

화학세계

CHEMWORLD



Qualitative

Comb. NP

Comb. Ex.

Wavelength

Quantitative

$$N_{off,0} = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{\tau=1}^n N\tau$$

Intensity

Time

Single level observation →

Activity

Enhanced

Distribution

Ex. path

03
2023

〈이달의 하이라이트〉 화학 반응의 개별 나노 촉매 수준 영상화. 나노촉매의 조성과 현미경 입사 파장의 선택적 조합을 통해 광촉매 반응을 관찰할 수 있다. 조합 합성 및 레이저 전략을 이용하여 앙상블-평균에서 관찰하기 어려웠던 들뜬 전자의 촉매 활성 기여를 정성/정량적으로 분석하였다.

읽기쉬운 총설

크리스퍼 유전자가위 기술이 가져온 ‘유전자 교정 시대’

이달의 하이라이트

단일 나노광촉매 여기의 선택적 조합실험 및 플라즈모닉 효과의 정량화

화학교육

과학 교육에서 코딩을 활용한 수업의 필요성과 실태

INTERVIEW

화학세계가 만난 화학자 | 정종화

우수선도연구기관

가천대학교(핵심연구지원센터) 바이오표합소재 연구센터
영남대학교 기초연구실 (BRL) 적외선 편광 발광 소재 연구실
카이스트 기초연구실(BRL) 동적 생체고분자 구조 분석 연구실

“앞서가는 화학회, 공식후원사와 함께 합니다”



Fourier Transform Infrared Spectrophotometer

IRXross **NEW**

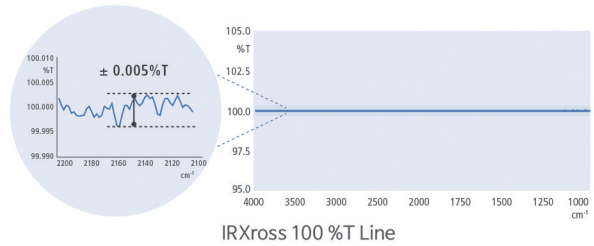


IR, Xross over

IRXross는 적외선 분광기의 새로운 개념을 만듭니다.
다양한 요구 사항에 최적의 솔루션을 제공합니다.

High-End Sensitivity for Countless Application

High-End급의 55,000:1 S/N 비를 실현

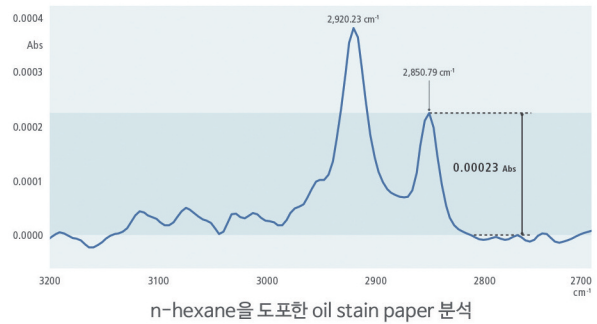


Built-in Analytical Intelligence!

IR Pilot Navigation 프로그램, 확인 시험,
Plastic Library(옵션), EDXIR 오염물질분석 S/W(옵션) 등

Complies Fully with Regulations

다양한 규제에 대응하기 위한 FTIR



SHIMADZU FTIR
자세히 알아보기



IR Pilot Navigation 프로그램
확인 시험 영상



원클릭으로 다양한 시료 분석이 가능한 IR Pilot 제공

SHIMADZU FTIR Series



IRSpirit-L



IRSpirit-T



IRAffinity-1S

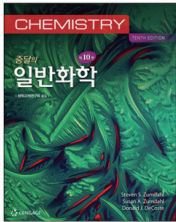


IRXross



IRTracer-100

줌달의
일반화학 10판



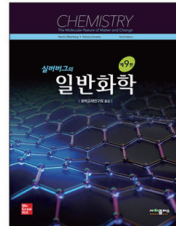
저 자 : Zumdahl
판 수 : 10
발 행 : 2019
페 이 지 : 1168
I S B N : 9788962184358

신간 레이먼드 창 의
일반화학 14판



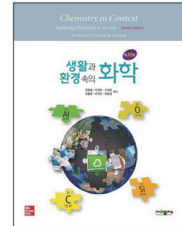
저 자 : Overby, Chang
판 수 : 14
발 행 : 2023
페 이 지 : 1080
I S B N : 9791188731343

신간 실버버그의
일반화학 14판



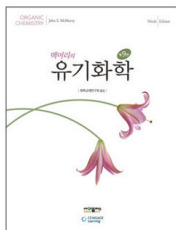
저 자 : Silberberg
판 수 : 9
발 행 : 2023
페 이 지 : 1034
I S B N : 9791188731367

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

신간 양자화학 입문 2판



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

신간 기초 표면화학



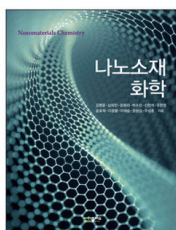
역 자 : 소호원
판 수 : 1
발 행 : 2022
페 이 지 : 300
I S B N : 9791188731275

신간 Hart의
유기화학 13판(수정판)



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

근간 나노소재화학



저 자 : 김병연 외
판 수 : 1
발 행 일 : 2023

신간 화학자를 위한
결정학



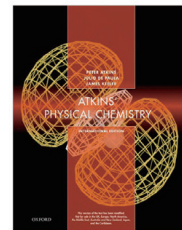
역 자 : 윤우진, 윤호섭
판 수 : 1
발 행 일 : 2022
페 이 지 : 236
I S B N : 9791188731329

신간 Biochemistry



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

Atkins' Physical Chemistry 11/e

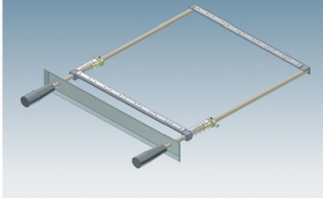


저 자 : Atkins
판 수 : 11
발 행 일 : 2018
페 이 지 : 1050
I S B N : 9780198814740

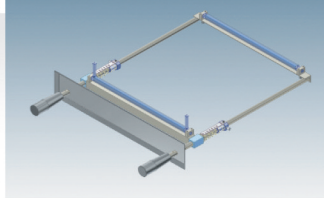
국내 LAB 시험기 선두 기업!!

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

상하 핀 타입



종이 호일 타입



자동 배출형 건조기
[코팅 경화기]

Mini Dryer (DL-2015)

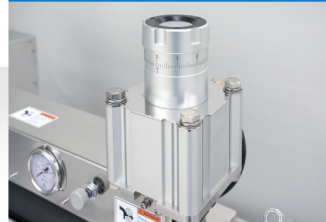
그라비아 코팅기

Gravure Coater (DL-2500GV)

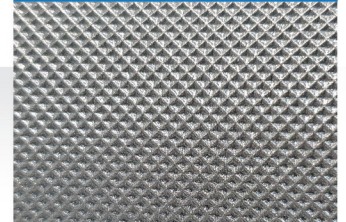


- ✓ 좌, 우측 각각 Air Cylinder의 압력 조절 가능.
- ✓ 편면 코팅가공 (Gravure Coating) 가능.
- ✓ 10사수에서 200사수 까지 가능.
- ✓ 상부와 하부 롤러간의 간격 조절, 두꺼운 시험편 (원단, 부직포 등) 사용이 가능.

롤러 간격 조절 장치

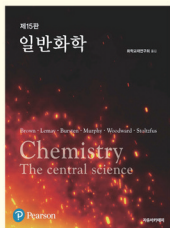


그라비아 패턴 (기본사양)



QR코드로 대림스타릿(주) 홈페이지에 접속하여 다양한 제품을 알아보세요!

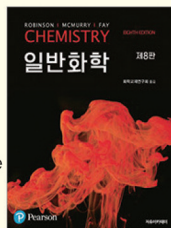
Brown 일반화학 제15판



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

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

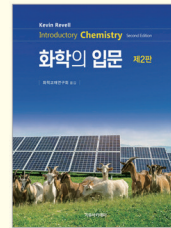
McMurry 일반화학 제8판



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

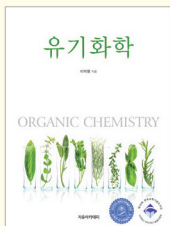
관련 서적
핵심일반화학 제8판
출판년도: 2020년 쪽수: 720쪽
ISBN: 9791158082499

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

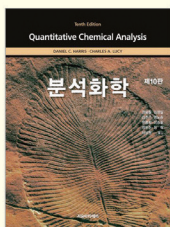
원서 정보
Organic Chemistry 6/e
출판년도: 2019년 쪽수: 1392쪽
ISBN: 9781260565843

합성 유기화학



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

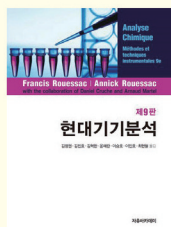
Harris 분석화학 제10판



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

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

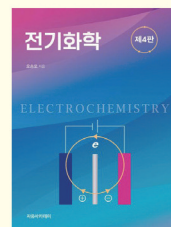
Rouessac 현대기기분석 제9판



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

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

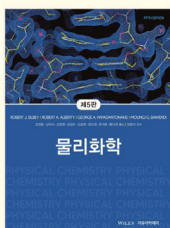
전기화학 제4판



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

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

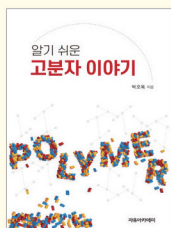
Silbey 물리화학 제5판



역 자: 강영종 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: 박오옥
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

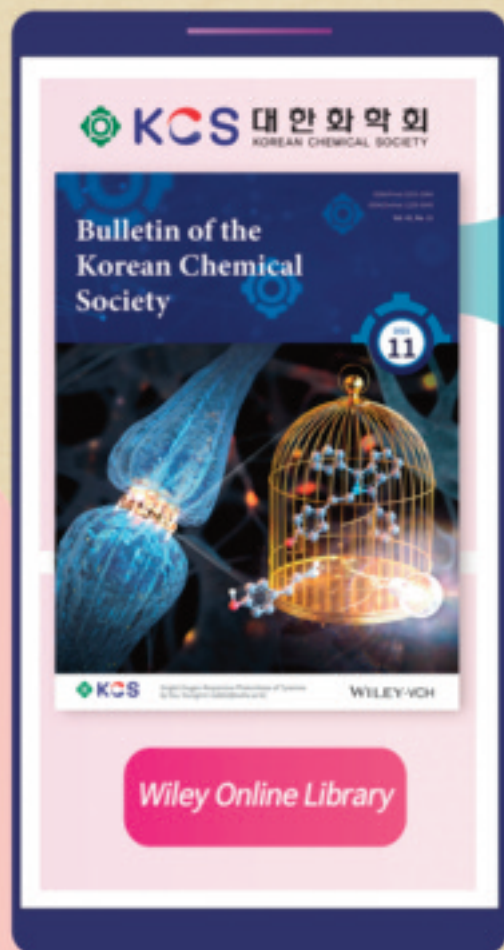
Selinger 장바구니에 담긴 화학 제6판



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

Chemistry for All,
Dream for Future!

이제 꿈은 과학이다!



BKCS 온라인 발행

대한화학회는 정부의 탄소배출 저감 정책 및 비용 절감의 일환으로
본회에서 발행하는 학술지 중 BKCS(Bulletin of the Korean Chemical Society)의 인쇄본 발행을
2023년도 4월호부터 중단하고 온라인으로 발행할 예정입니다.

최근 몇 년 동안 인쇄본 발행의 수요가 급격히 감소하였고, 이미 해당 학술지의 모든 논문은
본회 회원(연회비 납부자)이면 온라인(Wiley Online Library)에서 확인이 가능하여
인쇄본 발행을 중단하게 되었습니다.

기존에 구독료를 납부하신 회원님들께는 BKCS는 2023년 3월호까지만 책자를 발송해드릴
예정인 점 양해 부탁드립니다. (JKCS 책자 발송은 2023년도에는 지속될 예정입니다)
올해 구독료를 납부하실 회원님들께서도 해당 내용을 확인하시어 구독에 차질 없으시기를 바랍니다.
감사합니다.

CONTENTS

2023년 3월 광고 목차

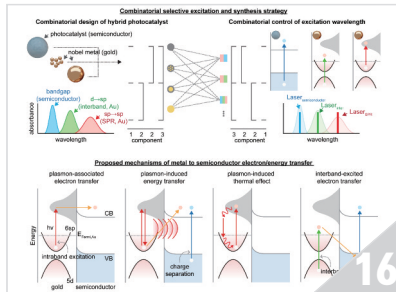
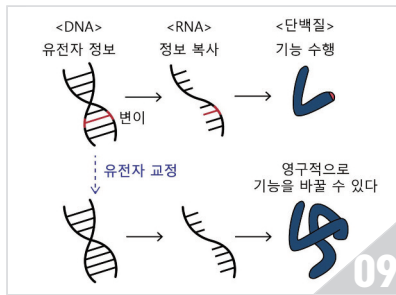
뒤표지	동우화인켐
앞표지 안쪽	시마즈 사이언티픽 코리아
뒤표지 안쪽	아이센스
p.01	사이틀러스
p.02	대림스타릿(주)
p.03	자유아카데미

2023년 운영진

회 장	신석민
부 회 장	성재영(총무) 이광렬(기획) 김지환(학술) 윤재숙(홍보) 추현아(산학협력) 황성주(국제협력) 백성혜(교육)
실무이사	장락우(총무) 고두현(총무) 강은주(총무) 이진석(기획) 윤효재(기획) 정유성(국제협력) 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 화학
- 51 신진연구자 소개 · 김태연/등방선/장지현
- 76 제54대 대한화학회 회장 당선 소감문 · 이필호
- 90 월간학회소식
- 94 재단법인 한국화학회관 소식

PAPER

- 09 읽기 쉬운 총설 | 크리스퍼 유전자가위 기술이 가져온 '유전자 교정 시대' · 정유경, 배상수
- 16 이달의 하이라이트 | 단일 나노광촉매 여기의 선택적 조합실험 및 플라즈모닉 효과의 정량화 · 안용덕, 서대하*

SPECIAL

- 31 우수선도연구기관 | 영남대학교 기초연구실(BRL) 적외선 편광 발광 소재 연구실 · 김영수
- 37 우수선도연구기관 | 가천대학교(핵심연구지원센터) 바이오나노융합소재 연구센터 · 한상윤
- 44 우수선도연구기관 | 카이스트 기초연구실(BRL) 동적 생체고분자 구조 분석 연구실 · 정용원
- 54 INTERVIEW | 화학세계가 만난 화학자 · 정중화
- 62 KCS 하이라이트 | 산화금속 나노입자 관련 연구 · 백유진, 윤홍석

EDUCATION

- 25 화학 교육 | 과학 교육에서 코딩을 활용한 수업의 필요성과 실태 · 김성기

COLUMN

- 67 화학칼럼 | 연구자 되기 ⑤_ 연구자의 덕목: 자발성 · 김태영
- 73 화학칼럼 | 실험실 안전과 달콤함 · 장홍제

TREND

- 70 우리 실험실은요! | 촉매화학학 연구실 · 문준수
- 78 Book & App
- 89 화학만평

131TH GENERAL MEETING

- 80 심포지엄 및 구두발표 주제, 조직책임자
- 82 연회비 및 참가비 안내
- 83 심포지엄 및 구두발표 주제 요약문

ADVERTISING & CAMPAIGN

- 05 클린 인터넷을 선언합니다
- 95 대한화학회 발간(참여) 학술지
- 96 『Chemistry, an Asian Journal』 "논문 제출 안내"
- 98 기기전시회 안내
- 99 대한화학회장상, 외부단체협찬상
- 100 지면광고 안내/회비 및 구독료 안내

MARCH

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	31	

- 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)

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)

April

- 제131회 학술발표회, 총회 및 기기전시회 (4월 26일~28일, 수원컨벤션센터)
 - 현장등록(3월 17일~4월 28일)
- 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

CONFERENCE OF THE MONTH

2023년 3월 14일~17일

15th IUPAC International Congress of Crop Protection Chemistry

장 소 | New Delhi, India, Asia

안 내 | <https://www.iupac2023.in/>

2023년 3월 22일~24일

International Conference On Phosphorus, Boron and Silicon - PBSi 2023

장 소 | Berlin, Germany, Europe

안 내 | <https://premc.org/conferences/pbsi-phosphorus-boron-silicon/>

클린 인터넷을 선언합니다



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

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

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

'정보통신망 이용촉진 및 정보보호 등에 관한 법률' 제70조(벌칙)

- ① 사람을 비방할 목적으로 정보통신망을 통하여 공공연하게 사실을 드러내어 다른 사람의 명예를 훼손한 자는 3년 이하의 징역이나 금고 또는 2천만원 이하의 벌금에 처한다.
- ② 사람을 비방할 목적으로 정보통신망을 통하여 공공연하게 거짓의 사실을 드러내어 다른 사람의 명예를 훼손한 자는 7년 이하의 징역, 10년 이하의 자격정지 또는 5천만원 이하의 벌금에 처한다.
- ③ 제1항과 제2항의 죄는 피해자가 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·V

노벨화학상 특집

PART
5

크리스퍼 유전자가위 기술이 가져온 '유전자 교정 시대'

정유경, 배상수 | 서울대학교 의과대학
sbae7@snu.ac.kr

크리스퍼 유전자가위 기술이 가져온 ‘유전자 교정 시대’

정유경, 배상수 | 서울대학교 의과대학, sbae7@snu.ac.kr

서론

‘콩 심은데 콩나고, 팥 심은데 팥난다’는 우리나라 속담과 같이, 모든 생명체의 삶, 노화, 죽음 등과 같은 큰 운명은 어느 정도 설계되어있다. 생명체의 가장 기본 단위인 세포에는 DNA라는 고분자물질의 설계도가 있는데, 생명체는 이러한 DNA 염기서열에 담겨져 있는 정보를 통해 삶을 영위해 가고, 또 그 정보를 DNA 형태로 후손들에게 물려준다.

그렇다면, DNA에 담겨있는 유전정보는 어떻게 발현될까? 이에 대한 연구는 지난 1953년 제임스 왓슨과 프랜시스 크릭이 DNA 구조를 처음으로 밝히면서 본격화되었다. DNA는 이중가닥이 서로 상보적으로 결합되어 나선형 형태로 존재한다. 보통 DNA는 상당히 안정된 형태의 이중나선 구조로 존재하지만, 필요할 경우 DNA 이중가닥이 일시적으로 풀리면서 단일가닥인 RNA를 마구마구 복사해 낸다. 마치 오목볼록한 판에서 판화를 찍어내는 것처럼, 세포 내에서는 DNA에 담겨져 있는 염기서열 정보와 꼭 닮은 수백, 수천개의 RNA들이 만들어 진다. 그리고 이러한 RNA 정보를 기반으로 단백질, 효소와 같은 필수물질들이 세포 내에서 합성된다.

만약, DNA 염기서열 정보가 잘못되면 어떤 일이 생길까? 판에 담긴 정보가 잘못되어 있다면 그 판에서 찍어낸 모든 판화들의 정보가 잘못될 것이다. 이와 마찬가지로, DNA 유전자 정보가 잘못되어 있으면 해당 단백질에서의 아미노산 서열에도 오류가 발생한다. 물론, 운이 좋게도 그 잘못된 아미노산이 단백질의 구조를 만들거나, 기능을 하

는데 있어서 주요한 부분이 아니라면 별 문제가 없겠지만, 그렇지 않을 경우 정상적인 단백질이 만들어지지 않아 때때로 큰 질환을 야기하게 된다[그림 1]. 실제 존재하는 많은 희귀 유전질환들은 단 하나의 DNA 염기서열이 잘못되어 발생하게 되며, 이로 인해 선천적인 시각장애, 청각장애, 효소결핍으로 인한 대사장애, 조기 사망 등과 같은 치명적인 결과를 낳게 된다. 따라서, 지금까지 많은 연구자들이 30억 쌍에 달하는 인간 DNA 에서 특정 유전자 서열을 특이적으로 바꾸고자 노력해 왔다.

DNA의 염기서열을 원하는 대로 바꾸거나 교정할 수 있는 기술은 생명체의 근원을 조절할 수 있는 강력한 도구이다. 이는 기초연구 차원에서 특정 유전자의 기능과 작동원

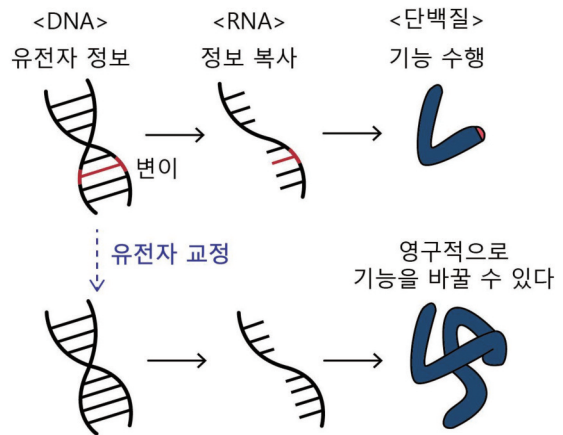


그림 1. 분자생물학의 중심이론(central dogma)과 유전자 교정의 필요성

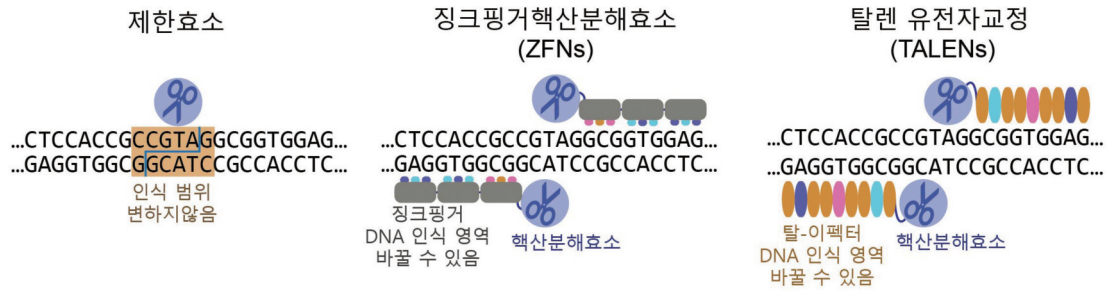


그림 2. 자연계에 존재하는 제한효소와 인공적으로 개발된 1세대, 2세대 유전자가위 기술들

리를 파악하는데 필수적인 기술일 뿐 아니라, 인간의 유전자 이상으로 생긴 질환들을 극복할 수 있는 획기적인 기술로 생각된다. 또한 식물이나 동물의 품종을 개량하거나, 기후변화 등과 같은 위기 극복을 위해 바이오산업계에서도 꼭 필요한 기술이라 할 수 있다. 이에 지난 2012년 말 크리스퍼 유전자가위가 처음으로 개발되었고, 이후 만 7여 년 만에 매우 빠르게 노벨화학상이 2020년 이 분야에 수여되었다. 바야흐로 유전자 교정 시대가 열린 것이다.

본론

1. 제한효소와 유전자 편집 기술의 등장

1960~70년대를 거치며 DNA와 관련된 여러가지 효소들이 발견되고, DNA 염기서열을 증폭하거나 읽는 시퀀싱과 같은 기술들이 개발되면서 유전공학/생명공학 분야가 꽃을 피우게 되었다. 특히, 박테리아와 같은 미생물에서 제한효소(restriction enzyme)가 특정 DNA 서열을 인식하여 절단한다는 사실이 밝혀졌다[그림 2]. 당시 이러한 기술들을 활용하여, 크기가 작은 플라스미드 DNA(수십 kbp) 수준에서 특정 위치의 DNA를 절단하거나, 새로운 유전자를 이어붙이는 DNA클로닝 혹은 유전자재조합기술 등이 이루어졌다. 이는 유전자 편집 기술의 시작점이라 할 수 있다. 하지만, 당시의 기술들을 곧바로 인간세포와 같은 고등세포에 적용하지는 못하였다. 제한효소는 보통 6~8개의 짧은 염기서열을 인식하기 때문에, 작은 플라스미드에서는 특정 위치를 타겟할 수 있었지만 30억 쌍에 달하는 인간 DNA에서는 한 위치를 타겟하지는 못하였다. 즉, 인간세포에 제한효소를 넣게 되면, DNA의 수천, 수만 위치가 동시

에 타겟되어 절단될 위험이 있는 것이다.

이후, 연구자들은 타겟 DNA를 인식하는 길이가 짧은 제한효소의 한계를 극복하여, 충분히 긴 DNA 염기서열을 인식하여 타겟할 수 있는 인공적인 제한효소 즉, 유전자가위를 개발하고자 노력하였다. 1세대 유전자가위로 구분되는 징크핑거핵산분해효소(Zinc Finger Nuclease; ZFN)는 1996년에 처음으로 만들어졌는데, 이를 활용하여 2003년에 실제 초파리의 유전자를 편집하는데 성공하였다. 이후 보다 정교한 2세대 유전자가위인 탈렌(Transcription-activator-like Effector Nuclease; TALEN)이 2010년에 비슷한 작동원리로 만들어졌다. 이들은 모두 특정 DNA를 인식하여 결합할 수 있는 단백질과 핵산분해효소를 연결하여 표적 유전자를 자르는 기술이다[그림 2]. 이 기술들은 DNA를 인식하는 단백질 모듈의 구성을 바꿈으로써 특정 유전자를 표적할 수 있다. 하지만, 단백질 모듈의 구성을 바꾸는 데 들이는 비용이 크고 많은 노력과 시간을 필요로 한다는 단점들이 있어 널리 사용되지는 못하였다. 이후, 2012년 말~2013년 초에 등장한 3세대 유전자가위인 크리스퍼 기술은 기존의 도구들에 비해 사용하기가 쉬우면서도 정교하고, 가격도 저렴하여 누구나 쉽게 사용할 수 있게 되었다. 비로소 유전자가위 기술이 대중화된 것이라 할 수 있다.

2. 크리스퍼 유전자가위 기술 개발

크리스퍼 시스템은 원래 자연계의 미생물에 존재하는 것으로, 이를 탐구하는 미생물학자들에게는 흥미로운 미지의 영역이었다. 많은 연구진들의 노력에 의해 절반에 가까운 많은 미생물들은 자신의 유전체 내에 반복된 서열들의 집합체인 크리스퍼 지역을 가지고 있다는 것이 2010년대에

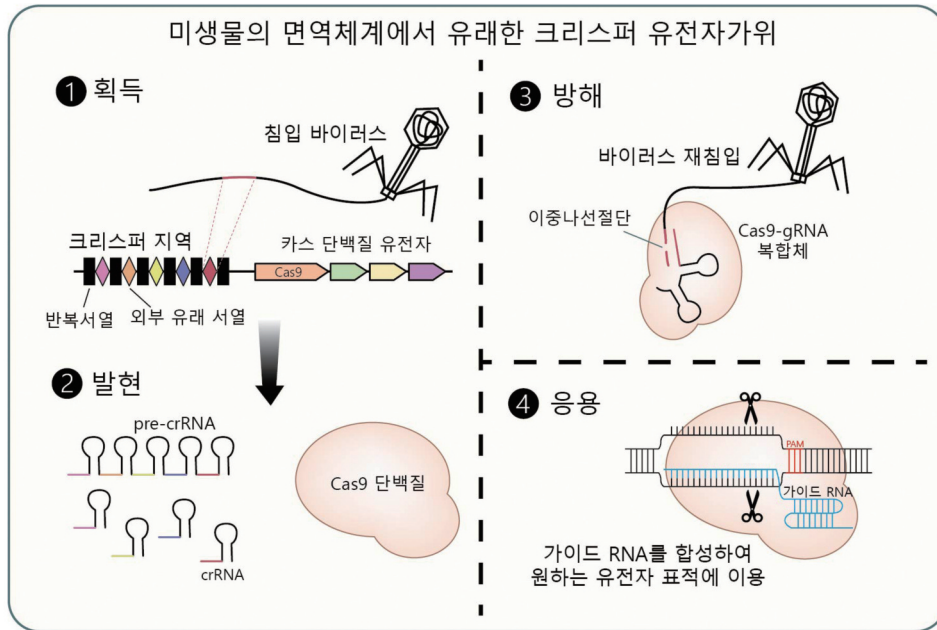


그림 3. 미생물의 면역체계에서 유래한 크리스퍼 유전자가위

밝혀졌다[그림 3]. 미생물들은 이 특징적인 영역 안에 자신을 공격했던 바이러스의 유전정보 중 일부를 기록해 두는데, 이는 일종의 기억장치라 할 수 있다. 나중에 같은 바이러스가 다시 침입하게 된다면, 저장되어 있던 바이러스 유전정보는 전사되어 가이드 RNA 역할을 하게 된다. 그리고 크리스퍼 영역에 있는 카스 단백질들은 가이드 RNA와 결합하여 이와 상보적인 서열을 가진 바이러스의 DNA를 표적하여 절단하게 된다. 즉, 미생물들은 기억해둔 정보를 바탕으로 바이러스가 재차 침입을 해온다면, 크리스퍼 시스템을 발동시켜 제거할 수 있는 것이다. 이와 같이, 미생물학자들이 미생물의 후천적인 면역 체계인 크리스퍼 시스템을 밝혀낸 순간, 이를 활용한 크리스퍼 유전자가위는 유전자교정의 새로운 패러다임으로 급부상하였다.

여기에서 주목할 만한 점은 크리스퍼 유전자가위는 DNA 타겟을 바꾸는 것이 매우 용이하다는 점이다. 이 시스템을 이용하면 누구나 표적하고 싶은 유전자의 상보적인 가이드 RNA를 합성하여 손쉽게 표적 유전자를 절단할 수 있다[그림 3, ④응용]. 실제로 크리스퍼 유전자가위를 활용하여, 인간 뿐 아니라, 동물, 식물, 미생물 등 지구상에 존재하는 대부분의 생명체에서 손쉽게 높은 효율로 유전자 편집을 유도할 수 있었다.

3. 인간세포 내에서의 유전자 편집과 피할 수 없는 문제점 대두

유전자가위는 기본적으로 세포 내의 특정 DNA 염기서열을 인식하여 이중나선절단(Double strand breaks; DSBs)을 일으키는 것을 목표로 한다. 이렇게 절단된 DNA 가닥은 세포 내의 DNA 수선 기작에 의해 복구되는데, 이 과정에서 유전자 편집이 확률적으로 이루어지게 된다. 인간과 같은 고등세포에서는 대표적으로 비상동말단부착(nonhomologous end joining; NHEJ)과 동형방식수선(homology directed repair; HDR) 등을 통해 DNA가 복구된다. 비상동말단부착 기작은 높은 확률(>50%)로 일어나는데, 이 과정에서 일부 DNA 손실이 발생하기 때문에 이를 활용하여 특정 유전자를 손쉽게 망가뜨릴 수 있다. 반면, 동형방식수선 기작은 주변의 동형유전자를 주형으로 해서 수선하기 때문에 아주 정확하게 특정 서열을 교정할 수 있다는 특징이 있는데, 보통 교정 효율이 매우 낮다(<5%)[그림 4].

하지만, 2018년 이후, 크리스퍼 유전자가위에 의한 이중나선절단으로 인해 세포 내에서는 유전체 대량 손실이나 세포 사멸과 같은 예기치 못한 문제점들이 발생한다는 것이 여러 연구진들에 의해 보고되었다[그림 4]. 이는 유전자가위가 표적 이외의 곳에서 유전자 편집을 유도하는 '표적

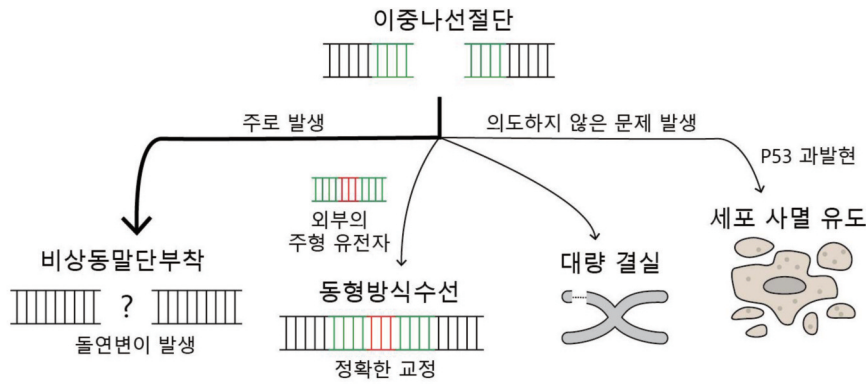


그림 4. 크리스퍼 유전자가위에 의한 이중나선절단 후, 세포에서 발생하는 일들

이탈효과(off-target effect)와는 다른 차원의 문제로, 원하는 유전자를 타겟했음에도 피할 수 없는 근본적인 한계라 할 수 있다. 이를 극복하기 위해서는 DNA 이중나선 절단을 유도하지 않으면서 특정 유전자를 교정할 수 있는 기술이 필요하다. 크리스퍼 유전자가위가 처음 개발되어 유전자 편집이 보편화되면서 매우 빠르게 이 분야에 노벨 화학상이 수여되었지만, 유전자 교정 연구는 이제 본격적으로 시작되었다고 할 수 있다.

4. 계속 진화되고 있는 유전자가위 기술들 - 염기교정과 프라임교정

이후, 가이드 RNA만 새롭게 합성해주면 타겟을 쉽게 바꿀 수 있다는 크리스퍼 유전자가위의 장점을 유지하면서 타겟 DNA 이중나선절단을 일으키지 않고 유전자를 교정

할 수 있는 기술들이 개발되었다. 대표적인 기술들로 염기교정과 프라임교정을 꼽을 수 있다. 이 도구들은 모두 하버드대학의 데이비드 리우 그룹에서 개발되어 전세계 많은 연구실에서 사용되고 있다. 염기교정 유전자가위는 이중나선절단을 일으키지 않도록 부분적으로 개량된 카스 단백질에 탈아미노화 효소를 부착하여 만들어졌다. 염기교정 기술을 이용하면, 표적 유전자에 있는 특정 염기서열에 작용하여, 염기를 치환시킬 수 있다. 즉, 타겟 유전자의 사이토신(C)이나 아데닌(A)에 있는 아민기를 제거함으로써, 각각 티민(T)이나 구아닌(G)으로 바꿀 수 있다[그림 5] 염기교정 유전자가위는 특정 질병을 일으키는 단일염기변이(single nucleotide variation; SNV)를 정밀하게 교정할 수 있고, 시작 코돈이나 종결 코돈을 교정해서 단백질의 발현을 조절할 수 있다. 혹은 스플라이싱이 일어나는 염기서열을 치환하여 선택적 스플라이싱을 일으켜서 질병을 치료하는 데

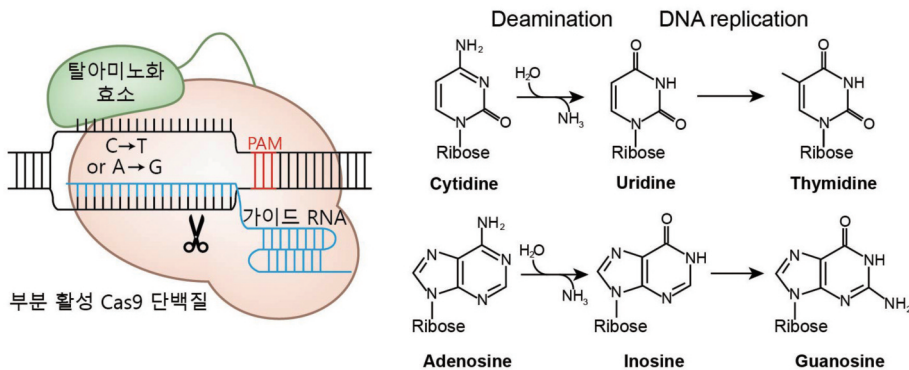
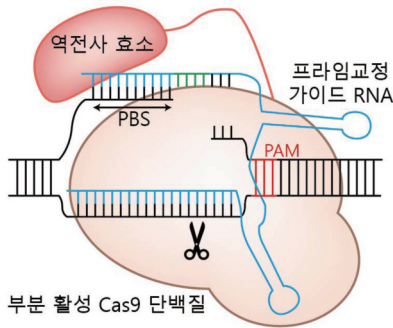


그림 5. 염기교정 유전자가위 구성(좌)과 염기 치환 원리(우)



<유전자 교정 방식 비교>

	동형방식수선	염기교정	프라임교정
개발 시점	2013년 초	2016년 5월	2019년 10월
교정 효율	낮음 (~5%)	높음 (30~50%)	개량하여 증가 중 (~5% -> ~20%)
이중나선절단 유무	O	X	△ (PE3는 부분적으로 결실을 동반)
DNA 주형의 필요성	O	X	X
모든 세포에 적용가능	X (분열되지 않는 세포에 적용 어려움)	O	O
가능한 에디팅 종류	치환, 삽입, 결실	치환	치환, 삽입, 결실 (길이 제한 있음)
한계점	이중나선 절단으로 인한 파생문제들 (유전자 대량결실, 세포사멸 등)	주변 염기 치환, 무작위적인 DNA 혹은 RNA 돌연변이 유도	현재 검증 중

그림 6. 프라임교정 유전자가위의 구성(좌)과 선행 기술들과의 유전자 교정 방식과의 비교(우)

에 사용할 수 있다. 이중나선절단을 일으키지 않으면서 크리스퍼 유전자가위의 높은 효율은 여전히 보이고 있기 때문에 염기교정 유전자가위는 특히 유전자 치료 목적으로 널리 각광받고 있다.

한편, 염기교정 유전자가위의 경우, 사이토신(C)을 아데닌(A)으로 치환시키던가 염기서열들을 제거하거나 삽입하는 것은 어렵다는 근본적인 한계점이 존재한다. 이러한 단점들을 해결함으로써 최근에 크게 각광받고 있는 기술이 프라임교정 유전자가위이다. 프라임교정 기술은 부분적으로 활성을 잃은 카스 단백질에 역전사 효소를 연결하여 만들어졌다. 이 경우, 기존 가이드 RNA에 추가 서열을 붙인 프라임교정 가이드 RNA가 이용되는데, 이 추가 서열을 주형으로 역전사 효소에 의해 새로운 DNA가 실시간으로 합성된다. 결과적으로 새롭게 합성된 DNA를 바탕으로 타겟 DNA가 교체되는 방식으로 유전자 교정이 이루어진다(그림 6).

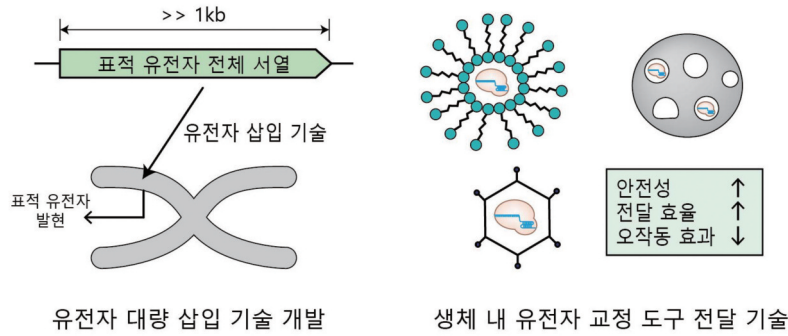
지금까지 서술한 바와 같이, 타겟 유전자를 정확하게 교정하기 위해서는 i) 크리스퍼 유전자가위를 이용한 동형방식수선, ii) 염기교정 유전자가위, iii) 프라임교정 유전자가위 등을 이용할 수 있다. 동형방식수선을 통한 유전자 교정은 아무런 제약없이 거의 모든 형태의 교정이 가능하다는 장점이 있지만, 타겟 DNA 이중나선절단으로 인한 파생문제들을 가지고 있고 낮은 유전자 교정 효율과 분열되지 않는 세포에 적용하기 어렵다는 한계점이 존재한다. 염기교정 기술은 타겟 DNA 이중나선절단 없이 매우 높은 효율로

염기를 치환시키는 장점이 있으나, 염기치환 외의 교정은 불가능하다는 한계점이 존재한다. 이에 비해 프라임교정 기술은 모든 종류의 유전자 교정을 비교적 높은 효율로 유도할 수 있다는 큰 장점이 있다. 다만, 현재까지는 유전자 교정 길이에 한계점이 있어 수백 bp 이상을 교정하는 것은 어렵다.

결론

자연계에 존재하는 크리스퍼 면역 시스템을 기반으로 개발된 크리스퍼 유전자가위 기술은 정교하고 효율이 높으면서도 저렴하여 손쉽게 유전자 교정을 가능하게 해주는 기술이다. 지구 상의 생명체의 DNA 분자구조는 모두 동일하게 보존되어 있기 때문에, 크리스퍼 유전자가위 기술을 활용하면 인간, 식물, 동물을 포함하여 대부분의 종에서 유전자 편집을 유도할 수 있다. 특히, 사람의 유전자 기능을 밝히는 연구를 하거나, 선천적으로 유전자의 변이를 가지고 태어난 환자를 치료하는데 이 기술을 활용할 수 있다. 크리스퍼 유전자가위를 이용해서 질병의 원인이 되는 돌연변이를 교정할 수도 있고, 반대로 질병이 있는 모델을 그대로 모사함으로써 질병에 대한 연구를 심층적으로 진행할 수도 있다. 또한, 유전자 편집 스크리닝 기법을 통해서 특정 분자기전과 생체 메커니즘을 밝힘으로써 기본 생화학의 발전에 이바지할 수도 있다.

그러나 현재의 유전자가위 기술은 완벽하지 않고, 기존의



유전자 대량 삽입 기술 개발

생체 내 유전자 교정 도구 전달 기술

그림 7. 유전자 교정 기술의 미래 전망

단점들을 보완하기 위한 노력들이 계속되고 있다. 크리스퍼 유전자가위를 기반으로 염기교정, 프라임교정 기술이 개발되었지만, 현재는 보다 더 정교하고 효율이 높은 유전자가위를 개발하는 연구가 진행 중이다. 특히, 아직 수 kb 크기의 유전자를 타겟 위치에 통째로 삽입할 수 있는 거대 유전자 삽입 기술이 개발되어 있지 않기에 여러 선두그룹들에서 앞다투어 개발을 진행하고 있다. 한편으로, 유전자 교정 기술이 갖추어졌다 하더라도 환자의 유전자 교정 치료를 위해서는 생체 내에 안전하고 효과적으로 전달하는 기술 개발 또

한 필수적이다[그림 7].

바야흐로 ‘바이오 르네상스’ 시대가 열리고 있다. 이는 비단 새로운 유전자 교정 기술만을 의미하는 것은 아니다. mRNA 기술을 이용한 혁신적 백신 개발, 유전자 진단 기술의 혁신적 개발, 새로운 면역항암치료제 개발, 인공장기 개발 등 다양한 분야에서 기존에 상상할 수 없었던 혁신적 기술들이 연구되고 있다. 앞으로 국내 연구진들이 새로운 기술 개발에 크게 기여하기를 희망한다. 🌟



- Mali, P., Esvelt, K.M., and Church, G.M. "Cas9 as a versatile tool for engineering biology." *Nat Methods* **2013**, 10, 957–963.
- Sander, J.D., and Joung, J.K. "CRISPR-Cas systems for editing, regulating and targeting genomes." *Nat Biotechnol* **2014**, 32, 347–355.
- Kim, H., and Kim, J.S. "A guide to genome engineering with programmable nucleases." *Nat Rev Genet* **2014**, 15, 321–334.
- Doudna, J.A., and Charpentier, E. Genome editing. "The new frontier of genome engineering with CRISPR-Cas9." *Science* **2014**, 346, 1258–96.
- Cho, S. W., Kim, S., Kim, J. M. and Kim, J. S. "Targeted genome engineering in human cells with the Cas9 RNA-guided endonuclease." *Nature biotechnology* **2013**, 31, 230–232.
- Cong, L., Ran, F. A., Cox, D., Lin, S., Barretto, R., Habib, N., Hsu, P. D., Wu, X., Jiang, W., Marraffini, L. A. and Zhang, F. "Multiplex genome engineering using CRISPR/Cas systems." *Science* **2013**, 339, 819–823.
- Mali, P., Yang, L., Esvelt, K. M., Aach, J., Guell, M., DiCarlo, J. E., Norville, J. E. and Church, G. M. "RNA-guided human genome engineering via Cas9." *Science* **2013**, 339, 823–826.
- Jiang, W., Bikard, D., Cox, D., Zhang, F. and Marraffini, L. A. "RNA-guided editing of bacterial genomes using CRISPR-Cas systems." *Nature biotechnology* **2013**, 31, 233–239.
- Jinek, M., East, A., Cheng, A., Lin, S., Ma, E. and Doudna, J. "RNA-programmed genome editing in human cells." *eLife* **2013**, 2, e00471.
- Jansen, R., Embden, J. D., Gastra, W. and Schouls, L. M. "Identification of genes that are associated with DNA repeats in prokaryotes." *Molecular microbiology* **2002**, 43, 1565–1575
- Bolotin, A., Quinquis, B., Sorokin, A. and Ehrlich, S. D. "Clustered regularly interspaced short palindrome repeats (CRISPRs) have spacers of extrachromosomal origin." *Microbiology* **2005**, 151, 2551–2561.
- Barrangou, R., Fremaux, C., Deveau, H., Richards, M., Boyaval, P., Moineau, S., Romero, D. A. and Horvath, P. "CRISPR provides acquired resistance against viruses in prokaryotes." *Science* **2007**, 315, 1709–1712.
- Makarova, K. S., Haft, D. H., Barrangou, R., Brouns, S. J., Charpentier, E., Horvath, P., Moineau, S., Mojica, F. J., Wolf, Y. I., Yakunin, A. F., van der Oost, J. and Koonin, E. V. "Evolution and classification of the CRISPR-Cas systems." *Nature reviews. Microbiology* **2011**, 9, 467–477
- Koonin, E.V., Makarova, K.S., and Zhang, F. "Diversity, classification and evolution of CRISPR-Cas systems." *Curr Opin Microbiol* **2017**, 37, 67–78.
- Adikusuma, F., Piltz, S., Corbett, M.A. et al. "Large deletions induced by Cas9 cleavage." *Nature* **2018**, 560, E8–E9.
- Kosicki, M., Tomberg, K. & Bradley, A. "Repair of double-strand breaks induced by CRISPR–Cas9 leads to large deletions and complex rearrangements." *Nat Biotechnol* **2018**, 36, 765–771.
- Conti A, Di Micco R. "p53 activation: a checkpoint for precision genome editing?" *Genome Med.* **2018**, 10(1), 66.

18. Haapaniemi, E., Botla, S., Persson, J., Schmierer, B., and Taipale, J. "CRISPRCas9 genome editing induces a p53-mediated DNA damage response." *Nat. Med.* **2018**, *24*, 927–930
19. Ihry, R.J., Worringer, K.A., Salick, M.R., Frias, E., Ho, D., Theriault, K., Kommineni, S., Chen, J., Sondey, M., Ye, C., *et al.* "p53 inhibits CRISPR-Cas9 engineering in human pluripotent stem cells." *Nat. Med.* **2018**, *24*, 939–946
20. Komor, A.C., Kim, Y.B., Packer, M.S., Zuris, J.A., and Liu, D.R. "Programmable editing of a target base in genomic DNA without double-stranded DNA cleavage." *Nature* **2016**, *533*, 420–424.
21. Nishida, K., Arazoe, T., Yachie, N., Banno, S., Kakimoto, M., Tabata, M., *et al.* "Targeted nucleotide editing using hybrid prokaryotic and vertebrate adaptive immune systems." *Science* **2016**, *353*(6305):aaf8729.
22. Gaudelli, N.M., Komor, A.C., Rees, H.A., Packer, M.S., Badran, A.H., Bryson, D.I., *et al.* "Programmable base editing of A*T to G*C in genomic DNA without DNA cleavage." *Nature* **2017**, *551*, 464–471.
23. Rees, H.A., and Liu, D.R. "Base editing: precision chemistry on the genome and transcriptome of living cells." *Nat Rev Genet* **2018**, *19*, 770–788.
24. Bharat, S.S., Li, S., Li, J., Yan, L., Xia, L. "Base editing in plants: Current status and challenges." *The Crop Journal* **2020**, *8*(3): 384–395.
25. Kim, K., Ryu, S., Kim, S. *et al.* "Highly efficient RNA-guided base editing in mouse embryos." *Nat Biotechnol* **2017**, *35*, 435–437.
26. Ryu, S., Koo, T., Kim, K. *et al.* "Adenine base editing in mouse embryos and an adult mouse model of Duchenne muscular dystrophy." *Nat Biotechnol* **2018**, *36*, 536–539.
27. Kang, B., Yun, J., Kim, S. *et al.* "Precision genome engineering through adenine base editing in plants." *Nature Plants* **2018**, *4*, 427–431.
28. Anzalone, A.V., Randolph, P.B., Davis, J.R. *et al.* "Search-and-replace genome editing without double-strand breaks or donor DNA." *Nature* **2019**, *576*, 149–157.
29. Jeong YK, Song B and Bae S, "Current status and challenges of DNA base editing tools." *Molecular Therapy* **2020**, *28*(9), 1938–1952.
30. Liu, Y., Li, X., He, S. *et al.* "Efficient generation of mouse models with the prime editing system." *Cell Discov* **2020**, *6*, 27.
31. Lin Q, Zong Y, Xue C, *et al.* "Prime genome editing in rice and wheat." *Nat Biotechnol.* **2020**, *38*(5): 582–585.
32. Zuo, E., Sun, Y., Wei, W., Yuan, T., Ying, W., Sun, H., Yuan, L., Steinmetz, L.M., Li, Y., and Yang, H. "Cytosine base editor generates substantial off-target single nucleotide variants in mouse embryos." *Science* **2019**, *364*, 289–292.
33. Jin, S., Zong, Y., Gao, Q., Zhu, Z., Wang, Y., Qin, P., Liang, C., Wang, D., Qiu, J.L., Zhang, F., and Gao, C. "Cytosine, but not adenine, base editors induce genome-wide off-target mutations in rice." *Science* **2019**, *364*, 292–295.
34. Grünwald, J., Zhou, R., Garcia, S.P., Iyer, S., Lareau, C.A., Aryee, M.J., and Joung, J.K. "Transcriptome-wide off-target RNA editing induced by CRISPR-guided DNA base editors." *Nature* **2019**, *569*, 433–437.
35. Zhou, C., Sun, Y., Yan, R., Liu, Y., Zuo, E., Gu, C., Han, L., Wei, Y., Hu, X., Zeng, R., *et al.* "Off-target RNA mutation induced by DNA base editing and its elimination by mutagenesis." *Nature* **2019**, *571*, 275–278.
36. Rees, H.A., Wilson, C., Doman, J.L., and Liu, D.R. "Analysis and minimization of cellular RNA editing by DNA adenine base editors." *Sci. Adv.* **2019**, *5*, eaax5717.
37. Kim, H.S., Jeong, Y.K., Hur, J.K., Kim, J.S., and Bae, S. "Adenine base editors catalyze cytosine conversions in human cells." *Nat Biotechnol* **2019**, *37*, 1145–1148.
38. Chen P.J., Hussman J.A., Yan J., Knipping F., Ravisankar P., Chen P-F., *et al.* "Enhanced prime editing systems by manipulating cellular determinants of editing outcomes." *Cell* **2021**, *184*, 22, 28
39. Kim, S., Kim, D., Cho, S. W., Kim, J. and Kim, J. S. "Highly efficient RNA-guided genome editing in human cells via delivery of purified Cas9 ribonucleoproteins." *Genome research.* **2014**, *24*(6), 1012–9.
40. Kim S, Jeong YK, Cho CS, Lee S, Sohn CH, Kim JH, Jeong Y, Jo DH, Bae S and Lee H, "Enhancement of Gene Editing and Base Editing with Therapeutic Ribonucleoproteins through In Vivo Delivery Based on Absorptive Silica Nanoconstruct." *Advanced Healthcare Materials* **2022**, *12*, 4.



정유경 You Kyeong Jeong

- 한양대학교 화학과, 학사(2013.3 – 2017.2, 지도교수 : 배상수)
- 한양대학교 화학과, 석·박통합(2017.3 – 2022.8, 지도교수 : 배상수, 이준석)
- 서울대학교 의과대학 유전체의학연구소 연구원(2022.9 – 현재, 지도교수 : 배상수)



배상수 Sangsu Bae

- 서울대학교 물리학과, 학사(1998.3 – 2005.8, 지도교수 : 김선기)
- 서울대학교 물리천문학부, 석사(2006.3 – 2008.2, 지도교수 : 홍성철)
- 서울대학교 물리천문학부, 박사(2008.3 – 2012.8, 지도교수 : 홍성철)
- 서울대학교 화학부, 연수연구원(2012.9 – 2015.2, 지도교수 : 김진수)
- 한양대학교 화학과, 조교수/부교수(2015.3 – 2022.2)
- 서울대학교 의과대학, 부교수(2022.3 – 현재)

단일 나노광촉매 여기의 선택적 조합실험 및 플라즈모닉 효과의 정량화

안용덕, 서대하* | 대구경북과학기술원 화학물리학과, livewire@dgist.ac.kr

서론

금 나노입자(Au NPs)는 가시광선 영역에서 큰 흡수 단면(absorption cross-section)과 광안정성을 가지고 있어 불균일(heterogeneous) 광촉매(photocatalyst)의 반응성을 증가 시키기 위한 광수용체(light acceptor)로 사용된다.¹⁻³ 반도체 나노입자를 포함한 일반적인 광촉매 물질은 가시광선 영역의 흡광도가 낮기 때문에, Au NPs의 가시광선 영역의 흡수는 매우 효율적일 수 있다. 금과 반도체 나노입자 접합부위에서 일어나는 촉매 성능 향상의 메커니즘은 가시광선영역에서 플라즈모닉(plasmonic) 금속의 “대역 간 여기(d→sp, interband excitation)”와 “대역 내 여기(sp→sp, intraband excitation)” 전자의 전이, 또는 플라즈몬(plasmon) 유도 전자/에너지 전달(RET, PICT)을 통해 설명될 수 있다. 하지만 여전히 정확한 기여 정도 또는 경로에 대한 이해는 부족하다.⁴⁻⁸ 대역 간 및 SPR 여기를 통해 생성된 들뜬 전자의 운동에너지(kinetic energy) 및 생존시간(lifetime)은 각각 2.1 및 >2.3 eV 그리고 0.01-0.1 및 ~1 ps인 것으로 알려져 있다.^{7,9-14} 두 경로에 따라 생성된 들뜬 전자들은 서로 다른 열역학적 특성을 가지기 때문에 촉매 성능 향상에 있어서 서로 다른 기여도를 가질 것으로 예상된다. 따라서 각 전자 여기로부터 유도되는 플라즈몬 효과에 대한 기여도를 이해하고 정량적으로 해석하는 것은 광촉매 설계에 매우 중요하다.

광촉매에 대한 이런 플라즈몬 공명효과는, 기체 상 반응

에서 유기 염료(organic dye)에서 일어나는 반응을 대상으로 규명되어지고 있다.^{7,9,15-17} 하지만 불균일 촉매반응의 경우, 전하 전달(charge transfer, CT) 뿐만 아니라 반응물과 생성물의 확산, 흡착 그리고 탈착 등 복잡한 단계를 포함하고 있기 때문에 기존의 앙상블-평균(ensemble-averaging) 측정 방법으로는 다양한 변수에 의해 가려진 CT에 대한 정보만을 관찰하기 어렵다.

단일 입자 또는 분자 수준의(single particle/molecule level) 관찰은 높은 시·공간 분해능을 확보함과 동시에 개별 화학반응을 직접적으로 관찰함으로써 보다 효율적으로 정보를 얻을 수 있으며,¹⁸ 현미경 조건들(예를 들어, 광원의 파장, photon의 양, 조사 위치 등의 제어)을 활용할 수 있는 장점이 있다. 본 연구에서는 상온 또는 상압에서, 촉매의 광학 특성과 조사되는 빛의 파장 그리고 반응물의 화학 반응 양상을 제어함으로써 나노 입자 수준의 체계적인 광촉매 평가 방법을 고안하였다. 이를 위한 실험 방법은 다음의 조건을 만족시켜야 한다. 1) 관찰 방법은 촉매 반응에 관여하지 않아야 한다. 즉, 촉매의 활성화와 관찰을 위한 외부 자극은 분리되어야 한다. 2) 반응물의 분자 수송을 지배하는 요인을 제거하여야 한다. 3) 금속과 반도체 물질의 광학적 특성을 고려하여 촉매의 조합적 선택을 하고, 광학기기의 파장들을 고려하여 설계하여야 한다. 물질의 광학 특성에 따라 촉매가 나타낼 수 있는 에너지 또는 전자 전달의 경로가 제한될 수 있다. 따라서 물질의 적절한 조합을 통해서 원하는 전자 들뜸을 유도할 수 있다.

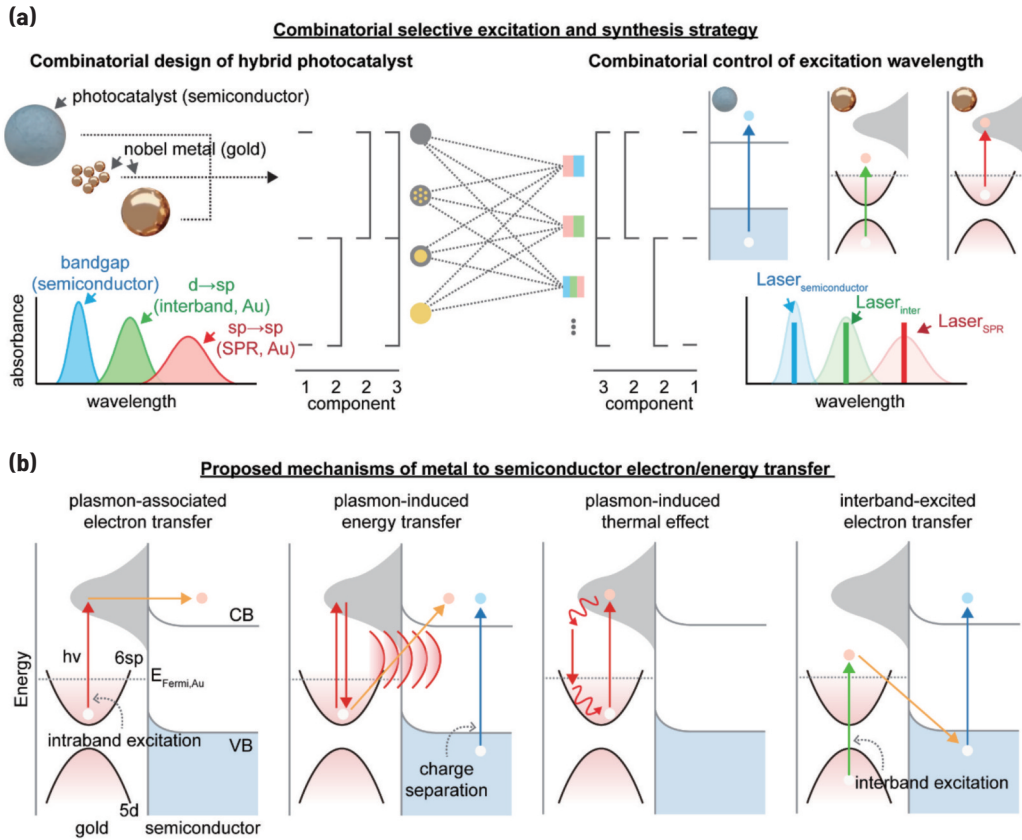


그림 1. 금 나노입자의 촉매 성능 강화를 이해하기 위한 조합 합성 및 여기 전략. (a) 금 도메인에서 반도체 도메인으로의 전자/에너지 전달을 분석하기 위한 물질 조합(왼쪽)과 레이저 조합(오른쪽) 전략에 대한 모식도. (b) 광촉매 성능 향상을 설명하기 위한 금속과 반도체 물질 사이의 다양한 전자/에너지 전달 메커니즘의 모식도.

기존의 투과전자현미경(TEM) 또는 원자 힘 현미경(AFM) 등을 이용한 단일 입자 또는 분자 수준의 분석 방법은 관찰 환경(용매, 빛의 조사 등)의 조절이 자유롭지 못하여 실제 반응 환경을 재현하는 것에 한계가 있다. 하지만 일반적인 광학 현미경은 위 조건을 충족시키는 분석법으로 매우 적합하다. 게다가 형광신호(형광 현미경) 및 산란신호(암시야 현미경)를 동시 활용할 수 있으며, 화학반응을 실시간으로 측정이 가능해 매우 유용하다. 또한 최근 발달하는 레이저 기술 및 이미징 처리 기술과 함께 광학현미경의 분해능 또한 매우 좋아지고 있다(super-resolution microscope). 특히 전반사형광(total internal reflection fluorescence, TIRF)현미경은 배경신호를 최소화하여 높은 신호-대-잡음비(S/N)를 가지기 때문에 단일 입자 수준의 촉매 반응을 관찰하기에 적합하다.

본 연구에서는 Au/Cu₂O 단일 나노 입자를 광학현미경

을 통해 관찰함으로써, 플라즈몬 금속/반도체 혼성(hybrid) 입자계의 광화학 반응을 조사하였다[그림 1a]. 혼성 촉매에서 들뜬 전자의 생성 경로를 조절하고 복합 인자를 선택적으로 배제하기 위해, 두 가지 방법의 조합 제어 전략을 수립하였다. 첫째, 여기 파장 조합 전략은 동일 나노 입자에 조사되는 빛의 파장을 선택적으로 조절하여 들뜬 전자의 생성 경로를 조절하였다. 둘째, 나노 입자의 합성 단계에서 물질간 조합을 통해 촉매 자체의 광학적 성질을 통제하여 선택적으로 관찰하고자 하는 전자 여기만이 유도하는 전략을 활용하였다. 금속/반도체 혼성 광촉매의 활성 증가는 직접 전자 이동(DET, direct electron transfer), 플라즈몬 유도 에너지/전하 전달 또는 광열효과(photothermal effect)와 같은 다양한 메커니즘으로 해석이 시도되고 있다[그림 1b].^{6,19-24} 하지만 들뜬 전자의 생성 경로를 명확하게 제한하는 것은 여전히 숙제로 남아있다. 따라서 이 두

가지 전략을 이용하면 일반적으로 앙상블 평균화에서 가려진 대역 간 또는 대역 내 전이(SPR) 및 열 기여에 대한 플라즈몬 유도 효과를 이해하고 정량 할 수 있다.

본 론

1. 광학 현미경을 이용한 단일 나노 입자 수준에서 광촉매 반응의 관찰

본 연구에서는 광학현미경을 이용하여 단일 나노 촉매에서 일어나는 반응을 실시간으로 관찰하기 위한 전략을 수립하였다. 우선, 불균일 촉매 반응 단계를 단순화하기 위해서 다음의 세가지 조건을 만족하는 반응물을 선정하였다. 첫째, 촉매 반응을 시각화하기 위해 반응 후 형광을 방출해야 한다. 둘째, 형광 유기 탐침(organic fluorescence probe)의 흡광(absorption) 영역은 촉매의 흡광 영역과 겹치지 않아야 한다. 반응을 관찰하는 단계와 촉매 활성화 단계를 분리시킨다면 더욱 정확하게 촉매 성능을 평가할 수 있다. 셋째, 나노 입자 표면에 충분히 흡착될 수 있어야 한다. 반응 개시 전 반응물을 촉매 표면에 흡착시키고 선택적으로 반응을 개시(triggering)하면 분자 수송(transport) 역할을 제거할 수 있다[그림 2a]. 본 연구에서는 위 조건들을 전제로 유기 형광 탐침으로 2-뷰틸-1,3-다이옥소-2,3-다이하이드로-1H-벤조[데]아이소퀴놀린-6-일 피콜리네이트 (2-butyl-1,3-dioxo-dihydro-1H-benzo[de]isoquinolin-6-yl picolinate, P_{OFF})를 선정하였다[그림 2b].²⁵ P_{OFF} 는 촉매 반응을 거쳐 형광 물질(P_{ON})로 전환된다[그림 2c]. P_{ON} 의 광학성질을 고려하여 488 nm 레이저를 관찰 레이저($Laser_{obs}$)로 설정하였다. 다음으로 다양한 광학 특성을 가지는 Au/ Cu_2O 기반 나노 입자를 합성하였다[그림 2d]. 모든 나노입자는 $Laser_{obs}$ 에 의한 전자 들뜸이 최소가 되도록 설계되었다. 각 나노 촉매는 고유한 광학 특성을 가지는 것을 확인하였다. 게다가 TIRF현미경에서 사용하는 $Laser_{obs}$ 의 소멸파(evanescent wave)의 투과 깊이가 약 200 nm인 점을 고려하여 모든 나노 입자는 약 150 nm의 크기를 가지도록 합성되었다.[그림 2e].^{26,27} 또한, P_{OFF} 는 계면활성제(surfactant)인 폴리바이닐피롤리돈(polyvinylpyrrolidone, PVP)과 혼합되어 나노 촉매 표

면에 안정적으로 흡착되었다($NP@P_{OFF}$, 그림 2f). 따라서, $NP@P_{OFF}$ 에 빛을 조사하여 촉매 반응을 선택적으로 유도할 수 있었다.

우선 코어@셸(core@shell) 구조의 Au@ Cu_2O NPs에 백색광(hv)을 활성 레이저($Laser_{act}$)로 조사하여 단일 입자 수준에서 촉매 반응을 관찰하였다. 커버슬립(cover slip)에 고정된 Au@ Cu_2O NPs은 DF현미경으로 이미징화 하여 위치를 추적한 이후 P_{OFF} 를 흡착시켰다[그림 2g].²⁸ 흡착되지 않은 P_{OFF} 는 미세 유동 챔버(micro fluidic chamber)에서 세척되었다. 이후 무작위로 선택된 단일 나노 입자에 hv를 조사한 직후에 $Laser_{obs}$ 로 관찰하였고, P_{ON} 의 형광 세기(I_{ON})를 측정하였다. 이후 형광 신호는 시간이 지남에 따라 표백(bleaching)되었다[그림 2h]. 흥미롭게도 동일 입자에 대해서 ‘반응 개시-형광 표백’ 과정을 동일한 세기의 hv로 반복하였을 때 초기 I_{ON} 이 지속적으로 감소하는 것을 확인하였다[그림 2i]. 이것은 표면에 남은 P_{OFF} 의 분자 수가 반응 개시 횟수에 따라 감소하기 때문으로 해석할 수 있었다. 형광이 관찰되지 않을 때까지 hv 조사를 반복하고 각 단계에서 나타나는 I_{ON} 의 수치의 총합(ΣI_{ON})을 구하였다. ΣI_{ON} 을 단일 분자의 형광 세기로 나누어 초기에 흡착된 P_{OFF} 의 양을 정량 할 수 있었다. 이후 hv 조사 시간에 대한 I_{ON} 을 함수로 플로팅(plotting)하여 CT에 관한 속도상수(k_{CT})를 결정하였다. 단일 입자 수준에서 관찰된 속도상수(k_{obs})는 기존의 앙상블-평균 측정에서 얻은 결과에 비해 수십 배 높다는 것을 확인할 수 있었다[그림 2j]. 이 결과는 개시전략을 통해 구해진 k_{obs} 는 분자 수송 역학에 대한 정보가 제거되어 있으며, 앙상블-평균 방법에 비해 k_{CT} 에 근접하다는 것을 알 수 있었다. 게다가 이 전략의 추가적인 중요한 이점은 hv 조사 영역의 크기와 위치를 조절하여 시-공간적으로 반응을 제어할 수 있다는 점이다. 이는 반응이 진행됨에 따라 변화하는 나노 촉매의 안정성과 반응성을 통제하여 모든 입자가 균일한 조건에서 반응이 진행될 수 있도록 정밀하게 제어할 수 있다는 것을 의미한다.

2. 나노입자 구조와 여기 파장에 기반한 광화학 반응의 조합 제어

금 나노입자에서 “대역 간” 또는 “대역 내” 여기로 생성된 들뜬 전자는 다양한 메커니즘을 통해 인접한 반도체의

광촉매 활성을 향상시키는 것으로 알려져 있다[그림 1b]. 각 전자 여기의 기여도와 방법을 이해하기 위해서 고유한 광학 특성을 가지는 4가지 유형의 나노 입자를 사용하여 촉매 활성을 비교하는 실험을 진행하였다[그림 2d]. 조합

여기 전략을 사용하기 위해 각 나노 입자에서 들뜬 전자를 선택적으로 유도할 수 있는 $Laser_{act}$ 를 다음과 같이 세분하였다. 첫째, Au NP 또는 Au 코어에서 대역 내 전이를 유도하기 위한 자극으로 561 nm를 $Laser_{SPR}$ 로 선정하였다.

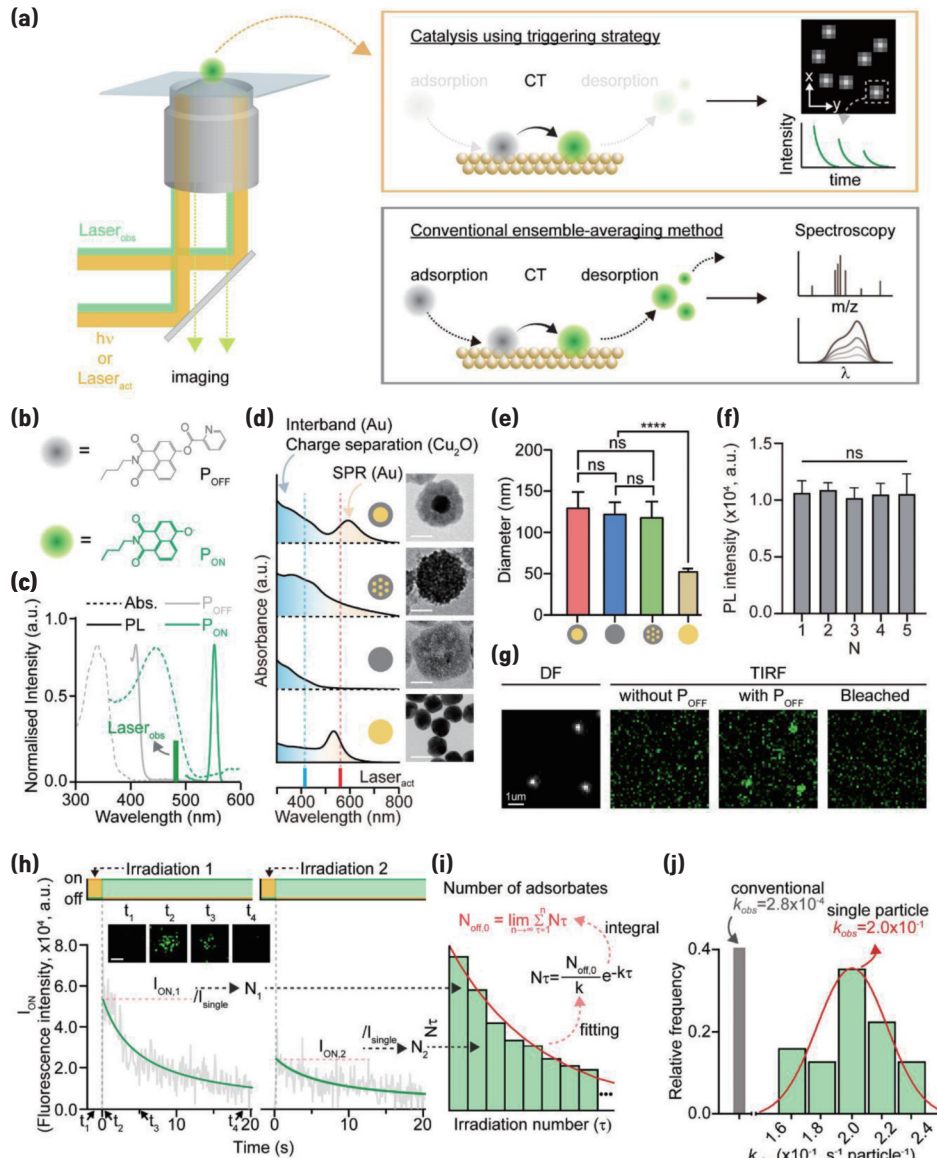


그림 2. 광학현미경을 이용한 단일 나노 입자 수준의 광촉매 반응을 관찰. (a) TIRF현미경의 모식도(오른쪽) 및 기존의 앙상블-평균 방법과 본 연구에서 제안된 광학현미경 기반 관찰 방법의 비교. 형광 유기 탐침의 반응 전(P_{OFF})과 후(P_{ON})의 (b) 분자 구조 및 (c) 광학 성질. 조합 합성 전략으로 합성된 나노 입자 종류의 (d) 흡광 스펙트럼(왼쪽) 및 투과전자현미경 사진(오른쪽)과 (e) 각 나노 입자의 크기. TEM 이미지의 스케일바(scale bar)는 100 nm를 나타낸다. (f) 반복 세척 이후 형광세기의 측정을 통한 나노 입자에 흡착된 P_{OFF} 의 정량. (g) DF현미경을 이용하여 관찰된 단일 나노 입자의 위치와 TIRF 현미경을 이용하여 관찰된 개시 전략의 대표 이미지. (h) TIRF 현미경으로 측정된 시간에 따른 I_{ON} 그래프와 단일 입자 수준에서 촬영된 TIRF 이미지. TIRF 이미지의 스케일바는 1 μm 를 나타낸다. (i) 반복적인 빛 조사 횟수에 따른 I_{ON} 의 측정과 흡착된 P_{OFF} 의 정량 분석. (j) 단일 입자 수준의 관찰과 기존의 앙상블-평균 방법에서 얻어진 k_{obs} 의 비교.

둘째, Au NP의 대역 간 전이와 Cu_2O 의 전하 분리를 유도하기 위한 405 nm를 $\text{Laser}_{\text{inter}+\text{Cu}_2\text{O}}$ 로 설정하였다. Au의 대역 간 전이와 Cu_2O 의 전하 분리 영역에서 스펙트럼의 중첩이 존재했다. 하지만 이것은 조합 합성 전략을 이용한 실험을 통해 구별이 가능했다. 조합 합성으로 준비된 나노 입자들은 각각 다음의 광학 성질을 가진다. 1) $\text{Au}@ \text{Cu}_2\text{O}$ NPs는 Au 코어에서 대역 내 전이($\text{Laser}_{\text{SPR}}$)와 대역 간 전이 그리고 Cu_2O 의 전하 분리($\text{Laser}_{\text{inter}+\text{Cu}_2\text{O}}$)가 유도된다. 2) $\text{Cu}_2\text{O}-\text{Au}_{3\text{nm}}$ NPs는 Au 도메인의 작은 크기로 인해 대역 내 전이는 무시될 정도로 매우 적어서 $\text{Laser}_{\text{inter}+\text{Cu}_2\text{O}}$ 에 의해서 주로 활성화 된다. 3) Cu_2O NPs는 Au의 플라즈몬 효과가 존재하지 않아서 오직 전하 분리에만 의존한다. 마지막으로 4) Au NPs는 $\text{Laser}_{\text{inter}}$ 와 $\text{Laser}_{\text{SPR}}$ 에 의해 전자 여기가 일어나지만 Cu_2O 의 전하분리는 나타나지 않는다. 이 나노 입자들에 세분된 $\text{Laser}_{\text{act}}$ 를 조사하여 각각의 촉매 활성도를 비교하였다.

우선, NP@POFF에 $\text{Laser}_{\text{SPR}}$ 과 $\text{Laser}_{\text{inter}+\text{Cu}_2\text{O}}$ 을 순차적

으로 개별 또는 조합하여 조사하였고 $\text{Laser}_{\text{obs}}$ 를 이용하여 I_{ON} 을 측정하였다[그림 3a]. 네 종류의 나노 입자 모두 SPR 개별 조사에서는 I_{ON} 의 변화가 관찰되지 않았다. 게다가 $\text{Laser}_{\text{inter}+\text{Cu}_2\text{O}}$ 를 조사한 경우에 Au NPs는 아무런 변화가 없었지만, Cu_2O 를 포함한 나노 입자들은 I_{ON} 의 급격한 증가를 보였다. 이것은 반응에서 Cu_2O 의 밴드 갭(band gap)에 해당하는 에너지 준위가 필수적임을 의미한다. 흥미롭게도 다른 입자들과 달리 $\text{Au}@ \text{Cu}_2\text{O}$ NPs만 $\text{Laser}_{\text{SPR}}$ 과 $\text{Laser}_{\text{inter}+\text{Cu}_2\text{O}}$ 의 조합 조사에서 I_{ON} 의 증가를 나타냈다. 반면, $\text{Au}_{3\text{nm}}$ 의 넓은 흡수 스펙트럼에도 불구하고 $\text{Cu}_2\text{O}-\text{Au}_{3\text{nm}}$ NPs에서는 $\text{Laser}_{\text{SPR}}$ 의 조합 조사에서 현저한 향상을 나타내지 않았다. 반복 실험을 통해 단일 $\text{Au}@ \text{Cu}_2\text{O}$ NPs에서의 촉매반응의 경향을 이해할 수 있었다[그림 3b]. 각 나노 입자의 상대적인 광학 특성에 기반하여 각 전자 여기 경로에 따른 기여도를 정량 하였다. Au 나노 입자의 대역 간 전이와 SPR의 기여도는 각각 ~13%와 52% 였으며, Cu_2O 의 전하 분리에 대한 기여도는 35%로 밝혀졌다[그림

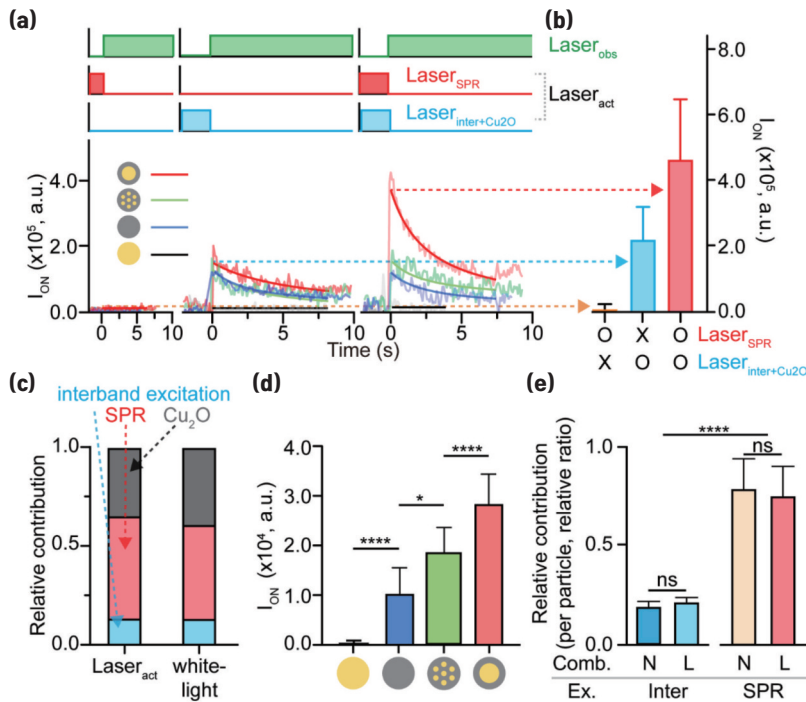


그림 3. 금 나노 입자에서 대역 간 및 대역 내 전이로 생성된 들뜬 전자의 광촉매 반응에 대한 기여도 분석. (a) 각 나노 입자에 대한 조합 여기 전략의 실시간 관찰. (b) 각 여기 파장에 의해 측정된 I_{ON} 의 통계적 분석. (c) 조합 여기(왼쪽)와 조합 합성(오른쪽) 전략을 이용한 각 들뜬 전자의 반응 기여도의 정량 분석. (d) 조합 합성 전략을 이용하여 관찰한 각 나노 입자의 서로 다른 촉매 성능. (e) 두 전략으로 얻어진 각 여기 경로의 촉매 기여도 비교.

3c, 왼쪽].

조합 여기 전략과 조합 합성 전략을 통한 정량분석의 타당성을 확인하기 위해서 $h\nu$ 와 각 나노 입자를 이용하여 동일한 세트의 실험을 진행하였다[그림 3d]. 앞서 언급한 조합 여기 전략으로 얻어진 결과와 일치하게 Au NPs은 $h\nu$ 에서도 유의미한 I_{ON} 의 증가를 나타내지 않았다. 그러나 Cu_2O - Au_{3nm} NPs은 대역 간 여기에 의해 Cu_2O NPs 보다 153% 향상된 효율을 보였다. SPR 효과와 대역 간 전이를 모두 포함하는 $Au@Cu_2O$ NPs의 경우 Cu_2O NPs에 비해 무려 270%의 향상된 성능을 나타냈다. 각 나노 입자의 흡광을 고려하여 각 여기 된 전자의 기여도를 정량 하였다. 그 결과 대역 간 여기 및 SPR의 기여도는 각각 14% 및 49%였으며, Cu_2O 의 기여도는 37%로 나타났다[그림 3c, 오른쪽]. 두 전략에서 얻어진 정량적 분석결과는 서로 일치한다[그림 3e]. 이러한 결과는 금 도메인의 대역 간 그리고 SPR 효과 모두 Cu_2O 의 전하 분리에 영향을 미친다는 것을 보여준다.

3. Au에서 반도체로의 전자 이동

촉매 설계에 있어서 여기 전자의 기여를 정량 하는 것뿐만 아니라 방법을 이해하는 것도 매우 중요하다. 본 연구에서 Cu_2O 를 선택한 또 다른 이유는 Cu_2O NPs가 전자-정공 분리로 인한 광부식성(photo-corrosion)을 가지고 있기 때문이다.²⁹ Cu_2O 의 광학적 불안정성은 빛에 의해 원자가띠에 생성된 정공이 충분히 제거되지 않기 때문이다. 그리고 이것은 구리 이온의 방출 또는 구조적 변화로 이어진다. 본 연구에서는 DF 현미경을 사용하여 Cu_2O 기반 나노 입자의 크기 및 형태적 변화를 관찰하였다[그림 4a]. 나노 입자가 광분해 됨에 따라 산란 세기의 변화가 나타나기 때문에 DF 현미경을 이용하여 실시간으로 관찰할 수 있다. Cu_2O NPs은 시간이 지나면서 산란 세기가 0으로 수렴하였고 광부식이 일어난 것을 알 수 있었다[그림 4b]. 반면 정공제거제(hole scavenger)을 사용하거나 Au NPs와 접합

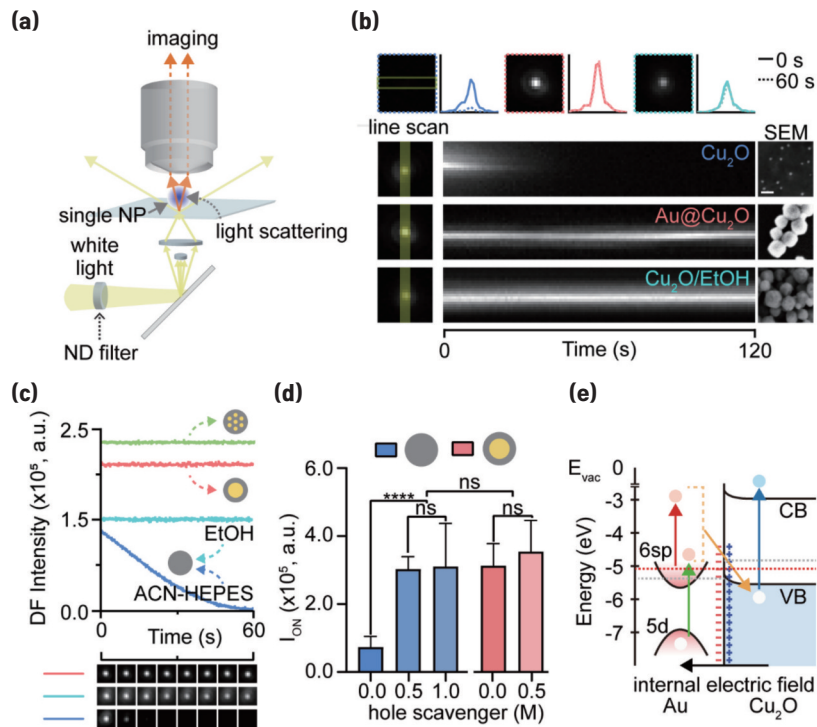


그림 4. 금 나노 입자에서 생성된 들뜬 전자의 정공 제거 효과. (a) 나노 입자의 형태 변화를 관찰하기 위한 DF현미경의 모식도. (b) $h\nu$ 조사에 따른 각 나노 입자의 산란 세기의 변화(왼쪽)와 주사전자현미경 이미지(오른쪽). (c) DF현미경을 이용하여 실시간으로 측정된 각 나노 입자의 산란 세기. (d) 정공 제거제를 사용여부에 따른 Cu_2O NPs와 $Au@Cu_2O$ NPs의 촉매 성능 비교. (e) 본 연구의 관찰 결과를 바탕으로 제안하는 Au 도메인에서 생성된 들뜬 전자의 이동 경로.

한 형태의 나노 입자(Au@Cu₂O NPs와 Cu₂O-Au_{3nm})의 경우에는 산란 세기의 변화가 나타나지 않았다[그림 4c]. 이 결과는 주사전자현미경을 이용하여 관찰한 결과와 일치하였다[그림 4b]. 게다가, 정공제거제를 사용한 Cu₂O NPs의 경우 촉매 활성 역시 함께 증가하였으며 그 수치는 Au@Cu₂O NPs의 결과와 유의미한 차이를 보이지 않았다[그림 4d]. 결론적으로, Au과 Cu₂O의 직접 접촉은 정공제거제를 사용한 것과 유사한 효과를 나타냈으며 이러한 효과는 Au 도메인의 크기와 무관함을 알 수 있다. 게다가 Au에서 Cu₂O로의 전자이동은 Cu₂O의 원자가피에 축적된 정공을 제거하는데 매우 중요한 역할을 한다[그림 4e].

4. 무시할 수 있는 광열효과

플라즈모닉 나노 촉매의 광열 현상은 동역학 상수, 반도체 밴드 갭, 이중 촉매에서 시약 및 제품의 확산성에 영향을 미칠 수 있다. 따라서 촉매 활성 평가에서 광열 효과를 반드시 고려되어야 하는 요소이다.³⁰⁻³² 본 연구에서는 금

에 의한 광열효과의 기여 정도를 확인하기 위해서, 두 가지 실험 1) 단일 Au NP의 확산 계수(D) 변화 측정 및 2) 온도에 민감한 고분자를 이용한 단일 Au NP의 SPR 산란 스펙트럼 측정을 수행하였다.

Au NP의 D를 측정하기 위해 우선 Au NP를 지질 이중층(lipid bilayer)의 지질 분자와 결합시켰다. 이어서, 암시야 현미경을 사용하여 개별 Au NP의 D를 hv의 강도를 변화시켜가며 측정하였다[그림 5a]. D는 2D 확산의 Saffman-Delbrück 모델을 따르며 온도에 선형으로 의존한다. 그러나 본 연구에서 측정된 D는 통계적으로 유의미한 변화가 관찰되지 않았으며, 이는 광조사가 나노 촉매의 온도를 유의미하게 증가시키지 않았음을 의미한다. 측정된 D의 표준편차가 약 20%인 점을 고려하면, 온도 변화의 정확도는 ±60 °C에서 신뢰할 수 있다.

보다 정확한 온도 변화를 감지하기 위해 온도 민감성 고분자인 폴리-N-아이소프로필아크릴아마이드(Poly(N-isopropylacrylamide), PNIPAm)을 Au NPs 표면에 흡착시키고 광조사에 따른 단일 Au NP의 산란 신호를 관찰

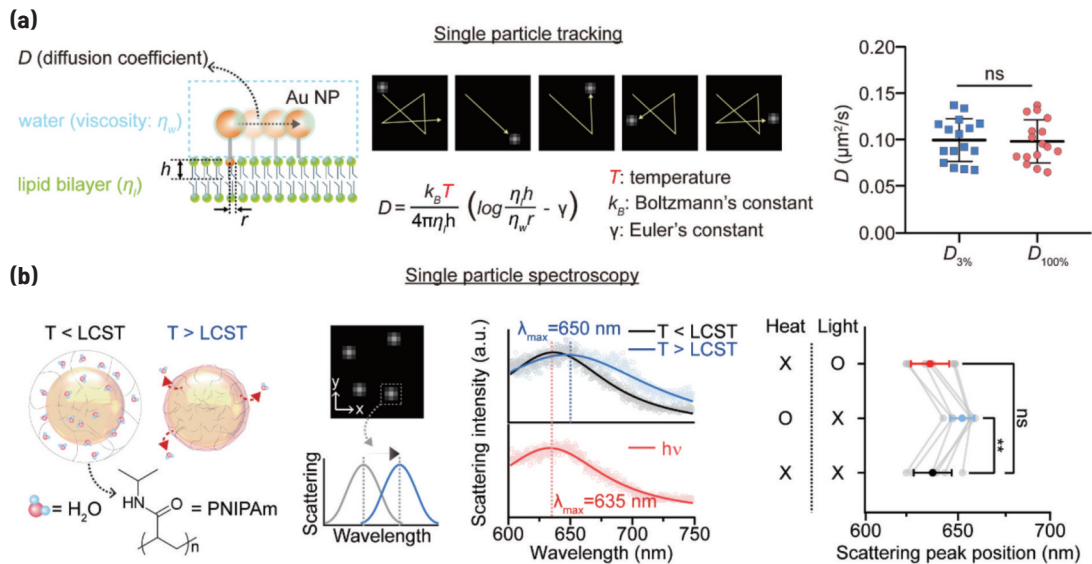



그림 5. 무시할 수준의 광열효과. (a) 온도 변화를 측정하기 위한 단일 Au NP의 확산 속도(D) 관찰. 지질 이중층 위에서 단일 Au NP의 D를 관찰하기 위한 전략의 모식도(왼쪽). 15 (3%)와 491 (100%) mW cm⁻²의 hv를 조사하면서 측정된 단일 Au NP의 D 수치. (b) 온도 변화를 측정하기 위한 PNIPAm이 흡착된 단일 NP의 산란 스펙트럼 변화 관찰. 산란 스펙트럼의 변화를 관찰하기 위한 전략의 모식도(왼쪽). 임계온도 이상에서는 PNIPAm이 수축되어 Au NP의 산란 스펙트럼의 적색 편이가 관찰된다. 가운데 스펙트럼은 각각 임계점 이하(검은색), 임계점 이상(파란색) 그리고 hv 조사(빨간색) 환경에서 측정된 단일 NP의 산란 스펙트럼을 나타낸다. 오른쪽 그림은 각 환경에서 측정된 스펙트럼의 λ_{max}에 대한 통계이다.

하였다[그림 5b]. PNIPAm은 최저 임계 온도(LCST)인 약 32 °C 이상에서 응축되는 성질을 가지고 있기 때문에 임계 온도 이상에서 개별 입자의 산란 스펙트럼 변화를 유도할 수 있다. 실험에서 외부 용액의 온도를 32 °C 이상으로 가열하였을 때 Au NP의 산란 스펙트럼의 변화가 나타났다. 하지만, 촉매 반응 개시 조건에서 Au NPs의 산란 스펙트럼은 어떠한 변화도 나타내지 않았다. 본 연구에서 광열효과가 미미한 이유로는 1) 이전의 연구에서 사용한 조사 조건(>3 W cm⁻², 15 min-6 h)보다 매우 온화한 환경(<0.5 W cm⁻², 2 s)에서 진행되었으며, 2) 흡착된 P_{OFF}는 Cu₂O 쉘의 두께로 인해 금 코어와 방열(heat dissipation)거리 이상으로 떨어져 있기 때문으로 추론할 수 있다.³³⁻³⁵ 이 결과를 통해 촉매 반응에서 온도 상승은 32 °C 이상으로 나타날 수 없다는 것을 확인할 수 있었다.

결론

본 연구에서는 단일 나노 입자의 화학 반응을 관찰하고 정량 분석하기 위한 광학 현미경 기반 실험 전략을 제안하였다. 이 전략을 통해서 광촉매 반응은 시-공간적 및 정량적으로 제어되었으며, 흡착 및 탈착에 의한 요소를 제외한 CT에 대한 정보만을 선택적으로 관찰할 수 있었다. 여기 파장 또는 나노 입자의 구조를 조합하여 광촉매 반응을 조

절하였고, 이를 통해서 각 도메인 내에 야기되는 전자 여기의 기여 정도 및 경로를 설명할 수 있었다. 그 결과들은 다음과 같다. 1) Cu₂O 시스템에 접합한 Au NPs의 대역 간 및 SPR의 기여도가 21% 및 79% 였다. 2) Au에서 생성된 들뜬 전자는 Cu₂O의 원자가띠로 전달되어 정공제거제로 사용될 수 있다(direct Z-scheme pathway). 3) 이 전자 전달 경로에 의해서 Cu₂O의 광안정성 및 촉매 성능이 향상되었다.^{36,37} 게다가 4) 금 도메인에서 SPR로 생성된 들뜬 전자가 Cu₂O의 전도띠로 직접 전달되는 경로와 5) 광열 효과는 무시할 수 있는 수준임을 확인하였다.

플라즈몬 금속에서 생성된 들뜬 전자가 반도체 촉매로 전달될 수 있는 다양한 경로와 기여도를 정량적으로 이해하는 것은 불균일 광촉매를 설계하는데 있어서 매우 중요하다. 이 연구는 상온, 상압에서 촉매 활성의 향상을 위한 다양한 플라즈몬 및 대역 간 여기 효과의 개별적인 기여를 밝힐 수 있는 미세한 전략을 제시하였다. 이 전략은 반도체 성 입자 이외에 다양한 금속 촉매에도 적용될 수 있다. 또한 단일 나노 입자 수준에서 촉매 활성의 시공간 및 정량적 규제 방법도 제안되었다. 본 연구에서 얻어진 결과와 제시된 광학 이미징 및 조작 기술은 단일 분자 및 입자 수준에서 화학 반응을 조사하기 위한 간단하고 체계적인 접근 방식을 제공할 것으로 기대된다. 



- Linic, S.; Christopher, P.; Ingram, D. B. "Plasmonic-Metal Nanostructures for Efficient Conversion of Solar to Chemical Energy." *Nat. Mater.* **2011**, *10*, 911-921.
- Murdoch, M.; Waterhouse, G. I. N.; Nadeem, M. A.; Metson, J. B.; Keane, M. A.; Howe, R. F.; Llorca, J.; Idriss, H. "The Effect of Gold Loading and Particle Size on Photocatalytic Hydrogen Production from Ethanol over Au/TiO₂ Nanoparticles." *Nat. Chem.* **2011**, *3*, 489-492.
- Marimuthu, A.; Zhang, J.; Linic, S. "Tuning Selectivity in Propylene Epoxidation by Plasmon Mediated Photo-Switching of Cu Oxidation State." *Science* **2013**, *340*, 1590-1593.
- Cushing, S. K.; Li, J.; Meng, F.; Senty, T. R.; Suri, S.; Zhi, M.; Li, M.; Bristow, A. D.; Wu, N. "Photocatalytic Activity Enhanced by Plasmonic Resonant Energy Transfer from Metal to Semiconductor." *J. Am. Chem. Soc.* **2012**, *134*, 15033-15041.
- Linic, S.; Aslam, U.; Boerigter, C.; Morabito, M. "Photochemical Transformations on Plasmonic Metal Nanoparticles." *Nat. Mater.* **2015**, *14*, 567-576.
- Wu, K.; Chen, J.; McBride, J. R.; Lian, T. "Efficient Hot-Electron Transfer by a Plasmon-Induced Interfacial Charge-Transfer Transition." *Science*, **2015**, *349*, 3584-3588.

- Zhao, J.; Nguyen, S. C.; Ye, R.; Ye, B.; Weller, H.; Somorjai, G. A.; Alivisatos, A. P.; Dean Toste, F. "A Comparison of Photocatalytic Activities of Gold Nanoparticles Following Plasmonic and Interband Excitation and a Strategy for Harnessing Interband Hot Carriers for Solution Phase Photocatalysis." *ACS Cent. Sci.* **2017**, *3*, 482-488.
- Hou, W.; Hung, W. H.; Pavaskar, P.; Goepfert, A.; Aykol, M.; Cronin, S. B. "Photocatalytic Conversion of CO₂ to Hydrocarbon Fuels via Plasmon-Enhanced Absorption and Metallic Interband Transitions." *ACS Catal.* **2011**, *1*, 929-936.
- Kim, Y.; Smith, J. G.; Jain, P. K. "Harvesting Multiple Electron-Hole Pairs Generated through Plasmonic Excitation of Au Nanoparticles." *Nat. Chem.* **2018**, *10*, 763-769.
- Bernardi, M.; Mustafa, J.; Neaton, J. B.; Louie, S. G. "Theory and Computation of Hot Carriers Generated by Surface Plasmon Polaritons in Noble Metals." *Nat. Commun.* **2015**, *6*, 7044.
- Link, S.; El-Sayed, M. A. "Spectral Properties and Relaxation Dynamics of Surface Plasmon Electronic Oscillations in Gold and Silver Nanodots and Nanorods." *J. Phys. Chem. B* **1999**, *10*, 8410-8426.
- Xu, Q.; Zhang, L.; Yu, J.; Wageh, S.; Al-Ghamdi, A. A.; Jaroniec, M. "Direct Z-Scheme Photocatalysts: Principles, Synthesis, and Applications." *Mater. Today*

- 2018, 21, 1042–1063.
13. Brongersma, M. L.; Halas, N. J.; Nordlander, P. "Plasmon-Induced Hot Carrier Science and Technology." *Nat. Nanotechnol.* **2015**, 10, 25–34.
 14. Linic, S.; Chavez, S.; Elias, R. "Flow and Extraction of Energy and Charge Carriers in Hybrid Plasmonic Nanostructures." *Nat. Mater.* **2021**, 20, 916–924.
 15. Mateo, D.; Cerrillo, J. L.; Durini, S.; Gascon, J. "Fundamentals and Applications of Photo-Thermal Catalysis." *Chem. Soc. Rev.* **2021**, 50, 2173–2210.
 16. Sun, J.; Jiang, Y.; Liu, H.; Huang, X.; Xiong, C.; Nie, Z. "Ultrafast Photocatalytic Reaction Screening by Mass Spectrometry." *Anal. Chem.* **2020**, 92, 6564–6570.
 17. Qureshi, M.; Takanabe, K. "Insights on Measuring and Reporting Heterogeneous Photocatalysis: Efficiency Definitions and Setup Examples." *Chem. Mater.* **2017**, 29, 158–167.
 18. Ahn, Y.; Park, M.; Seo, D. "Observation of Reactions in Single Molecules/Nanoparticles Using Light Microscopy." *Bull. Korean Chem. Soc.* **2022**, 44, 35–44.
 19. Li, J.; Cushing, S. K.; Meng, F.; Senty, T. R.; Bristow, A. D.; Wu, N. "Plasmon-Induced Resonance Energy Transfer for Solar Energy Conversion." *Nat. Photonics* **2015**, 9, 601–607.
 20. Hu, C.; Peng, T.; Hu, X.; Nie, Y.; Zhou, X.; Qu, J.; He, H. "Plasmon-Induced Photodegradation of Toxic Pollutants with Ag-Agl/Al₂O₃ under Visible-Light Irradiation." *J. Am. Chem. Soc.* **2010**, 132, 8577862.
 21. Mubeen, S.; Hernandez-Sosa, G.; Moses, D.; Lee, J.; Moskovits, M. "Plasmonic Photosensitization of a Wide Band Gap Semiconductor: Converting Plasmons to Charge Carriers." *Nano Lett.* **2011**, 11, 5548–5552.
 22. Kazuma, E.; Jung, J.; Ueba, H.; Trenary, M.; Kim, Y. "Real-Space and Real-Time Observation Ofa Plasmon-Induced Chemical Reaction Of a Single Molecule" *Science*. **2018**, 360, 5217526.
 23. Petek, H.; Weida, M. J.; Nagano, H.; Ogawa, S. "Real-Time Observation of Adsorbate Atom Motion above a Metal Surface." *Science* **2000**, 288, 1402–1404.
 24. Boerigter, C.; Aslam, U.; Linic, S. "Mechanism of Charge Transfer from Plasmonic Nanostructures to Chemically Attached Materials." *ACS Nano* **2016**, 10, 6108–6115.
 25. Chen, S.; Hou, P.; Foley, J. W.; Song, X. "A Colorimetric and Ratiometric Fluorescent Probe for Cu²⁺ with a Large Red Shift and Its Imaging in Living Cells." *RSC Adv.* **2013**, 3(16), 5591–5596.
 26. Fish, K. N. "Total Internal Reflection Fluorescence (TIRF) Microscopy." *Curr. Protoc. Cytom.* **2009**, 50, 12.18.1–12.18.13.
 27. Brunet, S.; Sardon, T.; Zimmerman, T.; Wittmann, T.; Pepperkok, R.; Karsenti, E.; Vernos, I. "Visualization of Regulated Exocytosis with a Granule-Membrane Probe Using Total Internal Reflection Microscopy." *Mol. Biol. Cell* **2004**, 15, 4658–4668.
 28. Park, Y.; Shin, S.; Jin, H.; Park, J.; Hong, Y.; Choi, J.; Jung, B.; Song, H.; Seo, D. "Single-Molecule Rotation for EGFR Conformational Dynamics in Live Cells." *J. Am. Chem. Soc.* **2018**, 140, 15161–15165.
 29. Toe, C. Y.; Zheng, Z.; Wu, H.; Scott, J.; Amal, R.; Ng, Y. H. "Photocorrosion of Cuprous Oxide in Hydrogen Production: Rationalising Self-Oxidation or Self-Reduction." *Angew. Chem. Int. Ed.* **2018**, 57, 13613–13617. <https://doi.org/10.1002/anie.201807647>.
 30. Boyer, D.; Tamarat, P.; Maali, A.; Lounis, B.; Orrit, M. "Photothermal Imaging of Nanometer-Sized Metal Particles among Scatterers." *Science* **2002**, 297, 1160–1163.
 31. Kim, S.; Yoon, S. "On the Origin of the Plasmonic Properties of Gold Nanoparticles." *Bull. Korean Chem. Soc.* **2021**, 42, 1058–1065.
 32. Zhang, X.; Li, X.; Reish, M. E.; Zhang, D.; Su, N. Q.; Gutierrez, Y.; Moreno, F.; Yang, W.; Everitt, H. O.; Liu, J. "Plasmon-Enhanced Catalysis: Distinguishing Thermal and Nonthermal Effects." *Nano Lett.* **2018**, 18, 1714–1723.
 33. Moustou, H.; Saber, J.; Djeddi, I.; Liu, Q.; Diallo, A. T.; Spadavecchia, J.; Lamy De La Chapelle, M.; Djaker, N. "Shape and Size Effect on Photothermal Heat Elevation of Gold Nanoparticles: Absorption Coefficient Experimental Measurement of Spherical and Urchin-Shaped Gold Nanoparticles." *J. Phys. Chem. C* **2019**, 123, 17548–17554.
 34. Govorov, A. O.; Richardson, H. H. "Generating Heat with Metal Nanoparticles." *Nano Today* **2007**, 2, 30–38.
 35. Walker, J. M.; Zaleski, J. M. "Non-Enzymatic Remodeling of Fibrin Biopolymers via Photothermally Triggered Radical-Generating Nanoparticles." *Chem. Mater.* **2014**, 26, 5120–5130.
 36. Niu, J.; Dai, Y.; Yin, L.; Shang, J.; Crittenden, J. C. "Photocatalytic Reduction of Triclosan on Au-Cu₂O Nanowire Arrays as Plasmonic Photocatalysts under Visible Light Irradiation." *Phys. Chem. Chem. Phys.* **2015**, 17, 17421–17428.
 37. Xu, C.; Ravi Anusuyadevi, P.; Aymonier, C.; Luque, R.; Marre, S. "Nanostructured Materials for Photocatalysis." *Chem. Soc. Rev.* **2019**, 48, 3868–3902.



안용덕 Yongdeok Ahn

- 경북대학교 화학과, 이학사(2010.3–2016.2)
- 경북대학교 화학과, 이학석사(2016.3–2018.2, 지도교수 : 최상일)
- 대구경북과학기술원(DGIST), 박사과정(2019.3–현재, 지도교수 : 서대하)



서대하 Daeha Seo

- 부산대학교 화학교육과, 이학사(2001.3–2005.2)
- 한국과학기술원(KAIST) 화학과, 박사(2005–2010, 지도교수 : 송현준)
- 한국과학기술원(KAIST) 박사 후 연구원(2010–2011, 지도교수 : 송현준)
- UCSF 박사 후 연구원(2011–2016, 지도교수 : 전영욱)
- U.C.Berkeley, 박사 후 연구원(2011–2016, 지도교수 : Paul Alivisatos)
- 대구경북과학기술원(DGIST), 조교수(2016–2020)
- 대구경북과학기술원(DGIST), 부교수(2020–현재)

과학 교육에서 코딩을 활용한 수업의 필요성과 실태

김성기 | 한국교육과정평가원 부연구위원, mcarey2000@kice.re.kr

서론

4차 산업혁명이 강조되면서 학교에서 코딩과 관련된 교육이 주목을 받고 있다. 코딩과 관련된 교육은 최근 미국에서 시작한 컴퓨터 교육의 새로운 방향인 컴퓨팅 사고력(Computational Thinking, CT)과 밀접한 관련이 있다. 컴퓨팅 사고력(CT)이란 인간의 사고와 컴퓨터의 처리 능력을 통합한 것을 일컫는다. 따라서 인간이 단순한 사고에서 복잡한 사고로 뻗어나기 위한 수단으로 컴퓨터가 활용될 수 있으며, 이는 단순히 기존의 컴퓨터에 대한 교육에서 사고의 확장 도구로 컴퓨터를 이용한 교육으로 변화함을 보여준 것이다.

이러한 변화의 대응 전략으로 많은 나라에서 코딩을 주목하고 있으며, 그중 미국이 코딩 교육에서 가장 많은 움직임을 보이는 나라이다. 특히, 정부의 강력한 의지와 대형 ICT 기업의 지원으로 큰 성장을 보이고 있다. 최근에는 코딩에 머물지 않고, 소프트웨어와 피지컬 컴퓨팅 교육까지 확대되고 있다. 2013년 오바마 대통령이 나서서 프로그래밍 및 컴퓨팅 교육의 중요성에 대해 직접 연설하였으며, 빌 게이츠, 마크 저커버그 등 ICT의 주요 인사들이 홍보 영상을 만들어 교육 캠페인에 나서기도 하였다.

우리나라도 이러한 측면에서 정보 교육이 현재 강조되고 있으며, 2025년부터 초, 중학교의 정보 수업이 2배로 늘고 모든 과목에서 인공지능(AI)을 활용하도록 하게 되었다. 최근에 발표된 2022 개정 교육과정에서는 미래사회에 대응하는 교육을 강화하면서 기초 소양을 강조하고 있으며

기초 소양에는 언어, 수리뿐만 아니라 디지털 소양이 있다. 따라서 정보 교과 이외에도 다른 교과 교육에서 디지털 기초소양 함양 기반을 마련하고 정보교육과정과 연계한 학습의 내실화를 강조하고 있다.

또한, 교사들이 이러한 컴퓨팅 교육을 실제 수업시간에 실시할 수 있도록 정부는 막대한 예산을 투입하여 AI 융합교육대학원 과정을 신설하여, 많은 교사들이 AI 융합교육대학원 과정을 이수하도록 지원하고 있다. 하지만 현재 많은 대학에서 운영하고 있는 AI 융합교육대학원 교육과정을 살펴보면 컴퓨터 교육 그 자체에 초점을 두어 실시하고 있으며, AI 융합교육대학원 교육과정 속에 컴퓨터를 사고의 확장 도구로 활용하기 위한 전략이나 교과 수업에서 활용 방안과 관련한 내용은 상대적으로 부족해 보인다. 물론, 사고의 도구인 컴퓨터를 활용하기 위해서는 활용 도구인 컴퓨터에 대한 이해와 관련된 교육이 필수적으로 요구된다. 하지만, 이러한 필수적인 이해가 끝난 이후에는 이를 바탕으로 학생들에게 교사는 어떠한 방식으로 학생들의 사고를 발전시킬 수 있는지에 대한 고민에 초점을 두는 교육이 필요하다.

학생들에게 제공하는 코딩 교육 역시 이와 유사하다. 현재 학교 교육과정에서 코딩과 관련된 교육이 많이 이루어지고 있다. 하지만 왜 학생들이 코딩을 배워야 하는지에 대한 본질 없이 마치 모든 학생을 코딩 전문가로 양성하고자 하는 목적으로 코딩 교육이 이루어지는 모습이다. 우리가 자신의 사고를 표현하기 위해서 말하기와 쓰기 방식으로 생각을 표현하기 위해 언어를 배우고, 언어를 통해 자신의

생각을 표현한다. 하지만 복잡한 사고 과정을 표현하는 것이 기존의 말하기나 쓰기 방식으로는 한계가 있을 수 있다. 자신의 사고 과정을 통해 미래의 예측이나 현상의 설명은 기존의 말하기, 쓰기로는 어려움이 있으며, 보다 진화된 사고의 표현 도구가 필요하다. 그것이 바로 코딩이 필요한 이유이다.

4차 산업혁명의 시대, 이제 학생들에게 우리는 단편적인 지식이 아닌 고차원적 사고하는 방식을 가르쳐야 한다. 단편적인 지식은 기존의 전달 방식인 말하기나 쓰기로 충분하였으나, 이제는 그러한 방식으로 고차원적 사고를 표현하기 어렵다. 따라서 학생들에게 고차원적 사고를 길러주고, 키워주는 방식으로 컴퓨터라는 도구가 이제 필요하며 이러한 방법으로 코딩 교육이 필요하다.

본론

1. 코딩을 활용한 수업의 의미

그림 1은 미국의 만화가 루브 골드버그(Rube Goldberg, 1883~1970)의 카툰으로, 이 카툰에서 복잡한 연계 장치는 단지 자동으로 움직이는 냅킨일 뿐이다. 이 카툰은 세상을 복잡하게 살아가는 인간에 대한 풍자였다. 이렇게 생김새나 작동원리는 아주 복잡하고 거창한데 하는 일은 아주 단순한 기계를 ‘골드버그 장치(Goldberg machine)’라 부른다.

비록 만화가 골드버그는 세상을 복잡하게 살아가는 인간

의 모습을 풍자하여 이 그림을 그렸지만, 이 그림은 우리에게 다양한 의미를 시사한다. 여기서 냅킨을 움직이기 위해 사람이 직접 하는 것이 가장 단순하고 빠른 방법이지만, 이 결과에 도달하는 방법은 사람마다 다양할 수 있다는 것이다. 그래서 창의성과 관련하여 국내외에서 골드버그 관련 창작대회가 매년 개최되고 있다. 이러한 골드버그 대회는 우리 교육에 많은 시사점을 준다. 우리는 교과 교육에서 보통 어떠한 과제를 학생에게 던져주고 이에 대한 해답을 요구할 때, 일반적으로 과제 해결에 대한 단일한 답을 상정하고 있다. 그래서 학생들에게 다양한 답을 요구하기보다는 정해진 하나의 답을 학생에게 강요한다. 이러한 교과 교육의 형태는 학생들의 창의성을 키워주기보다는 오히려 생각하는 힘을 막고, 수동적인 학습자를 만든다.

또한, 동일한 답에 도달하더라도 사람마다 도달하는 과정은 마치 골드버그처럼 다양하다. 따라서 겉보기에 동일한 결과를 도출하더라도 사람들마다 그 과정은 다를 수 있다. 그림 2를 예로 들면, 스크래치를 이용하여 정사각형을 그리는 것과 관련된 코딩은 다양할 수 있다. 코딩에서 1의 경우 펜 기능을 활용하여 한 변의 길이가 100인 만큼 이동한 거리가 선으로 그려진다. 정사각형의 내각이 모두 90도임을 이용하여 다른 변을 그릴 때 90도를 회전하여 동일한 거리를 이동하도록 한다. 정사각형의 변이 4개이므로, 이러한 과정을 4번 반복하도록 코딩되어 있다. 코딩에서 2의 경우도 동일한 펜 기능을 활용하여 그림을 그리지만, 4번의 반복된 코딩을 반복하기 코딩을 활용하여 간단하게 표현한 차이가 있다. 코딩에서 3은 단순히 4각형만을 그리는 것이 아니라, 4각형을 포함하여 3각형과 5각형까지 그리는 것을 포함하고 있다. 이 코딩은 3가지 동형의 내각과 변의 개수를 이용하여 한 코딩으로 여러 도형까지 그릴 수 있다는 특징이 있다.

이처럼 코딩은 동일한 결과를 산출하지만 사람마다 다양한 다른 코딩을 할 수 있다. 우리가 볼 때 예시 3의 코딩이 가장 훌륭한 코딩이라고 할 수 있으나, 이 코딩의 목표는 사각형을 그리는 것이었다. 그렇기 때문에 3가지 예시 모두 목표를 달성한 코딩이다.

이와 같이 코딩은 결과를 도출하는데 다양한 방법이 있기 때문에 모든 코딩이 가치가 있고 의미가 있다. 이러한 점을 우리는 교육에서 학생들에게 적용할 수 있다. 학생들

Self-Operating Napkin

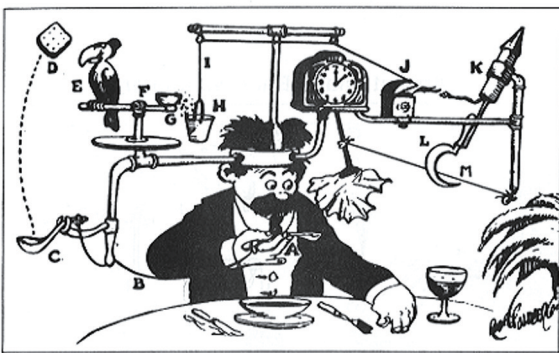


그림 1. 루브 골드버그의 카툰 [출처: Wikipedia]



그림 2. 동일한 결과물을 산출하지만 다른 코딩

은 동일한 결과를 도출하지만 저마다 다양한 방식으로 자신의 사고 과정을 표현할 수 있으며, 우리는 그러한 학생의 사고 과정을 예전에는 뚜렷하게 알 수 없었다. 다만, 이러한 과정을 글을 통하거나 학생의 설명을 통해 추리하여 학생의 사고 과정을 평가하였다. 하지만 코딩은 자신의 사고 과정을 명령어를 통해 분명하게 보여준다. 따라서 교사가 코딩을 이용한 수업을 한다면, 학생이 짠 코딩을 통해 학생이 어떠한 과정을 통해 결과를 도출하였는지 분명하게 이해할 수 있다. 이러한 학생의 사고 과정 이해는 교사의 분명한 피드백을 제공하는데 중요한 단서가 될 수 있다. 더불어, 학생이 잘못된 출력(결과물)을 산출한 경우에도 어떠한 과정에서 문제점이 있었는지를 학생이 작성한 코딩을 통해 점검할 수도 있다.

코딩은 학생이 주어진 과제를 자신의 사고방식을 통해 도출하는 과정을 창의적으로 보여줄 수 있다. 또한, 그 과정을 교사가 분명하게 점검할 수 있기 때문에 학생의 창의적인 사고에 대해 적절한 피드백을 제공할 수 있을 뿐만 아니라, 잘못된 결과물을 도출하는 학생에게는 어떠한 점에서 어려움을 갖고 있는지 이해할 수 있어 교정 피드백과 관련된 단서를 제공한다. 따라서 코딩은 학생의 사고 도구로서 교사와 명확한 의사소통을 하는데 도움을 줄 수 있다.

2. 과학 교육에서 코딩의 의미: 모델링의 도구

과학 모델이란 자연 현상을 설명하기 위해 과학자가 만든 인공적인 설명 체계를 의미한다. 과학 모델은 자연을 설명하기 위해 생산된 기존의 법칙과 이론을 포함한다. 이러한 과학 모델은 절대적인 참이란 것은 존재하지 않으며, 과학자가 임의적으로 만든 인공적인 임시적 스키마에 불과하다(NRC, 2013). 장하석(2021)은 이러한 과학 모델의 특성을 건물과 강가에 비친 건물의 상에 비유하여 설명하기도 하였다. 장하석은 우리가 살고 있는 자연은 강가에 비친 건물과 같이 흐릿한 무엇이며, 이를 과학자가 나름의 패턴을 발견하여 선명한 건물인 과학을 만들어 우리가 살고 있는 자연을 설명한다고 하였다.

이와 같이 동일한 자연을 바라보아도 과학자마다 서로 다른 과학 모델을 만들 수 있다. 그렇기 때문에 하나의 현상에서 서로 다른 다양한 과학 모델이 존재하기도 한다. 이것이 바로 과학 모델의 다양성이다. 과학 모델은 표상의 대상물을 그대로 나타낸 것이 아니라 대상물에 대한 인지적 과정인 해석을 거친 것으로 과학자들이 만들어낸 설명 체계의 일부이며, 이러한 모델을 이용하여 현상을 예측하기 위한 도구로 활용하기도 한다.

무질서한 자연에서 과학자가 자기 나름의 모델을 생성할

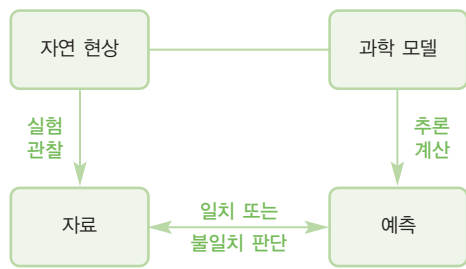


그림 3. Giere 등(2006)의 과학 모델

때, 우리는 이때 생성된 모델을 전부를 의미 있는 모델이라고 하지 않는다. 과학자가 만든 모델을 판단하고, 이 모델이 과학적으로 의미가 있는지를 판단하는 활동을 거쳐 과학 모델이 비로소 만들어진다. 이러한 과정을 모델링이라고 하며, 모델을 만드는 주체인 과학자를 모델러라고 지칭한다. 과학자가 만든 모델을 검증하는 과정은 학자들마다 다양한 방식이 주장되고 있으나, 여기서는 Giere가 주장한 방식을 소개하고자 한다. Giere 등(2006)은 그림 3과 같은 활동을 통해 모델의 적합성을 평가한다고 하였다.

과학자는 자신이 만든 과학 모델을 이용하여 추론 및 계산 활동을 통해 어떠한 현상을 예측한다. 이 예측은 자연을 대상으로 실험 및 관찰을 통해 얻어진 자료를 통해 일치 여부를 판단한다. 이 일치 여부에 따라 모델이 적합한지 또는 적합하지 않은지를 판단한다. 이러한 일련의 활동이 비단 과학자가 만든 모델의 적합성 검토에만 국한되는 것이 아니며, 학교 교실 현장에서도 활용될 수 있다. 학생들은 자연 현상을 통해 자신만의 모델을 만들고, 그 모델을 이용하여 새로운 현상을 예측하면서 실험을 통해 자신의 모델을 평가하도록 할 수 있다. 우리는 교실에서 과학자가 만든 모델만을 단순히 학습하게 하기보다는 주체적으로 학생들이 새로운 모델을 만들고 검증하게 하면서 과학을 학습하도록 해야 한다. 이러한 측면에서 2015 개정 교육과정에서부터 학생들의 능동적인 탐구의 도구로 모델링이 강조되고 있다. 이러한 모델링의 도구로 코딩이 활용될 수 있다. 모델링을 할 때, 가장 핵심은 자연 현상을 통해 일정한 규칙을 발견하고, 실제 발견한 규칙이 적절한 지를 예측과 실험 결과를 통해 확인한 것이다. 미시세계를 다루는 화학의 경우, 눈에 보이지 않는 미시세계의 규칙을 가시적으로 코딩을

통해 보여줄 수 있다. 더불어, 화학은 여러 입자들의 동시다발적인 정반응과 역반응의 결과로 발견되기 때문에 이러한 규칙을 발견하였다 하더라도 발견한 규칙을 통해 예측하기 위해서는 여러 입자들의 동시다발적인 반응을 고려해야 한다. 하지만, 이러한 동시다발적인 반응의 고려는 쉽지 않다. 코딩을 통해 입자들의 반응에 대한 알고리즘을 입력하면, 그 결과를 동시다발적이고 가시적으로 볼 수 있다는 장점이 있다. 따라서 학생들의 모델링 도구로 화학 영역에서 코딩은 특히 그 가치가 있다.

3. 실태 분석

가. 조사 대상

화학 교사들의 코딩 관련 수업의 실태를 알아보기 위해 충청남도 공주대학교에서 2022년에 화학 1급 정교사 자격연수를 수강한 45명의 화학 교사를 대상으로 설문조사를 실시하였다. 1급 정교사 자격연수에 참여한 교사를 대상으로 하였기 때문에 교직경력이 대부분 7년 이하였으며, 8년 이상의 교직 경력인 화학 교사는 3명이었다.

나. 실태 분석 결과

코딩을 활용한 수업에 대한 인식을 자유 응답으로 작성한 내용을 키워드로 분석한 것은 그림 4와 같다. 가장 많이 출현한 키워드는 활용 방안과 학생 흥미였다. 화학 교사들은 코딩을 활용한 수업에 대해 구체적인 활용 방안에 대한 고민을 갖고 있었으며, 코딩을 화학 수업에 활용한다면 학생들의 흥미가 기존의 교육 형태에 비해 높아질 것으로 기대하였다. 두 번째로 출현 빈도가 높은 키워드는 두려움과 연수였다. 상당수 많은 화학 교사들은 코딩을 활용한 수업에 대해 두려움을 갖고 있었다. 이러한 두려움은 코딩 자체에 대한 두려움이 가장 컸으며, 이러한 두려움을 해소하고자 관련한 연수가 필요함을 언급하였다. 이외에도 다양한 수업 전략으로써 또는 실험 수업을 대체할 수 있는 탐구 도구으로써 코딩의 가치를 언급하기도 하였다. 또는, 코딩을 활용한 수업을 하다보면 화학과 관련된 내용 학습보다는 코딩에 초점을 둘 수 있어 주객이 전도되는 수업으로 전략될 수 있다는 우려도 있었으며, 코딩을 활용한 수업은 언젠가는 선택이 아닌 필수로 도입될 수 있기 때문에 항상 과제와



그림 4. 코딩을 활용한 수업에 대한 화학 교사의 인식

같은 것으로 인식하기도 하였다.

구체적으로 화학 교사들의 코딩 관련 교육 경험과 실행 수준을 알아본 결과는 표 1과 같다. 코딩 관련한 교육의 경험은 예비 교사와 현직 교사로 나누어 알아보았다. 예비 교사 기간 중 코딩 관련 교육을 받은 경험이 있는 교사는 1명 (2.2%)에 불과하였으며, 현직 교사가 되어 연수를 통해 코딩 관련 교육을 경험한 교사는 14명 (31.1%)이었다. 설문에 참여한 교사들이 1급 정교사 자격연수에 참여한 화학 교사

표 1. 코딩 관련 교육 경험과 실행 수준 결과

구분		빈도(%)
예비 교사 기간 중 코딩 관련 교육 경험	있다	1(2.2)
	없다	44(97.8)
현직 교사 중 코딩 관련 연수 경험	있다	14(31.1)
	없다	31(68.9)
실행 수준	비활용	23(51.1)
	오리엔테이션	19(42.2)
	준비	1(2.2)
	기계적 실행	1(2.2)
	일상화 실행	0(0)
	정교화 실행	1(2.2)
	통합화 실행	0(0)
	갱신	0(0)

인 점을 참고할 때, 대부분이 대학교를 졸업한 지 그리 오래되지 않았으나 교원양성기관에서 이와 관련한 교육을 제공하지 않는다는 것을 알 수 있다. 다만, 현직 교사가 되어 연수를 통해 관련 교육의 경험을 제공 받은 비율이 증가하였으나 이 경험의 비율도 절반이 되지 못한 점은 아직까지 교사들이 코딩을 수업 시간에 활용하기 위한 준비가 많이 되지 않음을 알 수 있다. 이는 교사들이 코딩을 활용한 수업에 두려움이 많고 이와 관련한 연수가 필요한 점을 언급한 것과 연결된 것으로 교원양성기관에서부터 관련 교육과 현직 교사 대상 연수가 보다 더 적극적으로 실시될 필요가 있다. 특히, 김성기, 김현정(2023)의 연구에서 현직 교사일 때의 연수 경험보다는 예비 교사일 때 교육 경험이 학교 현장에서 보다 유의미한 영향을 줌을 보고한 것을 참고해 볼 때, 교원양성기관에서 이와 관련한 보다 적극적인 교육 과정 편성과 운영이 요구된다. Hall, Dirksen, & George (2006)가 제안한 모형에 기반하여 화학 교사들의 코딩 관련한 수업의 실행 수준을 진단한 결과 활용하지 않는 실행 수준(비활용, 오리엔테이션, 준비)에 해당하는 교사가 43명 (95.6%)이었으며, 불과 2명의 교사만이 수업 시간에 코딩을 활용한 수업을 진행하였다. 2명의 교사가 코딩을 활용한 형태를 알아본 결과, 아두이노를 활용한 수업을 진행하면서 활용하고 있었다.

코딩 수업을 활용하는데 인식하는 장벽 요인을 알아본 결과는 표 2와 같다. 1순위는 교수자인 교사의 코딩에 대한 낮은 준비도였으며, 2순위는 학생들의 코딩에 대한 낮은 준비도였다. 3순위는 컴퓨터를 활용함에 따라 학생들이 수업에 대해 낮은 집중력을 갖지 않을지에 대한 염려였으며, 4순위는 코딩이 아니어도 수업에서 달성하고자 하는 바를 충분히 이룰 수 있다는 인식이었다. 끝으로, 5순위는 코딩

표 2. 화학 교사가 인식한 코딩 교육 활용 장벽 요인

순위	장벽 요인
1순위	교수자의 낮은 준비도
2순위	학습자의 낮은 준비도
3순위	집중력 하락
4순위	코딩이 아니어도 된다는 인식
5순위	학습 환경

을 활용한 수업을 하기 위해서 필요한 물리적 환경(개인별 태블릿pc, 인터넷 환경 등)에 대한 언급으로 아직 학교 현장이 이러한 환경이 구축되지 않은 점을 언급하였다.

결론

4차 산업 혁명이라는 키워드는 교육에 많은 변화를 요구하고 있다. 이러한 환경 변화에 따라 교육 형태가 변화하는 것은 마땅하지만, 이러한 변화 속에서도 변하지 않아야 하는 것은 바로 교육의 본질이라고 생각한다. 이 변화는 교육의 본질을 잘 발현할 수 있는 방향으로 이루어져야 한다. 그러한 측면에서 최근 정보 관련하여 쏟아지고 있는 많은 교육 정책이 그러한 방향으로 이루어지고 있는지를 점검해 볼 필요가 있다. 즉, 최근의 많은 정책이 각 교과목의 목표를 달성하기 위해서 정보 관련한 내용이 강조되고 있는지 아니면, 정보 그 자체만 강조하여 모든 학생들을 정보 전문가로 육

성하고자 하는 것은 아닌지 점검이 필요하다.

코딩은 생각의 도구로써 자신의 생각을 표현할 수 있는 또 다른 언어이다. 특히, 과학 교육에서 강조되는 모델링 관련한 교육을 실시할 때, 복잡한 여러 변수들 간의 관계의 설정과 설정된 관계에서 발현된 결과물을 보여줄 수 있는 코딩은 매우 활용 가치가 높다. 하지만, 많은 교사들이 아직 코딩을 활용한 수업을 수행하기 위한 준비도가 낮은 상태로 코딩을 활용한 수업에 어려움을 갖고 있었다. 특히, 예비 교사 때나 현직 교사 때 이와 관련한 교육을 경험하지 않은 교사에게 이러한 교육을 요구하는 것은 다소 무리가 있다. 모든 교육은 경험에 기반하기 때문에 교사도 경험하지 않는 교육을 실시하길 요구하는 것은 너무 교사 개인적 차원에서 이것을 해결하길 바라는 것은 아닌지 생각해본다. 교사들이 보다 적극적으로 코딩을 수업의 전략으로 활용할 수 있도록 교원양성기관부터 이와 관련한 교육이 제공되어야 한다. 🌀



1. 김성기, 김현정 “CBAM에 기반한 화학 교사의 역량 평가에 관한 관심도와 실행 수준 분석” 과학교육연구지 2023, in press.
2. 장하석 “물은 H₂O인가?” 김영사: 경기도 파주, 2021.
3. Giere, R. N., Bickle, J., and Mauldin, R. F. “Understanding Scientific Reasoning” Thomson–Wadsworth Publishing: Belmont CA, 2006.
4. Hall, G. E., Dirksen, D. J., and George, A. A. “Measuring implementation in schools: Levels of use” Southwest Educational Development Laboratory: Austin TX, 2006.
5. National Research Council [NRC] “The next generation science standards” National Academy Press: Washington DC, 2013.
6. Wikipedia. “Rube Goldberg machine” https://en.wikipedia.org/wiki/Rube_Goldberg_machine (accessed 2023-01-29)



김성기 Kim Sungki

- 전남대학교 과학교육학부 화학교육전공, 학사(2002.3-2009.2)
- 한국교원대학교 교육학과 교육과정전공, 석사(2012.3.-2014.2, 지도교수 : 유진은)
- 한국교원대학교 과학교육학과 화학교육전공, 박사(2014.3-2018.2, 지도교수 : 백성혜)
- 전남, 광주지역 화학교사(2009.3-2020.6)
- 한국교육과정평가원 부연구위원(2020.7-현재)

적외선 편광 발광 소재 연구실

POLARIZED INFRARED LIGHT-EMITTING MATERIALS LABORATORY



영남대학교

경상북도 경산시 대학로 280 제1과학관 124호

053) 810-2355

kimys6553@yu.ac.kr

영남대학교 기초연구실(BRL) 적외선 편광 발광 소재 연구실

유/무기 적외선 편광 발광 소재 개발을 위한 화학/물리 학제 간 소규모 집단 연구... 차세대 핵심 첨단 소재

적외선 편광 발광 소재 연구실(연구책임자: 영남대학교 화학과 김영수 교수)은 유기/나노 소재 합성을 위한 기초연구에서부터 소재의 광학 특성에 대한 이해를 통해 개발된 소재를 활용한 발광 소재 제작과 같은 응용 연구를 통해 편광 특성을 갖는 적외선 발광 소재를 개발하여 미래 지향적 혁신 첨단 소재 개발을 핵심 목표로 한다. 적외선 영역에서 발광 특성을 갖는 유기 분자 소재 합성 전략 설계와 계산화학을 통한 분자 모델링 및 HOMO(Highest Occupied Molecular Orbital)-LUMO(Lowest Unoccupied Molecular Orbital) 준위 사이의 에너지 갭 예측을 통한 유기 소재 개발에 관한 연구, 편광 특성을 갖는 카이랄성(Chirality) 분자 설계 연구, 적외선 발광 특성을 갖는 الكم점(Quantum dots, QDs) 및 페로브스카이트(Perovskite) 합성 연구, 편광 특성을 위한 카이랄(Chiral) 나노 구조체 합성 연구 및 특성 분석과 같은 소재 합성에 관한 기초적인 연구를 수행함과 동시에 개발된 소재를 이용한 광전소자 제작 및 유기 분자 및 나노 소재의 분자 정렬 연구, 광전 소자의 광 특성 연구 및 표면 분석 연구와 같은 응용 연구가 포괄적으로 진행될 예정이다.

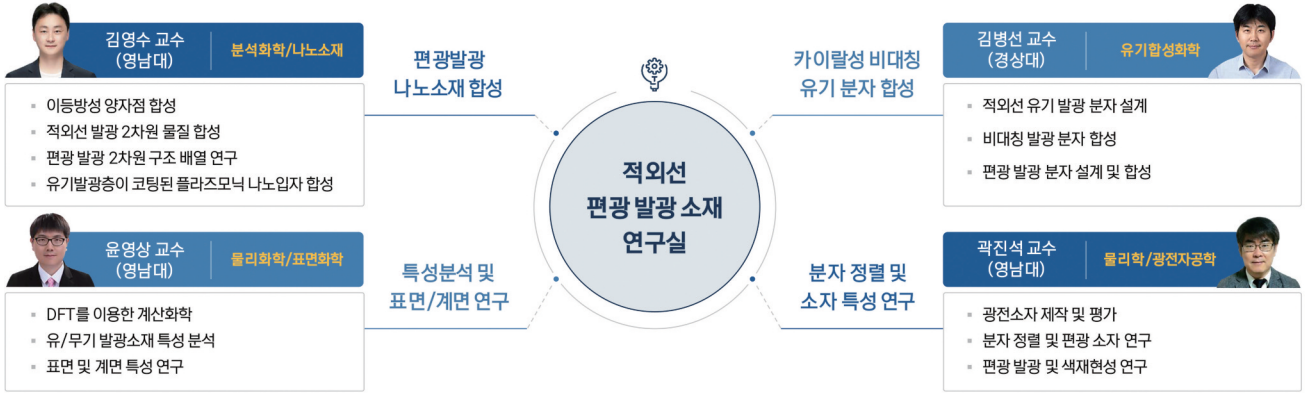


그림 1. 적외선 편광 발광 소재 연구실

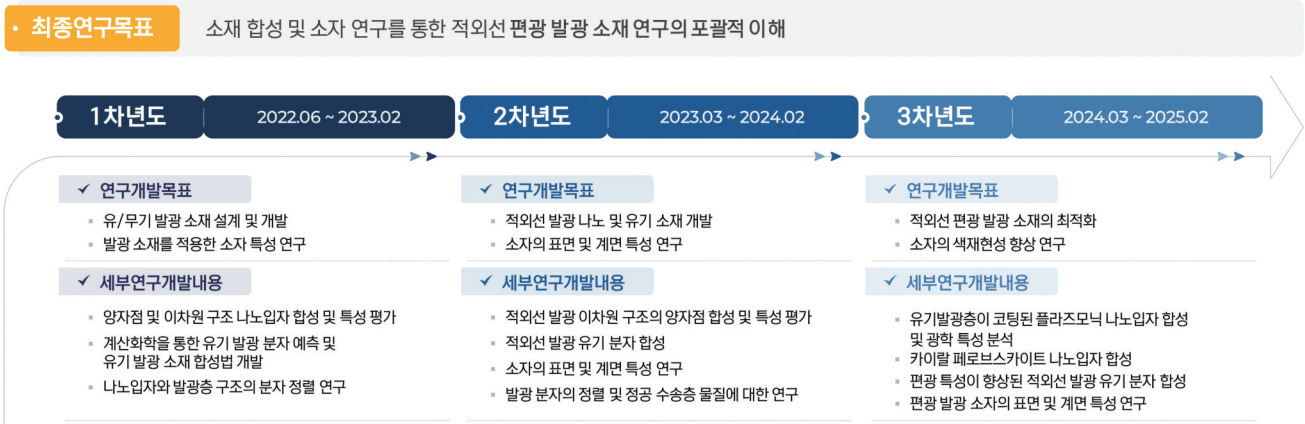


그림 2. 적외선 편광 발광 소재 연구실 연구진행체계 및 목표

초기 개발된 발광 소재는 다양한 분야에서 응용되어지고 있지만 발광 영역이 대부분 가시광선에 한정되어 있고, 편광 특성이 없어 에너지 효율이 낮고 정보 보호 기능이 없는 단점이 있다. 최근에는 가시광 발광 소재의 단점을 극복하고자 적외선 발광 소재 개발 연구가 전 세계적으로 많이 이루어지고 있지만, 소재 자체의 편광 특성이 없어 여전히 에너지 효율은 낮고, 정보 암호화에는 한계가 존재한다. 본 연구실에서는 에너지 효율이 높고, 정보 암호화 기능과 함께 정밀한 검출 및 통신이 가능한 유/무기 적외선 발광 소재를 개발하고자 한다. 유/무기 적외선 편광 발광 소재의 성공적인 개발을 위해 나노 소재 합성 및 응용에 전문 지식을 갖춘 연구책임자(김영수 교수, 화학)를 중심으로, 유기 합성 방법론 개발 및 카이랄 분자 합성 분야 전문가인 공동연구자(김병선 교수, 화학)가 적외선 편광 발광 유기 소재 개발에 참여하고, 계산화학 및 표면 분석 전문가인 공동연구자(윤영상 교수, 화학)가 분자 모델링 및 에너지 계산, 소자의 표면 분석 등을 담당할 예정이다. 또한, 개발된 유/무기 소재를 광전소자로 제작하고 소재의 광학 특성 연구를 위해 공동연구자(곽진석 교수, 물리학)가 소자 제작, 분자 정렬 및 광학 특성 평가를 진행할 예정이다. 본 기초연구실은 유/무기 소재 합성, 특

성 분석 분야를 연구할 화학 전문가와 소자 제작 및 광학 특성 평가를 연구할 물리학 전문가로 이루어져 학제 간 유기적인 융합 연구가 가능한 소규모 연구실이다.

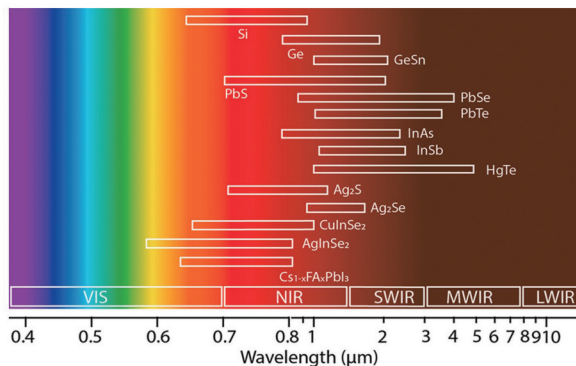
Project

1

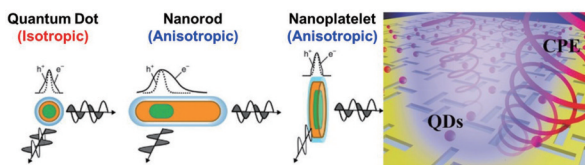
나노 소재 기반 적외선 편광 발광 소재 합성 연구

적외선 영역의 발광 파장을 갖는 편광 발광 양자점 소재를 개발하기 위해서는 다양한 화학적 조성과 리간드의 종류, 그리고 형태학적 변화도 고려해야만 한다. 일반적으로 특정 파장 영역에서 발광하는 양자점 소재는 화학 조성의 변화로 쉽게 합성할 수 있다. 하지만, 우수한 발광 특성과 동시에 편광 특성이 강조되기 위해서는 일반적인 방법으로 합성되는 구형의 양자점으로는 구현할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 우수한 발광 특성과 편광 특성을 동시에 구현할 수 있는 이방성 구조를 갖는 양자점 합성 연구를 진행할 예정이다. 이등방성 구조의 양자점 합성을 위해 반응 온도와 전구체의 농도 및 양자점 주위의 리간드의 종류와 농도 등의 실험 변수를 조절하여 다양한 화학 조성을 갖는 이등방성 양자점(Wires, Rods, Plate, 등)을 구현하고자 한다. 양자점 연구와 더불어 발광 페로브스카이트 양자점 물질 합성 연구도 병행될 것이다. 금속 할라이드 페로브스카이트 양자점은 높은 광발광 양자효율, 높은 색 순도 및 넓은 영역의 색 재현성과 같은 전기 광학 특성이 우수하여 발광 소재로서 각광을 받고 있는 물질이다. 페로브스카이트 양자점의 궁극적인 목표인 광학소자 또는 디스플레이 응용을 위해 금속 이온 도핑, 표면 개질, 또는 소자 제작 시 계면 특성 등을 변화시켜 더 높은 효율의 발광 소재를 개발하려는 노력은 꾸준히 수행되고 있다. 본 연구팀은 다양한 파장에서 발광 특성이 뛰어난 페로브스카이트 양자점을 개발하고자 한다. 발광 특성이 우수한 페로브스카이트

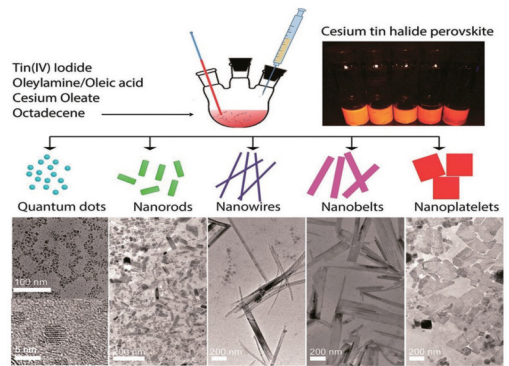
(a) 양자점 화학 조성에 따른 적외선 발광 특성



(b) 양자점 구조에 따른 편광 발광 특성



(c) 이등방성 나노 구조체 합성 전략



(d) 카이랄 도펀트를 활용한 페로브스카이드 편광 발광

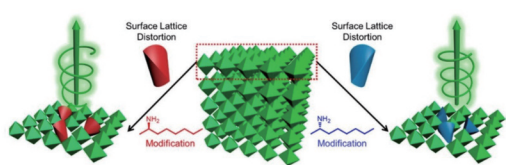


그림 3. 나노 소재 기반 적외선 편광 발광 소재 합성 전략

양자점 개발이 성공하더라도 고펠광 특성과 각 발광 파장에서 편광도를 일정하게 유지하는 것은 매우 어렵다. 이를 해결하기 위해 나노와이어 또는 나노시트 형태의 페로브스카이트 양자점 합성을 시도할 것이고, 이와 더불어 도핑 또는 할로겐 처리와 같은 화학적 처리 방법을 동원하여 편광 특성을 갖는 페로브스카이트 양자점 개발이 가능할 것이다. 또한 발광층 물질에 페로브스카이트 박막을 형성하여 효율향상과 색재현성 향상뿐 아니라 발광 파장까지 조절할 수 있는 적외선 발광 소재 개발도 가능할 것으로 기대한다. 페로브스카이트 양자점 합성과 더불어 광학 특성 파악에 대한 연구도 함께 진행될 것이다.

Project

2

적외선 편광 발광 유기 소재 합성법 개발 및 분자 모델링 연구

카이랄성을 갖는 분자계는 광전자 기기 분야에서 뛰어난 기능성 물질로 잘 알려져 있다. 카이랄 분자계의 비대칭성은 비선형 광학 효과를 나타내어, 분자들의 정렬에 따라 전자원편광 또는 원편광 발광과 같은 광학적 특징을 갖는다. 이방성 유기발광 분자를 이용해서 편광된 빛을 발광하는 연구는 원형 이색성, 카이랄 발광체, 비틀린 발광층 구조로 나뉜다. 카이랄성은 단일 분자의 비대칭성뿐만 아니라, 거대분자의 구조와 분자간의 상호작용에 의해서 결정된다. 카이랄성 분자계를 공액 유기 분자에 도입하는 대표적인 방법으로는 수직 방향(Axial) 또는 나선형(Helical) 형태를 가지는 분자형태로 합성하는 것과 공액 유기 분자의 골격에 카이랄성을 띄는 분자를 추가하는 방법 등이 알려져 있다. 최근에는 카이랄 도판트를 첨가해서 이방성을 갖는 효율적인 공액 유기발광 분자계를 만드는 연구가 편광 유기발광다이오드(Organic Light Emitting Diodes, OLED)를 구현하는 분야에서 주목받고 있다. 본 기초연구실에서는 기존에 알려진 카이랄 도판트의 성능을 개선하여 광학 효율의 향상과 소자의 구동 수명을 증가시키고 동시에 새로운 카이랄 분자 및 합성법을 개발하고자 한다. 또한, 적외선 발광 유기소재를 개발하기 위해서는 적외선 영역에서 발광할 수 있는 유기 분자들을 설계하고 합성하는 것이 필수적이다. 일반적으로 적외선 발광 유기 소재를 개발하기 위해서는 HOMO-LUMO 준위의

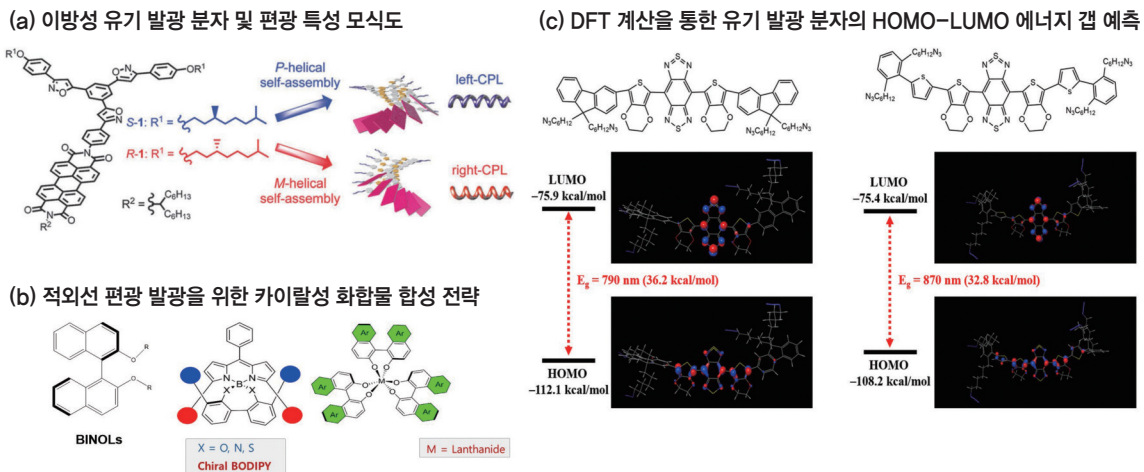


그림 4. 적외선 편광 발광 유기 소재 합성 전략 및 DFT 기법 이용한 계산화학적 접근법

에너지 차이를 줄여야 한다. 따라서, 분자 설계를 통해 π -공주게이션(π -conjugation)을 증가시키거나 분자 내 강한 전자 주개(Donor)-받개(Acceptor) 쌍을 도입하면 HOMO-LUMO 준위 사이의 에너지 차이를 줄일 수 있다. 분자 설계 단계 또는 합성된 발광 유기 분자들에 대해서 범 밀도 함수(Density Functional Theory, DFT) 계산 기법을 적용하여 적외선 영역에서 발광 가능성 있는 다양한 유기 분자들의 HOMO-LUMO 준위에 대한 에너지 차이를 계산할 것이다. 실험적으로 얻은 HOMO 및 LUMO의 에너지 차이와 DFT 계산에 의해 얻어진 에너지 차이를 상호 비교함으로써, 보다 적합한 적외선 발광 유기 분자를 디자인할 수 있도록 피드백을 활성화하여 이론과 실험적 실증 과정을 통해 적외선 편광 발광 유기 소재 개발 연구를 진행할 것이다.

Project 3 편광 발생 유기발광소자를 위한 표면 배향연구

일반적으로 이방성 유기발광 분자들의 전이 모멘트(Transition moment)가 일렬로 정렬할 때 편광된 빛이 생성된다. 이러한 분자들의 정렬 정도는 계면 물질의 정렬에 의해 적층(Epitaxial) 정렬하는 효과가 지배적이고, 유기 분자 자체의 자기 조립(Self-assembly) 효과에 의해서도 일축 정렬이 유도된다. 그러므로 분자 정렬효과는 표면의 형태, 처리 상태, 유기분자의 이방적 구조, 분자 간 상호작용에 따라 좌우된다 할 수 있다. 본 연구팀은 정공수송층(Hole Transport Layer, HTL)으로 사용된 나노시트 2차원 물질의 표면처리 통하여 발광층 분자들의 일축 정렬을 실현시켜왔다. 현재 연구팀에 의해 연구된 가시광 발광 유기발광소자에서 편광도는 아래 그림에서 보듯이 150:1 이상을 달성했지만 실제 광소자에 적용하기 위해서는 더 높은 편광도가 요구된다. 높은 편광도를 얻기 위해서는 발광층 물질의 일축 정렬도 즉, 질서도가 매우 높아야 하는데 이를 위해서는 정공수송층과의 상호작용이 강해야 한다. 따라서 발광층과 높은 상호작용을 갖는 정공수송층 물

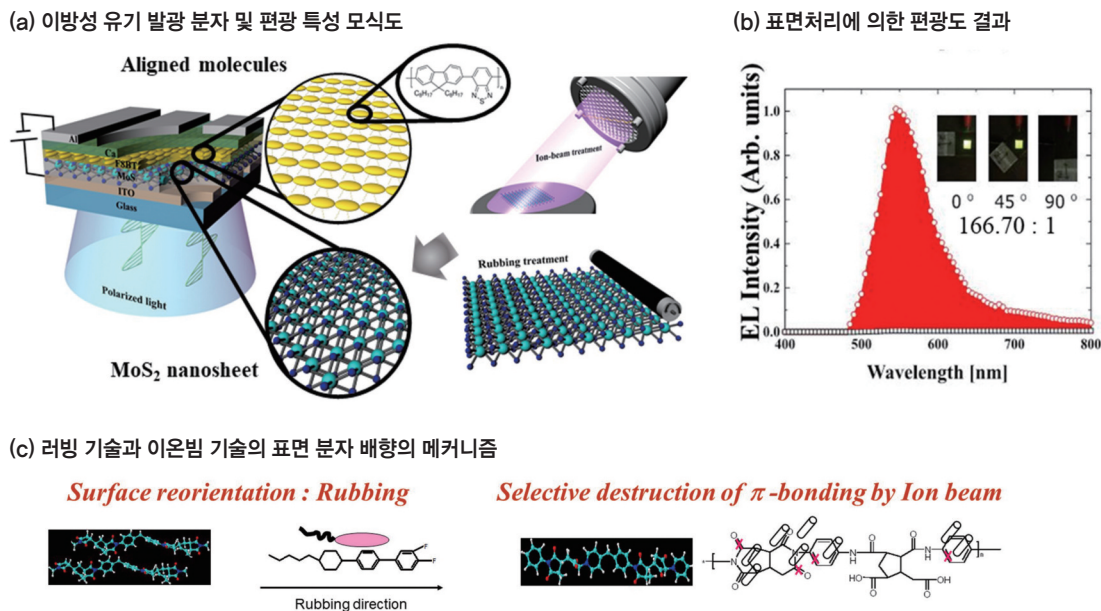


그림 5. 나노 소재 기반 적외선 편광 발광 소재 합성 전략

질의 표면처리 및 분석에 대한 연구가 깊이 있게 진행되고 있고, 표면처리 방법으로는 러빙법과 고직진성을 가지는 이온빔, 전자빔, 편광광원이 사용되고 있다.

러빙법과 이온빔 배향법을 동시에 사용했을 때 편광도가 증가되는데, 이는 [그림 5]에서 보여지는 것처럼 두 방법의 메커니즘이 다르기 때문이다. 러빙법의 경우 천으로 정공수송층을 문질러주면 러빙 방향으로 정공수송층의 표면 분자들을 정렬시켜주어 위에 올라가는 발광층의 분자들을 러빙 방향으로 배향시켜주는 방식이라면, 직진성이 높은 이온빔이 정공수송층에 조사될 경우 이온빔 조사 방향에 수직인 π -결합들은 파괴되고 평행한 π -결합들은 살아남게 되는데 이 살아 남아있는 π -결합들이 발광층 분자의 배향에 기여하게 되는 방식으로, 이 상호보완적인 배향 메커니즘이 배향성에 시너지효과를 발생시켜 표면배향력을 상승시키게 되고 결론적으로 발광층의 편광도를 증가시키게 되는 것이다. 적외선 영역의 발광물질의 편광도를 향상시키기 위한 하나의 연구로서 러빙기술과 이온빔기술을 포함하는 정공수송층 분자들의 표면 동시 처리 기술에 의한 발광층의 배향성 향상에 대한 연구가 또한 진행되고 있다.

About



영남대학교 기초연구실 (BRL)
적외선 편광 발광 소재 연구실

연구팀을 이끌고 있는 영남대학교 화학과 김영수 교수는 고려대학교에서 염료감응형 태양전지 전극의 표면 처리 및 나노 입자를 이용한 염료 흡착량 향상에 대한 주제로 박사학위를 취득하였다. 이후, 삼성전자 LCD 사업부와 삼성 SDI에서 실리콘 태양전지 관련 연구 개발을 수행하였고, University of Illinois at Urbana-Champaign에서 박사 후 연구원으로 근무하였다. 이후, 기초과학연구원 나노의학연구단에서 선임연구원으로 근무하다가 2018년 영남대학교 화학과에 부임하여 독자적인 연구활동을 시작하였다. 나노입자 합성 및 빛과 물질의 상호작용을 이용한 전자전달 현상 및 이를 통한 다양한 화학 반응 연구를 수행 중에 있다. 현재는 기초연구실과제인 “적외선 편광 발광 연구실” 연구책임자로 연구사업을 수행 중이다.

현재 연구팀은 연구책임자 김영수 교수를 포함하여 공동연구자로 객진석 교수(영남대학교 물리학과), 윤영상 교수(영남대학교 화학과), 김병선 교수(경상국립대학교 화학교육과) 및 박사 후 연구원 1명, 박사과정 2명, 석사과정 11명, 학부과정 7명 등 총 25명이 연구에 참여하고 있다.



가천대학교 (핵심연구지원센터) 바이오나노융합소재 연구센터

“바이오 및 나노 융합 소재 기술 분야의
선도 공동연구 플랫폼을 향하여”

📍 경기도 성남시 수정구 성남대로 1342 가천바이오나노연구원 103호 | ☎ 031) 750-8565/8720 | ✉ bionanocore@gachon.ac.kr/sanghan@gachon.ac.kr

가천대학교 바이오나노융합소재 연구센터(센터장: 한상윤 교수)는 교육부 기초과학역량강화사업의 일환인 핵심연구지원센터 조성지원 과제를 기반으로 바이오나노융합소재의 연구 개발을 지원하고 이 분야의 공동연구 플랫폼을 제공하는 것을 목표로 구축하고 있다. 센터는, 바이오나노융합소재 연구에 요구되는 특화된 연구 장비를 구축하고, 이를 활용한 특성화된 연구 기술을 개발, 고도화하고 있으며, 구축된 연구 장비 및 기술의 공동활용을 통해 대학, 연구소 및 중소 벤처 기업 연구진의 연구 개발 활동을 지원하고 있다. 더불어, 다양한 교육 프로그램의 제공 및 연구교류회 등의 산학연 네트워크 활성화를 위한 활동을 통해 바이오나노융합연구 분야의 새로운 연구 기회를 창출하고, 융합형 연구 인재를 육성하기 위해 노력하고 있다. 이러한 센터의 조성 활동 및 연구 기술의 고도화를 통해, 바이오 및 나노 융합 소재 기술 분야의 학술적 산업적 성과 창출을 선도하는 공동연구 플랫폼으로 자리잡고자 한다.

Project

1

센터 특성화의 방향

나노 의학, 약물 전달체, 나노 기술을 이용한 고감도 바이오 센싱 등 다양한 분야에서 바이오나노융합 기술의 확보를 통해 질병의 조기 진단 및 극복 등, 보다 건강하고 쾌적한 삶을 구현하고 신산업을 창출하고자 하는 연구

개발 노력이 지속적으로 진행되고 있다(제3기 국가나노기술지도(2018~2027)). 이러한 연구 개발은 대학 및 연구소 뿐 아니라 많은 중소 벤처 기업에서도 적극적으로 진행되고 있지만, 융합 소재의 특성상 차별화된 연구 개발을 위해서는 다양한 고가 연구 장비 및 특화된 분석 기술이 필요하지만 개별 연구진에게는 이에 대한 접근성이 매우 제한적이라는 어려움이 있는 것이 사실이다. 이러한 문제를 극복하기 위하여, 가천대학교 바이오나노융합소재 연구센터는 융합소재 연구 개발을 지원하고 나아가 공동연구개발 활성화를 통해 새로운 연구 성과를 창출하는 것을 가능하게 하는 연구 플랫폼을 구축, 제공하는 것을 목표로 활동하고 있다. 이를 위해 센터에서는 다양한 바이오 및 나노 소재의 특성 분석 시스템을 체계화하고, 이를 구현하기 위하여 연구 장비를 구조분석, 광학 측정, 소재특성 분야로 특성화하여 집적 및 구축하고 있다. 더불어, 연구장비의 구축 뿐 아니라 장비를 활용한 연구 기술의 고도화 및 장비 기술간의 융복합화가 동시에 추진되고 있으며, 집적된 장비 및 기술의 공동활용 제공을 통해 이 분야의 연구 개발 활성화에 기여할 수 있는 방향으로 센터의 구축이 진행 중이다.

Project

2

가천대학교 바이오나노융합소재 연구센터

가천대학교는 2007년 가천바이오나노연구원의 설립을 시작으로 바이오나노융합연구를 대학 연구 특성화의 핵심 분야의 하나로 삼아 지속적인 지원을 아끼지 않고 있다. 이를 기반으로, 화학과, 바이오나노학과, 식품생명공학과의 3개 학과 연구진이 대학으로부터 가천바이오나노연구원 건물내 338m²의 센터 전용 공간을 확보하여 연구에 적합한 환경으로 개선하고, 흩어져 있던 교내 장비를 센터 전용 공간에 집적하여 본격적인 활동을 개



그림 1. 가천대학교 바이오나노융합소재 연구센터 조직

시하였다(2020년 12월 바이오나노융합소재 핵심연구지원센터 개소). 센터에는 나노 및 바이오 소재에 대한 분석 전문가, 바이오 소재 및 센싱 전문가, 그리고 나노 물질 및 소재 전문가가 공동연구진으로 참여하여 다양한 바이오나노융합소재에 대한 연구 기술의 고도화, 그리고 이를 활용한 공동연구 활동에 참여하고 있다. 센터에는 박사급(맹기호 박사, 전자현미경 전공) 및 석사급 연구원(송유대 석사, 나노소재 전공; 심예은 석사, 바이오고분자 전공)의 풍부한 연구 경험과 높은 연구 역량을 가진 연구자들이 전담운영인력으로 참여하고 있으며, 장비의 운영 및 활용 기술의 고도화 연구 개발을 진행하고 있다. 또한, 센터는 외부 전문가들로 기술 컨설팅 그룹을 조직하여, 장비의 운영 및 성능 향상, 장비 활용 기술의 고도화에 대한 직접적인 조언을 받으며 연구 시설의 구축 및 구축된 기술의 활용을 진행하고 있다[그림 1].

Project

3

센터의 연구 장비 및 시설 구축

지난 3년간의 센터의 조성 단계를 거치며, 센터는 3개 기술 분야, 주장비 18점(43억 원) 및 장비 기술 구축을 완료하였으며, 이를 기반으로 개소 초기에 목표한 센터의 기본적인 장비 포트폴리오를 완성하였다. 센터의 장비 기술 포트폴리오는, 나노 물질의 미세 구조 분석을 위한 장비로써, 전자현미경인 300kV HR-TEM(FEI, TECNAI G2 F30), FE-SEM(JEOL, JSM-7500F), 나노 물질의 물리 화학적 특성을 연구하기 위한 장비로써, BET(Micromeritics, ASAP2020), NTA(ParticleMetrix, PMX 120), DLS(Brookhaven Inc., ZetaPALS), TGA(Perkin Elmer, TGA8000), 나노 물질의 광학적 특성 연구 및 세포 및 조직내에서의 거동을 연구하기 위한 장비로써, 공촉점 현미경(Perkin Elmer, TGA8000), 형광현미경(Nikon, Eclipse 80i), 라만 현미경 등을 포함하고 있다. 또한 복잡한 바이오 물질의 분석을 위하여, 다핵종 분석이 가능한 500MHz NMR(JEOL, ECZ-500R), 고분해능 UHPLC-오비트랩 질량분석 시스템(Thermo Fisher Scientific, Orbitrap Exploris 120 System), UHPLC-UV-MS(APCI) 시스템(Thermo Fisher Scientific, Ultimate 3000), GC-MS/FID 시스템(Shimadzu, GCMS QP2020)을 보유하고 있으며, 무기 물질의 분석을 위한 ICP-OES (Perkin Elmer, Avio 550) 구축도 완료하였다. 이러한 주요 장비 이외에도 연구 활동을 지원하고자 범용 장비로서 UV-VIS 분광기, FT-IR 분광기, 마이크로플레이트 리더 등도 보유하여, 원활한 공동 활용의 기회를 제공하고 있다. 이 장비들은 단독 활용 뿐 아니라, 이종의 연구장비의 융복합화를 통해 새롭고 혁신적인 연구 기회를 제공할 수 있으리라 기대한다. 아울러, 센터는 구축 장비의 성능 향상을 통해 고도화된 연구 기회를 제공하려는 노력도 지속적으로 진행하고 있다. 예를 들어, 현재 고분해능 UHPLC-오비트랩 질량분석 시스템에 2차원 LC 기술을 도입하여 복잡계인 바이오 시료에서 1차원 LC로는 밝혀 내기 어려운 바이오 물질을 2차원 기술을 통해 고감도로 검출할 수 있는 기술 도입이 진행 중이며, 기존 액체상의 시료만 분석 가능했던 500MHz NMR에 고체 시료 측정이 가능한 프로브 기술을 도입함으로써 바이오나노입자 뿐 아니라 단백질 구조 등의 생물리화학적 연구에서 배터리 내부에서의 이온 거동 등 첨단 소재 연구까지 가능하게 함으로써 센터가 제공하는 고도화된 연구 기회의 폭을 확장해 나아가는 노력도 지속적으로 진행하고 있다[그림 2].

센터는 단순히 연구 장비 및 분석 기술의 공동 활용 기회를 제공하는 활동 뿐 아니라 센터 내부에서의 연구 활동을 진작하려는 노력도 활발히 진행 중이다. 예를 들어, 센터 전용 공간 내에 91m²의 실험준비실과 원심농축기 및 현미경 등 다양한 부대 장치들을 갖추고, 이곳에서 시료 전처리 등의 사전 연구 활동이 가능하도록

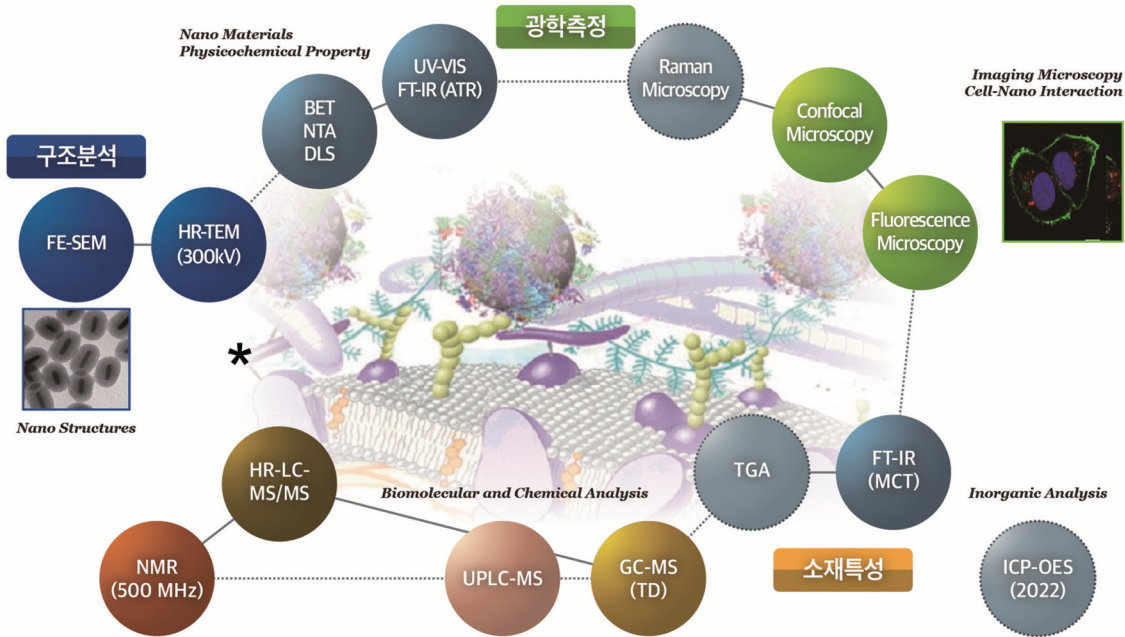


그림 2. 센터의 연구장비 포트폴리오

[*Adapted with permission from J. Am. Chem. Soc. 2010, 132, 16, 5761–5768. Copyright 2010 American Chemical Society]

연구 환경을 제공하고 있다.

Project 4 센터의 교육 프로그램 및 활동

센터는 실질적인 장비의 활용을 하는 연구자 지원을 위하여 연구 기술에 대한 교육 프로그램을 마련하여 왔다. 연 2회 외부 전문가들을 초빙한 ‘일반 장비교육 심포지엄’ 공개 강좌를 제공함으로써 일반 연구자들에 대한 센터 집적 장비에 대한 이해를 돕고 센터 활용의 홍보를 추진해오고 있다(현재 총 4회 214명 수강). 더불어 장비를 직접 사용할 연구자들을 위해 3~5명 내외의 소규모 그룹을 대상으로 장비 사용을 교육하는 ‘전문 장비교육 프로그램’을 제공하고 있으며, 이를 통해 현재 13개 장비에 대해 총26회의 교육을 실시하였으며 약 140명의 교육 수료자를 배출하였다. 이러한 프로그램은 장비 활용 연구자를 위한 센터의 서비스이기도 하지만 센터의 실질적인 활성화를 위해 수행하고 있으며, 이는 교외 연구진에도 공개되며 센터의 홈페이지를 통해 일정을 확인하고 참가를 신청할 수 있다.

센터는 공동연구 활성화에도 많은 노력을 기울이고 있다. 현재 센터에서는 공동연구원들을 중심으로 약물전달체, 표적지향적 나노치료제, 고감도 검지 등의 다양한 바이오나노융합 분야의 공동 연구가 활발히 진행되고 있다. 더불어, 외부연구진과의 연구 교류 및 공동 연구 활성화를 추진하는 ‘바이오나노 연구교류회’ 및 권역내 중소

1 일반 장비교육 심포지엄



1 전문 장비교육 프로그램



1 산학협력 워크샵



1 센터간 협력활동(MOU)

그림 3. 센터의 프로그램 및 활동

벤처기업의 기술 개발 지원 및 공동 개발 주제 발굴을 위한 '산학협력 워크숍'도 활발히 진행되고 있다[그림 3]. 센터의 활성화를 위한 홍보 노력으로 신문 지면(동아일보)과 학회 구두 발표(대한화학회, 한국분석과학회)를 통하여 센터 소개를 진행하였으며, 센터 브로셔를 이용한 맞춤형 이메일 홍보를 해오고 있다. 이러한 센터 활성화 노력의 결과로, 센터 개소 후 지난 2년 간 50개 기업, 13개 연구소, 25개 대학의 교외 연구진이 본 센터를 활용하여 연구 개발을 수행하였으며, 42편의 본 센터의 장비 활용을 사사한 논문이 출판되었다. 이를 통해 센터의 활동이 학술적 산업적 성과 확산에 기여하고 있다.

Project

5

센터의 장단기 발전 계획과 전망

2020년 12월 개소 이래, 본 센터는 교내 흩어져 있던 바이오나노융합소재에 적용 가능한 연구 장비들을 체계적으로 집적하여 성능 향상을 통한 활용도 제고 및 연구 기술 고도화를 추진해오고 있으며, 정부 및 대학의 전폭적인 재정 지원을 받아 높은 수준의 연구 환경 구축을 위한 최신 연구 장비를 지속적으로 도입해오고 있다. 더불어 센터의 홍보와 다양한 프로그램의 제공을 통해 교내외 산학연 협력 네트워크를 마련함으로써 바이오나노융합 연구 분야의 높은 수준의 공동연구 활성화 플랫폼으로 자리잡기 위한 노력을 지속적으로 추진해오고 있다. 본 센터는 단순한 공동활용 서비스 기능을 넘어, 선도 연구 기관으로 성장하기 위한 장기적인 비전과 계획을 가지고 활동을 추진 중이다. 지난 기간 센터의 조성 및 정착 단계를 넘어, 연구 장비와 기술의 고도화 및 차별화, 활발한 연구 교류 및 산학협력 활동의 전개, 그리고 우수한 연구 인력의 육성을 통해 '융합연구 허브로서의 선도 연구 센터의 구축'을 목표로 끊임없이 노력을 경주할 예정이다. 향후 본 센터를 기반으로 이루어질 다양한 학문적 산업적 연구 활동에 대한화학회 회원들의 많은 관심과 참여를 기대한다.

About



가천대학교(핵심연구지원센터)
바이오나노융합소재 연구센터



한상운 연구책임자
가천대학교 바이오나노대학
화학과 교수
sanghan@gachon.ac.kr

가천대학교 "바이오나노융합소재 연구센터"의 센터장인 화학과 한상운 교수는 서울대학교 화학교육과를 졸업하고, 서울대학교 화학과에서 음이온 광전자 분광학으로 이학박사 학위를 취득하였다(2000). 이후 미국 JILA 연구소(University of Colorado at Boulder)에서 실시간 이온 반응동역학의 박사 후 연구를 수행하였으며(2000~2002), 한국표준과학연구원 나노바이오융합 연구센터에서 질량분석을 이용한 나노바이오융합연구를 수행하였다(2003~2013). 2013년 현재의 가천대학교 바이오나노대학 화학과로 자리를 옮겨 생체 환경에서 나노입자 및 약물전달체에 자발적으로 생성되는 지질 및 대사체 코로나 및 이의 생화학적 영향에 대해 연구하고 있다. 본 센터는 소속대학 참여연구진과 함께, 바이오나노융합 분야의 연구 개발을 수행하는 대학 및 중소 벤처 기업 연구진이 함께 느끼고 있는 접근가능한 연구 장비 및 환경의 구축, 기술 교류를 위한 네트워크에 대한 필요성을 공감하여 그 구축을 추진하고 있다. 본 센터는 특화된 연구 기술을 구축하고 공동연구를 활성화하고자 하며, 이를 기반으로 새로운 연구 기회를 공유하는 것을 목표로 하고 있다. 이에 본 센터 연구 개발 활동에 많은 관심과 참여를 기대한다.



김명중 교수 화학과 / myungjongkim@gachon.ac.kr

- 약력**
- Rice University / 이학박사
 - University of Pennsylvania / 박사후 연구원
- 분야**
- 탄소 및 보론 나이트라이드 나노소재 합성 및 물성
 - 나노 소재의 전기화학 및 전자소자
- 논문**
- Nano Lett, 22, 268 (2022)
 - Carbon, 182, 791 (2021)
 - Adv. Funct. Mater., 29, 1905511 (2019)

김문일 교수 바이오나노학과 / moonil@gachon.ac.kr

- 약력**
- KAIST / 공학박사
 - Rensselaer Polytechnic Institute / 박사후 연구원
 - KAIST / 연구조교수
- 분야**
- 나노자임
 - 유-무기 복합 나노구조체
 - 바이오나노기술 기반 약물전달체 및 항균기술
- 논문**
- Adv. Funct. Mater., 32, 2112428 (2022)
 - Biosens. Bioelectron, 182, 113187 (2021)
 - Adv. Funct. Mater., 30, 1905410 (2020)

박정화 교수 바이오나노학과 / pa90201@gachon.ac.kr

- 약력**
- Georgia Institute of Technology / 공학박사
 - Georgia Institute of Technology / 박사후 연구원
 - LG 화학 연구원
- 분야**
- 고분자 기반 약물전달
 - 마이크로니들
 - 경피 약물 전달
- 논문**
- J. Control. Release, 351, 1003-1016 (2022)
 - Pharm. Res, 39, 989-999, (2022)
 - Front. Bioeng Biotechnol, Feb. 1-14, (2022)

서순민 교수 바이오나노학과 / soomseo@gachon.ac.kr

- 약력**
- 서울대학교 / 공학박사
 - 서울대학교 / 박사후 연구원
- 분야**
- 액체금속의 미세가공
 - 마찰전기발전자 에너지 하베스팅
- 논문**
- Adv. Funct. Mater., 30 (35), 2003694 (2020)
 - Adv. Funct. Mater., 30 (29), 1909652 (2020)
 - Nat. Commun, 5, 3137 (2014)

손상준 교수 화학과 / sjson@gachon.ac.kr

- 약력**
- 서울대학교 / 이학박사
 - University of Maryland / 박사후 연구원
- 분야**
- 실리카나노튜브 기반 약물전달체
 - 나노입자-나노튜브 혼성나노구조체 기반 촉매
 - AAO 기반 나노입자 Array를 활용한 SERS 촉매
- 논문**
- ACS Appl. Nano Mater., 4, 12905-12912 (2021)
 - J. Phys. Chem. C, 123, 23497-23504 (2019)
 - Adv. Funct. Mater., 12, 1809146 (2019)

이내윤 교수 바이오나노학과 / nyee@gachon.ac.kr

- 약력**
- (일)동경대학교 / 공학박사
 - KAIST / 박사후 연구원
 - 이화여자대학교 나노과학부 / 연구교수
 - LG 생명과학 연구원
- 분야**
- 바이오메디컬 연구에 응용 가능한 플라스틱 표면 코팅/개질화
 - 바이오칩/랩온어칩 • 신속 분자진단
- 논문**
- Biosens. Bioelectron, 221, 114904 (2023)
 - Biosens. Bioelectron, 204, 114080 (2022)
 - Adv. Mater. Technol, 7, 2200404 (2022)

이병호 교수 식품생명공학과 / blee@gachon.ac.kr

- 약력**
- Purdue University / 농학박사
 - Whistler Center for Carbohydrate Research / 박사후 연구원
- 분야**
- 탄수화물 소화 패턴
 - 지소화성 탄수화물 소재
 - 미생물 유래 다당체 생산 및 구조
- 논문**
- Carbohydr. Polym., 278, 119016 (2022)
 - Food Hydrocolloids, 133, 107987 (2022)
 - Food Chem, 383, 132456 (2022)

이상훈 교수 화학과 / sanghunlee@gachon.ac.kr

- 약력**
- 서울대학교 / 이학박사
 - Massachusetts Institute of Technology / 박사후 연구원
 - 삼성 SDI 중앙연구소 / 책임 연구원
- 분야**
- 고분자 물성 이론 및 모델링
 - 이차전지 전극 소재 합성 및 모델링
 - 신규 이차전지 설계 및 특성 분석
- 논문**
- Macromol. Rapid Commun, 43, 2100614 (2022)
 - J. Mater. Chem. A, 9, 2429-2437 (2021)
 - ACS Appl. Mater. Interfaces, 11, 44293-44299 (2019)

이충환 교수 화학과 / dee@gachon.ac.kr

- 약력**
- Caltech / 이학박사
 - LG 화학 / 책임
- 분야**
- 천연물 합성
 - 유기 반응법
 - 유기 재료 개발
- 논문**
- Eur. J. Org. Chem, E202201286 (2022)
 - Org. Lett, 21, 9658-9662 (2019)
 - J. Am. Chem. Soc., 141, 6995-7004 (2019)

이태일 교수 신소재공학과 / t2.lee77@gachon.ac.kr

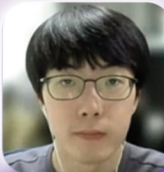
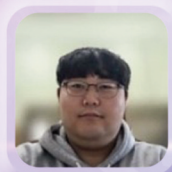
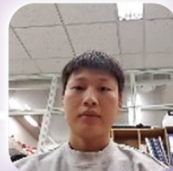
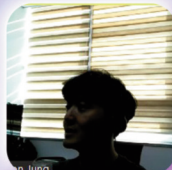
- 약력**
- 연세대학교 / 공학박사
 - 삼성전자 LCD 사업부 / 책임 연구원
- 분야**
- 압전 및 열전 에너지 하베스팅
 - 신축성 전자 소자
 - 자성 및 유전 소재
- 논문**
- Small, 24, 2107557 (2022)
 - Sci. Adv., 8, eade2988 (2022)
 - Nano Energy, 87, 106156 (2021)



KAIST 카이스트 기초연구실(BRL)

동적 생체고분자 구조 분석 연구실

“역동적인 생체분자 프로세스의 시간분해 구조 분석 연구... 새로운 생체분자 구조 연구 방법론 제시”



대전광역시 유성구 대학로 291
한국과학기술원 화학과 E6-6 507호

042) 350-2817

ywjung@kaist.ac.kr

<https://sites.google.com/site/ywjunglab/>

생체분자들이 생명체 내에서 어떤 구조를 가지고 변화하는가는 생명이 작동하는 원리를 분자 수준에서 이해하기 위해 꼭 필요한 정보이다. 지난 한 세기 동안 X-선 결정학, 핵자기 공명 분광학, 전자현미경과 같은 여러 가지 기술들이 개발되어 생체분자 구조 분석에 활용되었고, 특히 X-선 결정학은 2019년 현재까지 약 14만 개의 생체분자 구조를 규명하는 등 큰 역할을 해왔다. 그러나 이러한 구조 분석은 대부분 균질(homogeneous)하며 하나의 형태로 고정(static)되어 있는 생체분자들에 제한 되어왔다. 하지만 자연계에서 일어나는 수많은 생명 현상들은 다양한 종류의 생체분자들이 동시에 집단적으로 상호작용을 주고받거나, 구조적으로 불균질(heterogeneous)한 상태를 거치는 등, 시간과 공간을 무대로 매우 역동적(dynamic)인 변화 과정을 통해 이루어진다.

동적 생체분자 구조 분석 연구실(연구책임자: 카이스트 화학과 정용원 교수)에서는 시간 분해능(time resolution), 새로운 혼합/냉각법 등이 적용된 시간분해 초저온 전자현미경(cryo-EM) 분석법 개발을 통해

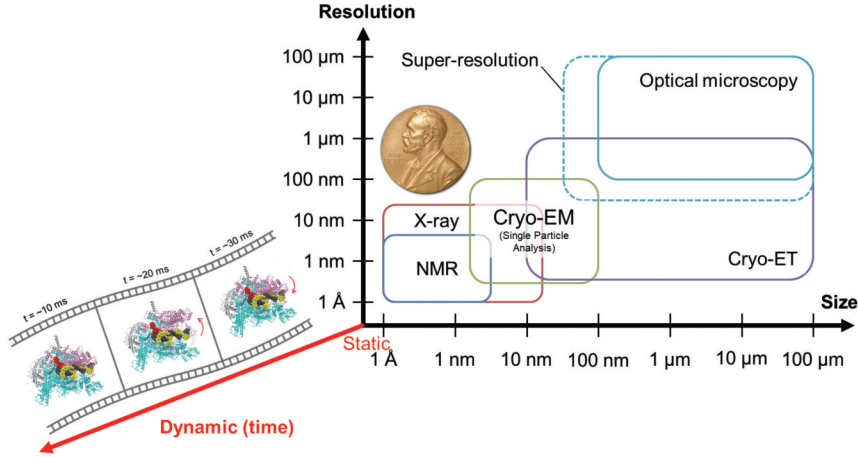


그림 1. 동적 생체분자 프로세스 시간분해 구조 분석

기존의 방식으로는 구조 규명이 거의 불가능했던, 불균질하며 역동적인, 그리고 다수의 생체분자가 관여된 과정들에 대한 새로운 구조 연구 방법론을 제시하고자 한다.

시간분해 구조 분석 방법론의 개발을 위해 본 연구실에서는 1) 미세유체역학 소자가 적용된 시간분해 cryo-EM 기법을 확립하고, 2) 생체분자 동역학 예측 및 분석을 위한 이론 모델링을 접목하여, 3) 전사과정에서 일어나는 RNA 중합 효소 복합체의 시간에 따른 구조 변화를 관찰 및 분석하고, 4) 케이지 단백질을 모델로 초분자 단백질 구조체의 시간에 따른 조립과정의 구조적 정보를 얻고자 한다. 이와 같은 다학제적인 집단



그림 2. 동적 생체고분자 구조 분석 연구실

연구의 수행을 위해 본 연구실에는 단백질 초분자 조립분야에 전문성을 가지고 있는 연구책임자(정용원 교수)와 함께, 미세유체역학(카이스트 물리과 이원희 교수), 생물리화학(부산대 화학과 최정모 교수), 구조생화학(카이스트 화학과 강진영 교수) 분야에 높은 전문성을 가지는 연구진들이 참여하고 있다.

Project

1

시간분해 초저온 현미경 시스템 개발

동적 생체고분자 프로세스의 실험적 관측을 위하여 최근 많은 관심을 받고 있는 시간분해 초저온 전자현미경 기법을 개발하고 있다. 생체고분자의 시간에 따른 구조 변화는 여러 가지 연구기법으로 접근이 가능하지만, 최근 특정 반응 시간을 가지는 생체고분자 샘플을 초저온 현미경 샘플로 준비하여 초저온 현미경을 이용한 구조연구의 장점을 활용할 수 있도록 하는 기술들이 개발되고 있다. 본 연구실에서는 기존의 미세유체 시스템을 더욱 개선한 미세유체 스프레이 시스템을 개발하고 더 빠른 시간분해능을 얻기 위한 연구를 진행하고 있다.

시간분해 초저온 전자현미경 기법은 빠른 유체 혼합을 통해 생체고분자의 반응을 개시시키고 이를 미세액적(microdroplet)으로 분사하고 빠르게 얼림으로써 원하는 반응시간대의 분자구조를 초저온 전자현미경으로 분석하는 기법이다. 미세유체디바이스를 이용하면 1ms 이하의 빠른 시간에 유체를 균일하게 혼합하는 것이 가능하며, 생체고분자와 반응개시 유도물질을 빠르게 혼합한 뒤에 특정 시간 후에 샘플을 스프레이노즐을 통해 그리드에 분사하여 얼리게 되면 특정 반응 시간대에 따른 생체분자 구조를 분석할 수 있게 된다. 시간분해 초저온 전자현미경 샘플을 준비하는 기법은 비교적 최근에 최초로 발표되어 여러 가지 부분에서 개선의 여지가 있다. 본 연구실에서는 패릴린(parylene)기반의 박막미세유체 디바이스를 이용하여 미세유체 혼합기와 스프레이 노즐을 구성하였다. 스프레이 노즐에서 고압의 가스로 샘플을 분사하는 과정에서 얇은 박막으로 만들어진 미세유체노즐 구조로 인해 더 균일한 스프레이가 형성되도록 하고, 샘플의 반응 시간 편차를 줄이는 효과가 기대된다. 또한 나노와이어 그리드를 이용하여 얼음샘플의 두께를 더 얇게 형성하고,

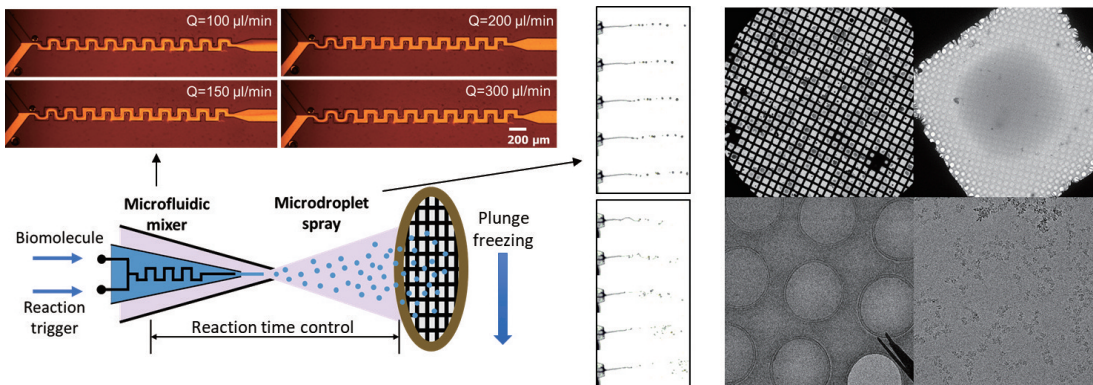


그림 3. 미세유체 디바이스를 이용한 시간분해 초저온 전자현미경 기법 개발

샘플이 준비되는 시간을 더욱 짧게 하여 시간분해능을 더 높일 수 있는 방법도 연구하고 있다[그림 3].

Project 2 시간분해 초저온 전자현미경 시스템을 이용한 RNA합성효소의 전사 종결 연구

RNA 합성효소(RNA polymerase)는 생명의 중심교리(Central Dogma)인 DNA→RNA→단백질로 이루어지는 유전자의 발현 과정에서 DNA의 유전정보를 RNA로 전사하는 역할을 담당하는 매우 중요한 효소이다. DNA를 템플릿으로 하여 RNA를 합성하는 전사 과정은 크게 전사의 개시, RNA 연장, 전사의 종결 3단계로 이루어지는데, 개시에서 연장 단계로 진행될 때, 또 연장 단계가 종결 단계로 변환될 때 해당 유전자 발현의 조절이 이루어진다. 이러한 단계의 전환은 RNA 합성효소와 DNA, RNA 사이의 상호작용의 급격한 변화를 동반하며 이때 일어나는 구조 변화를 관찰하는 데에는 기존의 구조 규명 방법론으로는 한계가 있다. 이에 본 연구실에서는 새로이 개발될 시간 분해 초저온 전자현미경 시스템을 이용하여 RNA합성효소가 RNA를 합성하는 과정, 특히 합성이 종결되는 과정에서 일어나는 RNA 합성효소와 핵산의 구조 변화를 관측하고자 한다.

본 연구실에서는 이를 위해 RNA합성효소 연장 복합체를 형성한 후, 기질을 첨가하여 전사 반응을 일으키고 전사 종결이 일어날 때까지의 대략적인 시간을 다양한 초저온 전자현미경 시료 제작 조건에서 방사능 표지 전사어쇄이를 이용하여 확인하고 있다. 또한, 개발 단계에 따라 다른 소재와 특징을 가지는 미세유체 역학소자들이 단백질의 농도와 버퍼 조건에 따라 어떻게 혼합되고 분사되는지 확인할 수 있도록 단백질 시료들을 개발하고 있다. 또한, 이론적 분석법을 적용하여 RNA 합성효소의 구조 변화와 효소 활성의 상관관계에 관해서도 탐구하고 있다.

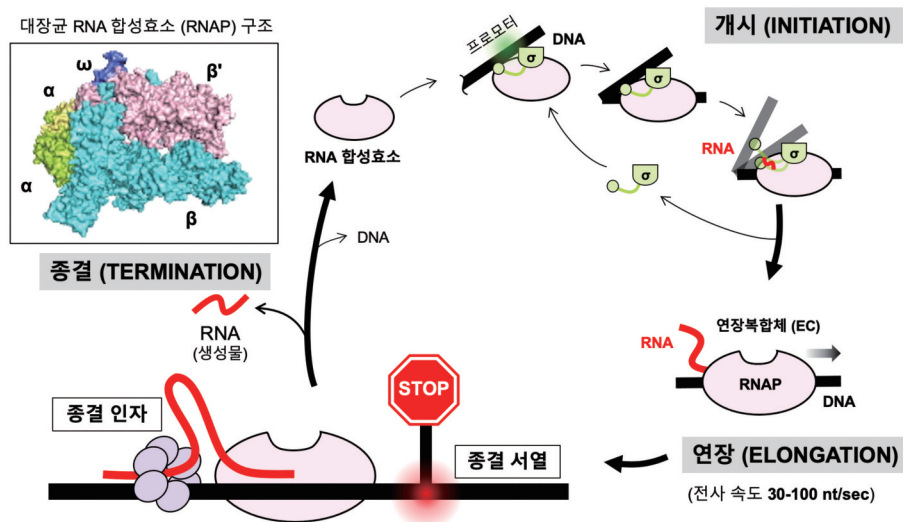


그림 4. 대장균 RNA 합성효소의 구조와 전사 과정의 3단계 모식도

많은 생체분자 프로세스는 하나의 단백질이 아닌 다수의 단백질들이 정밀하며 동적인 자기조립을 통해 형성하는 초분자 단백질 조립체(supramolecular protein assembly)를 통해 이루어진다. 대표적인 초분자 구조체로 바이러스 capsid나 페리틴과 같은 케이지(cage) 단백질들이 있으며, 이들은 수십에서 수백 개에 이르는 단백질 building block 들의 조립을 통해 만들어진다. 다양한 거대 단백질 조립체의 구조가 전자현미경을 중심으로 밝혀지고 있으나, 이들의 조립과정에서의 구조적인 정보는 매우 제한적이다.

본 연구실에서는 초분자 단백질 구조체로 인간 페리틴(ferritin) 케이지 단백질을 우선적으로 분석하고 있다. 페리틴은 24개의 building block 단백질이 약 12nm 지름을 가지는 케이지를 이루며, 산성 및 염기성 pH 용액에서 분해가 이루어지고 중성 용액에서 다시 조립이 이루어진다. 이때 pH 변화에 의한 페리틴 조립은 수십 m 초에서 수초 사이에 조립이 이루어짐이 예상되고 있다. 조립과정에서 정밀한 cryo-EM 구조 분석을 위하여 더욱더 다양한 분해/조립 전략을 수립하고, 단백질 풀딩을 분해하는 Urea, 온도, 단백질 농도 등을 변화하면서 페리틴의 분해 및 조립과정이 변화를 관찰하고 있다. 또한 향후 다양한 종류의 페리틴 변형체들을 제작하여 이들의 분해/조립과정의 영향을 분석할 예정이다.

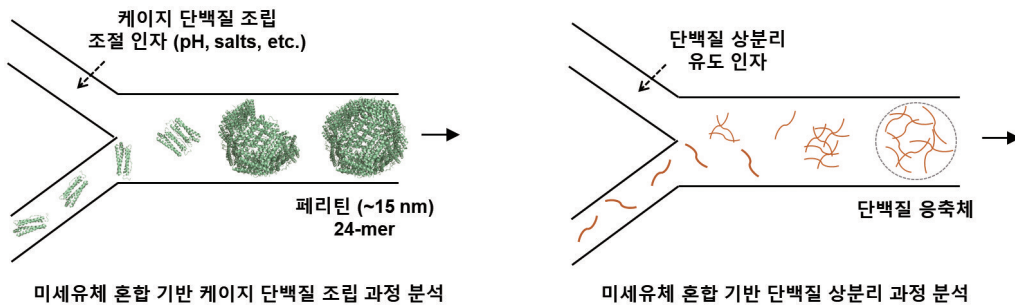


그림 5. 초분자 단백질 조립과정의 시간분해 구조 분석

본질적으로 무질서한 단백질, 혹은 비정형 단백질(intrinsically disordered protein, IDP)은 구조적으로 불균질한 단백질의 대표적인 예이다. 최근 여러 IDP 간의 약한 다중적 결합을 통해 생체분자의 상 분리(phase separation) 현상이 일어나며, 이를 통해 형성된 높은 농도의 생체분자 응축체(condensate)가 세포 작용에 중요한 역할을 함이 밝혀지고 있다. 하지만 IDP의 경우 특정 구조를 가지고 있지 않기 때문에 일반적인 구조 생물학 기법을 적용하는 것이 거의 불가능하고, 특히 응축체 형성과정에서 IDP 간의 결합 및 IDP 분포가 어떤 방법으로 순차적으로 변화하는지에 대해 알려진 부분은 미미하다. 본 연구실에서는 시간분해 전자현미경 분석법을 이용하여 케이지 단백질 조립과정 분석과 함께, IDP 상분리 과정에서 각 IDP 분자들의 분포 변화 및 상호작용 변화에 대한 정보를 분석하는 연구를 수행하고 있다.

Project **4** 동적 생체분자 과정의 이론적 분석법 개발

이론 및 시뮬레이션은 실험 데이터를 통해 얻을 수 있는 정보의 빈자리를 채워줄 수 있다. 특히 본 연구단에서는 동적인 생체분자 과정을 연구하기에, 실험에서 얻은 구조 데이터만으로 설명할 수 없는 전이 상태를 시뮬레이션하거나 구조의 변화를 추동하는 열역학적 양 등을 이론적으로 계산해 분자 과정에 대한 보다 완벽한 이해를 추구하고 있다.

그간 생체분자 시뮬레이션 연구는 고정된 단일 성분 시스템을 주요 대상으로 해왔다. 대표적인 예로 단일한 구조를 가지는 단백질의 접힘 시뮬레이션을 들 수 있으며, 목표 구조가 분명하기에 시뮬레이션이 해당 구조와 얼마나 유사한 구조를 예측하는지를 통해 시뮬레이션의 정확성을 정량적으로 판단할 수 있다. 하지만 이와 같은 전통적인 시뮬레이션 기법으로는 동적인 시스템을 정확하게 다루기 어렵다. 본 기초연구실에서는 동적인 생체분자 시스템을 정량적으로 기술하고 그 거동을 예측할 수 있는 이론적 기법을 개발하고, 실험 결과와 비교하여 그 정확도를 개선하고 있다.

전사 복합체의 동역학은 다양한 구조들이 순서대로 변환되면서 체계적으로 진행되는 것으로 이해할 수 있다. 이에 따라 본 연구단에서는 실험적으로 결정된 구조들을 에너지 전경(energy landscape)의 극소점으로 보고, 전사 복합체의 동역학을 규정하는 반응 좌표를 끌어내는 전략을 사용하였다. 이 반응 좌표상에서 원자 수준 분자동역학(molecular dynamics, MD) 시뮬레이션을 수행하면 각 구조의 열역학적 안정성을 계산하는 한편, 전이 상태를 결정하여 속도 상수들도 추출할 수 있다. 이러한 값들은 실험값과 직접 비교할 수 있으므로 비교를 통해 시뮬레이션의 정확도를 향상시킬 수 있을 것이다.

한편, 케이지 단백질은 전사 복합체에 비해 더 규모가 크기 때문에 원자 수준 시뮬레이션을 수행하기 어렵다. 또한 케이지 단백질의 조립은 순차적으로 진행되는 과정이 아니라는 특징을 가지고 있다. 따라서 전사

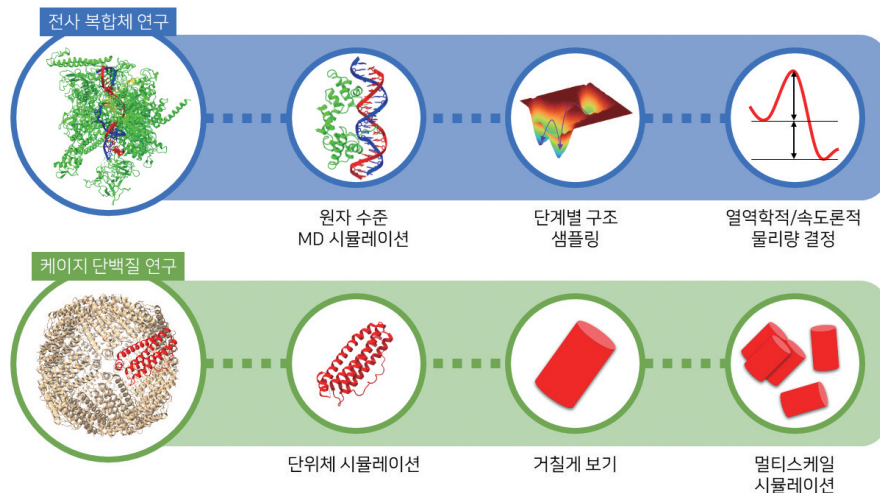


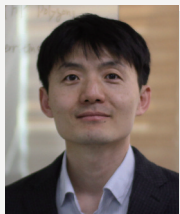
그림 6. 동적 생체분자 과정을 이론적으로 연구하기 위한 전략

복합체의 경우와는 다른 전략이 필요하고, 본 연구단에서는 거칠게 보기(coarse-graining) 기법을 활용하고자 한다. 거칠게 보기 기법이란, 분자를 구성하는 원자들을 하나하나 모델링하는 대신 원자들의 모임을 하나의 입자로 처리하는 기법이다. 결과적으로 시뮬레이션에 필요한 자원을 절약할 수 있고, 더 많은 수의 분자들을 다룰 수 있다는 장점을 가지고 있다. 먼저 케이지 단백질의 조립과정에 사용되는 단위체를 대상으로 원자 수준 시뮬레이션을 수행하여 그 구조적인 특징을 이해하고, 이 특징을 그대로 담아낼 수 있는 보다 단순한 모형을 수립할 것이다. 중요한 것은 단위체-단위체 상호작용을 정확하게 묘사하는 것이므로, 원자 수준 시뮬레이션에서 얻어진 데이터를 기반으로 기계 학습(machine learning) 기법을 사용하여 단위체의 상호작용 매개변수들을 체계적으로 결정할 것이다. 이렇게 거칠게 보기 기법으로 새로운 모형을 얻어내면 이 모형을 가지고 시뮬레이션을 수행할 수 있고, 이를 통해 개별적인 단위체들이 어떤 조립과정을 거쳐 초분자 구조를 이루는지 밝혀낼 수 있을 것이다. 이 과정에서 실험적으로 검증 가능한 예측들을 제시하여 교차 검증을 수행할 것이다.

About



카이스트 기초연구실(BRL)
동적 생체고분자 구조 분석 연구실



정용원 연구책임자
카이스트 화학과 교수

카이스트 기초연구실(BRL) 동적 생체고분자 구조 분석 연구실은 역동적으로 변화하는 생체분자들의 순차적 구조 정보를 분석할 수 있게 하는 새로운 구조 연구 방법론을 제시하고자 합니다.

연구단을 이끌고 있는 정용원 교수는 카이스트 화학과에서 학부 졸업 및 석사 학위를 취득하고, MIT에서 플라티늄 항암제 손상 DNA(Platinum-cancer drug damaged DNA)관련 연구로 박사학위를 취득하였다. 그후, 한국생명공학연구원에서 선임연구원으로 근무하다가 2012년 카이스트 화학과 교수로 연구 활동을 시작하였다. 정용원 교수 연구실에서는 단백질 화학 특히 단백질 초분자 조립 및 상 분리 관련 연구를 수행하고 있으며, 이를 바탕으로 새로운 생체분자 물질을 개발하고 있다. 현재는 한국연구재단 기초연구실과제인 “동적 생체고분자 구조 분석 연구실” 과제 연구책임자로 연구사업을 수행 중이다.

현재 연구단에는 연구책임자 정용원 교수를 포함하여 공동연구자로 카이스트 화학과 강진영 교수, 카이스트 물리과 이원희 교수, 부산대 화학과 최정모 교수 및 박사 후 연구원 1명, 박사과정 14명, 석사과정 3명 등 총 22명이 연구에 매진하고 있다.



김태연 Taeyeon Kim

성균관대학교 화학과 조교수

taeyeon@skku.edu

https://sites.google.com/view/chem-phd

소개글

김태연 교수는 초고속 시간-분해 분광학을 이용해 다중발색단 모델 분자 시스템의 들뜬 상태 동역학 연구를 수행해왔다. 특히, 포피린, 메로사이아닌, 보디피, 페릴렌다이드이미드 등의 기능성 유기 분자들로 구성된 시스템에서 이들 간의 상호작용에 효과로 나타나는 들뜬 상태 동역학을 추적하고, 분자 레벨의 구조적 접근을 통해 들뜬 상태 동역학의 메커니즘과 이로 인해 발생하는 특이적인 광학 성질을 밝혔다. 최근에는 페릴렌다이드이미드 쌓임체의 초고속 대칭-깨짐 전하 전달과 엑시머 형성 메커니즘을 이차원 전자 분광법을 통해 규명하였다. 현재는 유기 분자 복합체에서 전하 전달의 방향을 조절할 수 있는 구조적인 파라미터와 전자-핵진동 상호작용의 역할에 관한 연구를 수행하고 있다.

주요연구분야

- 물리화학(Physical Chemistry)
- 초고속 분광학(Ultrafast Spectroscopy)
- 전하 전달 동역학(Charge Transfer Dynamics)
- 다중 발색단 분자 시스템(Multichromophoric Molecular Systems)

대표논문

1. **Taeyeon Kim***, Chenjian Lin*, Jonathan D. Schultz, Ryan M. Young, Michael R. Wasielewski, "π-stacking-dependent vibronic couplings drive excited-state dynamics in perylene-3,4,9,10-tetracarboxylic diimide assemblies." *J. Am. Chem. Soc.* **2022**, *144*, 11386–11396.
2. Chenjian Lin*, **Taeyeon Kim***, Jonathan D. Schultz, Ryan M. Young, Michael R. Wasielewski, "Accelerating symmetry-breaking charge separation in a perylene-3,4,9,10-tetracarboxylic diimide trimer through a vibronically coherent dimer intermediate." *Nat. Chem.* **2022**, *14*, 786–793.
3. Seongsoo Kang*, **Taeyeon Kim***, Yongseok Hong, Frank Würthner, Dongho Kim, "Charge-delocalized state and coherent vibrational dynamics in rigid PBI H-aggregates." *J. Am. Chem. Soc.* **2021**, *143*, 9825–9833.
4. **Taeyeon Kim**, Juno Kim, Xian-Sheng Ke, James T. Brewster II, Juwon Oh, Jonathan L. Sessler, Dongho Kim, "Magnetic field induced modulation of charge-recombination dynamics in a rosarin-fullerene complex." *Angew. Chem. Int. Ed.* **2021**, *60*, 9379–9383.
5. **Taeyeon Kim***, Seongsoo Kang*, Eva Kirchner, David Bialas, Woojae Kim, Frank Würthner, Dongho Kim, "Switching resonance character within merocyanine stacks and its impact on excited-state dynamics." *Chem* **2021**, *7*, 715–725.
6. **Taeyeon Kim**, Zhiming Duan, Sangita Talukdar, Chuanhu Lei, Dongho Kim, Jonathan L. Sessler, Tridib Sarma, "Excitonically coupled cyclic BF₂ arrays of calix[8]- and calix[16]phyrin as near-IR- chromophores." *Angew. Chem. Int. Ed.* **2020**, *59*, 13063–13070.
7. **Taeyeon Kim**, Woojae Kim, Olena Vakuliuk, Daniel T. Gryko, Dongho Kim, "Two-step charge-separation passing through the partial charge-transfer state in a molecular dyad." *J. Am. Chem. Soc.* **2020**, *142*, 1564–1573.
8. Xian-Sheng Ke*, **Taeyeon Kim***, Vincent M. Lynch, Dongho Kim, Jonathan L. Sessler, "Flattened calixarene-like cyclic BODIPY array: A new photosynthetic antenna model." *J. Am. Chem. Soc.* **2017**, *139*, 13950–13956.

- 연세대학교 화학과 학사(2011.3–2015.2)
- 연세대학교 화학과 박사 (2015.3–2021.2, 지도교수 : 김동호)
- 노스웨스턴대학교 화학과 박사 후 연구원 (2021.4–2022.12, 지도교수 : Michael R. Wasielewski)
- 성균관대학교 화학과 조교수(2023.2–현재)



동방선 Sun Dongbang

서강대학교 화학과 조교수

dongbang@sogang.ac.kr

https://dongbangsun.wixsite.com/chem

소개글

동방선 교수는 전이 금속 촉매를 이용한 전합성 및 유기반응 개발에 관한 연구를 수행해왔다. 박사 과정에서는 전이 금속 촉매로 C-H 결합을 활성화시키는 방법들을 이용한 날트렉손(naltrexone)의 비대칭적 전합성을 마쳤으며, 또한 코발트 촉매로 C-H 활성화를 매개로한 4차 탄소 센터를 합성하는 연구를 진행해왔다. 박사 후 연구원 과정에서는 니켈/광촉매를 이용하여 산화중립적인 C(sp³)-C(sp³) 교차 결합 반응 및 이에 대한 메커니즘 연구를 진행하였다. 현재는 전이 금속 및 광 화학을 활용한 유기반응 개발을 목표로 하고 있다.

주요연구분야

- 유기화학(Organic Chemistry)
- 전이금속 촉매(Transition Metal Catalysis)
- 광촉매 화학(Photocatalysis)
- 전합성(Total Synthesis)

대표논문

1. **Dongbang, S.**; Doyle, A. G*. "Ni/Photoredox-Catalyzed C(sp³)-C(sp³) Coupling between Aziridines and Acetals as Alcohol-Derived Alkyl Radical Precursors." *J. Am. Chem. Soc.* **2022**, *144*, 20067-20077.
2. **Dongbang, S.**†; Confair, D. N.†; Ellman, J. A.* "Rhodium-Catalyzed C-H Alkenylation/Electrocyclization Cascade Provides Dihydropyridines That Serve as Versatile Intermediates to Diverse Nitrogen Heterocycles." *Acc. Chem. Res.* **2021**, *54*, 1766-1778. (†These authors contributed equally.)
3. **Dongbang, S.**; Ellman, J. A.* "Synthesis of Nitrile Bearing Acyclic Quaternary Centers via CoIII-Catalyzed Sequential C-H Bond Addition to Dienes and N-Cyanosuccinimide." *Angew. Chem. Int. Ed.* **2021**, *60*, 2135-2139.
4. **Dongbang, S.**†; Shen, Z.†; Ellman, J. A.* "Synthesis of Homoallylic Alcohols with Acyclic Quaternary Centers via CoIII-Catalyzed Three-Component C-H Bond Addition to Internally Substituted Dienes and Carbonyls." *Angew. Chem. Int. Ed.* **2019**, *58*, 12590-12594. (†These authors contributed equally.)
5. **Dongbang, S.**; Pedersen, B.; Ellman, J. A.* "Asymmetric Synthesis of (-)-Naltrexone." *Chem. Sci.* **2019**, *10*, 535-541.

- 고려대학교 화학과 학사(2007.3-2011.7)
- 고려대학교 화학과 석사
(2011.9-2013.6, 지도교수 : 김종승)
- SK 케미칼, 주임연구원(2013.7-2015.7)
- Yale University, Ph.D.(2015.9-2020.12,
지도교수 : Jonathan A. Ellman)
- Princeton University, Postdoctoral
researcher(2020.11-2023.1,
지도교수 : Abigail G. Doyle)
- 서강대학교 화학과, 조교수(2023.3-현재)



장지현 Jihyun Jang

서강대학교 화학과 조교수
 jihyunjang@sogang.ac.kr
<https://cjh72289.wixsite.com/lees>

소개글

장지현 교수는 전기화학과 분석화학을 기반으로 리튬이차전지 및 전고체전지 소재를 개발하고 전지 내부에서 일어나는 현상을 분석하는 연구를 수행해왔다. 특히, 고용량 음극 소재 및 고성능 액체 전해질 소재 개발 연구를 진행해왔고, 전고체전지에서는 고전압 양극 소재 적용 및 파우치셀 구현 등을 수행해왔다. 현재는 고에너지밀도의 전고체전지를 구현하기 위한 새로운 소재 및 시스템 등을 발굴하는 연구를 수행하고 있다.

주요연구분야

- 전기화학(Electrochemical Chemistry)
- 분석화학(Analytical Chemistry)
- 에너지 저장 및 변환 장치(Energy storage and conversion devices)
- 전고체전지(All-solid-state batteries)

대표논문

1. S.-Y. Ham, H. Yang, O. Nunez-cuacuas, D. H. S. Tan, Y.-T. Chen, G. Deysher, A. Cronk, P. Ridley, J.-M. Doux, E. A. Wu, **J. Jang***, Y. S. Meng*, "Assessing the Critical Current Density of All-Solid-State Li Metal Symmetric and Full Cells." *Energy Storage Materials* **2023**, *55*, 455–462
2. D. H. S. Tan*, Y. S. Meng*, **J. Jang***, "Scaling Up High Energy Density Solid-State Batteries: A Lab to Pilot Perspective." *Joule* **2022**, *8*(17), 1755–1769
3. **J. Jang**, Y.-T. Chen, G. Deysher, D. Cheng, S.-Y. Ham, A. Cronk, P. Ridley, H. Yang, B. Sayahpour, B. Han, W. Li, W. Yao, E. A. Wu, J.-M. Doux, L. H. B. Nguyen, J. A. S. Oh, D. H. S. Tan, Y. S. Meng*, "Enabling a Co-Free, High-Voltage $\text{LiNi}_{0.5}\text{Mn}_{1.5}\text{O}_4$ Cathode in All-Solid-State Batteries with a Halide Electrolyte." *ACS Energy Letter* **2022**, *7*(8), 2531–2539
4. **J. Jang**, H.-s. Kim, S. Moon, O. B. Chae, S.-J. Ahn, H. Jung, J. Choi, S. M. Oh, J. H. Ryu*, T. Yoon*, "Concentration gradient induced delithiation failure of MoO_3 for Li-ion batteries." *Nano Letters* **2022**, *22*(2), 761–767
5. **J. Jang**, T. Sugimoto, T. Mizumo, J.M. Lee, W. S. Chang*, J. Mun*, "High-voltage-compatible dual-ether electrolyte for lithium metal batteries." *ACS Applied Energy Materials* **2021**, *4*(9), 9032–9037
6. **J. Jang**, H. Kim, J. H. Ryu*, "Decrease in dendritic growth and overpotential through in-situ generated lithium-aluminum alloys for lithium metal batteries." *International Journal of Energy Research* **2021**, *45*(11), 16884–16980
7. **J. Jang**, H. Jung, S. M. Oh*, J. H. Ryu*, "A comparative study of reaction mechanism of MoS_2 negative electrode materials for sodium-ion batteries." *Journal of Alloys and Compounds* **2021**, *876*(25), 160182
8. **J. Jang***, J. H. Ku†, S. M. Oh*, T. Yoon*, "Co-activated conversion reaction of MoO_2 : CoMoO_3 as a negative electrode material for lithium-ion batteries." *ACS Applied Material Interfaces* **2021**, *13*(8), 9814–9819

- 서울대학교 화학생물공학부 학사 (2006.3–2010.2)
- 서울대학교 화학생물공학부 박사 (2010.3–2015.8, 지도교수 : 오승모)
- 삼성전자 종합기술원 전문연구원 (2015.9–2019.1)
- 삼성 SDI 책임연구원(2019.2–2021.3)
- University of California, San Diego, NanoEngineering 박사 후 연구원 (2021.4–2023.2, 지도교수 : Ying Shirley Meng)
- 서강대학교 화학과 조교수(2023.3–현재)

화학세계가 만난 화학자 14

“연구는 경계의 이동과 확장에 대한 도전이다”



〈화학세계가 만난 화학자〉는 대한민국 화학계에 공헌한 화학자에 대한 인터뷰 기사를 소개해 드리고 있습니다. 지난해 가을 제130회 대한화학회 총회 및 학술발표회에서 이태규 학술상을 수상하신 정종화 교수님을 모셨습니다. 교수님의 연구실에서는 유기 빌딩블록을 설계·합성하여 자기조립에 의해 정렬된 나노 수준의 모양과 크기를 가지며 다양한 기능이 기대되는 나노초분자 소재를 개발하고 계십니다. 또한 유기 나노초분자를 주형으로 이용하여 다양한 무기 나노소재를 제조하고, 이들을 수소 저장체나 특정 금속의 분리 및 회수에 응용하는 연구를 활발히 수행하고 계십니다. 연구업적에 더하여 교수님의 다양한 면모를 대한화학회 회원분들께 소개드립니다.

[모더레이터: 한순규 교수 (KAIST 화학과)]

1. 화학세계의 독자 중에는 중고등학생도 있습니다. 교수님께서서는 중고등학교 학창시절부터 화학에 관심이 많으셨나요? 교수님께서 화학을 전공하시게 된 특별한 계기가 있었나요?

솔직하게 이야기 드리면 제가 화학에 관심은 고등학교 다닐 때 주기율표에 대해서 공부하면서였습니다. 그때는 원소 주기율표에 있는 원소들의 특성은 알 수 없었지만, 오비탈에 전자가 채워지는 방법이나, 산화수 및 환원수에 대한 흥미가 화학에 관심을 갖게된 시작이 되었던 것 같습니다.

2. 교수님께서 화학분야에서 박사학위를 두 번 받으셨습니다. 첫 번째 박사학위는 경상대학교에서 분석 및 무기화학분야에서, 그리고 두 번째 박사학위는 일본의 규슈 대학에서 유기화학 박사학위를 받으셨습니다. 이에 대한 스토리가 궁금합니다.

저는 경상대학교에 입학하여 석·박사 학위를 취득하였습니다. 제가 공부하던 시절은 많은 종합대학이 새로이 신설되었고, 산업이 급속도로 발전하던 시절이었습니다. 그래서 제 생각에 막연히 공부를 계속하면 좋은 직업을 가질 수 있겠다는 생각으로 공부를 시작하였습니다. 특히 제가 경상대학교에서 대학원을 진학한 이유는 그 당시 제 지도교수님인 이심성 교수님이 젊은 나이에 대학에 부임하여 어려운 환경에도 불구하고 연구를 꾸준히 진행하여 논문을 게재하시고 있었습니다. 저는 대학 3학년 1학기에 이심성 교수님 연구실에서 틈틈이 실험을 하면서 연구에 대한 흥미를 갖게 되었습니다. 그리고 특히 실험 주제가 크라운 에테르와 금속 양이온의 착물에 대한 것으로 전기전도도 및 전위차계를 이용한 실험이었습니다. 이를 통해서 배위화학 및 전기화학에 대한 이론도 약간씩 공부하는 계기가 되었습니다. 제가 경상대학교 대학원을 진학하게 된 이유는 어려운 연구환경이었지만 이심성 교수님 연구실에서 꾸준히 연구 성과 논문을 발표하고 있었으며, 그래서 대학원에서 연구 수행에 제 역할이 있을 것으로 판단하였습니다. 그 결과 제가 박사 학위를 취득할 당시 BKCS에 8편, 국내 학술지에 3편의 논문을 게재하였습니다. 논문의 수준은 평가할 수 없지만, 그 당시 시절에서는 많은 연구 실적을 게재한 것으로 인정 받았으며, 그 결과 박사학위 취득 후에 한국연구재단 지원으로 오사카 대학에서 포스닥을 1년 6개월 수행할 수 있었습니다.



■ 오사카 대학에서 T. Kaneda 교수(왼쪽)와 함께(cyclodextrin 유도체의 CPK 모형을 들고...)

오사카 대학에서 포스닥 중에 국내 기업 연구소(수원 소재: SKC 중앙연구소)에 취업이 되어 한국으로 돌아왔습니다. 한국으로 귀국할 당시 기업에서 2년 정도 열심히 일하고, 가능한 국립 연구소와 같이 독립적인 연구를 할 수 있는 곳으로 이직할 생각을 가지고 있었습니다. 그러나 제가 기업에서 수행했던 일은 고분자 물성 분석에 대한 일이 대부분이었으며, 특히 1년 후쯤에 IMF가 왔고 많은 기업이 어렵게 되었습니다. 그러던 중에 일본 규슈대학교의 Seiji Shinkai 교수로부터 메일을 받았습니다. 혹시 일본에 와서 함께 연구할 생각이 있는지와 고액 연봉을 제안하는 내용이었습니다. 그 당시 Shinkai 교수는 호스트-게스트 화학분야의 세계적인 권위자로 잘 알려졌던 분이었습니다. 그래서 다시 일본으로 가서 Shinkai 교수님의 연구팀에서 2년 3개월 연구를 수행하였습니다. 첫날 Shinkai 교수와 논의하여 맡은 제 연구주제는 “유기물 초분자를 이용한 무기물 나노구조체 제조”에 대한 것이었습니다. 이 일은 핵심은

호스트-게스트 화학에 대한 개념을 잘 이해하여 유기물 빌딩블록을 합성하는 것이었습니다.

제가 포스닥으로 오사카 대학에 있을 때 발색단을 갖는 cyclodextrin 합성 관련 연구 경험이 있었습니다. 그래서 합성에 대한 대부분의 노하우는 가지고 있었기 때문에 어렵지는 않았습니다. Shinkai 교수와 2년 3개월 동안 함께 연구를 진행하면서 제 인생에서 가장 많은 공부를 한 것 같고, 논문을 제1저자로 14편(JACS 3편, Angew. Chemie. 1편 포함) 게재하였습니다. Shinkai 교수는 일하던 중에 한 번씩 한국으로 언제 돌아가는지 또는 희망하는 직장이 무엇인지 등에 대해서도 저에게 자주 물어보기도 하였습니다. Shinkai 교수는 한국 사정을 잘 알고 있었으며, 언제든지 협의를 하라고 하였습니다. 2001년 3월에 쓰쿠바로 옮기게 되었습니다. Shinkai 교수는 함께 연구를 했던 많은 제자들을 잘 챙기는 분으로 많은 일본인들도 실험실을 떠난 후에도 꾸준히 교류를 하고 있습니다. 제가 떠난 후에 기업체에서 왔던 우수한 몇몇 일본 제자들이 규슈대학에서 박사학위를 취득하게 되었습니다.

그래서 Shinkai 교수가 저에게도 지난 연구실적으로 규슈 대학에서 박사학위를 받을 의향을 문의해 왔습니다. 그래서 제가 한국에 귀국하여 2005년도에 규슈대학으로부터 유기화학 전공으로 박사학위를 취득하게 되었습니다. 제가 두 번에 걸쳐 박사학위를 받으면서 분석-무기화학과 유기화학에 대한 연구를 통해서 많은 공부를 하는 계기가 된 것 같습니다.

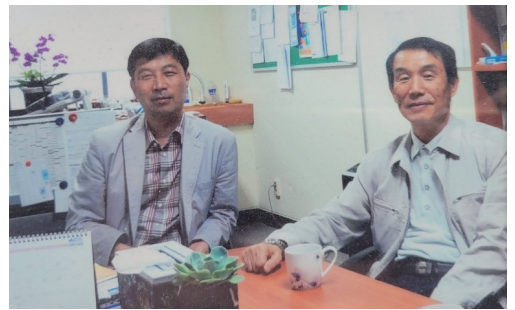
3. 지금의 교수님을 있게 한데 가장 큰 영향을 미치셨던 분이 누구이셨나요? 어떤 영향을 미쳤나요?

제 인생에 가장 큰 영향을 미친 분은 저와 가장 오랫동안 연구를 했던 제 지도교수님이신 이심성 교수님으로 생각합니다. 학생 시절은 매우 엄격하게 연구를 하여 사실 스트레스도 많이 받았던 것 같습니다. 앞에서 이야기했던 것처럼 어려운 연구환경에서 꾸준히 연구를 수행하였고, 제가 경상대학교에서 부임한 후에도 퇴임하실 때까지 학생들과 함께 논문을 쓰고 있던 모습과 학생들을 지도하시는 모습을 자주 보았습니다. 제가 교수님 옆에서 학생에게 가르쳐야 할 지도교수의 역할 또는 성실한 연구자의 모습을 보면서 많은 깨달음을 주셨습니다.

그리고 다른 한 분은 Shinkai 교수님입니다. Shinkai 교수님은 연구의 주제는 어떻게 선정해야 하는지, 학생이 수행한 결과를 어떻게 정리해야 하는지 등에 대해서 영향을 준 것 같습니다. 제가 함께 일했던 시절을 생각해 보면 항상 미팅한 결과는 메모하여 다음 미팅에서 다시 질문하거나 항상 동등한 입장에서 공동연구자로서 질문을 하였습니다. 제가 크게 배운 것은 학생이 어렵게 실험하여 얻은 결과를 소중히 생각하여 최선을 다하여 논문으로 만들어 주는 것입니다. 제가 일주일에 한 번 정도 Shinkai 교수님과 미팅을 하였고, 일본인 동료들이 Shinkai 교수와 미팅할 때 모습을 생각해 보면 항상 Shinkai 교수는 연구자들의 연구결과가 논문에 표출될 수 있도록 최선을 다하여 연구결과를 정리하여 논문작성에 대해서 토론하였습니다. 이러한 모습이 존경스러웠고 저에게도 학생들이 얻은 실험 결과를 소중히 여기는 계기가 되었다고 생각합니다.



■ 대학원 시절(연구실 MT): 남해 금산에서 이심성 교수님(왼쪽 첫 번째)과 함께



■ 2012년 경상대학교에서 Seiji Shinkai 교수(오른쪽)와 함께

4. 교수님의 연구는 유기화학, 무기화학, 초분자화학, 고분자화학, 나노화학, 재료화학 등 화학의 광범위한 분야에 두루 걸쳐 있어 “한국 화학계의 레오나르도 다빈치”라는 생각이 듭니다. 교수님의 연구를 대한화학회 회원들에게 설명해주시길 수 있을까요?

이것은 너무 과찬인 것 같습니다. 저는 일본에서 다른 세 곳에서 연구 경험을 쌓았습니다. 한국에서 대학원 과정에서는 무기-분석화학으로 취득하였지만, 일본에서는 유기화학이나 고분자 화학 전공 연구실에서 연구를 수행하였습니다. 그래서 제 연구분야가 약간 광범위한 영역에 걸쳐 있는 것 같습니다.

제가 첫 번째 포스닥으로 갔던 오사카대학의 산업과학연구소의 Yoshiteru Sakata 및 Takahiro Kaneda 교수는 유기화학자로 포피린 유도체를 합성하여 인공 광합성과 cyclodextrin 유도체를 이용한 화학센서에 대한 연구를 수행하고 있었습니다. 저는 발색단을 갖는 cyclodextrin 유도체 합성에 대한 일을 수행하였습니다. 처음에는 약

10개월을 걸쳐 최종 생성물을 수 mg 얻는 데 성공하여, 이를 이용한 화학센서에 대한 연구를 수행하였습니다.

이 과정에서 유기합성에 대한 공부를 하게 되었으며, Shinkai 교수와는 유기화학보다는 재료화학에 대한 공부를 하게 된 계기가 되었습니다. 그 당시 실리카로 구성된 메조포러스 라는 물질이 나오지 얼마되지 않아, 많은 연구자들이 재료화학 분야에 흥미를 가지고 있었습니다. Shinkai 교수도 초분자 유기물을 이용하여 새로운 무기물 소재 합성에 큰 흥미를 가지고 있었던 중에 제가 합류하게 되었습니다. 그 당시 제가 잘 알고 있던 호스트-게스트 화학 분야를 하지 않고, 새로운 분야인 재료화학을 한 것이 제 인생에 가장 큰 영향을 미친 것 같습니다. 그 당시 Shinkai 교수 그룹에 저와 일본인 1명이 재료분야의 일을 하였습니다. 처음에는 유기물 합성에서부터 무기물 합성 그리고 분석을 위해서 전자현미경(SEM 및 TEM) 사용 등에 많은 문제가 있었습니다 그러나 연구 도중에 생긴 문제점을 해결한 후에 우수한 많은 성과를 얻을 수 있었습니다. 그래서 연구는 시작할 때 잘 알고 있는 주제를 하는 것이 중요한가? 아니면 새로운 주제를 시작하는 것이 중요한가? 등에 대해서 많은 고민이 필요한 것 같습니다. 예를 들면 쉽게 연구성과를 얻으려면 잘 알고 있는 일을 하게 되겠죠, 그러나 잘 알고 있는 일은 다른 연구자들도 잘 할 수 있습니다. 그러면 아마 경쟁력이 없게 되겠죠. 반면에 새로운 일은 항상 혼자 일을 진행하여야 하기 때문에 외롭고, 많은 문제점을 직면하게 될 것입니다. 그러나 제 생각으로는 잘 알고 있는 일보다는 다른 연구자들이 수행하지 않는 독창적인 새로운 연구 분야를 창출하는 것이 더 중요할 것으로 생각합니다. 그래서 이제는 한국의 연구자들의 연구 수준이 매우 높아졌고, 연구 환경도 좋아져서, 한국 연구자들이 연구성과를 성급하게 내기보다는 수준 높은 독창적인 연구를 통하여 성과를 창출할 수 있도록 노력하여야 한다고 생각합니다.

5. 교수님께서 그동안 많은 논문을 출판하셨습니다. 그중에서도 특별히 기억에 남는 논문이 있으신가요? 기억에 남는 이유가 무엇인가요?

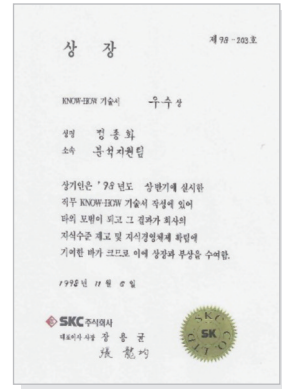
제가 기억에 남는 논문 중의 하나는 오사카 대학에서 얻은 연구결과입니다. 처음으로 해외에서 혼자 연구를 수행한 결과를 일본 화학회에서 발행하고 있는 『Chemistry Letters』에 게재한 논문입니다. 이 결과는 연구재단 지원으로 오사카 대학에 포닥을 가서 얻은 것으로 α-cyclodextrin(α-CD)의 18개 -OH기 중에 한 개의 -OH에 발색단을 도입하는 것입니다. 약 10단계에 걸쳐 매우 낮은 수율로 얻었지만 실제 아민에 대한 화학센서로서의 좋은 결과를 얻지 못했지만, 실험 중에 자기 분자끼리 aggregation되는 결과를 우연히 발견하였습니다. 그래서 물에서 α-CD의 분자 간 자기조립에 대한 초분자에 관한 연구를 시작하게 된 계기가 되었습니다. 제가 이 연구

결과를 얻기 전까지는 모든 연구자들이 물에서 CD들은 분자 내의 inclusion이 일어나고, 분자 간의 inclusion은 일어나지 않는다고 설명하였습니다. 그러나 UV-Vis 및 NMR을 이용하여 시간변화 스펙트럼을 측정한 결과 CD의 경우 분자 간 inclusion을 통하여 초분자 구조체를 형성할 수 있다는 것을 성공적으로 증명하였습니다. 그러나 그 당시 이 연구성과가 얼마나 중요한지 잘 알지 못해 성급하게 연구성과를 게재하였습니다. 그 이후 같은 연구실에서 실제 결정구조를 얻고 분석하여 집중적으로 이 연구분야를 수행하여 많은 연구성과를 얻었습니다. 비록 우수한 학술지에 게재하지 못했지만, 제가 “초분자 화학” 분야를 연구하게 된 계기가 되었으며, 박사학위를 받고 혼자 스스로 연구성과를 얻은 점에서 그리고 논문을 게재한 점에서 매우 기억에 남아 있습니다.



6. 교수님의 이력을 보면 국내의 기업(SKC), 정부출연연구소(KBSI), 그리고 대학(경상대학)에서 모두 재직하신 경험이 있습니다. 특히 화학관련 진로에 대하여 고민하고 있을지도 모를 화학전공 청년에게 이들 기관을 몸소 체험하신 장본인으로서 각각의 특징 및 차별점을 알려주실 수 있을까요?

앞에서 이야기 드린 것처럼 여러 가지 계기로 박사학위 취득 후에 여러 기관에서 근무하게 되었습니다. 제 첫 직장으로 수원에 있는 SKC 중앙연구소에서 주로 고체 및 용액 NMR을 이용하여 고분자 물성분석에 관한 일을 수행하였습니다. 그 당시에 국내 기업체에서 고체 NMR을 이용하여 화합물을 분석하는 것은 흔한 일이 아니었습니다. 그리고 제 연구분야가 고분자 분야가 아니기 때문에 잘 알고 있는 일도 아니고, 그러나 제가 학위 과정 중에 NMR의 원리나 작동법에 대해서 매우 잘 알고 있었습니다. 특히 대학원 과정에 약 5년 동안 용액 NMR을 이용하여 실험을 주로 하여, 응용분야도 잘 알고 있었습니다. 그래서 비록 기업체 연구소에 근무하였지만, 고분자 화학에 대한 많은 공부를 하는 계기가 되었으며, 현재에도 제가 연구하고 있는 초분자성 고분자 연구에 매우 도움이 되고 있습니다. 전형적인 공유결합성 고분자와 초분자성 고분자(비공유결합성)와 차이점 또는 특이성을 비교하는 데 도움이 됩니다. 그래서 대학원 과정에서 특정 전공분야 뿐만 아니라, 학부 과정에서 배운 다양한 화학 지식도 도움이 되는 것 같습니다.



SKC에서 기술 노하우 상

제가 KBSI에서 근무하면서 느낀 점은 한 마디로 이야기 드리면 정부출연연구소는 개인적인 차원에서 흥미가 아니라 국가 차원에서 연구를 수행해야 할 주제가 무엇인지? 등을 고민하고, 해결하고자 노력해야 한다는 점이었습니다. 그래서 출연연구소에 제가 근무할 당시에는 프로젝트 위주로 연구자들이 모여 자주 연구주제에 대해서 협의하고 연구과제를 수행하였습니다. 때로는 연구자들의 전공분야가 일치하지 않아 다양한 의견이 제기되기도 하지만, 국가적 차원에서 대형 연구주제를 설정하여 연구를 수행해 국가 차원의 목표를 달성하는 점에서 차이가 있습니다.

반면에 대학은 대부분의 연구자들이 자기 중심으로 연구주제를 설정하여 연구를 수행하고 있기 때문에 독창성이 높은 반면, 효율이 떨어지거나 응용성이 낮은 경우가 있는 것 같습니다. 그래서 저도 기초연구를 수행하고 있기 때문에 수행하고 있는 연구성과에 미래에 어떤 영향을 미칠지에 대해서 많은 고민을 하고 있습니다. 그래서 가능한 대학의 연구자들도 연구성과가 어떤 응용성이 있는지? 또는 미래의 삶에 어떻게 영향을 미칠지도 고민하면서 연구를 수행하는 것이 좋을 것 같습니다.

7. 교수님은 일본에서도 상당한 기간 연구를 진행하신 바 있습니다. 일본과 한국의 연구문화 및 분위기 등에서 차이가 있었나요? 저희가 배울 점 혹은 타산지석이나 반면교사로 삼을 부분이 있나요?

일본에서는 대학원생에게 교육하는 방법이 우리나라와 많이 다른 것 같습니다. 일본의 대학원생들은 모든 연구결과를 정리하며, 연구실에서 미팅 시에 매우 철저히 보고서를 작성합니다. 예를 들어 주간 보고서를 보면 다른 학생이 실험을 할 수 있도록 꼼꼼하게 작성하여 연구실에 보관합니다. 그리고 연구가 완료되면 일본어로 연구결과를 작성한 후, 교수와 협의 하에 논문을 작성하는 경우가 대부분이었습니다. 그 과정에서 일본 대학원생들은 글쓰기 및 데이터 정리하는 방법을 철저히 배우는 것 같습니다. 특히 일본 국내 학회 발표 자료는 모두 일본어로 작성하고, 영어는 절대 사용하지 않으며, 철저히 대학원생 자신이 준비를 합니다. 반면에 우리의 경우는 학회 발표 초록 또는 발표 자료를 국제어라는 영어로 사용하기 때문에 대학원생이 화학을 배우기 보다는 영어를 공부하는 시간으로 바뀌어 있는 것 같습니다. 이런 점은 우리도 한 번쯤 대학원생 교육을 위해서 어떤 것이 옳은 것인지 생각해 보는 것이 좋을 것 같습니다. 그리고 대학원생의 연구 성과의 경우도 많은 결과를 도출하기 보다는

자기 스스로 문제점을 해결하고 새로운 결과를 얻으려고 노력하는 것에 더 중점을 두어야 합니다.

8. 교수님께서 지금까지 화학자의 길을 걸어오면서 좋은 일도 많았지만 고난도 많았을 것이라 예상합니다. 지금까지의 커리어 중 가장 큰 스트레스 요인 혹은 교수님을 가장 힘들게 했던 요인은 무엇이었나요? 그 문제에 어떻게 대처하셨고 해결하셨나요?

제가 박사학위를 취득하고 일본에서 공부한 후에 2002년 10월부터 연구자로서 생활하면서 가장 큰 스트레스는 연구비 및 연구결과에 대한 조급증이었습니다. 최근에는 한국의 경우 연구비 수주가 많이 쉬워졌습니다. 제가 2003년에 연구계획서를 제출할 당시에 모든 연구기간이 1년 또는 2년이었습니다. 그래서 매년 연구계획서 작성하는 일로 시간을 소비하였습니다. 그러나 이것도 최근 연구기간이 평균 5년으로 늘어났고, 선정률도 미국이나 일본에 비교하면 매우 좋은 것 같습니다. 초기에 연구비를 수주하기 위해서 순수 화학분야에 연구과제를 제출하기보다는 화학을 필요한 응용분야(환경, 에너지 등)에 연구계획서를 제출하여 운 좋게 연구비를 수주하게 되어 연구실에 대학원 지원비나 재료비 지원에 문제를 해결하였습니다. 그러나 이것은 우수한 연구성과를 도출하는데 약간의 문제점도 있었습니다.

연구성과의 경우도 초기에 『JACS』와 같은 우수한 학술지에 게재를 하려고 많은 시도를 하였으나, 실패도 많이 했습니다. 지금에서 생각해 보면, 조급증으로 완벽하게 완성된 연구결과도 아닌데 빨리 성과를 도출하기 위해서 논문을 투고한 적도 많았습니다. 또한 앞에서 이야기 한 연구비 수주를 위해서 연구주제를 넓히는 경우도 종종 있었습니다. 이 과정에서 한 연구분야를 집중하지 못해 우수한 연구성과 창출에 문제도 있었습니다. 그래서 우수한 연구성과를 도출하기 위해서 상당한 시간이 필요하다고 생각합니다. 제가 최근에 희망하는 학술지에 논문을 게재할 수 있었던 것도 현재 연구하고 있는 주제의 경우도 제 연구실에서만 수행하고 있는 독창적인 연구 주제이기 때문에 우수한 성과를 얻을 수 있었습니다.

특히 박사학위를 취득하고 신입교수나 신입연구원이 되면 빨리 연구성과를 내기보다는 독창적인 나의 연구분야를 신중하게 설정한 후에, 자신의 연구분야에서 점진적으로 도출하는 연구성과를 넘어서 미래의 우수한 연구자로 성장하는 것이 좋을 것 같습니다.

9. 지금 이 시간에도 화학연구를 열심히 해나가는 신진/중견 화학 연구자에게 조언의 말씀을 해주실 수 있을까요?

앞에서도 몇 번 이야기 드린 것처럼 우리나라도 연구환경과 연구수준이 매우 좋아졌습니다. 그래서 우수한 연구성과를 도출하기 위해서 너무 성급하게 생각하지 말고, 본인 생각하는 연구분야를 창출하여 새로운 연구분야에 도전하는 것이 좋을 것으로 생각합니다. 특히 해외에서 공부하시는 분들 중에 매우 우수한 분들이 많이 있습니다. 그러나 때로는 연구자들 중에 대학원생 시절과 한국의 분위기나 연구환경이 달라 어려움을 겪는 분들도 있는 것 같습니다. 너무 연구성과에 조급하지 말고 인내를 가지고 연구에 도전하면 언젠가는 본인이 희망하는 우수한 연구성과를 얻을 수 있을 것으로 생각합니다.

「Bulletin of the Korean Chemical Society」

논문 투고 시스템 안내 (ScholarOne Manuscripts)

대한화학회가 발간하는 우리 화학회의 얼굴이자 우리 화학인의 학술지인

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

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

대한화학회 회장 신석민

대한화학회 학술지간행위원회 Bulletin지 편집장 남원우

1. BKCS 논문 투고 시스템 접속

* 아래 방법 중 택 1

- A. <https://mc.manuscriptcentral.com/bkcs>로 바로 접속
- B. http://new.kcsnet.or.kr/pub_bkcs 접속 후 On-line Submission 클릭
- C. <https://onlinelibrary.wiley.com/journal/12295949> 접속 후 우측 상단의 Submit an Article 클릭



A

B

C

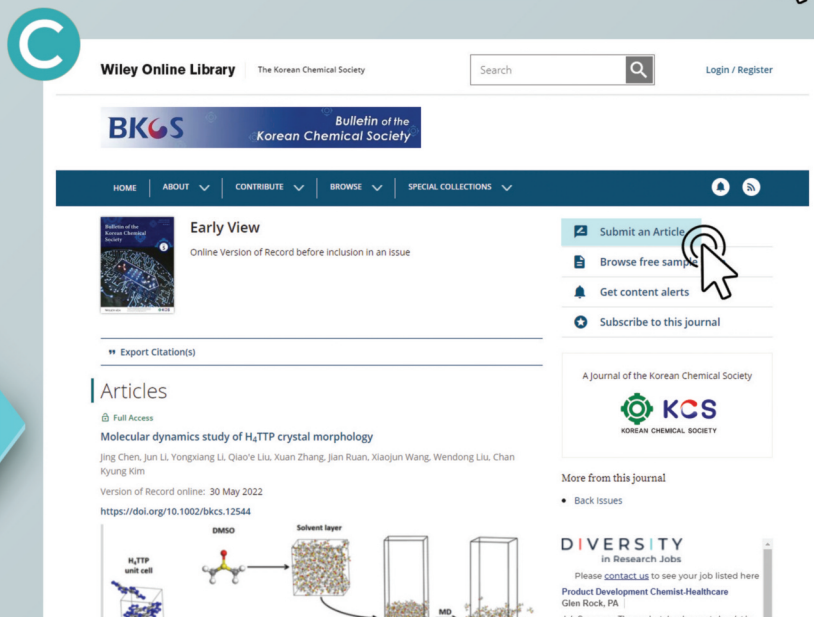
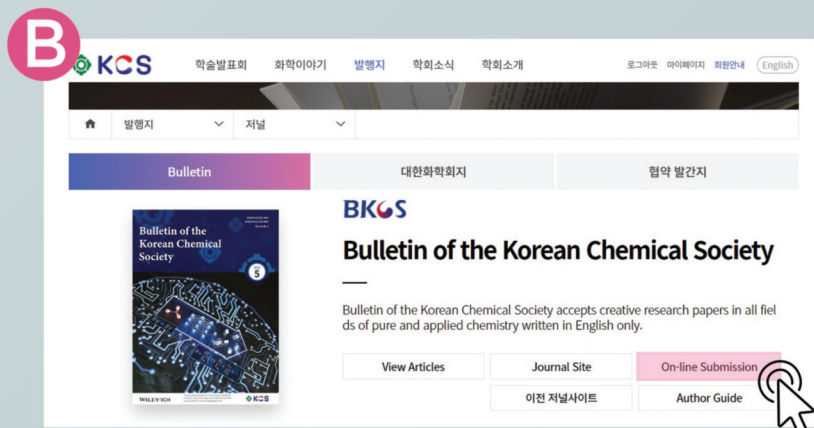
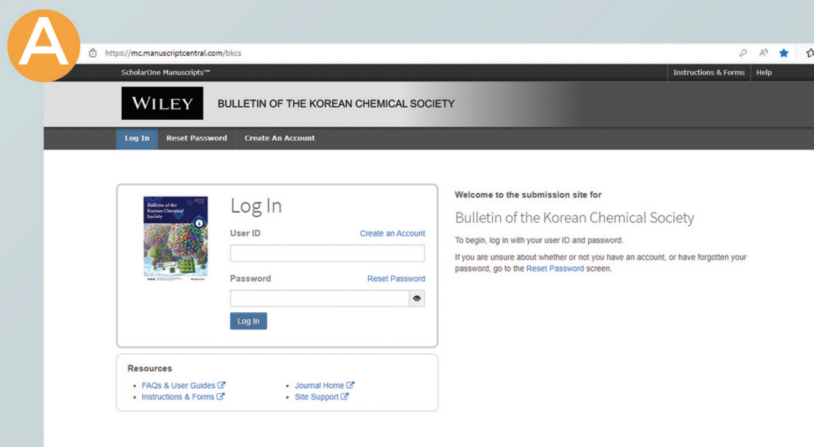
2. 계정 개설 후 로그인

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

* 외국인 심사위원은 점차적으로 늘릴 예정입니다.

* 논문 투고에 어려움이 있으실 경우 아래로 문의하여 주십시오.

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



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

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

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

KCS 하이라이트

15 산화금속 나노입자 관련 연구

이번 호에는 지난 3년(2020–2023)간 BKCS에 보고된 산화금속 나노입자 합성 및 응용에 관련된 연구 논문을 소개합니다. 다양한 종류의 산화금속 기반 나노입자의 합성법 및 광촉매, 슈퍼캐패시터, MRI contrast agent 등 다양한 응용분야에 관한 논문들이 발표되었습니다. 회원분들의 많은 관심 부탁드립니다.

글 백유진(한양대학교 화학과 석사과정), 윤홍석(한양대학교 화학과 조교수, yunhs@hanyang.ac.kr)

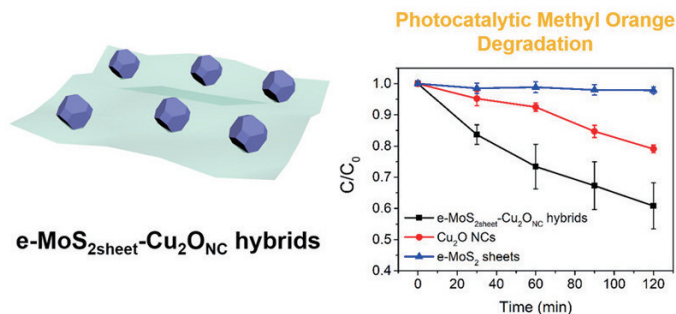
BKCS

Vol.41 No.12 p.1147-1152 / Article

울산대학교 홍정욱 교수 연구실에서 MoS_2 sheet- Cu_2O 나노입자 복합 소재를 이용해 오염물질의 광촉매 분해 및 이 과정에 대한 메커니즘을 규명하는 연구를 보고하였습니다. [2020년 12월호, DOI: 10.1002/bkcs.12125]

Highly Active Binary Exfoliated MoS_2 Sheet- Cu_2O Nanocrystal Hybrids for Efficient Photocatalytic Pollutant Degradation

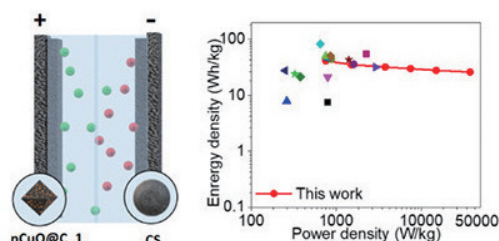
Semiconductor–semiconductor binary photocatalysts with complementary band gaps and desirable conduction band (CB)/valence band (VB) potentials are considered as attractive photocatalysts. In this study, binary exfoliated MoS_2 sheet- Cu_2O nanocrystal (e- MoS_2 sheet- $\text{Cu}_2\text{O}_{\text{NC}}$) hybrids have been synthesized through direct growth of Cu_2O nanocrystals on e- MoS_2 sheets. Under visible light irradiation, electrons and holes are efficiently generated in the binary e- MoS_2 sheet- $\text{Cu}_2\text{O}_{\text{NC}}$ hybrids. In addition, migration of electrons and holes is also accelerated into opposite e- MoS_2 sheets and Cu_2O nanocrystals, respectively. The efficient charge carrier formation and transfer in the e- MoS_2 sheet- $\text{Cu}_2\text{O}_{\text{NC}}$ hybrids are attributed to their morphological and compositional features, which boost their photocatalytic performance toward methyl orange degradation.



한양대학교 화학분자공학과 유원철 교수 연구실에서는 금속 유기 구조체(metal-organic framework)의 열분해 과정을 통해 탄소 다면체 내부에 CuO 나노입자가 존재하는 CuO@C 를 형성시키는 새로운 합성법 및 CuO@C 의 슈퍼커패시터 전극으로써의 높은 에너지밀도와 안정성에 대해서 보고하였습니다. [2021년 4월호, DOI: 10.1002/bkcs.12263]

High-Performance Asymmetric Supercapacitors Based on Monodisperse CuO@C Polyhedron Nanocomposites

Herein, CuO nanocrystals spatially embedded inside carbon polyhedron (CuO@C) derived via morphology-preserved transformation of metal-organic frameworks (MOFs) are utilized for high-performance asymmetric supercapacitors (SCs). Using a conventional MOF (several micrometers in size), pore-filling with polymer inside MOF (polymer@MOF) via vapor-phase polymerization (VPP) process was achieved that amount of polymer used for VPP can be readily adjusted to control the carbon content of CuO@C after thermolysis and subsequent oxidation processes. When monodisperse and nano-sized MOF is used for CuO@C (denoted as nCuO@C_1), it presents superior electrochemical performance because monodispersity and smaller size reduce interfacial resistance and promote mass-transport property, respectively. Asymmetric SC of nCuO@C_1 with carbon sphere (CS) as a counter electrode presents excellent energy density of 55.47 Wh/kg and long-term stability of 88.7% at 5000 cycles, comparable to the best MO-based asymmetric SCs derived from MOFs.

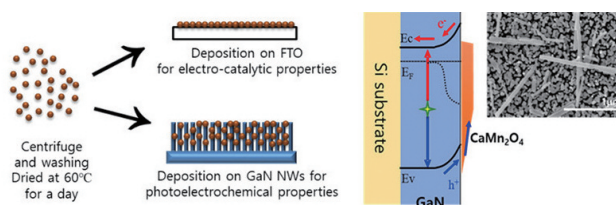


전남대학교 화학공학부 하준석 교수와 전남대학교 화학교육과 강순형 교수 연구실에서 수열합성법을 통해 만든 $\text{CaMn}_2\text{O}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ 를 GaN nanowire에 코팅하였을 때, GaN 와 전해질 사이 계면으로 형성되는 CaMn_2O_4 레이어가 전자 재결합을 제어하는 역할을 하여 높은 물분해 전기촉매 성능을 보일 수 있다는 것을 보고하였습니다. [2021년 6월호, DOI: 10.1002/bkcs.12297]

Hydrothermal Synthesis of $\text{CaMn}_2\text{O}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ Nanorods as Co-Catalysts on GaN Nanowire Photoanode

Co-catalysts play a crucial role in photoelectrochemical (PEC) water splitting reactions by improving slow kinetics and reducing surface recombination, thereby enhancing PEC performance. However, achieving a well-defined interface between low-dimensional

semiconductors and co-catalysts is challenging due to difficulties in depositing a uniform co-catalyst layer and attaining mixed and disordered states. $\text{CaMn}_2\text{O}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ has been extensively studied for the purpose of decreasing the overpotential in the oxygen evolution reaction. In this study, $\text{CaMn}_2\text{O}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ was synthesized via

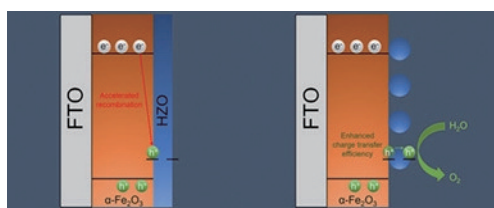


a hydrothermal method, and loaded onto a GaN nanowire (NW) photoanode. Optimized $\text{CaMn}_2\text{O}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ layers were decorated on GaN NWs to create $\text{CaMn}_2\text{O}_4 @ \text{GaN}$, which delivered a maximum photocurrent of 0.4 mA/cm^2 at 0 V vs. the Ag/AgCl reference electrode under an AM 1.5 G solar simulator, 1.6-fold higher than that (0.25 mA/cm^2) of bare GaN NWs. Thus, highly efficient and stable PEC water splitting was achieved on the GaN NW photoanode.

충북대학교 화학과 손운용 교수 연구실에서는 $\text{Hf}_{0.6}\text{Zr}_{0.4}\text{O}_2$ 를 hematite의 cocatalyst로써 활용할 때에, hematite의 모폴로지가 $\text{Hf}_{0.6}\text{Zr}_{0.4}\text{O}_2$ 위에 나노입자 형태로 존재하는 경우 향상된 물분해 전극 성능을 보이지만 표면 코팅의 형태인 경우는 surface recombination을 촉진시켜 성능을 악화시킬 수 있음을 보고하였습니다. [2022년 6월호, DOI: 10.1002/bkcs.12538]

Tailoring the Morphology of Hafnium Zirconium Oxide ($\text{Hf}_{0.6}\text{Zr}_{0.4}\text{O}_2$) as a Cocatalyst for Photoelectrochemical Water Oxidation over a Hematite ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) Photoanode

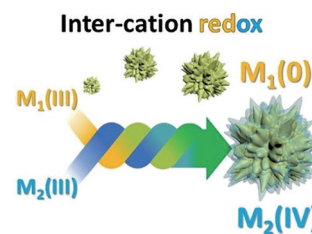
We fabricated the hematite ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) photoanode with $\text{Hf}_{0.6}\text{Zr}_{0.4}\text{O}_2(\text{HZO})$ -based cocatalysts prepared by two different types of the surface treatments, the overlayer coating, and the deposition of the nanoparticles. When the HZO nanoparticles were deposited, the current density at $1.23 \text{ V}_{\text{RHE}}$ was improved by about 31%, compared to that of the bare $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ film, with the cathodic shift of the onset potential. On the other hand, in the case of the HZO over-layer, the PEC performance drastically decreased. In this study, we revealed that HZO nanoparticles could act as a cocatalyst, while the overlayer treatment accelerated the surface recombination.



광운대학교 화학과 장홍제 교수 연구실은 계면활성제 없이 금속 양이온간의 산화환원 반응을 통해 metal core와 oxide shell로 이뤄진 core-shell 나노입자를 만드는 합성법에 대한 논문을 발표했습니다. [2022년 8월호, DOI: 10.1002/bkcs.12587]

Synthesis of Binary Metal–Metal Oxide Core-Shell Nanoparticles via Surfactant-Free Intercation Redox Reactions

Surfactant-free one-step redox reactions between two types of metal cations enable the synthesis of core-shell nanoparticles without sophisticated control. The reduced noble metal cations form a solid core, and the transition metal cations dissolved upon oxidation induce the subsequent formation of a metal oxide shell. Various nanostructures are obtained from the combination of reduction-preferring Au^{3+} , Pd^{2+} , Pt^{2+} , Rh^{3+} , and Ir^{3+} cations,



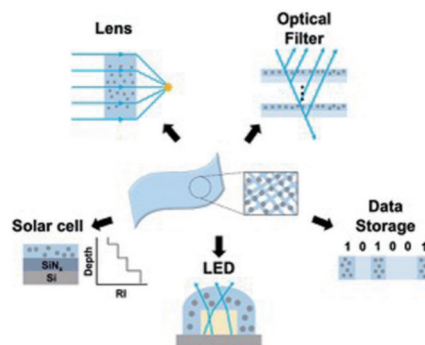
and oxidation-preferring Ti^{3+} , Mo^{3+} , V^{2+} , and V^{3+} cations. Among the synthesized core-shell nanoparticles, Au-M (M=Ti, Mo, and V) is selected for the photodegradation tests at 365 and 808 nm.

충남대학교 화학과 윤일선 교수 연구실이 ZrO_2 가 고분자소재와 함께 어떻게 투명 고굴절 나노복합소재로 활용될 수 있는지에 대하여 광학 이론과 합성 방법, 제작의 필요성 및 활용 분야에 대해서 리뷰 논문을 보고하였습니다. [2023년 Early View, DOI: 10.1002/bkcs.12666]

Zirconia Nanocomposites and Their Applications as Transparent Advanced Optical Materials with High Refractive Index

Polymer nanocomposites, prepared by incorporating functional nanoparticles (NPs) into a polymer matrix, have advantages of utilizing functionalities of polymers and NPs. Among them, transparent high-refractive-index polymer nanocomposites (THPNs), prepared by incorporating highly refractive NPs into polymer matrices, are advantageous for effectively manipulating light. This review focuses on the introduction of fabrication of THPN prepared by incorporating inorganic-oxide NPs, especially zirconia (ZrO_2), and its characteristics as an optical material.

ZrO_2 NPs have a high refractive index and high transmittance in visible light regions with high and narrow optical bandgap energy. Since ZrO_2 NPs are harmless to humans and physically and chemically stable, they are suitable for applications of advanced optical materials for display and energy devices. Various fabrication methods of THPN with ZrO_2 NPs and surface modifications of ZrO_2 NPs to prevent agglomeration are introduced. Principles and specific applications, which THPN could work with and for, are introduced as well.

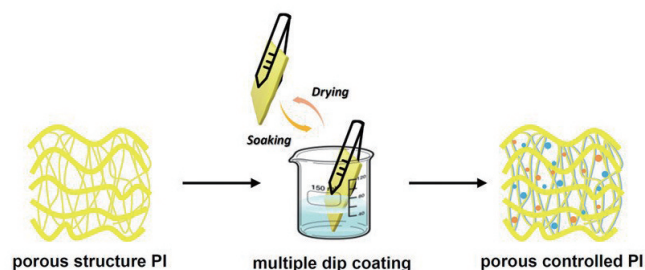


인천대 화학과 임태은 교수와 한국전자기술연구원 김영권 박사 연구실에서는 나노사이즈의 Al_2O_3 와 ethylene bis(diphenylphosphine) 복합체를 도입하여 poly(imide) 기반 분리막의 기공과 자유라디칼을 줄여 안정적이고 높은 성능의 전기화학셀을 만들 수 있음을 보고하였습니다. [2022년 9월호, DOI: 10.1002/bkcs.12593]

Aluminum Oxide and Ethylene Bis(diphenylphosphine)- Incorporated Poly(imide) Separators for Lithium-Ion Batteries

Although poly(imide)-based separators have received great attention as an alternative separator for lithium-ion batteries, there are serious restrictions because their porous structures enable a great amount of current to leak internally. In this work, we report a one-step coating process for the structures of poly(imide) (PI)-based separators that effectively closes their pores. To close the large pores on a PI separator, nanosized aluminum oxide as a coating precursor and

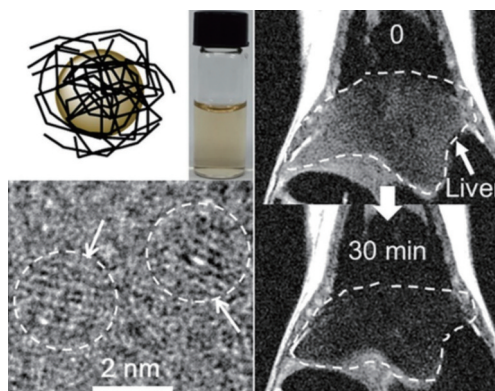
the free radical scavenging agent ethylene bis(diphenylphosphine) were co-incorporated into the PI separator. Screening tests confirmed that ethylene bis(diphenylphosphine) (EPP) can effectively scavenge free radical species via chemical reaction and that incorporating Al_2O_3 -EPP composites closed pores of the PI separators. Regarding electrochemical performance, the cell cycled with a PI separator that incorporated Al_2O_3 -EPP exhibited stable cycling, while the cell cycled with a bare PI separator showed failure. These results indicate that incorporating Al_2O_3 -EPP material effectively increases both safety and electrochemical performance. The Al_2O_3 -EPP composites are incorporated onto the PI separator via dip-coating process in order to improve electrochemical properties of PI separator. The cell cycled with the Al_2O_3 -EPP incorporated PI separator exhibits stable cycling behavior because Al_2O_3 -EPP composites effectively prevent internal short circuit in the cell.



경북대학교 화학과 이강호 교수와 경북대학교 의과대학 장용민 교수 연구실에서는 polyacrylic acid 가 코팅된 초미세 상자성 Dy_2O_3 (dysprosium oxide) NP 의 합성법과 이 나노입자의 T_2 MRI 조영제로써의 특성을 분석하여 보고하였습니다. [2020년 8월호, DOI: 10.1002/bkcs.12074]

A Novel Paramagnetic Nanoparticle T_2 Magnetic Resonance Imaging Contrast Agent With High Colloidal Stability: Polyacrylic Acid-Coated Ultrafine Dysprosium Oxide Nanoparticles

Until now, there have been limited studies on T_2 magnetic resonance imaging (MRI) contrast agents (CAs) using paramagnetic nanoparticles (NPs). In this study, ultrafine dysprosium oxide (Dy_2O_3) NPs were synthesized as a T_2 MRI CA. To obtain high biocompatibility and colloidal stability in aqueous medium for *in vivo* applications, they were grafted with polyacrylic acid. They displayed paramagnetism with an appreciable magnetization value at 300 K and consequently, an appreciable transverse water proton spin relaxivity (r_2) value which increased as the applied MR field increased. Their potential as a T_2 MRI CA was proved by taking *in vivo* T_2 MR images in mice.



연구자 되기 ⑤

연구자의 덕목 : 자발성(自發性)

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



완충 용량

연구는 생성의 과정이다. 관찰과 측정을 통해 데이터가 만들어진다. 실험 데이터를 해석하고 검증하여 논문을 생산한다. 논문들이 모여 새로운 이론이 태어나고 지식은 확장된다. 새로운 지식을 생성하는 연구의 과정은 분명 흥미롭고 보람된 일이다. 하지만 동시에 많은 시간과 꾸준한 노력이 필요한 도전적이고 어려운 작업이다. 연구자는 실험을 설계하고, 데이터를 분석하며, 논문을 작성하는데 오랜 시간을 보내야 한다. 이러한 과정 속에서 종종 실험에 실패하고, 데이터 해석에 어려움을 겪기도 하며, 저널에 투고된 논문이 거절되기도 한다.

연구자가 연구를 하는 동안 수 없이 겪게 되는 실패와 좌절을 극복하고 지속적으로 연구를 이어가기 위해서는 연구 수행 과정 중에 느끼는 압박감과 어려움을 이겨내기에 충분한 완충 용량(buffer capacity)을 갖추는 게 필요하다. 수용액 내에서 수소 이온 지수(pH)의 변화에 대한 완충 용량은 짝산/짝염기(conjugate acid/conjugate base)의 농도가 높고, 이들의 산 해리 상수(acid dissociation constant, pK_a)가 해당 pH에 가까워질수록 커진다. 따라서 연구 스트레스에 대해 높은 완충 용량을 갖기 위해서는 연구 과정의 각 단계에서 발생할 수 있는 여러 도전들에 대응할 수 있는 다양한 중

류의 짝산/짝염기들을 포함하는 높은 농도의 완충 용액을 준비해 두고, 이를 상황에 맞춰서 적절히 활용할 수 있는 능력을 갖추어야 한다.



그림 1. 자기 긍정과 자기 동기부여를 짝산/짝염기로 해서 만들어진 완충 용액, 자발성

자기 긍정

연구를 하는 동안 마주치는 일상적인 실패와 실망을 이겨내기에 충분한 완충 용량을 가지는 완충 용액을 만들기 위한 짝산과 짝염기는 자기 긍정(self-affirmation)과 자기 동기부여(self-motivation) 능력이다. 자기 긍정은 자신의 능력과 삶의 조건들을 있는 그대로 인식하고 이를 받아들이는 태도이다. 연구는 새로운 지식을 만들어내는 여

정이고, 그 여정의 출발점은 연구자 자신이다. 자기 긍정은 연구자가 자신이 하는 연구의 주인이 되게 하는 근거이다. 새롭고 도전적인 연구를 하다 보면 실험에 실패하는 일이 잦아진다. 반복되는 실패 속에서 연구자는 낙담하게 된다. 이로 인한 연구자의 좌절과 부정적인 태도는 결국 자신의 연구 능력을 약화시키고 연구의 성공 가능성을 낮추게 된다. 연구자가 연구 과정 중에 마주치는 도전과 장애물을 넘어서기 위해서는 먼저 자신을 긍정할 수 있어야 한다. 연구자 내면의 힘에 대한 자신감과 긍정적인 태도는 어렵고 도전적인 여러 상황 속에서도 연구에 대한 동기를 유지시키고 집중력을 회복시킬 수 있는 유연성과 탄력성을 제공한다. 그러나 자기 긍정이 자신의 실수나 잘못에 대한 무조건적인 승인을 의미하지는 않는다. 연구자의 자기 긍정은 연구 과정 중에 자신이 잘못된 해석을 하거나 연구가 실패할 수 있음을 긍정하고, 동시에 이를 해결하는 연구 과정 자체를 긍정함을 의미한다.

연구자의 자기 긍정의 힘은 다른 연구자들과 공동 연구를 하는 데도 큰 도움이 된다. 현대과학에서는 전공이 서로 다른 연구자들 사이의 학제간 연구나 융합 연구가 활발하다. 공동 연구를 통해 성공적인 연구 성과를 얻기 위해서는 연구자들의 적극적인 참여가 필요하다. 동시에 공동 연구에서 자신이 맡은 역할과 책임을 분명히 인식하면서 공동 연구자들을 배려하고 신뢰해야 한다. 연구자가 본인의 능력에 대한 확신이 있으면 다른 연구자의 의견이나 반응을 받아들이는 데 더 적극적이다. 왜냐하면 자기 긍정의 힘은 나와 외부 세계와의 차이를 왜곡하지 않고 있는 그대로 긍정하기 때문이다. 자기 긍정을 기반으로 한 적극적인 외부 수용 태도는 공동 연구 과정 중에 발생할 수 있는 참여 연구자들 사이의 갈등을 줄이고 협력 효과를 증가시킨다.

경쟁력 있는 연구자가 되기 위해 필요한 자기 긍정의 힘은 어떻게 기를 수 있을까? 자기 긍정을 위해서는 가장 먼저 자기 자신에 대해 제대로 알아야 한다. 자신의 장점을 찾기 위해 본인이 긍정할 수 있는 자신의 특징들을 적어본다. 잘 생각나지 않으면 자신이 믿을 수 있는 동료나 친구들에게 의견을 구해도 좋다. 자기 긍정의 힘은 성공의 기쁨에서도 얻을 수 있다. 자기 긍정은 자신감을 필요로 하고, 자신감은 성공의 기억에서 생긴다. 우리에게 큰 성공보다는 작은 성공의 경험이 더 많다. 따라서 자기 긍정의 힘을 갖기 위해서는 작은 성공에서도 성취감을 찾는 연습을 할

필요가 있다. 더불어 실패 속에서도 내가 긍정할 수 있는 부분을 찾을 수 있으면 더 좋다. 또한 불안이나 비난은 자기 긍정과 함께 어울리기 어렵다. 부정적인 생각을 떨리하기 위해 자신에게 격려와 칭찬과 같은 긍정적인 힘을 보태 줄 수 있는 친구와 동료들을 주위에 가까이 한다.

자기 동기부여

연구를 수행하며 겪는 실패의 충격을 줄여주는 데 필요한 완충 용액의 또 다른 주요 성분은 자기 동기부여 능력이다. 자기 동기부여는 여러 도전과 장애에도 불구하고 연구 목표를 향해 나아가게 만드는 힘이다. 자신이 어떠한 동기를 가지고 연구를 진행하느냐에 따라 연구 성과의 질이 달라지고, 연구의 성패가 결정되기도 한다. 자기 긍정은 자신이 가지고 있는 능력과 가치, 장점들을 찾고 그 의미를 평가하는 내부를 향한 힘이라고 할 수 있다. 반면에 자기 동기부여는 내적 자기 긍정을 바탕으로 외부의 어려운 상황 속에서도 원하는 결과를 얻기 위해 자신을 격려하는 나와 의 대화라고 할 수 있다. 그런데 자기 긍정과 자기 동기부여는 짝산/짝염기의 관계로, 둘 사이에는 서로 양성자 하나의 차이 밖에 없다. 자기 긍정은 자기 동기부여를 낳고, 자기 동기부여는 자기 긍정을 지속적으로 유지할 수 있게 해준다.

연구자의 자기 동기부여 능력은 연구를 수행하면서 마주치는 여러가지 어려운 상황을 헤쳐 나가는데 중요한 역할을 한다. 연구는 이전 연구자들의 연구 성과를 바탕으로 아무도 가지 않았던 곳을 향해 떠나는 탐험이자 모험이다. 미지의 세계에는 접해보지 않은 낯선 도전들이 기다리고 있다. 이러한 도전들 속에서 겪을 수 밖에 없는 고난과 연속되는 실패에도 불구하고 연구자가 낙담하지 않고 다시 일어서서 연구 목표를 향해 꾸준히 나아갈 수 있게 만드는 힘은 자기 동기부여에서 나온다.

연구 과정 중에 발생하는 문제들을 하나씩 해결해 나갈 수 있는 힘을 키우기 위해서도 자기 동기부여가 중요하다. 어떤 문제에 대한 적절한 해결책을 찾는 과정은 크게 네 단계로 나뉜다. 먼저 문제가 되는 현재의 상황과 조건들을 파악해야 한다. 다음으로 문제 해결을 위해 달성하고자 하는 목표 수준을 정한다. 세 번째로 현재 수준과 목표 수준 간의 차이를 해소하기 위한 여러 방안을 궁리한다. 마지막으로 만들어진 방안들을 문제에 적용하여 최적의 해결책을

찾는다. 따라서 문제 해결을 위해서는 문제를 이해하고 현재 상황과 목표 수준과의 차이를 구분하는 분석 능력뿐만 아니라 문제 해결을 위한 새로운 아이디어를 만들어 내고 이를 행동으로 옮기는 실행 능력이 필요하다. 연구자는 최종 연구 목표를 향한 자기 동기부여를 통해 제시된 문제의 해결책 마련에 적극적으로 참여하고, 만들어진 여러 아이디어를 평가하여 문제 해결에 가장 효과적인 방안을 결정함으로써 문제를 해결할 수 있다.

스스로에게 동기를 부여하고 이를 유지하는 힘을 기르기 위해서는 연습과 노력이 필요하다. 먼저 성취하고자 하는 분명한 목표를 세우는 습관을 들여야 한다. 하지만 그 목표는 본인이 달성할 수 있는 정도로 도전적인 것이어야 한다. 너무 어려운 목표는 성공 가능성도 낮고 시간도 오래 걸려서 동기 부여를 유지하기가 어렵다. 원대한 목표는 그것을 작은 몇 개로 나누어서 단계별로 도전해 나가는 게 좋다. 또한 계획하는 목표는 매우 구체적이어야 한다. 연구 목표가 구체적이지 않으면 연구의 진행 정도를 파악하기 어려워 성취감을 얻기가 어렵다. 스스로에게 성취감이란 보상 없이 동기 부여를 지속하기는 쉽지 않다. 연구에 대한 자기 동기 부여를 위해서는 연구자가 본인의 열정을 쏟을 만한 연구 대상을 찾는 노력도 지속해야 한다. 본인이 하고 있는 연구의 의미와 가치에 대해 생각해 보는 시간을 갖는 동시에, 최신 논문을 읽고 학회에서 다른 분야 연구자의 발표를 들으며 새로운 분야에 대한 학습을 게을리 하지 않아야 한다.

자발성

자기 긍정과 자기 동기유발이라는 짝산과 짝염기로 만들어지는 완충 용액은 자발성(spontaneity)이다. 자발성은 외부 자극 없이도 무엇인가를 할 수 있는 능동적인(active) 힘이다. 연구는 동일함의 반복이 아니라 새로운 가치체계를 생성하는 작업이다. 능동적인 힘인 자발성은 지속적으로 새로움을 만들어 낼 수 있는 반면에, 외부의 자극에 반응하는 반동적인(reactive) 힘인 비자발성은 새로움을 계속 생성할 수 없다. 반동적인 힘은 외부의 자극이나 에너지가 사라지면 아무 일도 할 수 없기 때문이다. 반동적인 힘은 외부 세계와의 상대 비교를 통해 부족한 결핍을 채우지만, 능동적인 힘은 상대방과의 비교 대신 스스로 탁월함을 추구한다. 따라서 능동적인 힘은 새로운 가치를 세워 이를 확산시키고, 자발성은 독립적인 연구자로서 연구의 주인이

될 수 있게 해준다.

자발성을 지닌 연구자가 되기 위해서는 새로움이 주는 낯설과 불안함을 즐길 수 있어야 한다. 아무도 시도하지 않았던 연구에는 언제나 여러가지 불확실성이 존재할 수 밖에 없다. 그렇지만 연구를 하면서 마주치는 예측하기 어려운 미래는 장애물이 아니라 새로운 발견을 가능하게 해주는 열린 기회이다. 연구의 자발성을 기르기 위해서는 생각의 유연함(plasticity)도 필요하다. 생각이 유연한 연구자는 다른 사람의 생각이나 새로운 방법을 받아 들이는데 좀 더 적극적이고, 연구가 실패하거나 계획대로 진행되지 않을 때도 쉽게 대안을 찾는다.

자발성을 지속하기 위한 필요조건은 건강한 신체이다. 화학 반응의 자발성은 자유 에너지(free energy)에 의존하고, 자발적 반응(spontaneous reaction)은 자유 에너지가 감소하는 반응이다. 즉 자발적인 반응을 시작하고 유지시키기 위해서는 높은 에너지가 필요하다. 강인한 정신력과 더불어 건강한 신체가 뒷받침 되어야 새롭고 도전적인 연구를 꾸준히 진행할 수 있다. 연구의 자발성을 유지하기 위한 건강한 신체를 갖기 위해서는 주기적으로 운동을 해야 한다. 운동을 하는 동안에는 연구에 대한 생각을 할 수 없을 정도로 푹 빠져들어 즐길 수 있는 운동이면 더 좋다. 사실 연구 과정에는 연구자가 직접 실험을 하는 신체적 활동보다는 실험을 계획하고 데이터를 해석하는 등의 정신적 활동이 압도적으로 더 많다. 이와 같은 두 활동 간의 불균형을 해소하기 위해서도 주기적인 운동이 필요하다. ☺



김 태 영 Tae-Young Kim

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

우리 실험실은요!

우리 실험실은요!

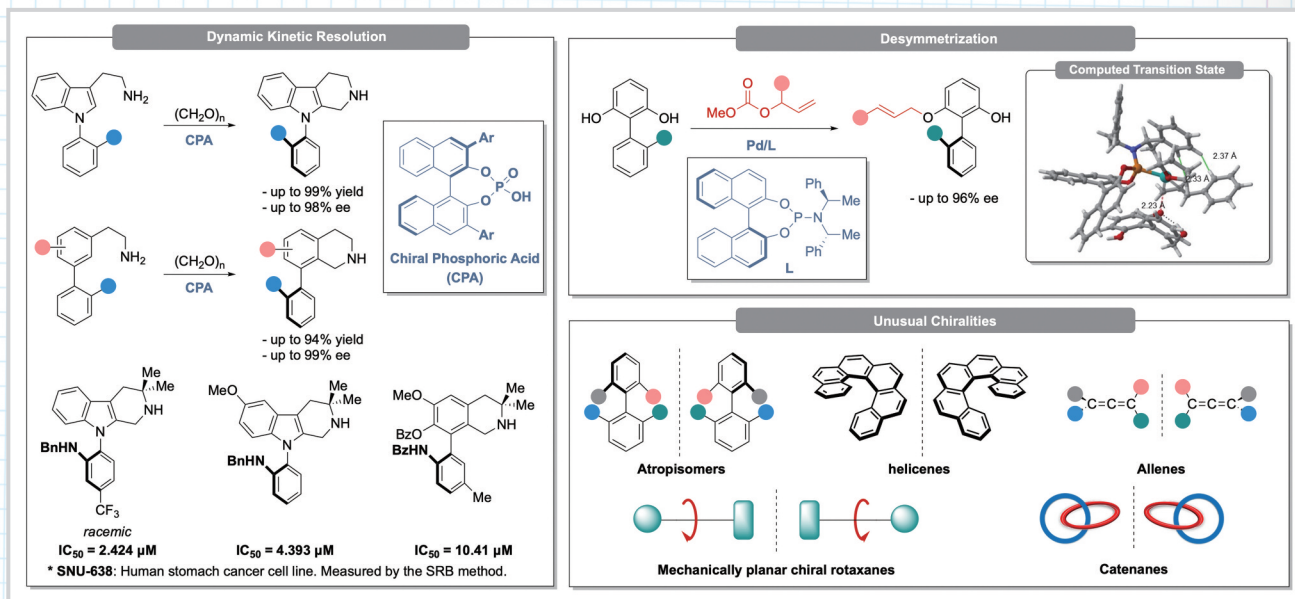
촉매약화학 연구실

글 | 문준수 (성균관대학교 약학대학 약학과 박사과정, jpokeface@skku.edu)

안녕하세요? 성균관대학교 약학대학 약학과 촉매약화학 연구실을 소개해 드리겠습니다. 우리 촉매약화학 연구실에서는 비대칭 촉매를 이용하여 거울상 이성질체 선택적 합성 방법을 개발하는 연구를 수행하고 있습니다. 우리 몸의 중요 구성 성분인 탄수화물, 단백질, 핵산 등이 비대칭성을 갖고 있기 때문에 두 거울상 이성질체 관계의 약물이 완전히 서로 다른 효능을 보일 수 있습니다. 따라서, 하나의 거울상 이성질체를 선택적으로 합성하는 것은 신약 개발에서 필수적이며, 이를 가능하게 해주는 가장 효율적인 방법이 바로 비대칭 촉매를 이용한 합성입니다. 비대칭 정보가 없는 환경에서는 절대로 비대칭 화합물이 선택적으로 생성되지 않기 때문에, 비

대칭 촉매를 사용하여 비대칭 정보를 전달합니다. 촉매와 분자의 상호작용에 의해 비대칭 정보가 분자에 전달되고, 이 상태에서 반응이 일어나면 하나의 거울상 이성질체만을 선택적으로 합성할 수 있게 됩니다. 흔히 잘 알려진 비대칭성인 탄소 중심의 비대칭성도 여전히 매우 중요하지만, 우리는 축 비대칭성을 비롯한 특이 비대칭성에 대해 연구하여 화학 세계를 넓혀가고 있습니다.

현재 연구실에서 가장 활발히 진행하는 연구는 비대칭 촉매를 이용하여 회전장애 이성질체 선택적 신규 합성 방법론을 개발하는 것인데요, 회전장애 이성질체란 단일 결합의 회전 이 부피가 큰 치환기에 의해서 제한이 되면서 생기는 입체 이



▲ 연구실 성과 및 향후 연구 계획



학교 잔디밭에서 단체 사진



제주도에서 단체 사진



연구실 지킴이 패트와 매트

성질체의 일종입니다. 이와 관련된 저희 연구실에서의 연구 몇 가지를 소개하겠습니다.

가장 대표적으로, 비대칭 인산 촉매를 사용하여 동적 속도론적 분할(dynamic kinetic resolution) 전략으로 질소 포함 헤테로 고리 화합물들을 높은 수율과 회전장애 이성질체 선택성으로 합성하였고, 합성한 새로운 골격의 화합물들은 다양한 암세포주에 대해 항증식활성을 측정하여 약물로서의 활용 가능성을 확인하였습니다. 또한, 탈대칭화(desymmetrization) 전략을 이용한 회전장애 이성질체 선택적 알릴화 반응에 관한 연구를 수행하였습니다. 바이아릴 분자의 단일결합 축을 기준으로 대칭인 두 하이드록실 작용기 중에서 촉매-리간드와 상호작용을 통해 한쪽의 하이드록실 작용기만 알릴화하여 높은 회전장애 이성질체 선택성을 얻어 연구를 성공적으로 마무리했습니다. 이 프로젝트에서 용액 내에서 일어나는 반응을 컴퓨터 화학을 이용하여 계산 및 시각화하여 반응의 기전과 입체선택성의 근원을 밝히기 위한 연구도 함께 진행하였습니다. 컴퓨터 화학이 본격적으로 사용되기 전에는 분자 모형을 직접 만들어 상호작용을 예상하고 가설을 제시하였는데, 컴퓨터 화학이 이러한 상호작용을 수학적 연산을 통해 수치화해주어서 더 정밀한 예측을 가능하게 해주었습니다.

특이 비대칭성은 축 비대칭성 말고도 나선형 비대칭성이나 기계적으로 맞물린 분자인 로택세인(rotaxane), 카테넌(catenane) 등에서 생기는 위상 비대칭성 등 정말 다양한 종

류가 존재하는데, 앞으로 연구에서는 이러한 특이 비대칭성을 다루어 보려고 합니다.

함께 하는 연구실

다음으로, 저희 실험실을 소개하겠습니다. 지도교수님은 권용석 교수님으로 임용되신 지 4년이 채 되지 않은 젊은 교수님이고, 활발하고 공격적인 연구지도를 해주시고 있습니다. 학생들을 훌륭한 연구자로 키우기 위해서 매주 저널미팅을 진행하고 있습니다. 이를 통해 최신 연구 동향을 살피는 동시에 논문을 읽고 이해하는 능력과 발표력을 기르고 있습니다. 연구에만 집중하다 보면 논문 읽기에 소홀해지기도 한데 이러한 시간을 통해서 논문과 친해지고 있습니다. 또한 신입생들의 경우 아직 논문을 많이 접해보지 않아 더욱 어렵고 힘들기 때문에 교수님께서 따로 시간을 내서 학생들과의 스터디를 구성해 주셨습니다. 흔치 않은 기회인 교수님과 개인 강습인 셈이죠. 제가 석사과정일 때에는 더 높은 수준의 연구를 위해 컴퓨터 화학을 개시해보자는 주제로 스터디를 구성하였습니다. 이 스터디는 한 학기 정도 진행을 했었고 지금은 논문에 사용할 수 있을 정도의 수준까지 끌어올렸습니다. 또한, 저희 연구실에서는 1인 1프로젝트를 맡아서 연구를 진행하고 있으며, 매주 그룹미팅을 통해 각자 프로젝트에 대한 진행 상황을 공유, 서로의 의견을 나누며 다 함께 실험을 진행하고 있습니다. 이런 교수님의 지도하에 저희는 실험과 공부에 모두 강한 연구자가 되고 있습니다.



회식 중에 교수님과 함께



즐거운 티타임

가족 같은 화목한 연구실

이렇게 연구에 공부까지 하려면 정말 몸이 두 개라도 부족할 지경인데요. 이 힘든 대학원 생활 속에서도 나아갈 수 있는 원동력은 서로 밀어주고 이끌어주는 힘인 것 같습니다. 저희 연구실은 저를 포함한 박사 과정 3명과 석사 과정 2명, 그리고 연구실에서 인턴을 하고 있는 학생들로 이루어져 있습니다. 저희 연구실의 가장 큰 장점 중 하나가 바로 화목한 분위기입니다. 연구실 내에서 해야 하는 업무들이나 일어나는 각종 사안에 대해서 회의를 통해서 분배하고 정하며, 이 과정에서 구성원들 모두가 의견을 편하게 말하고 조율하기 때문에 다들 만족하는 결과로 이르게 됩니다. 종종 교수님이나 구성원들이 사오는 간식들을 나누어 먹으며 사소한 이야기를 나누기도 하고 회식을 통해 마음속에 있는 깊은 대화를 나누기도 합니다. 이렇게 하루하루 연구실 생활과 일상들을 공유하다 보니 자연스럽게 가족 같은 화목한 연구실이 되어 있습니다.

마치며...

이렇게 서로 챙기고 도와주더라도 연구실은 누구에게나 힘들 수밖에 없잖아요. 힘든 생활을 오래 지속하다가 인생에서 가장 중요한 것들을 잊게 되는 경우를 종종 보게 되는 것 같아요. 인간성, 유머, 행복 같은 것들이요. 너무 딱딱하고 척박한 연구실이 아니라, 충분히 인간적이고 적당히 유머러스한, 그리고 최대로 행복한 그런 연구실이 되었으면 좋겠다는 마

음으로 방장 역할에 임하고 있습니다.

초기 구성에서부터 새로운 프로젝트의 개시, 그리고 새로운 장비와 새로운 사람들. 태어난 지 얼마 안 된 연구실이다 보니 정말 많은 우여곡절이 있었고 헤쳐나가면서 정이 많이 든 것 같아요. 구성원 한 명 한 명 그리고 연구실 그 자체도요. 모두 같은 마음으로 즐겁게, 열심히 나아가고 있으니 앞으로 끝없이 발전할 연구실의 모습이 기대됩니다. 우리 촉매화학 연구실의 성장을 촉진시켜 줄 새로운 촉매의 등장을 기대하며 글을 마칩니다. 존경하는 우리 교수님, 사랑하는 연구실 구성원들, 그리고 글을 읽어 주신 독자 여러분 감사합니다.

“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.

실험실 안전과 달콤함

장홍제 | 광운대학교 화학과,
hjang@kw.ac.kr



역사를 바꿔 온 화학 물질들은 수없이 많았다. 금속과 합금, 비료, 항생제, 반도체는 누구에게나 연상되는 대표적인 인류사의 화학적 이정표다. 물론, 그 외에도 긍정적이거나 부정적인 파급력으로 시대의 흐름과 정책의 방향, 사회의 구조를 뒤바꿔온 물질이 수도룩하다. 살아가는데 필수적이라는 의·식·주라는 커다란 구분 속에서 단순한 생존을 넘어 행복과 만족을 추구하며 물질의 수요는 계속해서 다양화되었다. 그중 용액과 농도에 대한 기초적인 문제부터 탄수화물의 화학까지 빠지는 곳 없는 작고 간단한 물질인 설탕에 초점을 맞춰 이야기를 시작해 보려 한다.

설탕을 찾아서

대항해시대의 장거리 무역, 미식 문화의 발달, 행복감을 불러오는 사치품, 그리고 아이티(Haiti)의 혁명까지 설탕이 관여한 흐름은 다채롭다. 그 자체로 매혹적인 단맛은 잘 익은 과일이나 벌꿀을 제외하고는 쉽게 얻을 수 없었다. 그 때문에 고대 로마에서 납 주전자에 포도주를 넣고 졸여 얻었던 감미료 사파(Sapa)나 녹주석에서 유래한 출처부터 고귀한 달콤한 가루는 인기였다. 후에 그 정체가 산화된 포도주

속 아세트산과 납의 반응에서 생겨난 아세트산 납(lead acetate)나 에메랄드에서 분리된 베릴륨(beryllium, Be) 이어서 중독과 암을 유발한다는 사실이 밝혀지며 막을 내렸지만 말이다.

설탕을 얻는 가장 쉬운 방식은 식물에서 추출하는 것이다. 사탕수수(sugarcane)와 사탕무(sugar beet)가 대표적인 원료라는 사실은 명칭에서 유추할 수 있다. 열대 지방을 배경으로 한 생존 프로그램에서 심심찮게 등장해 잘근잘근 씹어먹으며 즐거움을 주는 사탕수수는 흥미로운 식물이다. 흔히 미국의 광활한 농경지에서 재배되는 어마어마한 양의 옥수수나 밀이 가장 대표적인 농작물로 떠오르지만, 실상은 그 모든 명예가 사탕수수에 주어질 수밖에 없다. 연간 최대 생산량을 갖는 농작물이 사탕수수이며, 거래총액으로 고려해도 다음 순위인 밀의 30배에 달하는 초대량 고부가 가치 식물이기 때문이다. 단순한 농업과 산업을 넘어 사탕수수는 입사 태양광의 무려 7%에 달하는 에너지를 바이오매스로 전환한다는 특징이 있다. 환경만 적합하다면 높은 효율로 당분을 얻을 수 있는 사탕수수의 최대 생산지는 현재의 아이티 공화국이었다. 당시 전 유럽에 공급되는 커피의 60%와 설탕의 40%를 담당하던 아이티에서 혁명이 발



그림 1. 달콤함은 이제는 흔하지만 과거에는 충격이었다.
[출처: Wikimedia commons]



그림 2. 지방맛은 가장 최근 확인된 실재하는 맛의 일종이다
[출처: Wikimedia commons]

생해 문제가 발생하자 이를 해결하기 위한 새로운 원료가 필요했으며 그것이 사탕무였다.

사실 사탕수수와 사탕무는 성분적으로 동일한 설탕이지만 더 선호되는 것은 사탕수수에서 추출된 설탕이다. 땅 위에 솟아 자라난 줄기에서 설탕이 추출되는 사탕수수는, 땅 속에 묻혀 있다 뽑히어 보관되고, 지독한 냄새를 풍기는 몇 단계 작업을 통해 설탕으로 변하는 사탕무에 비해 맛과 향이 가볍고 향긋하다 알려져 있다. 언제나 천연 비타민C와 합성 비타민C의 차이가 없다 이야기하는 화학자들도 이 평가로 불편함을 느낄 필요는 없다. 단 0.05% 내외의 다른 성분으로 느껴지는 미세한 향 차이가 만들어진 것일 뿐이다.

맛의 범위를 넓히다

단맛은 매혹적이지만 여러 맛 중 한 가지일 뿐이다. 심지어 단맛 하나만으로는 충분하지 않다. 가장 순수한 단맛의 집합체라 여겨지는 사탕이나 시럽도 새콤한 맛이 뒤섞이고 초콜릿도 필연적으로 씹쓸한 맛이 절묘한 비율로 섞여 완성된다. 맛에 대한 이론과 해석도 시간에 따라 달라져 왔다. 오래전 공부한 경우에는 혀의 각 부위에 따라 단맛, 쓴맛, 신맛, 짠맛을 느낀다고 배웠을 테고, 이후에는 혀의 특정한 위치에 얽매어 있지 않다는 사실과 더불어 감칠맛(우마미)이라는 새로운 맛이 추가된다. 많은 경우 이 단계에 머물러 있었겠지만 지금은 하나의 장막이 더 걷혀 있다. 고소함을 느끼게 하는 지방의 맛, 즉 올레오게스투스(oleogustus)가 2012년 맛의 한 종류로 인정받았다. 새로운 맛을 찾고 분류하는 시도는 전후로도 계속되어 왔다.

맛이 아닌, 공감각에서 유래한 유사 맛의 일종으로 매운 맛과 짠맛이 존재하는 것은 유명하다. 둘 다 미각이 아닌 혀에서 느껴지는 촉각에 해당한다. 요즘 많은 사랑을 받고

있는 불맛 역시 후각적 요인에 좌우되는 공감각적 유사 맛이다. 가끔 미각이 예민한 순간 느껴지곤 하는 약간은 비린 듯한 물의 맛은 신맛의 일종이며, 동전이나 젓가락을 입에 물었을 때 순간 느껴지는 금속의 맛은 짠맛의 또 다른 형태로 드러났다. 이제는 많은 사람들을 중독시키는 탄수화물의 맛을 별도로 이야기할 수 있을지, 감칠맛을 넘어서 쓴맛이 존재할지, 지방 맛과는 구분되는 고소한 맛이 따로 있을지 이야기되고 있다.

결국, 맛은 특정한 이온, 분자, 물질이 혀와 접촉하며 이온 채널을 통해 유입되고 신경을 자극해 신호를 보내는 결과로 요약된다. 다시 한번 단맛으로 이야기를 돌려 보자. 단맛 역시 결론적으로 생명체의 중앙처리 시스템에 의한 전기 신호의 해석이겠지만, 그 자극을 만들게 되는 과정은 무엇일지 살펴본다면 다시금 화학이다. 분자와 미뢰의 수용체 사이에 형성되는 두 개의 수소결합이 단맛이 된다. 수소를 매개체로 결합에 제공하는 하나의 작용기(AH⁺ 자리)와 이로부터 약 3 Å 떨어져 있는 수소를 제공받기 위한 또 다른 작용기(B⁻ 자리)는 미뢰와의 결합을 이루며, 판데르발스 상호작용을 위한 인근 입체자리(X 자리)의 들어맞음에 따라 단맛을 느끼기 위한 신호가 발생한다.

합성 감미료와 실험실 안전의 모순

분자와 미뢰의 수소결합 여부로 단맛이 결정된다면 분자 수준에서 맛을 설계할 수도 있을 것이다. 인간의 혀는 pH 7 미만의 산성 조건에서는 양성자(H⁺)로 인해 신맛을 느끼기 시작하며, 반대로 pH 7 초과의 염기성에서는 쓴맛을 느끼게 된다. 수소결합을 만들고자 무작정 질소를 넣었다가는 아민(amine) 특유의 쓰고 비린 맛만이 남는다. 결국, 단맛을 위해서는 중성이며 질소가 포함되지 않고 최소한 인근에서

두 개의 수소결합이 가능한 작은 크기의 화합물이어야 한다는 조건이 드러난다.

설탕을 비롯한 당 분자가 아님에도 단맛을 갖는 유기화합물을 합성감미료라 한다. 설탕의 단맛을 기준으로 할 때 가장 약한 합성감미료의 경우인 사이클라메이트(cyclamate)조차 30배에 달한다. 그보다 조금 더 단 것은 지금도 우리가 먹는 음료, 과자, 술 등에 포함된 아스파탐(aspartame)이며 설탕의 200배 단맛을 간단히 만들어낸다. 재미있는 사실은 아스파탐으로부터 미뢰와 분자의 결합이 단맛을 만든다는 사실을 찾아볼 수 있다는 점이다. 아스파탐은 두 가지 아미노산이 연결된 형태로 두 곳의 입체자리가 존재하는데, 감미료로 사용되는 L,L 형태는 단맛을 갖지만 D,L 형태는 오히려 쓴맛을 자아낸다. 수소결합은 가능하나 입체자리에 결합하지 못하고 반대 방향을 향하고 있기에 나타나는 결과이다. 아스파탐보다 달콤한 것은 한때 위해성 여부로 많은 논란이 있었던 사카린(saccharin)이며 같은 양 일 때의 설탕에 비해 450배나 달다. 최근 많은 관심을 받는 것은 가장 적은 양으로도 충분한 단맛을 얻을 수 있는 수크랄로스(sucralose)다. 설탕의 600배에 달하는 단맛을 만들 수 있는 것은 설탕과 완벽히 동일한 형태를 갖지만 단 세 곳의 원소가 염소(Cl)로 바뀌었기 때문이다. 당 분자 두 개가 결합해 이루어진 설탕은 포도당과 과당으로 분해되지만, 수크랄로스는 미세하게 다른 구조로 인간이 흡수해 사용할 수 있는 당의 형태가 될 수 없기에 우려되는 칼로리 문제에서 자유롭다.

다양한 합성감미료의 종류와 구조, 단맛을 내기 위한 미뢰와의 결합 형태도 흥미롭지만, 가장 중요한 사실은 도대체 어떻게 ‘달다’는 사실을 발견했는가이다. 대략적이거나 단맛을 갖기 위한 최소한의 분자 구조적 요건을 확립했으니 감미료 발견이라는 목적을 우선해 설계와 합성이 이루어졌을 것으로 기대되지만 전혀 그렇지 않다. 분명 감미료는 거대한 산업 분야에 속하나 인간이 식품으로 먹기 위한 안전한 물질을 개발하는 것은 단순한 맛의 구현을 막아서는 거대한 장벽이 되기 때문일지도 모른다. 안전에 대한 중요성은 실험실에서 쉬지 않고 강조되지만, 역설적으로 합성감미료 발견의 역사는 모두 우연과 안전불감증에 뿌리를 두고 있다.

사이클라메이트는 실험실에서 담배를 피우다 실험 테이블 위에 잠시 올려두고 다른 일에 집중했던, 그리고 다시금

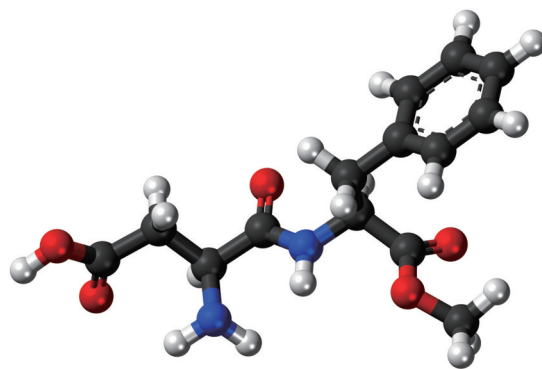


그림 1. 아스파탐은 입체구조에 따라 단맛과 쓴맛을 오간다
[출처: Wikimedia commons]

입에 가져다 대며 단맛을 느낀 Michael Sveda의 업적이다. 실험실에서 흡연하는 것도, 테이블에 올려두는 것도, 그리고 다시 입에 가져다 대는 것도 전혀 이해되지 않지만 어쨌든 다행히 사고 없이 인간에게 새로운 단맛을 선물했다. 아스파탐의 경우에는 손가락에 침을 묻혀 종이를 넘기는 습관이 있던 James M. Schlatter가 손을 씻지 않은 채 실험 보고서를 읽다 예상치 못한 단맛을 느끼며 발견되었다. 사카린은 실험 후 손을 씻지 않고 저녁식사를 하던 Constantine Fahlberg라는 대학원생이 빵에서 발견한 기적이다. 가장 당혹스러운 것은 영어에 취약해 시험해보라(test)는 지시를 맛보라(taste)는 말로 알아들은 Shashikant Phadnis라는 대학원생이 수크랄로스를 찾아낸 사건이 아닐까 싶다.

위대한 발견은 우연 속에서 이루어진다지만 실험실 안전 미이행이 달콤함이 돌아온 현실은 어떤 평을 해야 할지 모르겠다. 물론 이제는 이온 전도성 하이드로젤 인공 혀 등으로 맛을 감지하는 기술도 생겨나고 있으니 과거의 해프닝으로 남겨두는 것으로 충분할 것이다. ☺



장 홍 제 Hongje Jang

- KAIST 화학과, 학사(2004.3 - 2008.2)
- KAIST 화학과, 박사 (2008.3 - 2013.8, 지도교수 : 한상우)
- 서울대학교 화학과 박사 후 연구원 (2013.9 - 2015.1, 지도교수 : 민달희)

- Georgia Institute of Technology, Department of Chemistry and Biochemistry 박사 후 연구원 (2015.1 - 2016.1, 지도교수 : Mostafa A. El-Sayed)
- 광운대학교 화학과 부교수(2016.3 - 현재)



이필호

제54대 대한화학회 회장
강원대학교 화학과 교수

7천여 회원과 함께
**“미래를 준비하고 선도하는 대한화학회!
화합하여 모두가 참여하는 대한화학회!
전통을 계승하고 성장하는 대한화학회!”**를
만들어 나가겠습니다.

존경하는 대한화학회 회원 여러분!

이번 학회장 선거에서 제54대 대한화학회 회장에 당선된 이필호입니다. 여러 면에서 부족한 저에게 역사와 전통을 자랑하는 학회의 회장으로 봉사할 기회를 주신 선배, 동료, 후배 회원 여러분께 진심으로 감사를 드립니다. 국내 최고 학술단체인 대한화학회의 역사와 위상을 생각하면 막중한 책임감과 사명감을 느낍니다. 대한화학회를 사랑하시는 회원 여러분의 적극적인 성원과 지원이 있다고 믿기에 모든 능력과 열의를 다하여 학회의 발전을 위해 봉사할 것을 다짐해 봅니다. 저는 지금까지의 경험을 바탕으로 학회 발전을 위해 진정성을 가지고 회원 여러분과 소통하고 화합해 대한화학회의 위상을 높이고 미래를 선도하고 성장하는 화학회로 만들겠습니다. 이에 아래와 같이 화학 위상, 교육, 학술 활동 및 국제화에 대한 소견을 다시 한번 밝힘으로써 저의 다짐을 새롭게 하고자 합니다.

모든 회원이 참여하고 소통·화합하는 대한화학회

대한화학회 회원 간 소통할 다양한 기회를 만들겠습니다. 화학인을 위해 존재하는 대한화학회는 회원들이 만들어 가야 합니다. 자유로운 의견 수렴과 이를 바탕으로 합의된 의견 실현을 위해 함께 참여하고 만들어 가는 소통과 화합의 화학회가 될 수 있도록 노력하겠습니다. 분과 회장단과 지부장 회의를 내실 있게 정례화하여 화학 분야의 당면 문제와 현안들을 청취하고, 의견 수렴 과정을 거쳐 이에 대한 해결의 실마리를 찾겠습니다. 회원들의 참여를 끌어낼 수 있는 적극적인 소통으로 화학의 저변을 확대해 열린 대한화학회가 될 수 있도록 만들어 나가겠습니다. 과학과 기술의 중심 학문으로 대중화를 중요시하며 화학이 중요 학문으로서의 위치를 찾기 위한 대외적 활동과 홍보를 적극적으로 펼쳐나가겠습니다. 화학은 우리나라 과학 기술 발전에 큰 토대를 제공해왔습니다. 실질적으로 모든 것의 중심에 있음에도 불구하고 일반인들은 물론 과학 기술인에게도 그 위상에 맞는 평가를 받지 못하고 있습니다. 이는 학제 간으로 이어진 현대 과학의 흐름에서 화학의 모습이 가려져 있기 때문이라고 생각합니다. 따라서, 화학회를 중심으로 관련 학회 및 단체들과 소통해 학제 간 활동을 넓힘으로써 화학회가 이들의 중심에 있음을 확인할 수 있게 하겠습니다. 특히, ‘화학 대중화위원회’를 만들어 체계적이며 지속적으로 화학의 중요성을 홍보해 나가겠습니다.

국제화와 학술 활동을 적극 지원하는 대한화학회

대한화학회의 국제적 위상을 높이기 위해 선진 학술 강국과의 학술 교류 협정, 공동 심포지엄 및 세계적 학술회의 유치 등 다양한 교류 활동을 지속적으로 추진하겠습니다. 아울러 학술상 수상자의 국제 홍보를 통해 수상자의 위상을 제고하는 사업

제54대 대한화학회 회장 선출 공고

이필호 회원이 본회의 '정관' 및 '회장 선출 규정'에 따라 제54대 회장(임기 : 2024년 1월부터 2025년 12월까지)으로 선출되었음을 공고합니다.

- 2022년 선거관리위원회 위원장 신석민 -

들을 추진하겠습니다. 더불어 대한화학회 국제 학술지 『BKCS』의 질적 제고를 위해 앞장서 노력하겠습니다. 분과회나 지부에서 주관하는 각종 학술행사를 적극 지원하고, 이를 유기적으로 연결해 화학회를 더욱 활성화하겠습니다. 학문의 융합과 새롭게 발전하는 분야에 대한 지식과 정보를 공유할 수 있도록 다양한 형태의 학술대회를 개최하겠습니다.

화학교육을 강화하고 인구 감소에 대비하는 대한화학회

우수한 학생들이 화학 분야에 관심을 가질 수 있도록 노력하겠습니다. 대한화학회의 지속적인 발전을 위해서는 미래 화학을 책임질 전문인력 양성이 매우 중요합니다. 초·중·고등학교에서의 과학교육이 대학 진학과 학문 후속 세대 양성에 큰 영향을 미치므로 학생들이 화학에 호기심을 가질 수 있도록 하는 것이 무엇보다 중요합니다. 이에 대한화학회를 중심으로 학생들이 화학의 중요성을 인식할 수 있는 프로그램을 개발해 나가는 것은 물론, 화학 교육위원회를 중심으로 초·중·고와 대학의 화학 교육에 대한 연계성을 강화하고, 교사 및 학생들에게 친근한 화학회로 다가가 자라나는 세대가 화학에서 꿈을 키울 수 있게 하겠습니다. 더불어 학부생 회원 제도를 신설하여 대한화학회 가입을 권장하며 이들에게 『화학 세계』를 온라인으로 제공함은 물론 유익한 정보를 지속적으로 제공할 것입니다. 이를 통해 학부생들에게 화학의 중요성을 인식시키고 대한화학회에 대한 관심과 참여를 끌어내겠습니다. 또한, 사회로 진출한 대학원 졸업생들이 대한화학회에 재가입하는 프로그램을 운영하며 단체 회원 제도를 적극 활용하여 산업계 참여도 독려하겠습니다.

창립 100주년을 준비하는 대한화학회

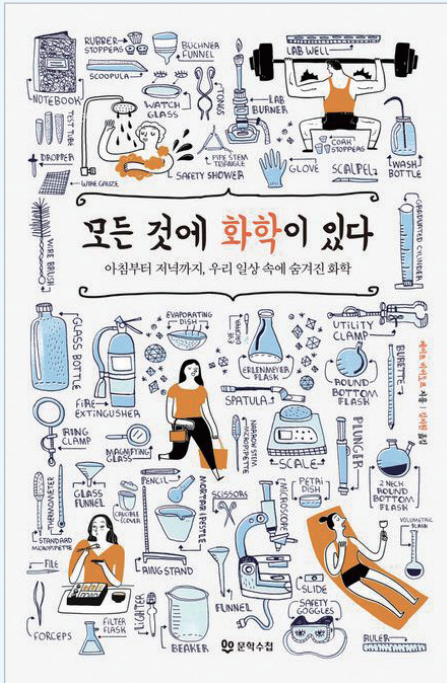
국내에서 가장 오래된 학술단체인 대한화학회의 역사를 체계적으로 기록하는 작업을 시작하겠습니다. 대한화학회 발전에 기여한 많은 화학자의 업적과 관련된 사료들을 수집하여 기록으로 남기겠습니다. 나아가 훌륭한 국내 화학자들의 업적을 후학들은 물론 자라나는 청소년들에게도 널리 알려, 교육 현장에서도 활용될 수 있도록 대한화학회가 주도적으로 나서겠습니다.

존경하는 회원 여러분! 저는 이번 선거를 통해 많은 화학과를 방문했고 이때 선생님들이 한결같이 말씀하시던 교육과 연구 환경이 너무 어려워지고 있다는 말을 잊을 수가 없습니다. 그런데도 방학 중 학생들을 지도하며 연구하고 계신 많은 교수님과 연구원, 그리고 대학원생을 보며 그래도 우리에게는 희망이 있다는 것을 보았습니다. 저는 한 사람의 힘은 미약하지만, 우리가 힘을 합치면 이루지 못할 꿈은 없다고 생각합니다. 저에게 대한화학회 회장으로서는 기여할 기회를 주신 회원 여러분과 함께 힘을 모아서 미래를 준비하고 선도하는 대한화학회, 화합해서 모두가 참여하는 대한화학회, 전통을 계승하고 성장하는 대한화학회가 되도록 최선의 노력을 다하겠습니다. 우리 모두의 꿈을 이루기 위해 회원 여러분의 적극적인 참여와 성원을 부탁드립니다. 감사합니다.

모든 것에 화학이

있다 아침부터 저녁까지,
우리 일상 속에 숨겨진 화학

케이트 비버도프 지음 | 김지원 옮김 | 문학수첩 |
2023.2.24 출간
ISBN 9791192776361(1192776364)



목 차

- 1부. 당신이 고등학교 화학 수업에서 놓친 것
 1. 작은 것들이 물질이다: 원자
 2. 모양에 관한 모든 것: 3차원의 원자들
 3. 몸으로 말해요: 고체, 액체, 기체
 4. 결합은 깨지게 마련이다: 화학반응
- 2부. 여기, 저기, 모든 곳에 있는 화학
 5. 아침에 일어나는 게 좋은 이유: 아침 식사
 6. 불타는 근육: 운동
 7. 알-음-다-음: 외출 준비
 8. 나에게 햇살을: 해변에서
 9. 오늘의 요리: 부엌에서
 10. 휘파람 불며 일하기: 집 청소
 11. 해피아워는 행복한 시간: 잠실에서
 12. 노을을 보며 쉬기: 침실에서

책 소개

우리 집 화장실에 있는 샴푸에서부터 지구 밖에서 오는 햇빛에 이르기까지, 우리 주위의 모든 것을 이루고 있는 화학에 관해 이야기하는 교양 과학책 『모든 것에 화학이 있다-아침부터 저녁까지, 우리 일상 속에 숨겨진 화학』(원제: It's Elemental)이 문학수첩에서 출간되었다. 텍사스 대학교 화학 교수이자 스스로 ‘화학 덕후’라고 밝힌 저자 케이트 비버도프는 아침에 일어난 순간부터 잠들 때까지, 아니 잠자는 동안에도 끊임없이 활동하는 화학에 대해 이야기한다.

‘1부 당신이 고등학교 화학 수업에서 놓친 것’에서는 원자, 분자, 주기율표, 화학반응식 등 화학을 이해하는 데 필요한 기본적인 지식을 알기 쉽게 설명한다. 유머와 위트로 가득한 알기 쉬운 설명을 통해 독자들은 ‘2부 여기, 저기, 모든 곳에 있는 화학’에서 우리의 실생활에 깃든 화학을 찾아 여행을 떠나기 전 준비를 단단히 할 수 있다.

이 책에서 저자는 우리가 고등학교 시절 이해하지 못했던 화학의 기본 원리를 설명하고, 화학이 실생활 속에서 어떤 식으로 살아 움직이는지를 보여준다. 날카로운 재치와 공감 가득한 열정이 담긴 이 유쾌한 안내서는 화학을 짝사랑했던 사람들의 열정을 일깨우고, 우리가 세상을 바라보고 느끼는 방식을 바꿔놓을 것이다.

저자 소개

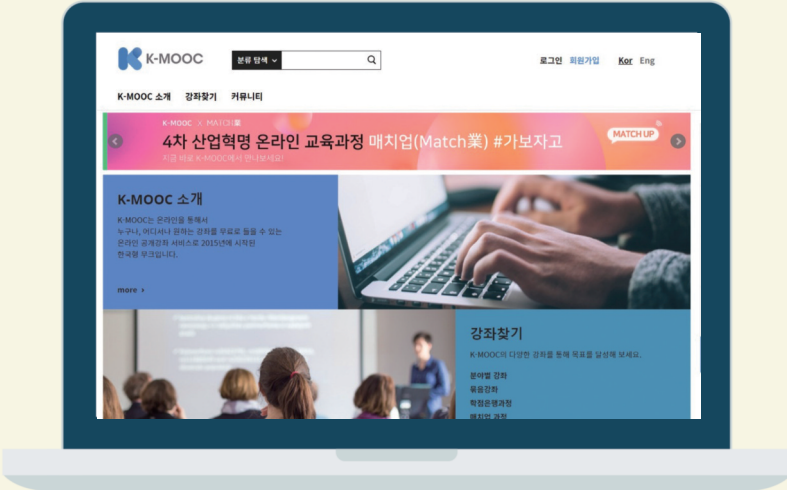
케이트 비버도프 Kate Biberdorf : 케이트 비버도프 박사는 과학자이자 과학 전문 방송인, 텍사스 대학 화학 교수다. 텍사스 대학교에서 무기화학 박사 학위를 따고 책 『효소, 과학과 기술(Catalysis, Science and Technology)』을 출간했다. 또한 베스트셀러 아동 도서 『실험 백과사전(The Big Book of Experiments)』의 저자이며 『투데이 쇼』, 『켈리 클락슨 쇼』, 『웬디 윌리엄스 쇼』, 『스티븐 콜버트의 레이트 쇼』 등에 출연했다. 언젠가 라스베이거스에서 과학 쇼를 선보일 날을 꿈꾸며 텍사스 오스틴에서 남편과 두 마리의 개(와 성격 나쁜 고양이 한 마리)와 함께 살고 있다.

역자 소개

김지원 : 서울대학교 화학생물공학부와 같은 학교 대학원을 졸업하고 서울대학교 언어교육원 강사로 재직했으며 현재 전문 번역가로 활동하고 있다. 옮긴 책으로 『어쩌다 숲』, 『할렘 셔플』, 『산책자를 위한 자연수업』, 『미생물에 관한 거의 모든 것』, 『지구 100 1·2』, 『7번째 내가 죽던 날』, 『잘못은 우리 별에 있어』 등이 있고, 엮은 책으로는 『바다기담』과 『세계사를 움직인 100인』 등이 있다.

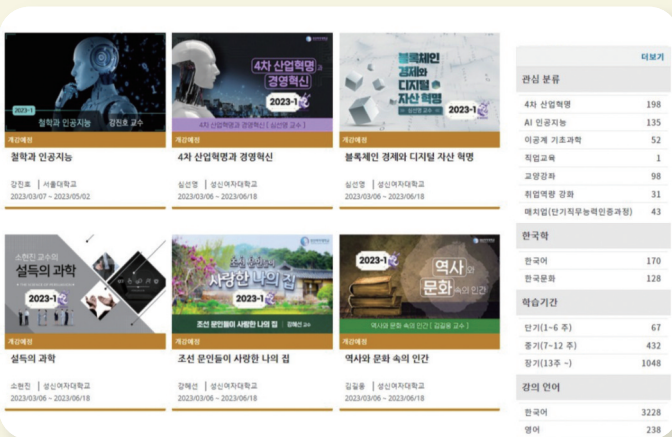
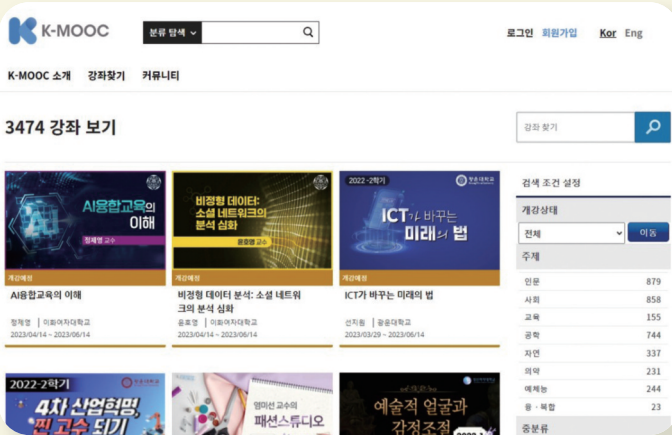
K-MOOC

(www.kmooc.kr)



플랫폼 소개

이번 3월호에는 지난 2월호에 이어 MOOC(Massive Open Online Course) 플랫폼 중 하나인 K-MOOC을 소개하고자 합니다. K-MOOC은 이미 오랜 기간 서비스를 하고 있어서 대한화학회의 일반회원들에게는 매우 익숙한 교육 플랫폼이지만, 학생회원 및 교육회원들은 상대적으로 생소할 수도 있습니다. 현재 160여 개 대학이 참여하고 있는 K-MOOC은 중등등학교 학생을 비롯한 대학(원)생 및 일반 성인 학습자에게도 개방된 교육 플랫폼입니다. 게다가, 교수자는 K-MOOC을 통해 플립드러닝 등 새로운 기법의 수업방식을 시도할 수도 있기 때문에, 교육 현장에서 활용도가 높아지고 있습니다. 화학과 관련된 수업이 아직 많지는 않지만, “코딩으로 배우는 일반화학”, “일반화학 개념의 핵심”, “초심자를 위한 유기화학” 등 알찬 수업이 점점 늘고 있어서 회원들이 다양한 방식으로 활용할 수 있을 것으로 기대합니다. 화학 이외에도 인공 지능 및 프로그래밍을 강의하는 수업도 다수 있어서, 관련 내용이 필요한 학생회원들에게도 도움이 될 것으로 생각합니다.



131회

대한화학회 학술발표회 초록등록 안내

2023년 4월 26일~28일(3일간)
수원컨벤션센터(SCC)

사전등록 2023년 1월 2일-3월 16일, 17:00까지



01. 심포지엄 및 구두발표 주제/조직책임자

심포지엄

분과회	No.	주제	조직책임자	이메일
고분자화학	1	공유 적응 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)	dohoonhwang@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
생명화학	1	노화 및 역노화 연구의 최신 동향	장영태(POSTECH)	ytchang@postech.ac.kr
	2	센서와 프로브를 이용한 바이오이미징	이준석(고려대학교)	junseeklee@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

분과회	No.	주제	조직책임자	이메일
의약화학	1	최신 의약화학 동향	안홍찬(KMEDlhub)	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)	jmnam@snu.ac.kr
			황성주 (연세대학교)	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)	wwnam@ewha.ac.kr	
		정낙천(DGIST)	nc@dgist.ac.kr	

* 온라인에 접속할 수 있는 개인용 노트북, Google Colaboratory를 사용 가능한 계정 지참 필수

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 생명화학자를 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

02. 연회비 및 참가비 안내

연회비 및 참가비 납부 안내

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

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

- 학술발표회 및 총회 참가자는 올해 회비를 납부한 본회 회원이어야 합니다. 따라서 지난해 정회원, 교육회원, 학생회원은 먼저 2023년도 회비를 납부하여 주시기 바랍니다.
- 참가비 사전등록 : 2023.1.2(월)-3.16(목) ※사전등록 마감 후에는 현장등록을 하셔야 합니다.
- 학부생(대학원생 제외) : 학생증을 제시할 경우 참가비 면제(단, 학부생이어도 초록 저자/공동저자/발표자는 면제에서 제외됩니다.)
- 만 65세 이상 회원 : 참가비 면제

학회 참가비 지원 프로그램 안내

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

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

환불규정

연회비와 참가비 환불 마감일

- 초록 수정 및 삭제 기한까지 초록을 접수 취소(삭제)할 경우 연회비와 참가비를 환불해 드립니다.
- 초록 수정 및 삭제 기한 종료 후에는 초록의 접수 취소(삭제)는 불가하며, 발표 취소로 처리됩니다.
- 기념강연 및 특별 강연, 심포지엄, 구두발표, 포스터발표의 발표자가 초록 수정 및 삭제 기한 종료 후에 발표를 취소할 경우 연회비는 환불 불가하고, 참가비는 사전등록 마감일(3월 16일(목), 17:00)까지만 요청에 의하여 환불해 드립니다.
- 개인 사정으로 참가비를 환불해야 할 때에는 사전등록 마감일까지 접수된 요청에 한하여 환불해 드립니다.
- 재결제 규정 : 재결제를 포함한 결제 변경에 대한 최종 요청일은 학술발표회 종료 후 14일 이내만 처리 가능합니다. 사전등록 결제 기간이 지나고 재결제 시 현장등록비로 변경되어 결제 진행됩니다.
- 영수증 출력 : 마이페이지에서 회원확인/회비 및 참가비 결제/영수증 출력 등이 가능합니다.
- 환불 및 재결제 요청 접수 : member@kcsnet.or.kr

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 저작 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 신호 변환(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 기회 of 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

유기화합물의 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 당연한 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 소형전자기에서 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, 나트륨이온전지, 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 종합을 통한 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 나노화학 및 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 개발하였

으며, 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.



긴사슬 알코올 유도체를 이용한 친환경적 방역 기술,
보다 안전하게 동물 바이러스성 전염병 차단에 쓰일 것으로 기대된다

»» 운영위원회

2월 운영위원회

2023년 1월 27일에는 제2차 운영위원회가 개최되었다. 대한화학회 회원들의 분과 간 융합 학술 활동을 활성화하고 이를 바탕으로 우수 융합 과제를 개발할 수 있는 기회를 제공하고자 2023년 추계 학술발표회에서 '미래혁신 화학심포지엄'을 추진하기로 하였으며, 이에 대한 신청서를 마련하여 공지하기로 하였다. 2023년부터 운영위원회 포함 각 제위원회의 공식 회의에 한해 회의비를 지급하기로 하였다. 화학술어위원회 사업으로 대한화학회 홈페이지의 술어 검색 서비스 범위를 개선하고 중등 교과서 편수 자료의 술어 개선도 필요하다는 의견을 공유하였다. 운영위원회 2년 임기 후 외부 회계 감사를 진행하기로 하였고, 이후 2024년도 운영위원회의 회계감사 여부는 차기 운영위원회의 결정에 따르기로 하였다. 춘계 학술발표회 준비 사항으로 튜토리얼 세션은 연세대학교 김동호, 심은지 교수님께서 강연해주시기로 결정되었고, 분과별 세션장 배정은 2월 2일 분과간사회의를 통해 확정하기로 하였다. 특별히 이번 춘계 학술발표회에는 기초강연 연사가 두 분인 관계로 점심시간 없이 오후 1:00부터 3:30까지 기초강연 및 총회를 운영하고, 바로 오후 세션으로 진행하도록 확정하였다. KCS-ACS publication summit 심포지엄의 연사들도 대부분 확정되었고, ACS에서 커피브레이크를 운영하고 부스 설치 및 지원하는 것을 약속하였다. 이어 2월 17일에는 제3차 운영위원회가 개최되었다. 학술발표회 프로그램 앱 개발을 위한 관련자 회의 결과로, ACS 또는 MRS meeting 앱을 기반으로 학술프로그램 및 참여업체의 정보를 제공하고, 사용자의 일정관리가 가능한 범위 내로 제작하기로 하였다. 추계 학술발표회의 기초강연자는 관련 분야를 고려하여 국내외 석학을 선정하되, 시기에 상관없이 기초강연자 추천 명단과 정보를 계속적으로 업데이트하기로 하였다. 기획분과에서도 화학세계 e-book 플랫폼을 구축하기 위한 회의 결과를 공유하였는데, 기존처럼 pdf 버전으로 제작하여 업로드하는 방안과 웹매거진 플랫폼 구축에 더 노력하는 두 방안의 장단점에 대해 운영위원회 의견을 공유하였다. 에디팅이 편리한 웹매거진 플랫폼을 구축하는 것 이외 화학세계 담당자 업무 및 서버 관리비용 등은 지속적으로 논의하기로 하였다. 학술분과에서는 학술발표회 세션장의 규모 및 발표자석 배치에 따라 모니터 추가 반입을 고려하기로 하였고, 중·고등학생특강 연사는 석차옥 교수와 바이오니아 박한오 회

장으로 결정되었다. 홍보분과에서는 1월 30일에 열린 한국화학관련학회연합회 회의에 참석하여 '화학연합' 학회지의 화학연합카페와 지상초대석 코너의 원고를 담당하기로 하였고, 부산대 최정모 교수, GIST 김현우 교수, 전남대 김창우 교수님께서 작성하는 것으로 부탁드려 결정되었다. 추계 학술발표회 전후로 진행되는 RSC-KCS Joint symposium의 주제는 'Energy Science'와 'Gender Equality'로 잠정 결정되었고, 그 밖의 연사 제안 및 지원 범위를 논의하기로 하였다.

»» 부 고

- | | | |
|-----------|--------------------------------|-----|
| 2023.2.22 | 서홍석(부산대학교 화학과) 회원 | 모친상 |
| 2023.2.19 | 안태규(성균관대학교 에너지과/화학과) 회원 | 모친상 |
| 2023.2.17 | 김지만(성균관대학교 화학과) 회원 | 모친상 |
| 2023.2.12 | 홍대화(부산대학교 화학과) 회원 | 부친상 |
| 2023.2.11 | 정선호(성신여자대학교 화학에너지융합학부 명예교수) 회원 | 모친상 |
| 2023.2.7 | 김영준(건국대학교 바이오의약학과) 회원 | 부친상 |
| 2023.2.4 | 이창환(강원대학교 화학과 명예교수) 회원 | 별세 |
| 2023.2.4 | 강태종(대구대학교 화학생명과학부) 회원 | 부친상 |
| 2023.2.2 | 한신호(한국공학대학교 생명화학공학과) 회원 | 모친상 |
| 2023.2.2 | 허창순(동의대학교 응용화학과) 회원 | 부친상 |

»» 신입회원

- | | | |
|-----|---------|------|
| 강경빈 | POSTECH | 학생회원 |
| 강수민 | 동국대학교 | 학생회원 |
| 강준모 | 전북대학교 | 학생회원 |
| 강훈석 | POSTECH | 학생회원 |
| 고성은 | 영남대학교 | 학생회원 |
| 고원지 | 경상대학교 | 학생회원 |
| 구성모 | KAIST | 학생회원 |
| 구준희 | 공주대학교 | 학생회원 |
| 구태우 | 울산대학교 | 학생회원 |
| 권형순 | 강릉원주대학교 | 학생회원 |
| 금민정 | 서울대학교 | 학생회원 |
| 김가은 | 경희대학교 | 학생회원 |

김경모	서강대학교	학생회원	김태근	성균관대학교	학생회원
김경섭	순천향대학교	학생회원	김태연	영남대학교	학생회원
김나경	서울여자대학교	학생회원	김태우	성균관대학교	학생회원
김도의	POSTECH	학생회원	김태은	성균관대학교	학생회원
김라빈	순천향대학교	학생회원	김태환	부산대학교	학생회원
김민석	송실대학교	학생회원	김하은	경상대학교	학생회원
김민수	POSTECH	학생회원	김한별	서강대학교	학생회원
김상태	한양대학교	정회원	김현수	동국대학교	학생회원
김상훈	경희대학교	학생회원	김현진	공주대학교	학생회원
김서연	영남대학교	학생회원	김형섭	한국원자력연구원	정회원
김성룡	POSTECH	학생회원	김혜림	POSTECH	학생회원
김성종	가톨릭대학교	학생회원	김홍일	강원사대부설고등학교	교육회원
김소희	광운대학교	학생회원	김효원	순천대학교	학생회원
김수겸	서강대학교	학생회원	김효인	가톨릭대학교	학생회원
김수겸	한양대학교	학생회원	남재현	가톨릭대학교	학생회원
김수진	서울여자대학교	학생회원	남하영	경북대학교	학생회원
김승록	UNIST	학생회원	노동연	POSTECH	학생회원
김신영	전북대학교	학생회원	노수진	한양대학교	학생회원
김신형	송실대학교	학생회원	노준혜	서울대학교	학생회원
김연오	한양대학교	학생회원	노효주	서울대학교	학생회원
김연재	송실대학교	학생회원	류인경	조선대학교	학생회원
김영현	충북대학교	학생회원	류하은	충남대학교	학생회원
김영호	GIST	학생회원	류현정	씨에스아이엠(주)	정회원
김예린	송실대학교	학생회원	문선영	서울대학교	학생회원
김예림	서울여자대학교	학생회원	문희연	고려대학교	학생회원
김유림	경기대학교	학생회원	민경록	한국과학기술연구원(KIST)	학생회원
김유정	인하대학교	학생회원	민경환	서울대학교	학생회원
김유진	고려대학교	학생회원	박건우	건국대학교	학생회원
김윤진	POSTECH	학생회원	박규빈	아주대학교	학생회원
김이환	서울대학교	학생회원	박노을	서울여자대학교	학생회원
김장윤	경상대학교	학생회원	박상현	KAIST	학생회원
김재호	아주대학교	학생회원	박서연	경기대학교	학생회원
김정은	공주대학교	학생회원	박선영	서울대학교	학생회원
김준	울산대학교	학생회원	박성연	영남대학교	학생회원
김지선	한양대학교	학생회원	박성윤	경희대학교	학생회원
김지수	서울대학교	학생회원	박소영	울산대학교	학생회원
김지혜	영남대학교	학생회원	박영주	서강대학교	학생회원
김지훈	한양대학교	학생회원	박우진	KAIST	학생회원
김진만	공주대학교	정회원	박원진	아주대학교	학생회원
김채빈	부산대학교	정회원	박인영	충남대학교	학생회원

박지우	가톨릭대학교	학생회원	이금우	서울대학교	정회원
박채연	서울여자대학교	학생회원	이량화	경희대학교	학생회원
박태현	인하대학교	학생회원	이민석	경희대학교	학생회원
배신영	서울대학교	학생회원	이상현	동국대학교	학생회원
배준현	경희대학교	학생회원	이선화	경희대학교	학생회원
배현웅	동아대학교	학생회원	이시우	인하대학교	학생회원
백명주	서울대학교	학생회원	이예린	GIST	학생회원
변아림	한밭대학교	학생회원	이예솔	광운대학교	학생회원
부다희	동국대학교	학생회원	이예주	이화여자대학교	학생회원
서가영	영남대학교	학생회원	이예진	서울대학교	학생회원
서동진	한양대학교	학생회원	이은혜	서울대학교	학생회원
서범찬	조선대학교	학생회원	이정구	공주대학교	정회원
서치범	명지대학교	학생회원	이준혁	국방과학연구소	정회원
석지수	중앙대학교	학생회원	이지원	국민대학교	학생회원
손유진	국방과학연구소	정회원	이지원	한양대학교	학생회원
손준혁	한국과학기술연구원(KIST)	학생회원	이지은	연세대학교	학생회원
송정훈	포항산업과학연구원	정회원	이하늘	순천대학교	학생회원
송주현	한국에너지공과대학교	정회원	이하진	한양대학교	학생회원
신기덕	서울대학교	학생회원	임송현	한국과학기술연구원(KIST)	정회원
신상철	공주대학교	정회원	임재훈	성균관대학교	정회원
신예지	영남대학교	학생회원	임채린	POSTECH	학생회원
신형진	성균관대학교	학생회원	임호영	KAIST	학생회원
안다영	공주대학교	학생회원	장가은	공주대학교	학생회원
안유빈	전남대학교	학생회원	장명진	경희대학교	학생회원
안윤영	POSTECH	학생회원	장예솔	한국과학기술연구원(KIST)	정회원
양준혁	성균관대학교	학생회원	장지수	서울대학교	학생회원
양희상	성균관대학교	학생회원	장호연	국민대학교	학생회원
엄태평	GIST	학생회원	전두표	부산대학교	학생회원
오예주	과학기술연합대학원대학교(UST)	학생회원	전민욱	한양대학교	학생회원
우혜린	POSTECH	학생회원	전유선	서울대학교	학생회원
유지민	KAIST	학생회원	전유진	KAIST	학생회원
유지영	고려대학교	학생회원	전혜리	가톨릭대학교	학생회원
윤선영	삼육대학교	학생회원	정민주	동국대학교	학생회원
윤수한	경상대학교	학생회원	정용진	광운대학교	학생회원
윤찬규	고려대학교	학생회원	정유진	고려대학교	학생회원
윤태열	한양대학교	학생회원	정창화	국민대학교	학생회원
윤현정	국민대학교	학생회원	정해룡	KCC중앙연구소	정회원
윤홍식	한양대학교	학생회원	조목연	GIST	학생회원
이가현	순천대학교	학생회원	조보현	부산대학교	학생회원
이경건	서울대학교	정회원	조성용	한양대학교	정회원

조희진	서울여자대학교	학생회원	황혜정	뉴욕주립대학교	정회원
주현선	서울대학교	학생회원	Ahmed Mohammad Boshir	GIST	교육회원
주현태	울산대학교	학생회원	Baljinder Singh	삼육대학교	학생회원
진태영	성균관대학교	학생회원	Chejara Mamta Ramgopal	삼육대학교	학생회원
천승범	동국대학교	학생회원	Chenjiadong	중앙대학교	학생회원
천유림	경희대학교	학생회원	Cunningbenjaminvaughanfrancis	기초과학연구원	정회원
천주영	서울특별시교육청	정회원	Grandes Reyes Carlos Fitzgerald	서울대학교	정회원
최다영	POSTECH	학생회원	Ku Hao Yu	연세대학교	학생회원
최승훈	서강대학교	학생회원	Kumaresan Thileep Kumar	순천대학교	정회원
최재호	국방과학연구소	정회원	Liu Yang	명지대학교	학생회원
최주원	경희대학교	학생회원	Luu Truong Giang	전북대학교	학생회원
추연철	(주)테라픽스	정회원	Mutembei Kenneth Mutuma	동국대학교	학생회원
하용준	부산대학교	학생회원	Nguyen Thi Thuy Chau	충남대학교	학생회원
하태진	조선대학교	학생회원	Nguyen Thi Xuan Nhi	경북대학교	학생회원
한다빈	GIST	학생회원	Pootheri Nithin	전남대학교	학생회원
한지원	경기대학교	학생회원	Qayyum Ayesha	동아대학교	학생회원
홍경옥	(주)젠센	학생회원	Rajan Robin Prakashsirvin	전남대학교	학생회원
홍소현	숙명여자대학교	학생회원	Sharma Rini	울산대학교	학생회원
홍지수	명지대학교	학생회원	Suhendra Nabilah Firyal	울산대학교	학생회원
황민욱	POSTECH	학생회원	Thangasami Kiruthiga	동국대학교	학생회원
황보경	이화여자대학교	학생회원	Thangsrikeattigun Chattawat	KAIST	학생회원
황선민	경북대학교	학생회원	Velusamy Maheskumar	경상대학교	정회원
황성하	한밭대학교	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)

재단법인 한국화학회관 소식

재단법인 한국화학회관의 2022년도 제2회 이사회와 2023년도 제1회 이사회 회의록을 요약하여 기록으로 남깁니다.
- 상임이사 석원경(동국대 명예교수)-

2022년 제2회 이사회 회의록

일 시	2022년 12월 5일(월) 12:00-13:30
장 소	재단법인 한국화학회관 3층 회의실
참 석 자	이현구 이사장, 이화영, 이순보, 정봉영, 문상흠, 김화용, 이덕환, 석원경
의결 사항	(1) 2023년도 예산(안) -349,486,983원- 원안대로 인준함 (2) 차기 이사(임기 2023.1.1.~2025.12.31.)로 대한화학회에서 추천한 이덕환, 석원경, 하현준과 한국화학공학회에서 추천한 이철수, 문상흠, 김화용과 한국화학회관에서 추천한 이화영, 이현구, 이순보, 정봉영을 인준하고 차기 감사(임기 2023.1.1.~2024.12.31.)로 대한화학회에서 추천한 최종길과 한국화학공학회에서 추천한 이승종을 인준함. (3) 차기 이사회 이사장으로 이현구 현 이사장을 선출하고 차기 상임이사로 석원경 이사를 임명함 (2010년부터 2022년까지 상임이사로 봉사한 정봉영은 의원 사직함).

2023년 제1회 이사회 회의록

일 시	2023년 2월 27일(월) 12:00-14:30
장 소	재단법인 한국화학회관 3층 회의실
참 석 자	이현구 이사장, 이화영, 이철수, 이순보, 정봉영, 문상흠, 김화용, 이덕환, 석원경, 하현준 이사 및 이승종, 최종길 감사
의결 사항	(1) 2022년도 결산(안) -309,607,771원- 원안대로 인준함. (2) 2023년도 수정 예산(안) -376,119,411원- 원안대로 인준함. (결산 결과 이월금이 26,632,328원 증가하였으므로 이를 반영함) (3) 한국화학회관 주소지에 한국청정기술학회 사무실 주소지를 등록함. (4) 대한화학회와 한국화학공학회의 사업에 지원이 필요한 경우 적극 후원함. (5) 제2차 이사회는 2023년 12월 11일(월) 정오에 개최함

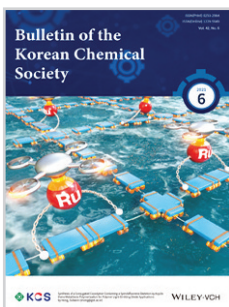


2023년 제1회 이사회 (뒷줄 왼쪽으로부터) 이덕환, 김화용, 문상흠, 이승종, 최종길, 하현준, 석원경. (앞줄 왼쪽으로부터) 정봉영, 이철수, 이현구, 이화영, 이순보.



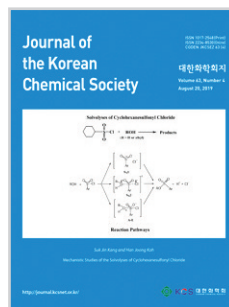
지난 13년 동안 상임이사로 헌신한 정봉영 이사에게 공로패 수여

대한화학회 발간(참여) 학술지



Bulletin of the Korean Chemical Society

- 월간
- SCI 저널
- 언어: 영어



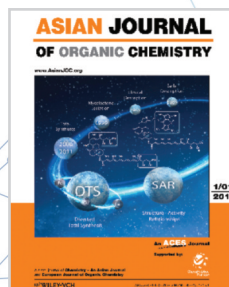
Journal of the Korean Chemical Society

- 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



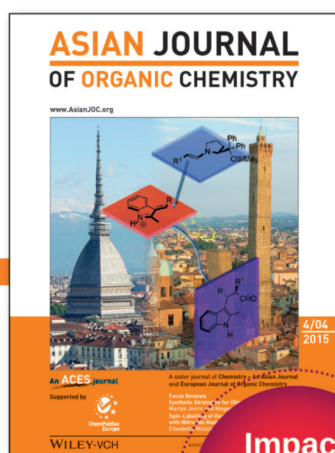
Physical Chemistry Chemical Physics

- 대한화학회를 포함한 18개국 화학회에서 공동 발행하는 RSC 저널

Good things come in threes



Impact
Factor:
4.587



Impact
Factor:
3.318



Free
Access

These
journals are
published with the
**Asian Chemical
Editorial Society
(ACES)**

Free online access
In 2015 and 2016 *ChemNanoMat*
will be free to access for all users
from institutions that have registered.
Ask your librarian to register for
complimentary online access TODAY.

ACES

WILEY-VCH

CHEMISTRY, AN ASIAN JOURNAL

“논문 제출 안내”

대한화학회는 2005년 9월에 아시아·태평양 지역의 13개 화학회가 모여 설립된 ACES (Asian Chemical Editorial Society)와 『Chemistry, an Asian Journal』의 발간 협약을 체결하였습니다.

『Chemistry, an Asian Journal』은 월간지로 Wiley-VCH가 발간합니다.

대한화학회가 지분을 소유한 학술지가 성공적으로 발행될 수 있도록 회원 여러분의 많은 관심을 부탁드립니다.

『Chemistry, an Asian Journal』에 대한 더 많은 정보는 **와일리 온라인 라이브러리** (<http://onlinelibrary.wiley.com>) 에서 확인하실 수 있습니다.



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. ※ 학회회에서 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

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

2023년도 본회 회비 및 각종 간행물의 구독료는 다음과 같습니다.

(단위: 원)

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

■ 회비납부 관련문의

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

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

회원확인 → ID 변경 → 회원 로그인 → 결제 및 영수증 출력

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®



지속적인 기술 혁신을 지향하는 동우화인켐은

대한민국 IT산업의 중심에 서 있습니다!

START

TOP PARTNER

CHALLENGE

DONGWOO
FINE-CHEM

SUMITOMO CHEMICAL

5G

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.