운서	서울과학기술대학교	학생회원
어주영	경희대학교	학생회원	이윤형	이화여자대학교	학생회원

이은서	한국외국어대학교	학생회원	정지윤	서울대학교	학생회원
이은정	삼성전기(주)	정회원	정태정	경상대학교	학생회원
이재영	한국기초과학지원연구원	정회원	조관현	한국생산기술연구원	정회원
이정민	협성대학교	학생회원	조기훈	협성대학교	학생회원
이정원	인하대학교	학생회원	조동우	한국화학연구원	학생회원
이종성	성균관대학교	학생회원	조민중	한국화학연구원	학생회원
이종호	삼성전기(주)	정회원	조영서	한국화학연구원	정회원
이종환	인천대학교	학생회원	조영지	UNIST	학생회원
이지영	연세대학교	학생회원	조현희	고려대학교	학생회원
이지혜	POSTECH	학생회원	조희원	POSTECH	학생회원
이진혁	고려대학교	학생회원	지소연	서강대학교	학생회원
이창근	아모레퍼시픽	정회원	차든찬	한양대학교	학생회원
이채린	경희대학교	학생회원	차민선	경희대학교	학생회원
임가영	부산대학교	학생회원	차영훈	UNIST	학생회원
임소진	인천대학교	학생회원	천가영	고려대학교	학생회원
임은혜	이화여자대학교	학생회원	최경인	서울대학교	학생회원
임이삭	JW중외제약	정회원	최명수	아주대학교	학생회원
임주형	삼성종합기술원	정회원	최민서	한국화학연구원	학생회원
임준하	POSTECH	학생회원	최성윤	과학기술연합대학원대학교(UST)	학생회원
임찬진	서강대학교	학생회원	최세림	연세대학교	학생회원
임채나	연세대학교	학생회원	최수혁	부산대학교	학생회원
임하나	경희대학교	학생회원	최아현	부산대학교	학생회원
임현웅	고려대학교	학생회원	최원웅	충남대학교	학생회원
장성아	한양대학교	학생회원	최하은	아주대학교	학생회원
장세호	(주)바이오니아	정회원	한상진	POSTECH	학생회원
장용주	부산대학교	학생회원	한석인	전남대학교	학생회원
장우재	송실대학교	학생회원	한순규	경상대학교	학생회원
장윤후	경희대학교	학생회원	한승훈	KAIST	학생회원
장윤희	POSTECH	학생회원	한유리	한양대학교	학생회원
장지현	서강대학교	정회원	한찬빈	국민대학교	학생회원
장한비	인하대학교	학생회원	한현수	KAIST	학생회원
전민재	GIST	학생회원	허서영	한국외국어대학교	학생회원
전성범	부산대학교	학생회원	허소영	전남대학교	학생회원
전인애	인하대학교	학생회원	홍다경	경상대학교	학생회원
정미연	경희대학교	학생회원	홍선화	서울대학교	학생회원
정영진	서울대학교	학생회원	홍우상	(주)중외제약	정회원
정은주	협성대학교	학생회원	홍진희	서강대학교	학생회원
정재욱	한국세라믹기술원	학생회원	황나래	한국과학기술연구원(KIST)	학생회원
정종인	한양대학교	학생회원	황덕준	DGIST	학생회원
정 준	UNIST	학생회원	황유진	경희대학교	학생회원

황은빈	경희대학교	학생회원	Manirho Olivier	강릉원주대학교	학생회원
황은호	인천대학교	학생회원	Manjinder Singh	한양대학교	정회원
황정윤	부산대학교	학생회원	Muhammad Irfansyah Maulana	DGIST	학생회원
황지원	아주대학교	학생회원	Phorn Sok Khornn	GIST	학생회원
황현우	협성대학교	학생회원	Rendon Vazquez Luis Mario	GIST	학생회원
황희성	경희대학교	학생회원	Sarquah William	UNIST	학생회원
Baskar Selvaraj	한국과학기술연구원(KIST)	학생회원	Tan Miao		학생회원
Bhuvanendran Narayanamoorthy	동국대학교	정회원	Tessarolo Jacopo	전남대학교	정회원
Casana ROS	서강대학교	학생회원	Wangqing	기초과학연구원	정회원
Dy Phearum	GIST	학생회원	Zheng Jingmei	연세대학교	학생회원
Hore Soumyadip	기초과학연구원	정회원			
Kabi Arup Kumar	성균관대학교	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

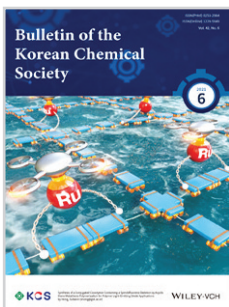
2. 신청 방법

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

3. 공지 내용

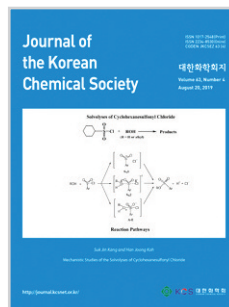
① 빈소 ② 발인일 ③ 장지
④ 연락처(성명과 연락처 필수)

대한화학회 발간(참여) 학술지



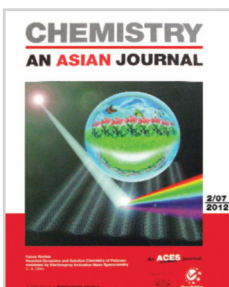
Bulletin of the Korean Chemical Society

- 월간
- SCI 저널
- 언어: 영어



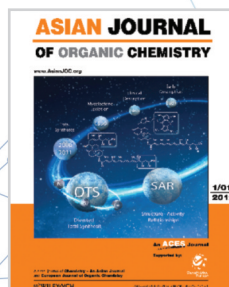
Journal of the Korean Chemical Society

- 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

기기전시회 안내

1. 주최 : 대한화학회

2. 일자 및 장소

제131회(춘계)	2023.4.26(수)~28(금)	수원컨벤션센터(광고)
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	• 춘계 : 2022. 1. 9(월) ~ 3. 31(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, ymkim@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			
		동우화인켄(주) 포스터상	매년 춘·추계	2인			

* 2017년도 제2차 이사회(2017.9.22) 의결에 따라 '헬스켄 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.

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

- I. 모든 회원에게는 「화학세계」가 무료로 배포됩니다.
- II. 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 20년차)	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 납부 월의 다음 달부터 1년간 발송됩니다. 학생회원에게는 회원으로 가입한 해당 연도 동안 '화학세계'가 발송됩니다. 단, 유료 구독학술지는 납부 월의 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

AIRsight™

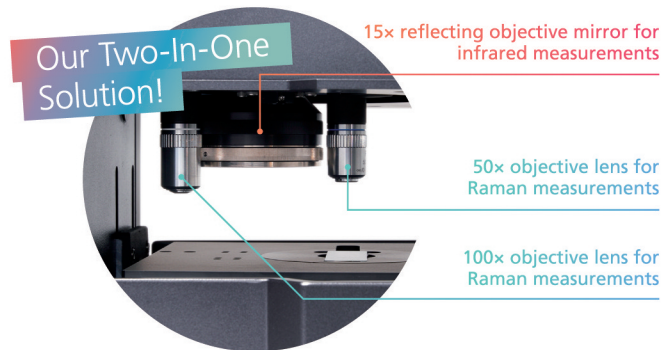
Raman and FTIR microscopy
in perfect harmony



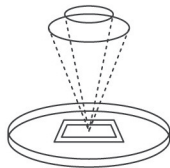
Infrared Spectroscopy and Raman Spectroscopy

상호 보완적인 분자 정보를 제공하기 위해
두 가지 분석 기술을 결합한 IR & Raman 현미경!

이 간단한 시스템은 시료 관찰에서 데이터 분석에 이르기까지
모든 프로세스 단계를 쉽게 수행할 수 있도록 하여
분석 작업의 효율성을 향상시킵니다.

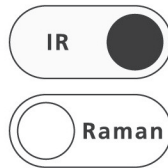


3S Microscope



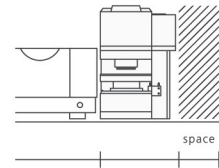
Same position
is measured by IR and Raman

시료 위치를 변경하지 않고
IR과 Raman 측정이 가능합니다.



Smart software
controls IR and Raman

소프트웨어에서 IR 측정과 Raman
측정 모드를 매우 쉽게 전환합니다.



Single system
saves space

IR과 Raman의 측정이 하나의 기기에서
가능하므로 공간 효율적입니다.

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