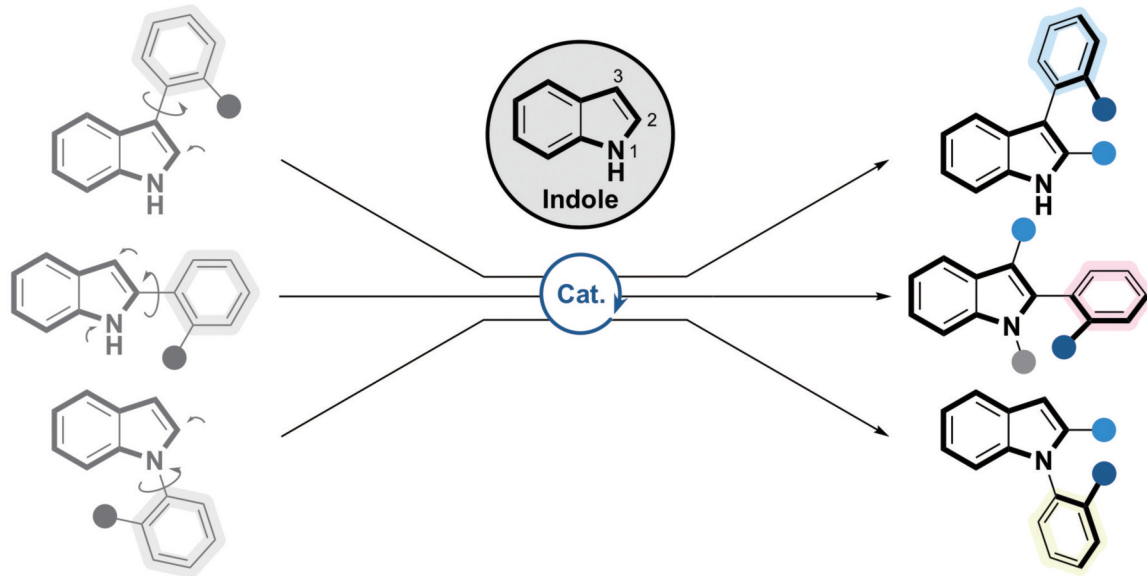


화학세계

CHEMWORLD



Catalytic Atroposelective Dynamic Kinetic Resolution



02
2024

<이달의 하이라이트> 동적 속도론적 분할 전략을 통한 회전 장애 이성질체 선택적 질소-2/-3-아릴 인돌 화합물의 합성

읽기쉬운 총설

차세대 고색재현 디스플레이 구현을 위한
양자점 전계 발광 소재 및 소자 기술

이달의 하이라이트

동적 속도론적 분할 전략을 통한 회전 장애 이성질체
선택적 인돌 화합물의 합성

화학교육

극성과 대전체 실험에서의 불일치 상황에 대한 탐구

우수선도연구기관

서울대학교 라만분광 연구실

INTERVIEW

화학세계가 만난 화학자 | 임혜원 KIST 미래융합전략센터 소장

한국을 빛낸 화학자

이은 교수, 김용해 교수

“앞서가는 화학회, 공식후원사와 함께 합니다”



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.

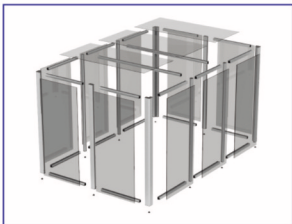
동우화인켐은 글로벌 화학회사인 스미토모화학의 자회사이며, 핵심기술을 보유한 매출 2조원의 대기업으로서, 정보전자소재의 글로벌 리더로 성장하고 있습니다.

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



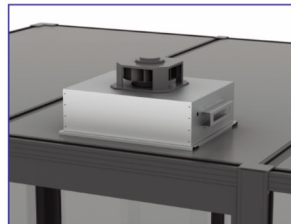
“ 클린룸을 위한 별도의 공사? ”

조립과 해체가 가능한 다목적 맞춤 공간 제작 솔루션 · 삼인사이언스(주) 랩부스



[모듈 시스템]

기존 공간의 공사나 손상없이 이동 · 확장 · 변형 · 해체가 가능한 모듈방식 조립 설계 시스템



[음압·양압·FFU]

사용자의 구성목적에 따라 음 · 양압 및 FFU (Fan Filter Unit / 크린룸 부스) 구성가능



[유틸리티]

전기 · 통신 · 가스 · 워터 등 사용자의 편의와 사용 목적에 따라 다양한 유틸리티 선택 가능



[패스 박스]

외부와 부스내부 경계구역에 설치하여 사용자가 부스에 직접 출입하지 않고 패스박스를 통해 물품의 출입이 용이



[모듈 시스템 부스 시공예시]



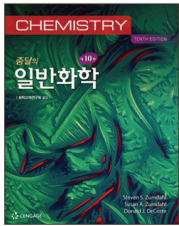
[부스내부에 BSC와 배양기 시공예시]



[부스내부에 BSC와 실험테이블 시공예시]



신간
줌달의 일반화학 10판



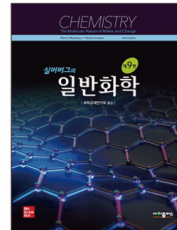
저 자: Zumdahl
판 수: 10
발 행: 2019
페 이 지: 1168
I S B N: 9788962184358

신간
레이먼드 창 의 일반화학 14판



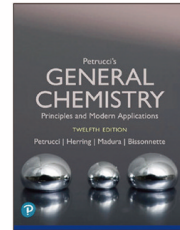
저 자: Overby, Chang
판 수: 14
발 행: 2023
페 이 지: 1080
I S B N: 9791188731343

신간
실버버그의 일반화학 9판



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

신간
Petrucci's General Chemistry 12/e



저 자: Petrucci
판 수: 12
발 행: 2024
페 이 지: 1488
I S B N: 9781292726137

★세종도서 우수학술도서

신간
나노소재화학



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

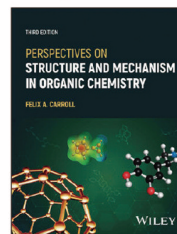
★대한민국학술원 우수학술도서

화학자를 위한 결정학



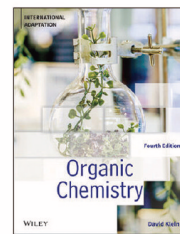
저 자: Fanwick
판 수: 1
발 행 일: 2022
페 이 지: 236
I S B N: 9791188731329

신간
Perspectives on Structure and Mechanism in Organic Chemistry 3/e



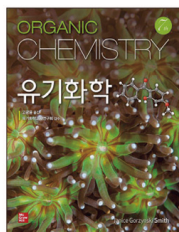
저 자: Carrol
판 수: 3
발 행: 2023
페 이 지: 864
I S B N: 9781119808619

신간
Organic Chemistry 4/e



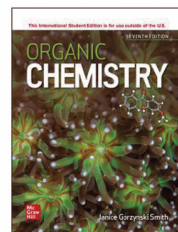
저 자: David R. Klein
판 수: 4
발 행 일: 2022
페 이 지: 1178
I S B N: 9781119820833

신간
스미스의 유기화학 7판



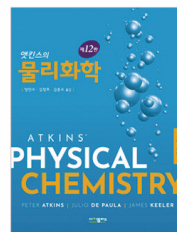
저 자: Smith
판 수: 7
발 행 일: 2024
페 이 지: 1408
I S B N: 9791132116097

신간
Organic Chemistry 7/e



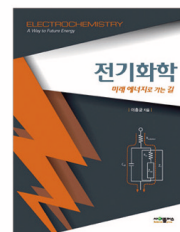
저 자: Smith
판 수: 7
발 행 일: 2024
페 이 지: 1400
I S B N: 9781266223938

신간
앳킨스의 물리화학 12판



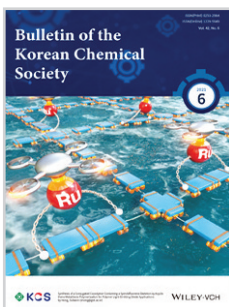
저 자: Atkins
판 수: 12
발 행 일: 2024
페 이 지: 964
I S B N: 9791188731435

신간
전기화학 미래 에너지로 가는 길



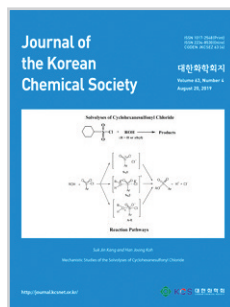
저 자: 이충균
판 수: 1
발 행 일: 2024
페 이 지: 404
I S B N: 9791188731497

대한화학회 발간(참여) 학술지



Bulletin of the Korean Chemical Society

- 월간
- SCI 저널
- 언어: 영어



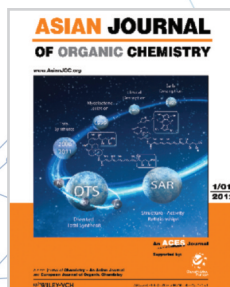
Journal of the Korean Chemical Society

- 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

매 순간
자신있게



케어센스® 에어 연속혈당측정시스템

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

CONTENTS

2024년 2월 광고 목차

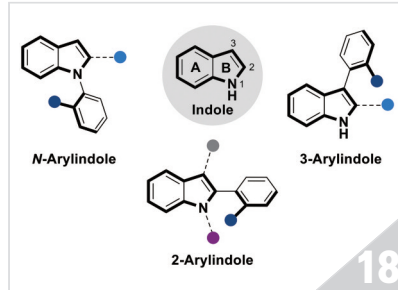
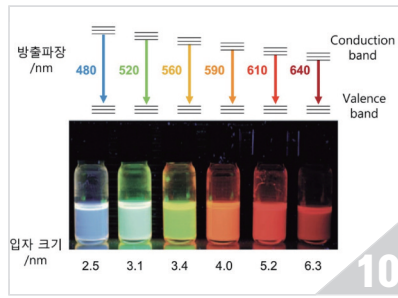
뒤표지	바이오니아
앞표지 안쪽	동우화인컴
뒤표지 안쪽	시마즈 사이언티픽 코리아
p.01	삼인싸이언스(주)
p.02	사이플러스
p.04	아이센스

2024년 운영진

회 장	이필호
부 회 장	오한빈(총무) 홍창섭(기획) 신승훈(학술) 조규봉(홍보) 박진균(국제협력) 이혁(산학협력) 박현주(교육)
실무이사	김형민(총무) 박성진(총무) 김현우(총무) 정광섭(기획) 김두리(기획) 안현서(기획) 송창식(학술) 조은진(학술) 김석희(학술) 이현수(홍보) 문회리(홍보) 이준석(홍보) 홍승우(국제협력) 윤명환(국제협력) 조승환(국제협력) 한수봉(산학협력) 임상민(산학협력) 남기엽(산학협력) 이안나(교육) 김현우(교육)

2024년 화학세계 편집위원회

위 원 장	조규봉
부위원장	이현수 문회리 이준석
상임위원	김성지 김양래 동방선 박준우 윤홍석 이영주 이호익 장지현 정홍제 최은영 최정모
편 집 자	오민영



NEWS

- 06 KCS 캘린더
- 07 이달의 학회
- 08 2024-2025 화학세계를 시작하며 • 문회리
- 46 신진연구자 소개 • 유성현, 최이삭
- 70 KCS News

PAPER

- 10 읽기 쉬운 충설 | 차세대 고색재현 디스플레이 구현을 위한 양자점 전계 발광 소재 및 소자 기술 • 오민석
- 18 이달의 하이라이트 | 동적 속도론적 분할 전략을 통한 회전 장애 이성질체 선택적 인돌 화합물의 합성 • 김아름, 이수진, 권용석*

SPECIAL

- 30 우수선도연구기관 | 서울대학교 라만분광 연구실 • 정대홍
- 36 INTERVIEW | 화학세계가 만난 화학자 • 임혜원 KIST 미래융합전략센터 소장
- 42 KCS 하이라이트 | 다성분 유기화학 반응 • 동방선

EDUCATION

- 25 화학 교육 | 극성과 대전체 실험에서의 불일치 상황에 대한 탐구 • 박성대

COLUMN

- 48 화학칼럼 | 화학사 돌아보기 ⑦: 리비히의 왕국 • 최정모
- 55 한국을 빛낸 화학자 ③ | 이은(李穩) 서울대학교 교수 • 이덕형
- 58 한국을 빛낸 화학자 ④ | 김용해(金容海) KAIST 교수 • 박두한

TREND

- 52 우리 실험실은요! | 서울대학교 약학과 유기약품합성화학 연구실 • 천시민
- 69 이달의 추천도서
- 72 화학만평

133rd GENERAL MEETING

- 60 심포지엄 및 구두발표 주제/조직책임자
- 62 연회비 및 참가비 안내
- 63 심포지엄 및 구두발표 주제 요약문

ADVERTISING & CAMPAIGN

- 03 대한화학회 발간(참여) 학술지
- 07 클린 인터넷을 선언합니다
- 40 BKCS 논문 투고 시스템 안내
- 73 『Chemistry, an Asian Journal』 논문 제출 안내
- 74 대한화학회 기기전시회 안내
- 75 대한화학회장상, 외부단체협찬상
- 76 지면광고 안내/회비 및 구독료 안내

February

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		

- 제133회 학술발표회, 총회 및 기기전시회(4월 24일~26일, 수원컨벤션센터)
 - 초록접수(1월 10일~2월 21일)
 - 사전등록(1월 10일~3월 15일)
 - 기기전시회접수(1월 10일~3월 15일)
 - 제1차 한국중학생화학대회(2월 24일)

April

- 제133회 학술발표회, 총회 및 기기전시회(4월 24일~26일, 수원컨벤션센터)
- 2024년 대한화학회 화학포스터 그리기 및 화학시화 대회

May

- 제134회 학술발표회, 총회 및 기기전시회(10월 16일~18일, 대구 EXCO)
 - 학회상, 외부상 수상 후보자 추천접수
 - 분과회별 심포지엄 주제확정
- 제55대 대한화학회 회장 선거
 - 일정 및 후보등록 안내

June

- 제134회 학술발표회, 총회 및 기기전시회(10월 16일~18일, 대구 EXCO)
 - 학회상, 외부상 수상 후보자 추천접수
 - 분과회별 심포지엄 주제확정
- 제55대 대한화학회 회장 선거
 - 일정 및 후보등록 안내

July

- 제134회 학술발표회, 총회 및 기기전시회(10월 16일~18일, 대구 EXCO)
 - 초록 접수(7월 3일~8월 14일)
 - 사전등록(6월 12일~9월 13일)
 - 기기전시회 접수(6월 12일~9월 13일)
- 화학회 창립일(7월 7일)
- 국제화학올림피아드
- 한국화학올림피아드 여름학교

August

- 제134회 학술발표회, 총회 및 기기전시회(10월 16일~18일, 대구 EXCO)
 - 초록 접수(7월 3일~8월 14일)
 - 사전등록(6월 12일~9월 13일)
 - 기기전시회 접수(6월 12일~9월 13일)
- 제2차 한국중학생화학대회
- 제55대 대한화학회 회장 선거
 - 일정 및 후보등록 및 예정 선거권자 명단 안내
 - 후보 등록 기간(1차)

September

- 제134회 학술발표회, 총회 및 기기전시회(10월 16일~18일, 대구 EXCO)
 - 사전등록(6월 12일~9월 13일)
 - 기기전시회 접수(6월 12일~9월 13일)

October

- 제134회 학술발표회, 총회 및 기기전시회(10월 16일~18일, 대구 EXCO)
- 화학산업의 날(10월 31일)
- 제55대 대한화학회 회장 선거
 - 후보 소견 및 약력 소개
 - 온라인 투표

November

- 제55대 대한화학회 회장 선거
 - 온라인 투표
 - 개표 및 당선자 발표

December

- 제135회 학술발표회, 총회 및 기기전시회
 - 학회상, 외부상 수상 후보자 추천접수
 - 분과회별 심포지엄 주제 확정

January

- 신년교류회(1월 10일, 오후 3시)
- 제133회 학술발표회, 총회 및 기기전시회(4월 24일~26일, 수원컨벤션센터)
 - 학회상 수상 후보자 추천(2023년 12월 27일~2024년 1월 24일)
 - 초록접수(1월 10일~2월 21일) / 사전등록(1월 10일~3월 15일) / 기기전시회접수(1월 10일~3월 15일)
- 한국화학올림피아드 겨울학교(1월 2일 ~ 1월 14일)

March

- 제133회 학술발표회, 총회 및 기기전시회(4월 24일~26일, 수원컨벤션센터)
 - 사전등록(1월 10일~3월 15일)
 - 기기전시회접수(1월 10일~3월 15일)

CONFERENCE OF THE MONTH

2024년 2월 13일

International Conference on Nano science and Nanotechnology

장 소 | Dubai, United Arab Emirates

안 내 | <https://gsrd.co/Conference/18413/IC2N/>

2024년 2월 21일

International Conference on Chemistry of Carbon-Based Nanocomposites and their Applications (ICCCBNA)

장 소 | Seoul, South Korea

안 내 | <https://internationalconferencealerts.com/eventdetails.php?id=2219470>

클린 인터넷을 선언합니다



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

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

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

'정보통신망 이용촉진 및 정보보호 등에 관한 법률' 제70조(벌칙)

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

형법 제309조(출판물에 의한 명예훼손)

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



2024-2025 화학세계를 시작하며

이필호 대한화학회 회장님과 함께 새롭게 출발하는 2024-2025 화학세계 편집위원회에서 인사드립니다. 올해로써 64권째를 발간하는 화학세계는 대한화학회 회원님들의 도움과 관심으로 다양한 학회 및 학계 소식을 전하고 있습니다. 회원님들께 유익하고 알찬 정보를 전달할 수 있도록 더욱 노력하겠습니다.

2024년 1월호부터는 보다 쉽게 접하고 빠르게 정보를 검색할 수 있도록 기존 종이 책자 및 e-Book 발간과 더불어 PDF 파일을 제작하여 회원님들께 이메일로 전송하고 있습니다. 불필요한 낭비를 줄이고 학회의 재정 문제를 해결할 수 있도록 점차 인쇄본 발간을 줄여 가고자 하오니 회원님들의 적극적인 협조와 이해를 부탁드립니다.

2024-2025년도에는 회원님들께 대한화학회에 대한 이해를 높이고 다양한 정보를 제공하기 위해 다음과 같은 새로운 코너들을 기획·신설하였습니다.

- **은퇴교수님 소개:** 대한화학회의 발전에 기여하고 영예롭게 퇴직하시는 은퇴교수님들의 소식을 전체 회원들과 공유하고자, 매년 2월, 8월 2회에 걸쳐 게재하고자 합니다.
- **한국을 빛낸 화학자:** 지금의 대한화학회가 있기까지 한국 화학계를 이끌어 주시고 국제적위상을 높이신 화학자들을 매월 1-2분씩 소개하고자 합니다. 한국이 화학의 불모지에서 현재의 위치에 오르기까지 한국 화학계 성장의 역사를 돌아보는 좋은 기회가 될 것입니다.

그 외 기존에 진행하고 있던 다양한 코너들은 아래와 같은 구성으로 프로그램에 내실을 기하고자 합니다.



조규봉 위원장
 • 서강대학교 화학과 교수
 • 대한화학회 홍보부회장
 • 화학세계 위원장



이현수 부위원장
 • 서강대학교 화학과 교수
 • 대한화학회 홍보실무이사
 • 화학세계 부위원장



문희리 부위원장
 • 이화여대 화학나노과학과 교수
 • 대한화학회 홍보실무이사
 • 화학세계 부위원장



이준석 부위원장
 • 한양대학교 화학과 교수
 • 대한화학회 홍보실무이사
 • 화학세계 부위원장

- **학술:** 읽기쉬운 총설, 이달의 하이라이트, 화학교육, KCS 하이라이트
- **홍보:** 우수선도연구기관 소개, 우리실험실은요!, 신진연구자 소개
- **교양:** 화학세계가 만난 화학자, 화학칼럼, 추천도서 및 플랫폼
- **학회 정보:** 월간학회소식(운영위원회소식, 지부/분과회 행사 소식, 부고, 신입회원 명단), 학술발표회소식 (분과별 주제 및 조직책임자, 주제요약문 등)

여러 코너를 전문성있게 추진하기 위해 11명의 분야 전문가를 편집위원회 상임위원으로 모셨습니다. '읽기쉬운 총설'은 대주제를 정해 수개월간 시리즈로 게재되는데, 2024년 첫 주제는 2023년 노벨화학상을 수상한 나노 크기 초미세입자인 '양자점'으로, POSTECH의 김성지 교수님께서 편집위원으로서 알찬 내용을 구성해 주실 예정입니다. '이달의 하이라이트'는 화학 6대 분야(물리화학, 유기화학, 무기화학, 분석화학, 생화학, 고분자화학) 전문 상임위원이 해당 분야에서의 최근 관심 주제를 선정하여, 다양한 배경의 회원들이 각 분야의 중요한 이슈를 쉽게 접할 수 있는 기회를 제공하고자 합니다. '우리실험실은요' 코너에서는 실험실 생활을 공유하고 재미있는 에피소드를 소개하고 있습니다. 열정 넘치는 학생회원들의 적극적인 관심과 자발적인 참여를 부탁드립니다. '화학칼럼'은 대한화학회의 스타작가이신 광운대학교 장흥제 교수님과 부산대학교 최정모 교수님께서 앞으로도 재미있는 주제로 회원님들의 지적 호기심을 채워줄 것입니다.

편집위원회 상임위원 (11명)			
김성지	POSTECH	이호익	한국생산기술연구원
김양래	광운대학교	장지현	서강대학교
동방선	서강대학교	장흥제	광운대학교
박준우	서강대학교	최은영	한국과학영재학교
윤홍석	한양대학교	최정모	부산대학교
이영주	부산대학교		

오랜 역사를 이어온 화학세계가 회원님들의 학회 및 학술 활동에 도움이 될 수 있도록 편집위원 모두가 힘을 합치도록 하겠습니다. 화학세계에 대한 다양한 제안이나 문의 사항은 저희 편집팀 또는 대한화학회 사무국으로 연락주시면 귀기울여 듣고 반영할 수 있도록 노력하겠습니다. 앞으로도 화학세계에 애정어린 관심을 부탁드립니다. 감사합니다.



PROJECT · I

양자점의 현황과 미래 화학

PART
2

차세대 고색재현 디스플레이 구현을 위한 양자점 전계 발광 소재 및 소자 기술

오민석 | 한국전자기술연구원(KETI) 디스플레이연구센터
ohms@keti.re.kr

차세대 고색재현 디스플레이 구현을 위한 양자점 전계 발광 소재 및 소자 기술

오민석 | 한국전자기술연구원(KETI) 디스플레이연구센터, ohms@keti.re.kr

서론

음극선관(CRT, cathode ray tube)을 이용한 브라운관 방식의 TV 기술이 오랫동안 전 세계적으로 디스플레이 시장을 지배해오고 있었으나, 보다 얇고 평평한 디스플레이를 구현하기 위한 평판 디스플레이(FPD, flat panel display) 기술인 액정을 이용한 LCD(liquid crystal display) 패널 기술의 발전으로 부피가 큰 CRT가 지배하던 디스플레이의 시대는 막을 내리고, 얇은 두께의 평판 디스플레이 기술이 시장을 선도하게 되었다. 플라즈마 방전을 이용한 PDP(plasma display panel) 기술이 LCD 기술과 함께 대형 평판 디스플레이 시장을 선도하였으나, LCD 기술의 놀라운 발전으로 인하여 PDP 제품 생산은 2014년을 기점으로 단종되었다. 이처럼 LCD 기술이 주도적으로 평판 디스플레이 시장을 이끌어 가고 있었으나, 자발광 소자가 아닌, 백라이트(backlight)와 컬러 필터(color filter)를 이용한 패널 기술로써 명암비(contrast ratio)와 색재현율이 높지 않은 단점을 가지고 있었다. 또한 중국의 무서운 추격으로 인한 가격 인하에 따른 부가가치의 하락으로 매우 어려운 상황을 맞고 있고, 이는 디스플레이 강국이었던 한국의 위상에 큰 위협이 되고 있다. LCD의 단점을 보완하기 위한 새로운 디스플레이 기술로써 유기 발광다이오드를 이용한 OLED(organic light emitting diode) 기술이 개발되어 모바일 디스플레이 및 최근에는 대형 TV 시장에서도 제품이 출시되었다. 그러나, OLED 디스플레이의 경우에는 고가의 유기소재 및 열화 현상에 의한 어려움을 가지고 있다.

이러한 이유로 LCD TV와 OLED 디스플레이의 단점을 개선하고, 향상된 차세대 디스플레이를 개발하기 위해서 색재현력이 높고, 신뢰성이 높은 무기 발광 소재의 적용이 가능하며, 유기 소재에 비해서 저가의 소재 적용이 가능한 차세대 디스플레이 기술이 시급한 상황이다.

이러한 LCD와 OLED 기술의 단점들을 극복하면서, 차세대 고성능 디스플레이로의 적용이 가능한 소재로써 최근 무기 소재에 기반한 콜로이드(colloidal) 형태의 양자점(QD, quantum dot) 소재가 많은 주목을 받고 있고, 청색 LED 및 OLED 등의 백라이트 기술과 양자점 색변환 기술을 이용한 QLED TV와 QD-OLED 디스플레이 제품이 출시되면서 실제 디스플레이 제품으로의 적용 사례가 증가하고 있다.¹ 또한 청색 백라이트의 색변환층으로 적용되는 양자점 소재의 응용 분야를 넘어, 가까운 미래에는 OLED를 대체하는 전계 발광 소자로의 응용을 통하여 새로운 고성능 디스플레이 제품의 구현을 눈앞에 두고 있다. 양자점을 이용한 차세대 디스플레이 구현을 위한 소재 및 소자 기술은 급속히 성장하고 있으며, 기존의 디스플레이 분야에서 선진 원천 소재 기술을 보유하고 있는 미국, 유럽의 기초 기술력을 능가할 수 있는 중요한 시점이기 때문에 정부, 기업 차원에서의 핵심 원천 소재 기술 및 디스플레이 패널 구현 기술과 관련된 연구 분야의 지원이 절실히 필요한 시점이므로, 본 글에서는 최근 디스플레이 분야에 활발하게 적용되고 있는 콜로이드 양자점 소재 및 소자 기술의 원리 및 응용 분야에 대해서 소개하고자 한다.

본 론

1. 콜로이달 양자점 반도체 (Colloidal Quantum Dot Semiconductor)

양자점 반도체 소재는 양자 구속 효과(quantum confinement effect)를 나타내는 excitonic Bohr radius 보다 작은(대략 2~20 nm) 크기의 나노 결정체를 의미한다. 이러한 범위의 크기를 갖는 양자점 소재는 연속적인 에너지 준위를 갖는 벌크(bulk) 형태의 반도체와는 다르게 불연속적인 에너지 준위를 나타내고, 입자의 크기에 따라 밴드갭이 변하기 때문에 다양한 수광 및 발광이 가능한 파장 대역을 갖는 특징을 가지고 있다.

양자 구속을 이용한 양자점 소재 적용 기술은 오랫동안 많은 관심을 받아오고 있었지만, 기존에는 양자점 구조를 형성하기 위한 기술이 진공 장비에 의한 복잡한 공정 기술들을 이용하여 구현한 사례가 대부분이었기 때문에 연구 목적을 넘어서는 실제 산업 분야로의 적용 사례가 많지 않았다. 1980년대 초, 러시아의 고체물리학자인 Alexey I. Ekimov와 Bell Labs의 Luis E. Brus에 의해 나노 반도체 결정의 크기와 밴드갭이 연관이 있다는 사실이 처음 알려지고,^{4,5} 가장 대표적인 콜로이드 합성법인 hot-injection법이 1993년 MIT Bawendi 연구진에 의해서 처음 보고되면서 고품위 양자점을 얻기 위한 콜로이드 합성법이 꾸준히 발전되어 왔다.⁶ 이러한 콜로이달 합성법이 개발

된 후, 고품위의 결정성을 갖는 양자점 반도체를 저온, 용액형 공정을 이용하여 손쉽게 응용할 수 있게 되면서 양자점을 이용한 소자 응용 기술은 빠르게 발전을 하게 되었다. 특히, 입자의 크기에 따라 밴드갭이 결정되는 콜로이달 양자점 입자들을 균일한 크기로 대량 합성이 가능해지면서, 좁은 발광 반치폭(FWHM, full width at half maximum)을 통한 고색재현 구현이 가능하게 되었고, 더불어 양자점 크기 조절을 통한 발광 파장 조절 기술 및 용액형 패터닝 공정의 가능성 등은 콜로이달 양자점 소재가 차세대 고색재현 디스플레이 기술에 활발히 적용될 수 있는 계기가 되었다[그림 1,2].^{7,8}

일반적으로 양자점의 크기는 수 나노미터에 불과하기 때문에 매우 큰 표면/부피 비를 갖게 되는데, 발광 파장을 결정하는 중심(core) 부분의 양자점 소재의 경우, 표면에 많은 결함이 존재할 수 있으며 이러한 표면결함에서 에너지의 비발광적 방출로 인해 발광 양자효율의 손실이 발생하게 된다. 양자점의 소재 안정성과 양자점 내부에서의 전자-정공 재결합 확률을 높여 발광 양자효율을 높이기 위해서는 중심 부분 양자점의 표면을 보호(passivation)하기 위해서, core 양자점 표면에 무기물 껍질(shell)을 적용한 core/shell 구조가 필요하다. 하지만 core와 shell의 경계에서 새로운 계면이 형성되고, core/shell 소재 간의 격자 불일치(lattice mismatch)로 인한 계면 결함이 형성될 수 있기 때문에, 격자 상수 불일치를 최소화하고 전자-정공 재결합 확률을 높일 수 있는 적절한 격자 상수와 밴드갭을

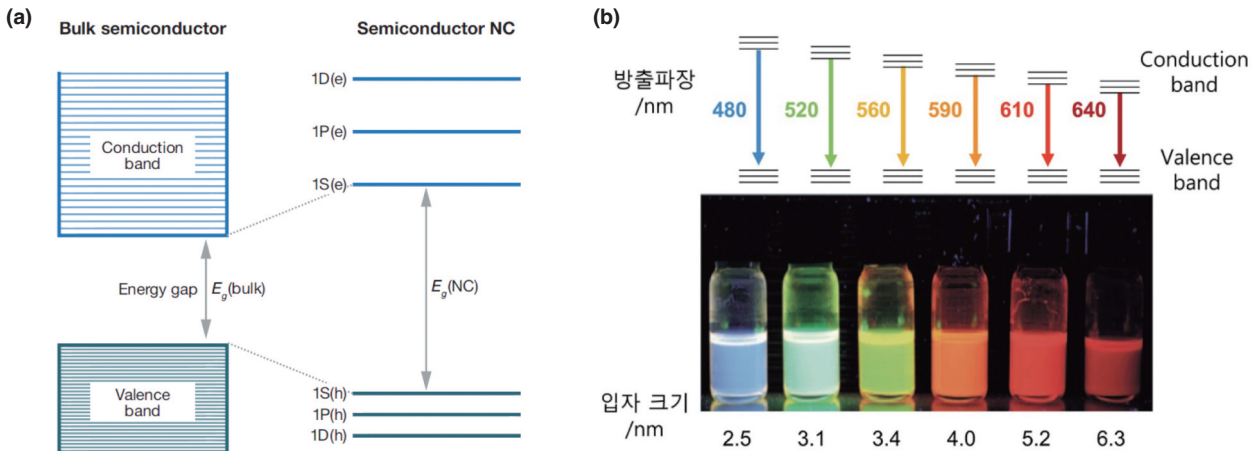


그림 1. (a) 벌크 상태 반도체의 에너지 레벨과 반도체 나노입자의 에너지 레벨,² (b) 입자 크기에 따른 CdSe 양자점의 색상 변화³

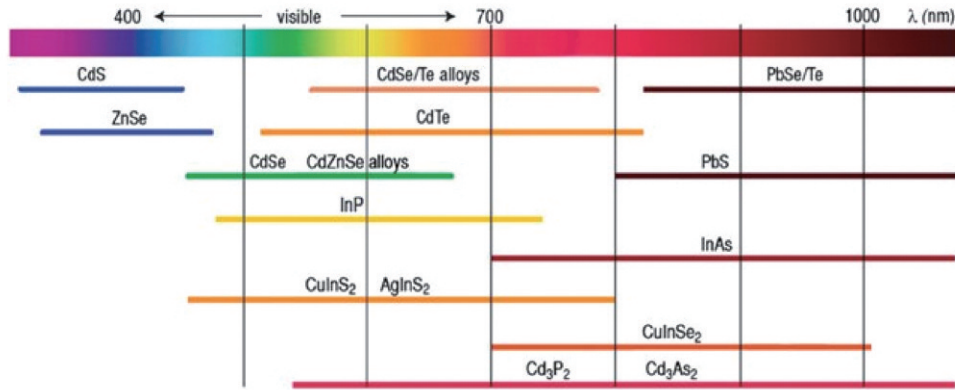


그림 2. 다양한 종류의 양자점 반도체들의 보고된 발광 파장대역⁹⁾

갖으면서 콜로이드 합성이 가능한 shell 소재를 선택하는 것이 매우 중요하다. 이러한 코어/셸 구조를 적용한 예로는 격자 상수 불일치를 최소화하기 위해 InP/ZnS, CIS/ZnS 양자점과 같은 하나의 물질의 셸을 지닌 코어/셸 양자점 뿐만 아니라, InP/ZnSe/ZnS 양자점과 같은 이중 셸 구조도 많은 연구가 이뤄지고 있다. 또한, 이러한 셸의 표면 또한 결함이 발생할 수 있기 때문에 표면 결함의 수를 줄이면서, 용액 내에서의 콜로이드 분산성을 향상시키고, 전자 및 정공의 주입이 용이하게 할 수 있는 표면 리간드 소재 개발 및 치환 기술도 많은 관심을 받으면서 매우 빠르게 기술이 발전되어 오고 있다.

디스플레이 분야로의 적용이 가능한 양자점 소재 기술이 급격한 발전을 하면서, 제조회 가능성도 많이 보여주었지만, 기존의 디스플레이 기술들의 특성을 능가할 수 있는 양자점 코어 소재는 Cd 기반이기 때문에 환경적인 이슈가 있다. 2006년에 발효된 유럽연합의 유해물질 제한지침 (Restriction of Hazardous Substances Directive, RoHS)에 따르면 전자제품에서 카드뮴의 사용량이 제한되기 때문에 Cd 등의 중금속이 포함되지 않은 친환경 양자점 개발이 반드시 필요한 상황이 되었다. 가시광 영역의 발광이 가능하면서 콜로이드 입자 합성이 가능한 소재의 경우에는 InP, CIS(Cu-In-S) 등이 후보로 개발되었으나, CIS의 경우에는 넓은 반치폭으로 인하여 디스플레이용으로는 적용이 불가능하여 InP가 가장 적합한 양자점 소재로 선택이 되었고, 현재까지 상용화된 QLED TV 기술에 적용되어 성공적인 사례를 보여주었다. 하지만, InP 양자점의 경우에는 소자 제작 공정 시, 대기 노출이 되면 특성이 열화되

기 때문에 산소와 습기가 없는 환경에서 공정이 진행되어야 하는 단점이 있어서 새로운 친환경 post InP 양자점 소재에 대한 개발이 활발히 진행되고 있다.

2. 양자점 발광 소재의 디스플레이 응용: 광 발광(Photoluminescence) vs. 전계 발광(Electroluminescence)

디스플레이 기술 분야에 적용되는 발광 소재들의 경우, 발광 특성을 구현할 수 있는 대표적인 2가지 원리는 소재의 밴드갭에 해당하는 에너지보다 더 큰 에너지를 갖는 입사광에 의한 광학적 여기(optical excitation)를 통해 생성된 exciton이 재결합하면서 발광하는 광 발광(Photoluminescence, PL)과 발광 소재 내부로 직접 전자와 정공을 주입시킨 후, 이들의 재결합에 의해서 발광 소재의 밴드갭에 해당하는 에너지를 갖는 파장을 발광하게 되는 전계 발광(Electroluminescence, EL)로 나눌 수 있다[그림 3].

이러한 원리에 기반한 양자점 반도체를 적용한 대표적인 디스플레이 기술은 PL을 이용한 색변환(color conversion) 소재로의 적용 기술과 EL을 이용한 전계 발광 소재로의 적용 기술을 들 수 있다. 이 중에서 색변환 소재로의 적용 기술은 기존의 LCD 디스플레이 기술에 기존의 백색 CCFL(Cold Cathode Fluorescent Lamp) 또는 LED 백라이트 유닛(back light unit, BLU) 대신에 청색 파장의 LED BLU를 적용하고, 적색, 녹색의 양자점 소재를 색변환 소재로 적용하여 디스플레이를 구현하였고, 삼성전자에서는 이러한 기술을 적용하여 제품화(QLED TV)에 성공하였다. 이러한 QLED TV 기술은 좁은 발광 반치폭의

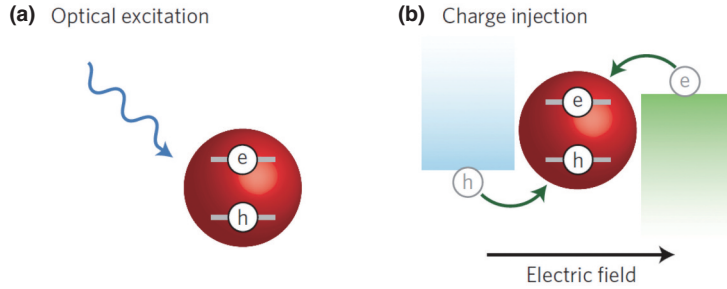


그림 3. (a) Optical excitation(Photoluminescence, PL) 및 (b) charge injection(Electroluminescence, EL) 발광 원리.¹⁰

양자점을 적용함으로써 차세대 UHD 디스플레이 구현이 가능한 색재현력을 구현하였다.¹¹ 그러나, LCD 기반의 양자점 색변환층 적용 기술은 LCD 디스플레이가 가지고 있는 기본적인 한계를 넘어서기는 쉽지 않고, 픽셀간 명암비를 향상시키기 위한 로컬 디밍(local dimming) 기술의 한계 등으로 인하여 궁극적으로는 전계 발광(EL) 원리에 기반한 QD-LED(quantum dot light emitting diode) 발광 소자의 개발을 통한 차세대 디스플레이 구현 기술이 반드시 필요하다. [그림 4]는 양자점을 적용한 다양한 구조의 발광 소자에 대한 비교를 보여주고 있다. 기존의 LCD 기술에 기반한 광학적 여기를 이용한 PL 적용 기술(LCD + QD film)의 경우에는 blue LED를 BLU로 적용하여, 적색/녹색의 양자점을 여기시킨 후, LED의 청색과 양자점의 적색/녹색을 혼합하여 백색의 BLU를 만든 후, 컬러 필터를 거쳐서 컬러 디스플레이를 구현하는 방식이다. 최근 삼성디스플레이에서 제품을 출시한 QD-OLED(OLED + QDCF) 디스플레이의 경우에는 QLED TV의 청색 LED 대신 청색 OLED를 적용하여 대면적 구현 및 pixel dimming이 가능하도록 하였다. 하지만 이러한 색변환 기술의 한계를 극복

하기 위해서는 궁극적으로 전계 발광(EL)에 기반한 자발광 소자(QD-LED)의 개발이 반드시 필요한데, 기존 OLED에서 개발되었던 개별 전계 발광 R/G/B OLED 소자와 유사한 구조를 적용하여 발광층 부분에 양자점 반도체를 적용하여 구현하고자 하는 기술 개발이 활발히 이루어지고 있다.

3. 양자점 발광 다이오드(QD-LED) 소자 기술

양자점 발광 다이오드(quantum dot light emitting diode, QD-LED)는 기본적인 다이오드 소자 구조에 기반하여 양자점 내부로 전자와 정공이 주입된 후, 재결합을 통하여 빛을 내게 하는 전계 발광(EL) 현상을 이용한 소자를 뜻한다.¹²⁻¹⁴ QD-LED는 양쪽 전극(cathode, anode)에서 주입된 전자와 정공이 각각의 전하 수송층(charge transport layer)을 통하여 양자점 발광층으로 주입된 후, 양자점 내에서 exciton을 형성하고, exciton의 발광 재결합(radiative recombination)을 통하여 양자점 반도체의 밴드갭 에너지에 해당하는 파장의 빛을 발광하는 원리이다[그림 5]. 기본적으로 OLED 발광 소자와 동작 원리가 유사하므

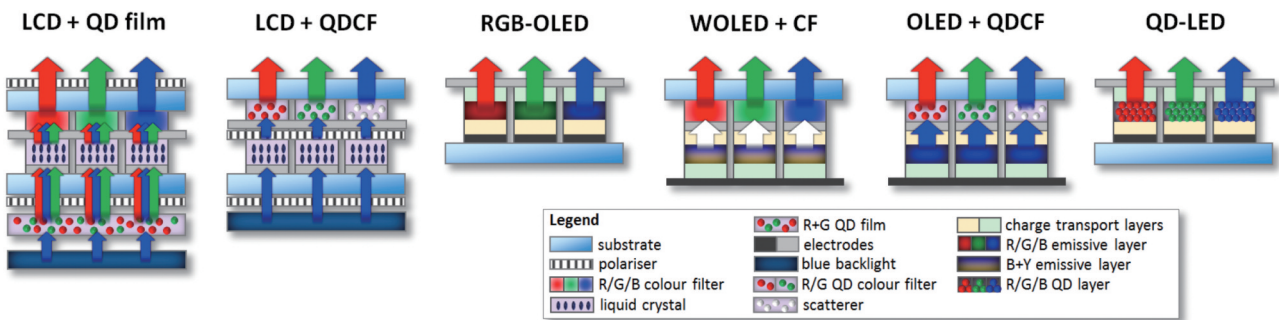


그림 4. QD가 적용된 LCD, OLED, QD-LED 디스플레이 기술들의 소자 구조에 따른 분류¹

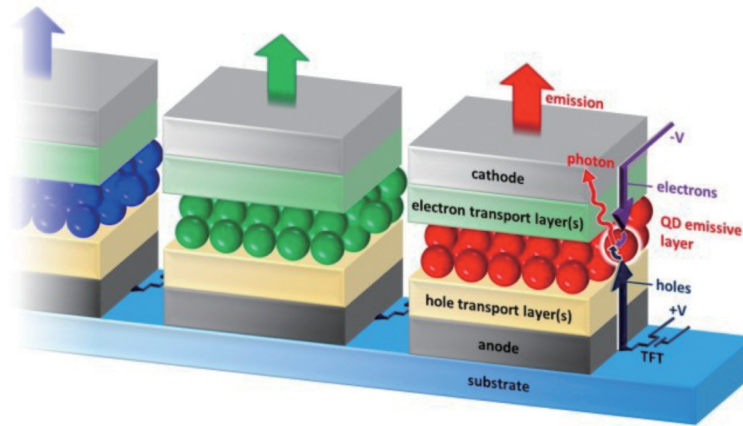


그림 5. Top emission 구조의 QD-LED 발광 소자의 구조 및 발광 원리¹

로, 초기의 QD-LED 소자는 기존의 OLED에서 개발된 전자 및 정공의 주입층과 수송층을 유사하게 사용하여 다층 발광 소자 구조에서 발광층만 유기 발광 소재 대신에 양자점으로 대체하여 개발이 진행되어져 왔다.

QD-LED 발광소자는 1994년 미국 University of California, Berkeley의 Alivisatos 교수팀에서 CdSe 양자점과 전도성 고분자(poly(p-phenylene vinylene), PPV)를 이용하여 최초로 구현하였다.¹² 그러나 대부분의 발광 현상이 QD 발광층이 아닌 PPV 고분자에서 나오고 매우 낮은 발광 효율을 보여주었다. 이와 같은 문제점을 해결하려면, OLED 발광 소자에서와 같이 cathode, anode 전극에서 전하 수송층을 통하여 전자와 정공을 효과적으로 발광층으로 주입하고, 발광층에서 전자-정공 재결합 효율을 높일 수 있는 전하 주입층을 포함한 다층구조를 적용하는 것이 필요하였다. 또한, 콜로이달 양자점 소재의 특성상, 양자점 발광층 증착 공정은 용액 공정을 적용해야 하는데,

이러한 용액 공정 시에 양자점 발광층 하부의 전하 수송층이 콜로이달 양자점 용액의 용매에 손상이 되는 문제들이 발견되어, 용액 공정시 각 층간의 상호 손상을 방지할 수 있는 orthogonal process를 고려한 전하 수송층 소재 및 공정 개발이 반드시 필요하였다[그림 6a]. 또한, QD-LED에 사용되는 양자점 발광층의 에너지 준위가 기존 OLED 발광층의 에너지 준위와 상이하므로, orthogonal process에 대한 고려 이외에도 양자점에서의 효율적인 전하 주입을 위해서 양자점 발광층으로의 전하 주입 장벽이 크지 않은 새로운 전하 수송층 및 주입층 등의 개발 및 적용이 절실히 필요하게 되었다[그림 6b]. 또한 유기 전하 수송층 소재들의 신뢰성 및 전기적 특성을 개선하기 위해서 기존의 OLED에 적용되던 소재들이 아닌 무기 산화물 나노입자(ZnO)를 적용한 소자 구조의 개발이 이루어지면서, 발광 소자의 성능이 비약적으로 향상되었다.^{8,13}

기본적인 QD-LED의 발광 특성을 확보한 후에는 밝기,

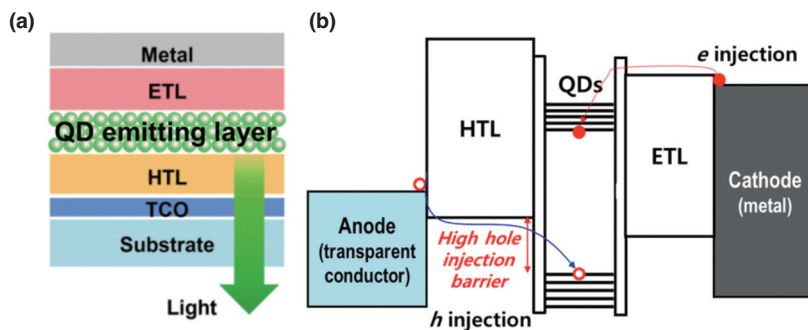


그림 6. (a) 기판/투명 전도성 산화물(TCO) 전극/정공 수송층(HTL)/QD 발광층/전자 수송층(ETL)/ 금속전극으로 구성된 QD 발광 다이오드 (QD-LED)의 개략적인 소자 구조. (b) 전자 주입에 비해 정공 주입 에너지 장벽이 높은 QD-LED의 에너지 다이어그램 예시¹⁵

발광 효율, 구동 신뢰성 등을 향상시키기 위한 다양한 노력들이 다방면에서 매우 활발하게 진행이 되었다. 특히, 전계 발광 소자의 경우에는 전자와 정공의 주입이 균형을 이루어야 고효율 발광 소자를 구현할 수 있다. 전자나 정공 어느 한 종류의 전하가 더 많이 주입되어서 양자점 발광층 내부에서 양쪽 전하의 불균형이 초래되면, 전자-정공의 재결합에 의한 빛이 과잉의 전하로 전달되어 흡수되면서 발광 효율이 감소하는 Auger 재결합(recombination)이라는 현상이 발생하게 된다.¹⁶ 이러한 Auger 재결합이 발생하면, exciton의 radiative recombination이 감소하게 되면서, 발광 효율과 구동 신뢰성이 감소하게 되므로, 전자와 정공 수송층으로부터의 전하 주입의 균형을 맞추어 주는 소재 및 소자 설계가 제품화 기술로 적용되기 위해서는 매우 중요한 부분이 되었다.

이와 같은 전하 주입 균형을 개선하기 위해서는 전자 수송층에 비해서 상대적으로 높은 정공 주입 장벽을 낮추기 위한 정공 수송층 소재 개발, 전자 주입층 또는 수송층과 발광층 사이의 계면에 추가적인 layer를 형성해 줌으로써 정공과의 전하 주입 효율을 조절하려는 기술 등 다양한 기술들이 개발 중이다. 유기-무기 하이브리드 소자의 연구 결과 발표 이후로는 전자 수송층으로는 ZnO 나노입자를 적용한 유-무기 하이브리드 구조의 QD-LED 소자 구조가 대세를 이루게 되었다. 하지만, 무기 전자 수송층의 전기적 특성(이동도, 전하 주입 장벽 등)과 유기 정공 수송층의 전기적 특성이 균형을 이루지 못하여 발생하는 Auger 재결합에 의한 roll-off 현상을 방지하기 위해서 ZnO 전자 수송층에 다양한 원소를 첨가하여 전자와 정공의 주입 불균형을 해결하고자 하는 연구도 활발히 진행 중이다.¹⁸ 그러나, 아직 정공 수송층의 경우에는 유기 소재를 적용 중이기 때문에, 소재 및 소자의 신뢰성을 비롯하여 발광 효율

향상을 위해서 ZnO에 기반한 전하 수송층과 전하 주입 균형을 맞출 수 있는 다양한 무기 산화물 정공 수송층의 개발도 많은 관심을 받고 있고, 이를 이용한 full inorganic QD-LED 발광 소자 구현 기술도 앞으로 더 많이 보고 될 것으로 예상된다.

결론

차세대 고색재현 디스플레이 구현을 위해서는 기존 LCD, OLED 디스플레이 기술의 한계를 넘어서는 신규 디스플레이 소재 및 소자 기술이 반드시 필요하다. 본 글에서는 이러한 한계 극복이 유일하게 가능한 양자점 반도체를 이용한 디스플레이 구현 기술에 대해서 간략히 살펴보았다. 콜로이달 양자점 반도체를 적용한 디스플레이 기술은 최근 급격한 발전을 통해서 광 발광(PL) 방식을 적용한 색변환층으로 적용되는 기술이 LCD 기반의 디스플레이 제품에 적용되어 시장에서 성공적으로 판매가 되고 있고, 궁극적으로 실현시키고자 하는 전계 발광(EL) 방식의 QD-LED의 특성도 OLED 수준에 도달하였다. 1990년대부터 연구가 시작된 디스플레이용 전계 발광 소자로의 적용을 위한 콜로이달 양자점 기술은 소재 합성, 소자 구조 최적화 및 공정 기술의 비약적인 발전을 기반으로 차세대 고색재현 디스플레이 기술을 구현할 수 있는 거의 유일무이한 기술로 각광받고 있다. 이러한 콜로이달 양자점은 입자의 크기 조절을 통하여 발광 파장의 조절이 가능하고, 좁은 발광 반치폭을 가지고 있기 때문에 색순도가 높은 장점을 가지고 있다. 양자점 발광소재를 적용한 디스플레이는 이미 LCD의 색재현성 향상에 크게 기여하였으며, 전계 발광 현상을 이용하는 QD-LED의 성능도 빠르게 발전하여 OLED 발광 소자 기술에 견줄 만한 수준으로 발전하였다. 아직 상용화를 위해서는 해결해야 할 문제들이 많지만, 빠른 시일 내에 우수한 디스플레이 성능과 가격 경쟁력을 확보하여 차세대 디스플레이 시장에 진입할 수 있을 것으로 생각된다. 그러나 QD-LED를 기반으로 하는 자발광 방식의 디스플레이를 제품화 기술 수준까지 끌어올리기 위해서는 발광효율과 안정성 향상, 독성이 없는 친환경 양자점 대량 합성 기술, Auger 재결합 현상 억제를 통한 발광 소자의 효율 향상 등이 중요하다[그림 7]. 용액형 공정을 적용해야 하는 콜로이달 양자점 소재의 특성 상, 양자점을 균일하게 프린팅할 수

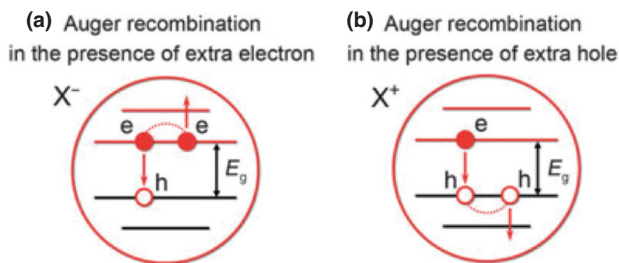



그림 7. 과잉 전자 및 정공에 의한 Auger 재결합

있는 기술이 필요하고, 리간드 조절 등을 통해서 양자점 표면을 개질하는 기술이 반드시 필요하다. 또한, 상당한 수준으로 확보된 발광 효율에 비해서 아직 확보되지 못한 장수명 확보를 통하여 QD-LED의 효율과 수명을 동시에 높일 수 있는 우수한 물성의 친환경 양자점 합성, 소자 구조 최적화 및 제조 공정 기술 개발이 필요하다. 또한 이러한 소자 기술에 기반하여 고해상도 QD-LED 디스플레이를 상용화 기술 수준으로 끌어올리기 위해서는 대면적 기판 위

에 정밀한 패터닝 공정 기술을 개발해야 한다. 따라서 우리 연구기관 및 기업체들이 계속해서 세계 디스플레이 시장을 선도해 나가기 위해서는 차세대 디스플레이 기술인 QD-LED 기술 개발에 적극 나서서 핵심 기술을 확보하여 중국 등과의 기술 격차를 더욱 넓혀 가야 하고, 이를 위해 체계적인 개발 전략과 투자가 필요하며, 학계의 창의적인 연구에 대한 적극적인 지원이 앞으로도 계속되기를 희망한다. 



1. T. M. Smeeton, E. Angioni, E. A. Boardman, M. Izumi, N. Iwata, Y. Nakanishi, T. Ishida, "Development of Electroluminescent QD-LED Displays." *SID 2019 DIGEST*, **2019**, 742-745.
2. V. I. Klimov, "Spectral and Dynamical Properties of Multiexcitons in Semiconductor Nanocrystals." *Annu. Rev. Phys. Chem.* **2007**, *58*, 635.
3. H. Goesmann and C. Feldmann, "Nanoparticulate Functional Materials." *Angew. Chem. Int. Ed.* **2010**, *49*(8), 1362.
4. A. I. Ekimov, A. A. Onushchenko, "Quantum size effect in three-dimensional microscopic semiconductor crystals." *JETP Lett.* **1981**, *34*(6), 345-349.
5. L. E. Brus, "Electron-electron and electron-hole interactions in small semiconductor crystallites: The size dependence of the lowest excited electronic state." *J. Chem. Phys.* **1984**, *80*(9), 4403-4409.
6. C. B. Murray, D. J. Norris, M. G. Bawendi, "Synthesis and characterization of nearly monodisperse CdE (E = sulfur, selenium, tellurium) semiconductor nanocrystallites." *J. Am. Chem. Soc.* **1993**, *115*, 8706-8715.
7. S. Coe, W-K. Woo, M. Bawendi, V. Bulovic, "Electroluminescence from single monolayers of nanocrystals in molecular organic devices." *Nature* **2002**, *420*, 800-803.
8. L. Qian, Y. Zheng, J. Xue, P. H. Holloway, "Stable and efficient quantum-dot light-emitting diodes based on solution-processed multilayer structures." *Nature Photon.* **2011**, *5*, 543-548.
9. C. Philippet, P. Reiss, "Synthesis of Inorganic Nanocrystals for Biological Fluorescence Imaging." *J.M. de la Fuente, V. Grazu, Eds. (Elsevier, Amsterdam, The Netherlands)* **2012**, 81-114.
10. Y. Shirasaki, G. J. Supran, M. G. Bawendi and V. Bulović, "Emergence of colloidal

quantum-dot light-emitting technologies." *Nature Photon.* **2013**, *7*, 13-23.

11. J. Chen, V. Hardev and J. Yurek, "Quantum-Dot Displays: Giving LCDs a Competitive Edge Through Color." *Information Display* **2013**, *1/13*, 2-7.
12. V. L. Colvin, M. C. Schlamp and A. P. Alivisatos, "Light-emitting diodes made from cadmium selenide nanocrystals and a semiconducting polymer." *Nature* **1994**, *370*, 354-357.
13. J. Kwak, W. K. Bae, D. Lee, I. Park, J. Lim, M. Park, H. Cho, H. Woo, D. Y. Yoon, K. Char, S. Lee, and C. Lee, "Bright and Efficient Full-Color Colloidal Quantum Dot Light-Emitting Diodes Using an Inverted Device Structure." *Nano Lett.* **2012**, *12*, 2362.
14. X. Dai, Z. Zhang, Y. Jin, Y. Niu, H. Cao, X. Liang, L. Chen, J. Wang, and X. Peng, "Solution-processed, high-performance light-emitting diodes based on quantum dots." *Nature* **2014**, *515*, 96-99.
15. 이창희, 배완기, 곽정훈, "차세대 디스플레이 기술로 부상하는 양자점 발광다이오드." *물리학과 첨단기술의 세계* **2014**, NOVEMBER, 33-39.
16. W. K. Bae *et al.*, "Controlling the influence of Auger recombination on the performance of quantum-dot light-emitting diodes." *Nat. Commun.* **2013**, *4*, 2661.
17. W. K. Bae, S. Brovelli, and V. I. Klimov, "Spectroscopic insights into the performance of quantum dot light-emitting diodes." *MRS Bulletin* **2013**, *38*, 721-730.
18. J-H. Kim, C. Y. Han, K. H. Lee, K. S. An, W. Song, J. Kim, M. S. Oh, Y. R. Do, and H. Yang, "Performance Improvement of Quantum Dot-Light-Emitting Diodes Enabled by an Alloyed ZnMgO Nanoparticle Electron Transport Layer." *Chemistry of Materials* **2015**, *27*(1), 197-204.



오민석 Min Suk Oh

- 연세대학교 금속공학과, 학사(1993.3-1997.2)
- 연세대학교 금속공학과, 석사(1997.3-1999.2, 지도교수 : 임성일)
- 연세대학교 물리 및 응용물리학과, 박사(1999.3-2000.1, 2005.9-2009.2, 지도교수 : 임성일)
- SETRI(주) 부설연구소 연구원(2000.2-2000.9)
- 일진소재산업(주) 소재기술팀 연구원(2000.9-2002.9)
- 삼성전기(주) 중앙연구소 SOM팀 선임연구원(2002.10-2005.8)
- 한국전자기술연구원(KETI) 디스플레이연구센터 수석연구원(2009.1-현재)

동적 속도론적 분할 전략을 통한 회전 장애 이성질체 선택적 인돌 화합물의 합성

김아름, 이수진, 권용석* | 성균관대학교 약학과, y.kwon@skku.edu

서론

회전 장애 이성질체(atropisomer)란 입체장애로 인해 단일결합을 중심으로 회전이 어려워 나타나는 거울상 이성질체의 한 종류이다[그림 1]. 천연물·의약·소재·축매 화학 등의 분야에서 활용하는 유기 화합물의 범주가 점차 넓어짐에 따라 회전 장애 이성질체를 갖는 물질이 자주 대두되고 있으며,¹ 가능한 두 종의 회전 장애 이성질체 가운데 한 종의 회전 장애 이성질체만을 선택적으로 합성할 수 있는 합성법의 중요성이 강조되고 있다.² 그러나 아직까지 비대칭 중심을 조절하기 위한 합성법에 비해, 회전 장애 이성질체의 비대칭 축을 조절하기 위한 체계적인 합성법은 부족한 실정이다. 비대칭 축을 중심으로 회전을 하지 못하도록 만들어야 하는 회전 장애 이성질체의 특성상 비대칭 축

주변에 입체적으로 큰 치환기들이 밀집되어 있어야 하며, 이를 극복하고 효율적으로 합성할 수 있는 체계적인 전략이 필요하다.

현재까지 회전 장애 이성질체 선택적 합성을 위해서 주로 네 가지 합성 전략이 연구 개발되고 있다[그림 1]²: i) 교차 결합(cross-coupling), ii) 고리 형성(ring formation), iii) 탈대칭화(desymmetrization), iv) 속도론적 분할(kinetic resolution) 또는 동적 속도론적 분할(dynamic kinetic resolution). 먼저 i) 교차 결합 전략은 교차 결합 반응을 통해 비대칭 축을 직접적으로 형성 및 조절하는 방법이다. 기존에 잘 알려진 금속-축매 기반의 교차 결합 반응을 이용할 수 있으며 비대칭 리간드를 사용하여 가장 직접적으로 접근할 수 있는 방법이다. 그러나, 일반적으로 생성되는 단일 결합의 오쏘(ortho) 위치에 치환기가 밀집되

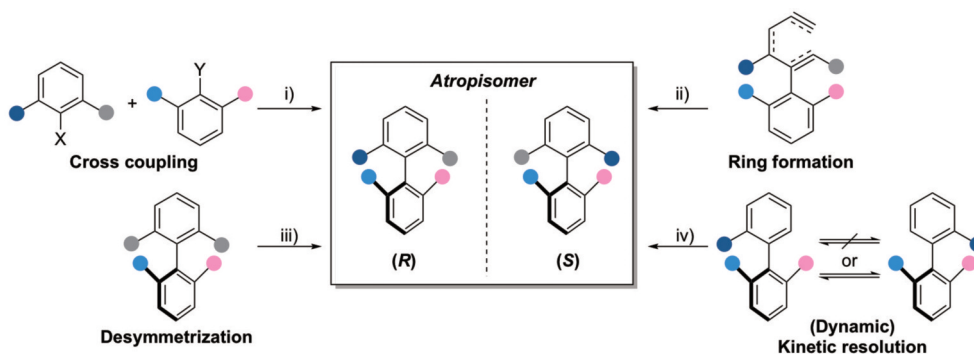


그림 1. 회전 장애 이성질체 선택적 합성 전략

어 있어 입체 장애로 인해 교차 결합이 쉽게 일어나지 않는다. 또한, 높은 반응 온도에 장시간 노출할 경우 생성된 회전 장애 이성질체의 라세미화가 일어날 여지가 있다. 이를 극복하기 위해 온화한 조건에서 높은 회전 장벽 에너지를 갖는 생성물이 만들어지도록 촉매 반응을 설계하는 것이 중요하다. 다음으로 ii) 고리 형성 전략은 비대칭 촉매가 고리화 과정을 매개하여 방향족 고리 화합물을 형성하면서 한 종의 회전장애 이성질체를 선택적으로 합성하는 전략이다. 그러나 이 전략은 고리화를 위해 이중 결합 또는 삼중 결합을 포함하는 특수 기질을 설계 및 합성해야 하며 생성되는 고리의 치환기 패턴을 다양화하기 어렵다는 한계점을 갖는다. 마지막으로 iii) 탈대칭화 전략은 선구 비대칭 축을 갖는 대칭성 출발물질에서 촉매와 반응물의 상호작용을 통해 대칭성을 깨면서 한 종의 회전 장애 이성질체를 선택적으로 합성하는 전략이다. 이 경우 출발물질의 선구 비대칭 축을 기준으로 한 쪽만 선택적으로 반응이 진행되고 중단되어야 이상적으로 가장 높은 수득율을 달성할 수 있다. 그러나 많은 경우에 한 번 반응이 진행된 물질이 다시 한 번 반응이 진행되어 대칭의 이-치환 생성물이 만들어지며, 원하는 비대칭 일-치환 생성물의 수득율을 낮추게 되는 문제점이 있다. 마지막으로 iv) 속도론적 분할 전략은 라세믹 혼합물 형태의 출발물질에서 한 종의 거울상 이성질체가 먼저 선택적으로 반응이 진행되고 남은 한 종은 출발물질로 남아 각각의 회전 장애 이성질체를 선택적으로 얻는 전략이다. 이론적으로 100%의 거울상 이성질체 선택성을 갖는 50%의 생성물과 50%의 출발물질을 얻을 수 있다. 그러나

이 전략은 이론적으로 얻을 수 있는 최대 수율이 50% 이므로 효율적인 전략이라 하기 어려우며, 이를 보완할 수 있는 전략으로 동적 속도론적 분할 전략이 있다. 동적 속도론적 분할 전략은 속도론적 분할 전략과 근본적으로 동일한 전략이나, 출발물질이 반응 조건에서 라세미화 될 수 있는 차이가 있다.³ 동적 속도론적 분할 전략에서는 출발물질이 비대칭 축을 중심으로 회전하여 두 종의 거울상 이성질체가 평형을 이루고 있으며, 이때 비대칭 촉매에 의해 한 종의 거울상 이성질체가 먼저 반응이 진행된다. 일반적으로 촉매 반응의 진행 속도보다 출발물질의 라세미화 속도가 빨라 이론적으로 100%의 수득율과 100%의 거울상 이성질체 선택성으로 생성물을 얻을 수 있다. 본고에서는 비대칭 유기 촉매 및 동적 속도론적 분할 전략을 이용한 아릴인돌 회전 장애 이성질체의 합성 반응에 관하여 소개하고자 한다.

본 론

1. 인돌 회전 장애 이성질체 합성 전략: 동적 속도론적 분할

인돌(indole)은 질소를 포함하는 방향족 고리 화합물로 천연물이나 약물, 소재 화학 등에서 쉽게 찾아볼 수 있는 중요 골격 구조이다(그림 2).⁴ 이에 다양한 인돌 골격을 효율적이고 위치 및 입체 선택적으로 합성하기 위한 연구들이 진행되어 왔으며, 최근 인돌의 회전장애 이성질체 선택적 합성법이 지속적으로 발표되고 있다.⁵ 인돌은 6원환의 방향족 탄소 고리(그림 2의 고리 A)와 5원환의 질소를 포함하는 헤테로고리(고리 B)로 이루어져 있으며, 질소를 포함하는 헤테로고리(고리 B)의 반응성이 더 높아 인돌의 질소(1번), 2번 탄소, 3번 탄소 위치에 방향족 고리가 치환된 형태의 아릴인돌(arylindole)이 자주 발견된다. 이러한 화합물들을 동적 속도론적 분할 전략을 통해 접근하기 위해서 헤테로고리의 높은 친핵성을 이용할 수 있다. 아릴인돌 화합물은 비대칭 축이 각각 질소 또는 2, 3번 탄소에 위치한 질소-아릴인돌(N-arylindole), 2-아릴인돌(2-arylindole), 3-아릴인돌(3-arylindole)로 분류할 수 있으며, 먼저 질소-아릴인돌 회전 장애 이성질체를 선택적으로 합성하기 위해서는 질소-아릴인돌의 2번 위치에 새로운 작용기를 도입하며 조절할 수 있다. 3-아릴인돌

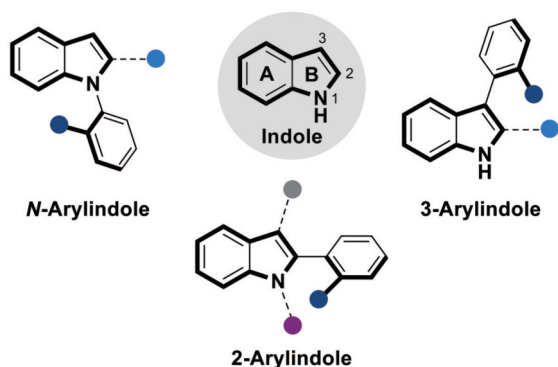


그림 2. 동적 속도론적 분할을 통한 인돌의 회전 장애 이성질체 선택적 합성 전략

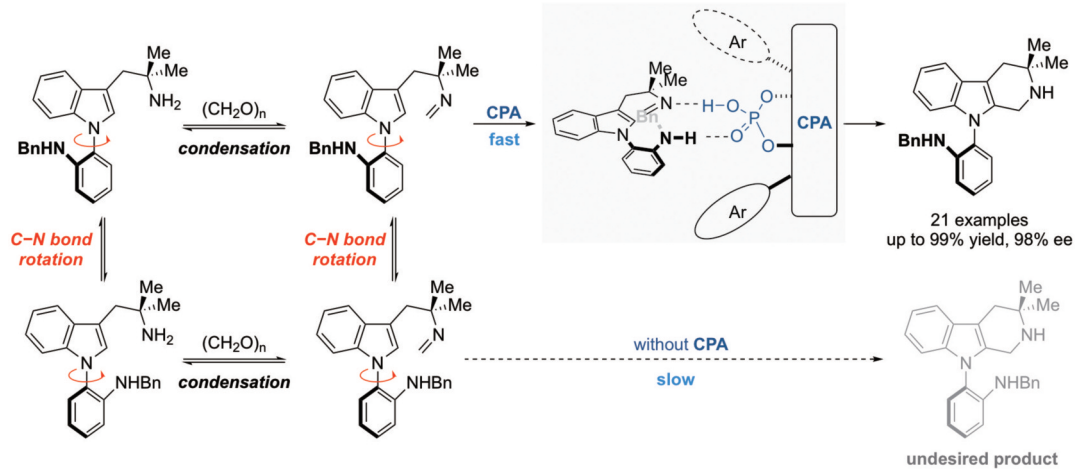


그림 3. 비대칭 인산 촉매를 이용한 질소-아릴인돌의 환원 반응 및 예상 메커니즘 [Kwon, 2021]

의 경우에도 마찬가지로 2번 위치에 치환하여 조절할 수 있으며, 2-아릴인돌의 경우 질소에 치환하거나 3번 위치에 치환하는 방법을 이용할 수 있다. 동적 속도론적 분할 전략을 이용한 아릴인돌 회전 장애 이성질체 합성 연구는 주로 탄소-탄소 비대칭 축을 갖는 3-아릴인돌 화합물의 합성에 집중되어 있으며,⁶ 질소-아릴인돌 회전 장애 이성질체 합성법은 최근 발표되고 있다.⁷ 반면에 동적 속도론적 분할 전략을 이용한 2-아릴인돌 회전 장애 이성질체 합성 연구는 많이 알려져 있지 않다.

2. 비대칭 유기 촉매 및 분자 내 반응을 통한 인돌 회전 장애 이성질체의 합성

유기 촉매 및 분자 내 반응을 이용하여 인돌의 특정 위치를 치환할 경우 새로운 고리를 형성하면서 아릴인돌의 비대칭 축을 조절할 수 있다. 2021년 본 연구실에서 피켓-스팽글러 고리화(Pictet-Spengler cyclization) 반응을 통하여 탄소-질소 비대칭 축을 조절한 연구를 보고하였다 [그림 3].⁸ 비대칭 피켓-스팽글러 고리화 반응은 고리화 과정 중 생성되는 비대칭 중심을 조절하기 위하여 List 그룹, Jacobsen 그룹, Seidel 그룹 등에서 연구하였으나,⁹ 비대칭 축을 조절한 사례는 알려져 있지 않았다. 본 연구진은 비대칭 인산 촉매를 사용하여 다양한 기질 범위에 본 반응이 적용되어 최대 99%의 수율과 98%의 거울상 이성질체 선택성으로 새로운 골격의 비대칭 축을 갖는 질소-아릴인돌 회전 장애

이성질체를 합성하는 방법을 개발하였다. 이 반응에서는 먼저 질소-아릴인돌 출발물질의 아민 작용기와 파라포름알데하이드(paraformaldehyde)의 축합 반응으로 이민 중간체가 형성된다. 이 때 출발물질과 이민 중간체는 탄소-질소 선구 비대칭 축을 중심으로 자유롭게 회전이 가능하여 평형을 이루게 된다. 비대칭 인산 촉매에 의해 선호하는 한 종의 거울상 이성질체가 분자 내 만니히 유형(intramolecular Mannich type)으로 고리화 반응이 진행되어 원하는 생성물이 얻어질 것으로 예상된다. 더불어, 방향족 고리의 오쏘-위치에 수소 결합을 형성할 수 있는 작용기의 존재가 거울상 이성질체 선택성에 중요함을 확인하였으며, 촉매와 기질 사이의 이차 상호작용을 형성할 것으로 생각한다. 본 합성법은 치환된 알데하이드를 사용하여 반응을 진행한 경우에도 잘 적용되어 비대칭 축과 비대칭 중심이 동시에 조절되어 최대 98%의 수율과 99%의 거울상 이성질체 선택성 및 10:1 이상의 부분 입체 이성질체 선택성을 달성하였다. 이후 다양한 인간 암세포주에서 비대칭 축을 갖는 질소-아릴인돌 신규 물질들의 항암 활성을 확인하여 질소-아릴인돌의 회전 장애 이성질체 선택적 반응 개발의 필요성을 입증하였다.

3. 비대칭 유기 촉매 및 분자 간 반응을 통한 인돌 회전 장애 이성질체의 합성

[그림 4]에 분자 간 반응을 통하여 3-아릴인돌 회전 장애

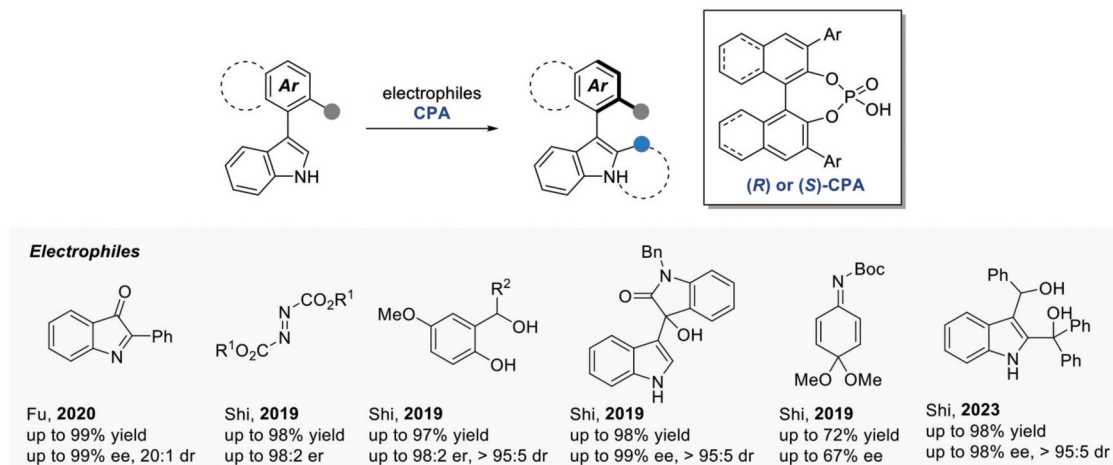


그림 4. 동적 속도론적 전략을 이용한 비대칭 인산 촉매 하 3-아릴인돌 회전 장애 이성질체 합성 연구

에 이성질체를 합성한 다양한 예시들을 나타내었다.⁶ 2021년 Fu 교수 연구팀은 비대칭 인산 촉매 존재 하에서 3-옥신돌 유도체(indol-3-ones)를 친전자체로 활용한 연구를 보고하였다.^{6a} 이들은 생성물의 비대칭 축과 비대칭 중심을 동시에 조절하는 데 성공하였다. Shi 교수 연구팀은 다양한 범위의 친전자체를 사용하여 3-아릴인돌의 회전 장애 이성질체 선택적 반응을 보고하였다.^{6b-d} 또한 2022년에는 4차 암모늄 염인 신코나 알칼로이드(cinchona alkaloid) 계열의 유기 촉매를 비대칭 상전이 촉매로 사용하여 아릴 설폰닐 클로라이드(aryl sulfonyl chloride)와의 반응으로 3-아릴인돌의 비대칭 축을 조절한 사례를 보고하였다.^{6e}

2022년 Fu 교수 연구팀은 질소-아릴인돌 락탐 출발물질에서 비대칭 유기 촉매를 이용한 고리 열기 반응을 통해 질소-비대칭 축을 조절한 연구를 보고하였다[그림 5].⁷ 질소-아릴인돌 락탐은 락탐의 구조적 특성으로 출발물질의

연구 비대칭 축이 낮은 회전 장벽 에너지를 갖게 되고, 이를 동적 속도론적 분할 전략에 적용하여 비대칭 축 조절이 가능하였다. 비대칭 스쿠아라미드(squaramide) 촉매 존재 하 고리 열기 반응을 통해 인돌의 2번 위치에 에스터 그룹을 포함하는 생성물을 높은 수율과 거울상 이성질체 선택성으로 얻어내었다.

3.1. 상 전이 촉매 활용 2-아릴인돌과 할로젠화 알킬 화합물의 친핵성 치환 반응을 통한 비대칭 축 조절

최근 본 연구실에서 상 전이 촉매인 신코나 알칼로이드 계열의 비대칭 4차 암모늄 염 유기 촉매를 사용하여 2-아릴인돌의 질소에 알킬화 반응을 유도하고 이 과정에서 비대칭 축을 조절한 연구를 보고하였다[그림 6].¹⁰ 동적 속도론적 분할 전략을 이용하여 질소-아릴인돌이나 3-아릴인돌의 비대칭 축을 조절한 사례는 최근까지 보고되어 왔으나 2-아릴인돌의 비대칭 축을 조절한 사례는 극히 드물

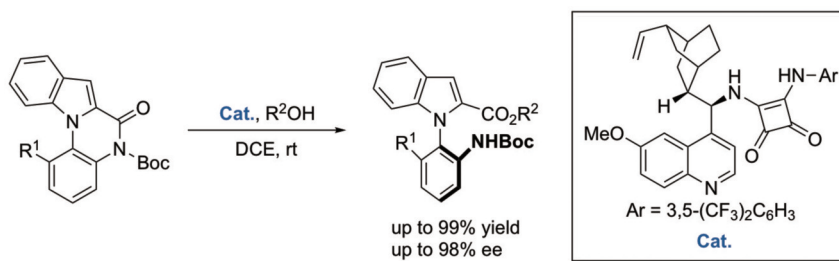


그림 5. 유기 촉매를 이용한 질소-아릴인돌 락탐의 고리 열기 반응 [Fu, 2022]

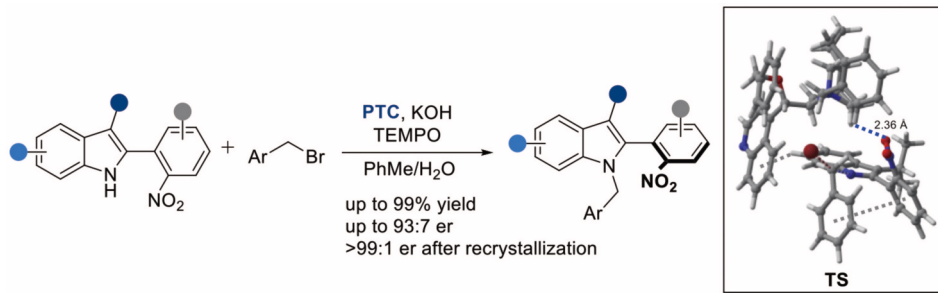


그림 6. 동적 속도론적 분할 전략을 이용한 상 전이 촉매 하 2-아릴인돌의 비대칭 축 조절 [Kwon, 2024]

다. 본 연구팀에서 최근 2-아릴인돌의 비대칭 축을 조절한 사례가 있으나 이는 비대칭 인산 촉매를 사용하여 인돌의 3번 위치를 치환하면서 비대칭 축을 조절한 연구이므로 본 연구와 차별점이 있다.¹¹ 상 전이 촉매 존재 하에서 2-아릴인돌 출발물질과 벤질 브로마이드(benzyl bromide) 사이의 적절한 분자 간 상호작용을 통해 다양한 기질 범위에서 최대 99%의 수율과 93:7의 거울상 이성질체 선택성을 나타내었다. 이후 재결정을 통해 99:1 이상의 거울상 이성질체 선택성을 갖는 생성물을 얻어내었다. 본 반응 생성물의 절대 배열을 규명하고, 거울상 이성질체 선택성의 기원 및 반응 메커니즘을 설명하기 위해 밀도범함수 이론을 활용한 계산 연구를 수행하였다. 2-아릴인돌의 나이트로 작용기와 상 전이 촉매 사이에 수소 결합과 파이-파이 상호작용($\pi-\pi$ interaction)을 통해 더 안정한 전이 상태를 갖는 것을 확인하였으며 이때 벤질 브로마이드가 2-아릴인돌에 수직으로 접근하여 반응이 진행되는 것이 유리함을 관찰하였다.

3.2. 비대칭 인산 촉매 활용 질소-/2-/3-아릴인돌의 비대칭 축 조절

앞서 기술한 분자 내 피펫-스팬글러 고리화 반응에서 발견한 중요 촉매-기질 상호작용을 분자 간 반응으로 확장하고자 연구를 수행하였다(그림 7).¹¹ 비대칭 인산 촉매를 사용하여 질소-아릴인돌과 다이알킬 케토말로네이트(di-alkyl ketomalonates)의 분자 간 반응을 수행하여 매우 높은 거울상 이성질체 선택성을 달성할 수 있음을 확인하였으며, 더 나아가 본 합성법으로 2-아릴인돌과 3-아릴인돌의 비대칭 축을 모두 조절할 수 있음을 확인하였다. 단일 합성법으로 인돌의 질소, 2번, 3번 위치가 치환된 아릴인돌의 비대칭 축을 조절할 수 있는 유일한 합성법이다. 다양한 기질 범위에서 본 합성법이 적용되어 최대 99%의 수율과 99%의 거울상 이성질체 선택성을 얻었으며 비대칭 카보닐 화합물과의 반응에서 20:1 이상의 부분 입체 이성질체 선택성을 얻었다. 이후 질소-아릴인돌, 2-아릴인돌, 3-아릴인돌의 회전 장애 이성질체 선택성 기원을 알아보기

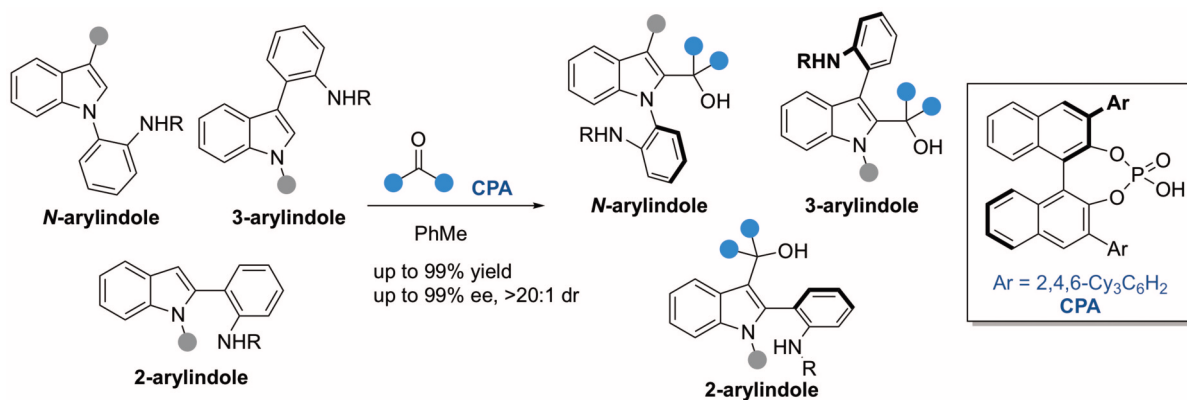


그림 7. 동적 속도론적 분할 전략을 이용한 비대칭 인산 촉매 하 질소-/2-/3-아릴인돌의 비대칭 축 조절 [Kwon, 2023]

위하여 밀도범함수 이론을 활용한 계산 연구를 수행하여 반응 전이상태의 구조를 확인하였으며, 다양한 인돌 암세 포주에서 합성한 신규 물질들의 항암 활성을 확인하였다.

결론

지금까지 회전 장애 이성질체 선택적으로 합성할 수 있는 전략과 비대칭 유기 촉매 및 동적 속도론적 분할 전략을 통한 아릴인돌 회전 장애 이성질체 선택적 반응의 중요한 예시들을 살펴보았다. 유기화학이 발전함에 따라 비대칭 중심을 조절하기 위한 합성법이 오랫동안 누적되었고, 수많은 거울상 이성질체 화합물에 대한 접근이 가능해지면서 이를 이용한 후속 연구가 다양한 분야에서 진행될 수 있었다. 인류가 사용하는 화합물의 범위를 지속적으로 확장하기 위해 비대칭 축을 조절하기 위한 합성법을 개발하는 것

이 유기화학 분야의 중요한 과제라고 생각한다. 본 연구실에서는 회전 장애 이성질체 선택적 반응 개발뿐만 아니라 실험 데이터를 기반으로 밀도범함수 이론 계산화학 연구를 병행하고 있으며, 이를 통해 거울상 이성질체 선택성의 기원 및 반응 메커니즘을 규명하여 회전 장애 이성질체 화합물에 대한 이해도를 높이고자 꾸준히 노력하고 있다. 더불어, 회전 장애 이성질체 화합물에 대한 접근성이 떨어져 의약화학 연구가 체계적으로 이루어지지 못했기 때문에, 신규 화합물에 대한 의약화학적 가치를 탐구하고자 노력하고 있다. 본고의 저자들은 아직 회전 장애 이성질체에 대한 미개척영역이 매우 크게 남아 있다고 생각하며, 이를 둘러싼 다방면의 연구가 활발하게 지속적으로 진행될 것으로 기대하고 있다. 앞으로 상상할 수 있는 모든 회전 장애 이성질체 화합물에 접근 가능해지는 날을 기대해 본다. 🌀



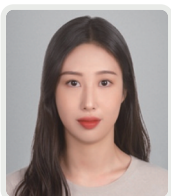
- (a) Gerhard Bringmann, Tanja Gulder, Tobias A. M. Gulder and Matthias Breuning "Atroposelective Total Synthesis of Axially Chiral Biaryl Natural Products." *Chem. Rev.* **2011**, *111*, 563–639. (b) Bouthayna Zilate, Alessandro Castrogiovanni and Christof Sparr "Catalyst-controlled stereoselective synthesis of atropisomers." *ACS Catal.* **2018**, *8*, 2981–2988.
- (a) José A. Carmona, Carlos Rodríguez-Franco, Rosario Fernández, Valentín Hornillos and José M. Lassaletta "Atroposelective transformation of axially chiral (hetero) biaryls. From desymmetrization to modern resolution strategies." *Chem. Soc. Rev.* **2021**, *50*, 2968–2983. (b) Jun Kee Cheng, Shao-Hua Xiang, Shaoyu Li, Liu Ye and Bin Tan "Recent advances in catalytic asymmetric construction of atropisomers." *Chem. Rev.* **2021**, *121*, 4805–4902.
- (a) José A. Carmona, Carlos Rodríguez-Franco, Joaquín López-Serrano, Abel Ros, Javier Iglesias-Sigüenza, Rosario Fernández, José M. Lassaletta and Valentín Hornillos "Atroposelective transfer hydrogenation of biaryl amins via dynamic kinetic resolution. synthesis of axially chiral diamines" *ACS Catal.* **2021**, *11*, 4117–4124. (b) Omar M. Beleh, Edward Miller, F. Dean Toste and Scott J. Miller "Catalytic Dynamic Kinetic Resolutions in Tandem to Construct Two-Axis Terphenyl Atropisomers" *J. Am. Chem. Soc.* **2020**, *142*, 16461–16470. (c) Guo-Hui Yang, Hanliang Zheng, Xin Li and Jin-Pei Cheng "Asymmetric Synthesis of Axially Chiral Phosphamides via Atroposelective N-Allylic Alkylation" *ACS Catal.* **2020**, *10*, 2324–2333.
- Anna J. Kochanowska-Karamyan and Mark T. Hamann "Marine indole alkaloids: potential new drug leads for the control of depression and anxiety" *Chem. Rev.* **2010**, *110*, 4489–4497.
- (a) Dong-Liang Lu, Ye-Hui Chen, Shao-Hua Xiang, Peiyuan Yu, Bin Tan and Shaoyu Li "Atroposelective construction of arylindoles by chiral phosphoric acid-catalyzed cross-coupling of indoles and quinones." *Org. Lett.* **2019**, *21*, 6000–6004. (b) Rui Ma, Xiaoxue Wang, Qiaoyu Zhang, Lei Chen, Jian Gao, Jie Feng, Donghui Wei and Ding Du "Atroposelective Synthesis of Axially Chiral 4-Aryl α -Carbolines via N-Heterocyclic Carbene Catalysis." *Org. Lett.* **2021**, *23*, 4267–4272.
- (a) Xi Yuan, Xudong Wu, Fei Peng, Haijun Yang, Changjin Zhu and Hua Fu "Organocatalytic asymmetric synthesis of arylindolyl indolin-3-ones with both axial and central chirality." *Chem. Commun.* **2020**, *56*, 12648–12651. (b) Fei Jiang, Ke-Wei Chen, Ping Wu, Yu-Chen Zhang, Yinchun Jiao and Feng Shi. "A Strategy for Synthesizing Axially Chiral Naphthyl-Indoles: Catalytic Asymmetric Addition Reactions of Racemic Substrates." *Angew. Chem. Int. Ed.* **2019**, *58*, 15104–15110. (c) Chun Ma, Fei Jiang, Feng-Tao Sheng, Yinchun Jiao, Guang-Jian Mei and Feng Shi. "Design and Catalytic Asymmetric Construction of Axially Chiral 3,3'-Bisindole Skeletons." *Angew. Chem. Int. Ed.* **2019**, *58*, 3014–3020. (d) Jing-Yi Wang, Cong-Hui Gao, Cheng Ma, Xin-Yue Wu, Shao-Fei Ni, Wei Tan and Feng Shi "Design and Catalytic Asymmetric Synthesis of Furan-Indole Compounds Bearing both Axial and Central Chirality." *Angew. Chem. Int. Ed.* **2023**, e202316454. (e) Qing-Qing Hang, Shu-Fang Wu, Shuang Yang, Xue Wang, Zhen Zhong, Yu-Chen Zhang and Feng Shi "Design and catalytic atroposelective synthesis of axially chiral isochromenone-indoles." *Sci. China. Chem.* **2022**, *65*, 1929–1937.
- Xianfang Hong, Jingcheng Guo, Jinhua Liu, Wei Cao, Chenlong Wei, Ye Zhang, Xiaoxiang Zhang and Zhenqian Fu "Organocatalytic dynamic kinetic resolution of N-arylindole lactams: atroposelective construction of axially chiral amino acids bearing a C–N chiral axis." *Sci. China. Chem.* **2022**, *65*, 905–911.
- Ahreum Kim, Aram Kim, Sunjung Park, Sangji Kim, Hongil Jo, Prof. Dr. Kang Min Ok, Sang Kook Lee, Jayoung Song and Yongseok Kwon "Catalytic and Enantioselective Control of the C–N Stereogenic Axis via the Pictet–Spengler

Reaction." *Angew. Chem. Int. Ed.* **2021**, *60*, 12279–12283.

9. (a) Jayasree Seayad, Abdul Majeed Seayad, and Benjamin List "Catalytic Asymmetric Pictet-Spengler Reaction." *J. Am. Chem. Soc.* **2006**, *128*, 1086–1087. (b) Rebekka S. Klausen and Eric N. Jacobsen "Weak Brønsted Acid–Thiourea Co-catalysis: Enantioselective, Catalytic Protio-Pictet–Spengler Reactions." *Org. Lett.* **2009**, *11*, 887–890. (c) Chenfei Zhao, Shawn B. Chen, and Daniel Seidel "Direct Formation of Oxocarbenium Ions under Weakly Acidic Conditions: Catalytic Enantioselective Oxa-Pictet–Spengler Reactions." *J. Am. Chem. Soc.* **2016**,

138, 9053–9056.

10. Chanhee Lee, Sujin Lee, Ahreum Kim and Yongseok Kwon "Nitro-Enabled Atroposelective Dynamic Kinetic Resolution of 2-Arylindoles by Phase-Transfer Catalysis." *Org. Lett.* **2024**, *26*, 681–686.
11. Ahreum Kim, Chanhee Lee, Jayoung Song, Sang Kook Lee and Yongseok Kwon "All-round catalytic and atroposelective strategy via dynamic kinetic resolution for N-/2-/3-arylindoles." *Nat. Commun.* **2023**, *14*, 5502.



김 아 름 Ahreum Kim

- 건양대학교 나노바이오화학학과 학사 (2016.3–2020.2)
- 성균관대학교 약학과 석사(2020.3–2022.8)
- 성균관대학교 약학과 박사과정(2022.9–현재)



이 수 진 Sujin Lee

- 삼육대학교 화학생명과학과 학사 (2018.3–2023.2)
- 성균관대학교 약학과 석사과정(2023.3–현재)



권 용 석 Yongseok Kwon

- 충북대학교 제약학과 학사(2005.3–2009.2)
- 서울대학교 약학과 석사(2009.3–2011.2, 지도교수 : 김상희)
- 서울대학교 약학과 박사(2011.3–2016.2, 지도교수 : 김상희)
- Yale University 화학과 박사 후 연구원(2016.7–2019.8, 지도교수 : Scott J. Miller)
- 서강대학교 화학과 조교수(2019.9–2021.8)
- 성균관대학교 약학과 조교수(2021.8–현재)

극성과 대전체 실험에서의 불일치 상황에 대한 탐구

박성대 | 울산과학고등학교 화학교사, tjdeo5469@ushs.hs.kr

서론

과학교육에서 불일치 상황이란 “학생들이 자신의 예상, 교과서 내용, 교사의 설명 등과 일치하지 않은 실험 결과를 직면한 상황”으로, 모든 탐구 과정에서 예상치 못하게 발생할 수 있다.¹ 학교에서의 다양한 탐구 실험에서도 불일치 상황은 언제나 나타날 수 있지만, 이러한 불일치 상황에 대한 교사의 대처나 인식은 부족한 편이다.

선행 연구 결과에 따르면, 예비 교사가 불일치 상황과 같이 증거와 이론이 일치하지 않는 상황을 직면했을 때, 증거와 이론의 조정 과정을 거치지 않는 경우의 빈도가 높았다는 연구 결과가 보고되었다.² 또한, 수업에서의 교사도 불일치 상황에 대하여 임기응변적인 대처를 하거나³ 전통주의적 인식론에 따라 관련 설명을 교사가 곧바로 제시함으로써 학생 스스로 문제를 해결할 기회를 줄인다⁴는 연구 결과가 보고되었다. 불일치 상황에서의 이러한 교사의 대처는 과학적 실천에 부합하지 않는다고 할 수 있으며⁵, 구성주의적 관점에 따라 학생들 스스로 탐구와 논의를 통해 증거와 이론을 조정하는 과학적 실천을 수행할 필요가 있다.

이 글에서는 화학 I 교과서의 탐구 활동에 있는 ‘물질의 극성 확인하기’의 실험 중 하나인 ‘극성과 대전체’ 실험을 간단히 살펴보고, 해당 실험 결과에서 불일치 현상을 직면한 학생들이 어떠한 반응을 보이는지 알아봄으로써 극성과 대전체 실험에서 나타나는 불일치 상황의 활용 가능성을 탐색하고자 하였다.

본론

1. 극성과 대전체 실험

‘물질의 극성 확인하기’는 2015 개정 교육과정의 화학 I 교과에 있는 탐구 활동 중 하나이며⁶, 세 번째 단원인 ‘화학 결합과 분자의 세계’에 포함되어 있다. ‘물질의 극성 확인하기’는 실험을 통해 극성 분자와 무극성 분자가 가지는 특징을 확인하는 탐구 활동으로, 물질의 극성에 따른 용해성을 확인하는 실험과 극성 분자의 전기적 성질을 확인하는 실험으로 구성되어 있다. 극성 분자의 전기적 성질을 확인하는 실험은 뷰렛으로 액체 상태의 극성 분자를 가늘게 흘려보내고, 액체 줄기에 대전체를 가까이 대어서 액체 줄기가 대전체 방향으로 휘는 것을 관찰함으로써 극성 분자가 가지는 특징을 확인할 수 있다. 이 실험을 지칭하는 것이 ‘극성과 대전체’ 실험이고, 교과서마다 제시하는 실험 명은 다양하며, 실험 준비물에서도 차이를 보인다.

1.1 교과서 비교

각 교과서에서 극성과 대전체 실험을 어떻게 제시하는지 알아보기 위해, 2015 개정 교육과정에 의해 개발된 5종의 화학 I 교과서를 비교하였다[표 1].

비상교육 교과서는 ‘물질의 극성 확인하기’라는 탐구 활동 내에 ‘대전체를 가까이 했을 때의 변화’라는 이름으로 실험을 제시하였으며, 미래엔 교과서는 ‘물질의 극성 확인하기’라는 탐구 활동 내에 ‘극성 분자의 전기적 성질’이라는 이름으로 실험을 제시하였다. 천재교육의 교과서는 ‘물질

표 1. 출판사에 따른 실험 명과 준비물

교과서	천재교육 ⁷	비상교육 ⁸	미래엔 ⁹	동아출판 ¹⁰	금성출판사 ¹¹
실험 명	물질의 극성 확인하기	물질의 극성 확인하기 (대전체를 가까이 했을 때의 변화)	물질의 극성 확인하기 (극성 분자의 전기적 성질)	물의 극성 확인하기	물과 헥세인의 성질
준비물	에탄올(극성 분자), 노말 헥세인(무극성 분자)	물(극성 분자)	물(극성 분자)	물(극성 분자)	물(극성 분자), 헥세인(무극성 분자)

탐구 활동 실험 **물질의 극성 확인하기**

목표
극성 분자와 무극성 분자의 성질을 확인하고, 미지 물질의 극성 여부를 판단할 수 있다.

준비물

- 뷰렛 부렛
- 고무봉선 필가죽
- 물 헥세인
- 영화 구리(II)
- 아이오딘 작은 유리병
- 약수거라 스포이트
- 마스크 실험복
- 보안경 실험용 장갑

유의할 점

- 반드시 환기가 잘 되는 장소에서 실험한다.
- 액체에 공진을 너무 가까이하면 액체에 닿을 수 있으므로 주의한다.
- 실험복, 마스크, 보안경, 실험용 장갑을 착용한다.
- 실험 후 사용한 시약은 폐수통에 버린다.

실험 1 극성 분자의 전기적 성질

과정 및 결과

- ① 뷰렛에 물(H₂O)을 넣고 꼭지를 조절하여 가능하게 흘러나오도록 한다.
- ② 필가죽에 문지른 풍선을 물줄기에 가까이 대어 본다.
- ③ 물줄기의 흐름은 어떻게 되는가?



정리

1. 뷰렛에서 흘러내린 물줄기의 흐름이 바뀐다면 그 까닭이 무엇인지 설명해 보자.
2. 물줄기에 풍선과 반대 전하를 띤 필가죽을 가까이 대면 흐름이 어떻게 달라질지 예상해 보자.
3. **정리** 그림은 헥세인과 에탄올의 분자 구조이다. 헥세인과 에탄올을 각각 뷰렛에 넣어 위와 같은 실험을 하면 액체 줄기의 흐름이 어떻게 될지 생각해 보자.




헥세인(C₆H₁₄) 에탄올(C₂H₅OH)

자료 1. 2015 개정 교육과정 화학 I 교과서(미래엔) 탐구 활동

의 극성 확인하기’, 동아출판의 교과서는 ‘물의 극성 확인하기’, 금성출판사의 교과서는 물과 헥세인의 성질 ‘이라는 이름으로 실험을 제시하였다.

비상교육, 미래엔, 동아출판의 교과서는 극성 분자인 물로만 실험한다. 뷰렛으로 흘러보내는 물줄기에 대전체를 가져다 대어서 물줄기가 휘는 것을 관찰함으로써 극성 분자의 특징을 확인할 수 있다. 천재교육과 금성출판사의 교과서는 극성 분자와 무극성 분자로 실험한다. 액체 줄기에 대전체를 가져다 대었을 때 무극성 분자의 액체 줄기는 휘지 않지만 극성 분자의 액체 줄기는 휘는 것을 관찰함으로써 극성 분자의 특징을 확인할 수 있다. [자료 1]은 미래엔의 화학 I 교과서에 실린 관련 탐구 실험 내용의 일부이다.

위의 실험을 통해 학생들은 극성 분자에 대전체를 가져다 대었을 때 극성 분자가 일정한 배열을 이루게 된다는 것을 알게 된다. 정전기적 인력에 의해 일정한 배열을 이루고 액체 줄기가 대전체 쪽으로 휘기 때문이다. [자료 2]는 미래엔의 화학 I 교과서에 실린 탐구 활동 관련 설명 내용의 일부이다.

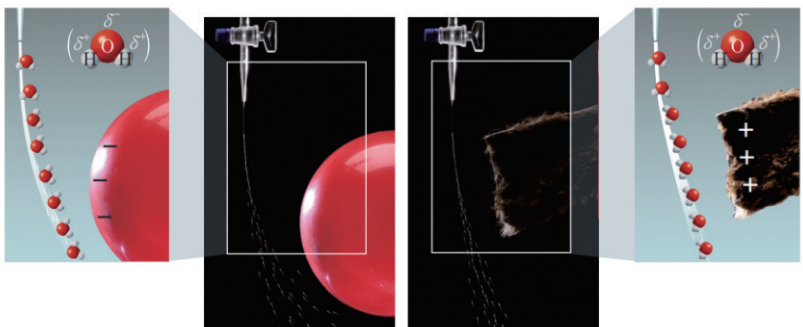


그림 III-39 극성 분자의 전기적 성질 물 분자에 (-)대전체를 가까이 대면 부분적인 양전하(δ^+)를 띤 수소 부분이, (+)대전체를 가까이 대면 부분적인 음전하(δ^-)를 띤 산소 부분이 대전체에 향하므로 대전체에 끌린다.

자료 2. 2015 개정 교육과정 화학 I 교과서(미래엔) 탐구 활동 관련 설명 내용

위의 내용에서는 (-)대전체를 가까이 가져다 대면 부분적인 양전하를 띤 수소 부분이 대전체 방향으로 배열되고, (+)대전체를 가까이 가져다 대면 부분적인 음전하를 띤 산소 부분이 대전체 방향으로 배열되기 때문에 극성 분자에 대전체를 가져다 대었을 때 극성 분자의 액체 줄기가 대전체 쪽으로 휘다고 설명한다. 즉, 극성 분자의 액체 줄기가 대전체에 의해 대전체 방향으로 휘다는 실험 결과를 통해 극성 분자는 외부 전하에 의해 일정한 방향으로 배열된다는 특징을 가진다는 것을 제시하고자 하였다.

1.2 불일치 상황

학생들은 극성 분자가 대전체에 끌린다는 것을 관찰함으로써, 대전체를 극성 분자에 가져다 대면 극성 분자가 일정한 배열을 이룬다는 것을 알 수 있으며, 실험 결과와 극성 분자의 분자 구조를 바탕으로 극성 분자와 대전체 사이에 정전기적 인력이 발생하는 과정을 확인할 수 있다. 불일치 상황은 무극성 분자를 이용한 실험에서 발생할 수 있다. 천재교육과 금성출판사의 교과서에서는 무극성 분자인 헥세인을 이용한 실험을 제시한다. 2015 개정 교육과정 화학 I의 수준에 따르면, 무극성 분자인 헥세인은 대전체에 의해 액체 줄기가 휘지 않는다. 왜냐하면, 무극성 분자이므로 분자 구조에서 극이 비대칭적으로 치우쳐져 있지 않으며, 외부 전하에 의해 무극성 분자가 일정한 배열을 가지지 않기 때문이다. 하지만, 2015 개정 교육과정 화학 II의 수준에 따르면, 무극성 분자인 헥세인도 대전체에 의해 액체 줄기가 휘 가능성이 존재한다. 왜냐하면, 2015 개정 교육과정 화학 II에서는 편극 현상을 학습하기 때문이다. 편극 현상이란 분자에서 전자구름이 일시적으로 한쪽으로 치우쳐서 부분적인 전하를 띤 현상이다. 무극성 분자인 헥세인이라고 하더라도 액체 줄기에 대전체를 가까이 가져다 대면 편극 현상으로 인하여 대전체와의 정전기적 인력이 작용하여 액체 줄기가 휘 수 있다. 즉, 대전체에 의해 무극성 분자가 일정한 배열을 이루지는 않지만, 대전체에 의해 액체 줄기가 휘 수 있다.

직접 실험을 통해 대전체의 대전 정도를 강하게 하였을 때, 무극성 분자인 헥세인이 대전체에 휘는 것을 확인하였으며, 극성 분자의 실험 결과와 무극성 분자의 실험 결과는 몇 가지 차이점을 보였다. 첫 번째 차이점은 대전체의 대전

정도를 비슷하게 하고 가져다 대었을 때, 극성 분자의 액체 줄기는 매번 휘지만, 무극성 분자의 액체 줄기는 매번 휘지 않는다는 점이다. 이는 극성 분자는 분자 구조에 의해 극성을 가지기 때문에 대전체를 가져다 댈 때마다 액체 줄기가 휘게 되지만, 무극성 분자의 경우 대전체에 의해 효과적으로 편극이 이루어진 후에 전기적 인력에 의해 액체 줄기가 휘게 되므로 대전체를 가져다 댈 때마다 액체 줄기가 휘지는 않는 것으로 보인다. 두 번째 차이점은 대전체의 대전 정도를 비슷하게 하고 가져다 대었을 때, 무극성 분자의 액체 줄기는 극성 분자에 비해 적게 휘는 것이다. 이는 대전체와의 정전기적 인력이 극성 분자가 무극성 분자보다 강하기 때문으로 보인다.

무극성 분자의 경우 액체 줄기가 매번 휘는 것도 아니며, 휘는 정도도 크지 않기 때문에 학생들이 무극성 분자가 대전체에 휘는 현상을 실험에서의 오차로 고려할 수 있을 것으로 보이지만, 무극성 분자의 액체 줄기에 대전체를 가까이 가져다 대었을 때 극성 분자의 액체 줄기보다 많이 휘는 현상이 나타나기도 하므로 학생들에게 효과적으로 불일치 상황을 제시할 수 있을 것으로 생각된다. 학생들에게 이러한 불일치 상황을 제시하고, 불일치 상황을 학생들이 직면하였을 때 어떤 반응을 보이는지 알아봄으로써 ‘극성과 대전체’ 실험에서 나타나는 불일치 상황의 활용 가능성을 탐색하고자 하였다.

2. 일반계 고등학교 학생들의 반응

광역시 소재의 일반계 고등학교 2학년 학생 27명을 대상으로 극성과 대전체 실험을 진행하였다. 학생들은 선택 과목으로 화학실험 수업을 선택한 학생들이고, 화학 I의 관련 내용을 이미 학습한 상태였으며, 27명의 학생은 5~6명의 5개 모둠으로 편성되었다. 학생들은 2021년 9월에 2차시(고등학교 수업 시간 1차시 50분) 동안 관련 주제에 대해 주도적으로 실험하고 보고서를 작성하였고, 교사는 학생들의 실험 과정과 이에 따른 학생들의 반응을 관찰하였다. 5개의 모둠 중 불일치 상황을 직면하지 못한 모둠은 2개 모둠, 불일치 상황을 직면하였지만, 이론과 증거의 조정 과정을 거치지 않고 불일치의 원인을 단순한 실험 오차로 판단한 모둠은 2개 모둠, 불일치 상황을 직면하고 이론과

증거의 조정 과정을 거친 모둠은 1개 모둠이었다.

2.1 이론과 증거의 조정 과정을 거치지 않은 경우

동일한 실험 과정을 거쳤음에도 불구하고 불일치 상황을 직면하지 못한 모둠의 학생들은 본인들이 진행하고 있는 실험을 단순한 확인 실험으로 생각하였으며, 적극적으로 실험에 임하기보다는 빠르게 실험을 끝내고자 하였다. 빠르게 대전체를 대전시키고 극성 분자와 무극성 분자에 대전체를 가져다 대었으며, 극성 분자는 대전체에 휘었지만, 무극성 분자는 대전체에 휘지 않았다.

무극성 분자인 헥세인이 대전체에 의해 휘게 되는 불일치 상황을 직면한 모둠 중에서 이론과 증거의 조정 과정을 거치지 않고 불일치의 원인을 단순한 실험 오차로 판단한 모둠의 학생들은 불일치 상황을 직면한 이후 교과서와 참고서를 검토하였다. 교과서의 내용과 실험 결과가 다를 때 다시 한번 확인하고, 교과 지식을 바탕으로 불일치의 원인을 단순한 실험 오차로 판단하였다. 극성 분자인 물은 대전체를 가져다 댈 때마다 휘었지만, 무극성 분자인 헥세인은 대전체를 가져다 댈 때마다 항상 휘는 것은 아니며, 휘는 정도도 극성 분자에 비해 작다는 점을 근거로 불일치의 원인을 단순한 실험 오차로 판단하였다. 또한, 완전히 순수한 헥세인을 사용하거나 완전히 일정하게 대전된 대전체를 사용한다면, 이론과 일치하는 실험 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단하였다.

2.2 이론과 증거의 조정 과정을 거친 경우

불일치 상황을 직면한 모둠 중에서 이론과 증거의 조정 과정을 거친 모둠의 학생들은 불일치 상황을 직면한 이후 이론과 증거의 조정 과정을 거치지 않은 학생들과 같이 교과서와 참고서를 검토하였다. 교과서의 내용과 실험 결과가 다를 때 다시 한번 확인하고, 다른 무극성 분자에서도 동일한 불일치 상황이 나타나는지 확인하기 위해 추가적인 실험을 진행하였다. 학생들은 또 다른 무극성 분자인 벤젠을 이용하여 실험하였으며, 헥세인과 같이 대전체에 의해 휘 뿐만 아니라 극성 분자와 비슷한 정도로 많이 휘는 것을 관찰하였다. 이후 학생들은 교과서의 지식과 관찰 사실 간의 차이를 조정하기 위해 인터넷을 통해 ‘무극성 분자의 정전기적 인력’ 과 관련된 자료를 조사하였다. 인터넷 조사 결

과로부터 학생들은 무극성 분자의 액체 줄기에 대전체를 가져다 대었을 때 무극성 분자가 일정한 배열을 이루지는 않지만, 편극 현상에 의해 대전체 방향으로 끌릴 가능성이 있음을 확인하였다. 하지만, 인터넷 자료 조사를 통해 본인들이 경험한 불일치 상황의 사례를 발견하지는 못했기 때문에, ‘교과서의 지식이 틀렸다’ 라고 판단하기보다는 ‘예외 상황이 존재할 수 있다’ 라고 판단하였으며, 만약 쌍극자 모멘트의 합이 0에 가까운 헥세인이 아니라, 쌍극자 모멘트의 합이 완전히 0인 무극성 분자로 실험한다면, 교과서의 실험 상황과 일치하는 실험 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단하였다.

위와 같은 결론을 도출하기 위해서는 쌍극자 모멘트의 합이 0인 벤젠이 대전체에 의해 액체 줄기가 휘 뿐만 아니라 극성 분자와 비슷한 수준으로 많이 휘는 이유를 설명해야 했다. 따라서 학생들은 대전체에 의해 벤젠의 액체 줄기가 휘 이유를 ‘무극성’ 에서 찾지 않고 ‘벤젠의 또 다른 특징’ 에서 찾기 시작하였다. 벤젠은 쌍극자 모멘트의 합이 0인 무극성 분자이므로 전자 밀도가 대칭적으로 치우쳐져 있다. 학생들은 자료 조사를 통해 확인한 벤젠의 전자 밀도 그림에서 전자 밀도가 대칭적임에도 불구하고 그 치우침 정도가 크다는 것을 확인한 후, 이러한 큰 치우침으로 인해 벤젠이 대전체에 의해 많이 휘다고 판단하였다.


결론

살펴본 바와 같이 극성과 대전체 실험은 간단한 실험이지만, 학생들이 불일치 상황을 직면할 수 있는 실험이다. 또한, 실험은 2015 개정 교육과정의 화학 I에 존재하는 실험이지만, 해당 실험의 불일치 상황을 설명할 수 있는 과학 지식은 2015 개정 교육과정의 화학 II에 포함되어 있다.

자신이 학습한 개념을 검토하고자 하는, 확인 실험의 목적으로 실험에 참여한 학생들은 불일치 상황을 경험하지 못하였다. 불일치 상황을 직면하였지만, 교과서의 지식을 근거로 실험 결과를 판단한 학생들은 이론과 증거의 조정 과정을 거치지 않았다. 불일치 상황을 직면한 이후, 추가적인 실험과 자료 조사를 진행한 학생들은 이론과 증거의 조정 과정을 거침으로써 교과서의 실험 상황에 예외가 존재할 수 있음을 판단하였다.

이를 통해 극성과 대전체 실험의 불일치 상황을 화학 II 교과 내용 중 하나인 ‘분자 간 상호작용’을 학습하는 과정에서 활용할 수 있을 것으로 생각된다. 극성 분자의 액체 줄기가 대전체에 의해 대전체 방향으로 휘다는 것을 통해 화학 I의 학습 내용을 검토하는 과정을 거칠 수 있으며, 무극성 분자의 액체 줄기가 대전체에 의해 대전체 방향으로 휘지만, 그 모습이 극성 분자와 다르다는 점을 통해 무극성 분자의 특징에 대한 탐구로 이어질 수 있다. 극성 분자와 달리 무극성 분자는 쌍극자 모멘트의 합이 0에 가까워서 대

전체에 의해 분자가 일정한 배열을 이루지 않으므로, 자연스럽게 분자간 인력에 대한 탐구로 이어갈 수 있을 것이다.

물론, 해당 실험의 설계와 수행을 학습자 스스로 수행하는 학습자 중심의 탐구 실험을 진행해야 할 것이며, 탐구 활동의 시작점에서 학생들에게 문제 상황 혹은 갈등 상황을 제시함으로써 학생들이 실험에 적극적으로 임하게 할 수 있다면, 학생들 스스로 이론과 증거의 조정 과정을 거치는 탐구 활동을 수행할 수 있을 것으로 생각된다. 



- 강훈식과 장해정. “과학 수업에서 불일치 상황에의 대처 전략 유형 조사를 통한 초등 학생들의 인식론 적 신념 분석.” *한국과학교육학회지* **2012**, 32(7), 1087-1099.
- 이선경, 이규호, 최취임, 신명경. “예비 초등교사의 과학 탐구 글쓰기 활동에서 나타난 이론과 증거의 조정 과정 분석.” *한국과학교육학회지* **2012**, 32(2), 201-209.
- 박지선, 장진아, 송진웅. “나는 왜 그렇게 대처하였는가?: 초등 과학실험 수업 중 발생한 불일치 상황에서의 교사의 대처.” *초등과학교육* **2016**, 35(3), 277-287.
- 조예향과 최원호. “예비 과학 교사가 생각하는 인식론적 관점과 불일치 실험 상황에서 나타난 예비 과 학 교사의 반응 비교.” *현장과학교육* **2018**, 12(3), 297-308.
- 장원형, 최민지, 홍훈기. “교과서 속 탐구 활동 분석을 통한 불일치 상황의 해석-끊는 점 측정 실험 에 대한 논의를 중심으로.” *현장과학교육* **2021**, 15(5), 437-452.
- 교육부 과학과 교육과정. 2015. 교육부 고시 제2015-74호[별책 9].
- 노태희, 강석진, 주영, 고숙영, 김용현, 최숙영, 양찬호. *고등학교 화학*. 천재교육. **2017**, 144-145
- 박종석, 박지호, 강순형, 류시경, 신동혁, 이순영, 조성연, 조항숙. *고등학교 화학*. 비상 교육. **2018**, 129-130.
- 최미화, 서인호, 한문정, 정대홍, 김혜경, 최길순. *고등학교 화학*. 미래엔. **2018**, 142-144.
- 황성용, 전화영, 이성학, 노동규. *고등학교 화학*. 동아출판. **2018**, 152-153.
- 하윤경, 전석천, 배병일, 노기중, 강선화, 김정오. *고등학교 화학*. 금성출판사. **2017**, 122-123.



박 성 대 Park Seongdae

- 부산대학교 화학교육과, 학사(2014.3-2020.2)
- 부산대학교 과학교육과(화학교육학전공), 석사(2021.9-2024.2, 지도교수 : 남정희)
- 울산광역시 교육청 교사(2020.3-현재)
- 현재 울산과학고등학교 근무



라만분광 연구실

“표면증강 라만산란
Molecular Identification & Quantification”

서울특별시 관악구 관악로 1,
서울대학교 과학교육관 204호

☎ 02) 880-9258

✉ jeongdh@snu.ac.kr

🔍 <http://jeonglab.snu.ac.kr>

서울대학교 라만분광 연구실(PI 화학교육과 정대홍 교수)은 표면증강 라만산란(Surface-Enhanced Raman Scattering, SERS) 현상을 기반으로 매우 적은 양의 분자를 측정하여 미지 물질의 종류를 알아내고 물질의 양을 정량하는 연구를 수행하고 있다. IR 흡수와 마찬가지로 분자 구조에 대한 정보를 제공하는 라만 산란은 금, 은 등 귀금속 나노입자의 표면에서 산란 신호의 크기가 10의 10승배 이상 증강되는 SERS 현상을 일으키므로 단분자를 측정할 수 있어서 분자를 측정하는 모든 영역에서 매우 관심을 가지고 연구되고 있다. 우리 연구실에서는 SERS 현상이 갖는 희망적인 장점에도 불구하고 보편적으로 활용되지 못하는 이유를 극복하고 다양한 영역에서 SERS 현상의 장점을 활용하는 연구를 수행하고 있다.

연구실에서 추진하는 구체적 연구 현황은 실리카 나노입자를 템플레이트로 은 나노입자를 둘러싼 SERS Dot을 개발하였고, 20년 동안 이 물질을 발전시키고 다양한 응용 분야를 확장해 왔다. 크게 나누면 SERS 신호를 나노 이음표로 활용하여 항체 및 단백질을 검출하는 label 방식의 연구와 표적 분자를 직접 SERS 신호로 측정하는 label-free 방식의 연구로 나뉘어진다. Label 방식의 연구로는 SERS 기반 혈액 진단, 라만 내시경 등의 분야에 대한 연구를 수행해 왔고, label-free 방식의 연구로는 식물 체내 신호 물질 실시간 검출, 문화재 염료 시료 라이브러리화 연구, 독성 환경 물질 극미량 검출 등에 대한 연구를 수행해 왔다[그림 1].

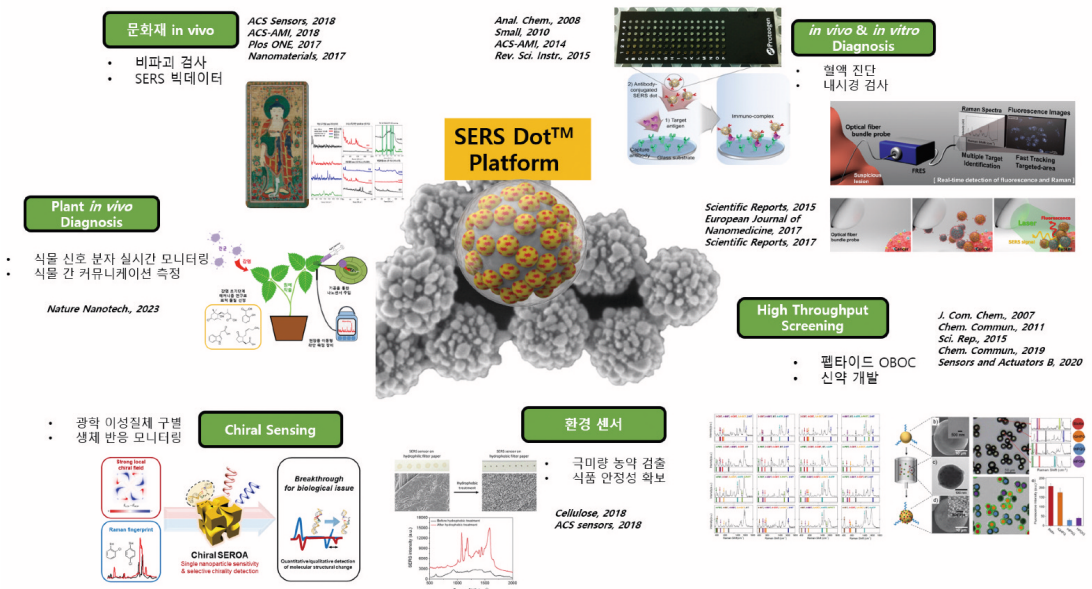


그림 1. 연구실에서 연구 중인 SERS Dot 기반 다양한 연구 분야 요약

Project 1 SERS 기반 식물 체내 실시간 모니터링

지구의 인구는 매년 7천만 명씩 증가하고 있고, 기후 변화로 식량 자원 관리는 더욱 어려워지고 있다. 이에 식물 자원의 관리에 대한 필요성은 높아지고 있는데, 현재 식물 자원을 관리하는 센서는 공간의 온도, 습도, 조도 등 외부 환경을 측정하거나, 식물이 질병 등 스트레스를 받고 시간이 지나 잎이 퇴색되거나 하는 등 형태적 변화를 화상으로 관찰하고 있다. 식물은 동물과 달리 외부 스트레스(물 부족, 상처 발생, 병원균 침입 등)를 능동적으로 회피할 수 없기 때문에 더 민감하게 대처하기 위하여 일련의 화학적 신호의 연쇄 작용을 통해 자신의 발생과 성장을 조절하는데, 이때 발생하는 물질을 신호전달물질(signaling molecule) 이라고 하며 식물 건강 진단의 주요한 바이오마커로 지목되고 있다. 그러나 현재까지 CNT나 MOF 등의 나노 광학 센서를 활용한 식물 연구의 주요 성과들은 주로 형광이나 열 화학 분광법을 활용한 분석 방식으로, 신호전달물질에 대한 직접적인 정보를 얻을 수 없고 신호전달물질의 발생으로 인한 간접적인 신호변화만을 측정한다는 한계를 지니고 있었다.

이러한 문제들을 해결하고자 SERS 분광법을 도입하여 신호전달물질의 실시간 체내진단을 수행하는 연구가 진행되었다. SERS 신호를 증강시킬 수 있는 금속 나노 클러스터의 표면에 양전하를 띠는 고분자를 도입하여, 신호전달물질이 정전기적 인력을 통해 나노 센서 표면으로 유도시켜 추가적인 표지물질 없이 신호전달물질 자체의 SERS 신호를 검출하였다. 그 결과, 상처가 발생한 식물에서 phytoalexin의 일종인 nasturlexin B와 extracellular ATP를, 병해를 입은 식물에서는 glutathione의 신호를 검출하였으며, 특히

상처가 발생한 직후 1시간 동안의 신호전달물질의 신호가 변화하는 것을 모니터링하는데 성공하였다. 또한 밀과 보리에 진균병을 감염시켜 식물의 면역반응(systemic acquired resistance, SAR)과 관련 있는 salicylic acid와 extracellular ATP를 진균 주입 후 2시간 시점에서 검출할 수 있었다. 이는 기존 진균병 진단방식인 RT-PCT과 비교했을 때, 훨씬 이른 시점에서 조기진단에 성공한 것으로 SERS 기반 식물 체내 진단의 유용성과 앞으로의 잠재력을 보여주었다고 할 수 있다. [Won Ki Son, *et al.*, *Nature Nanotech.* 2023]

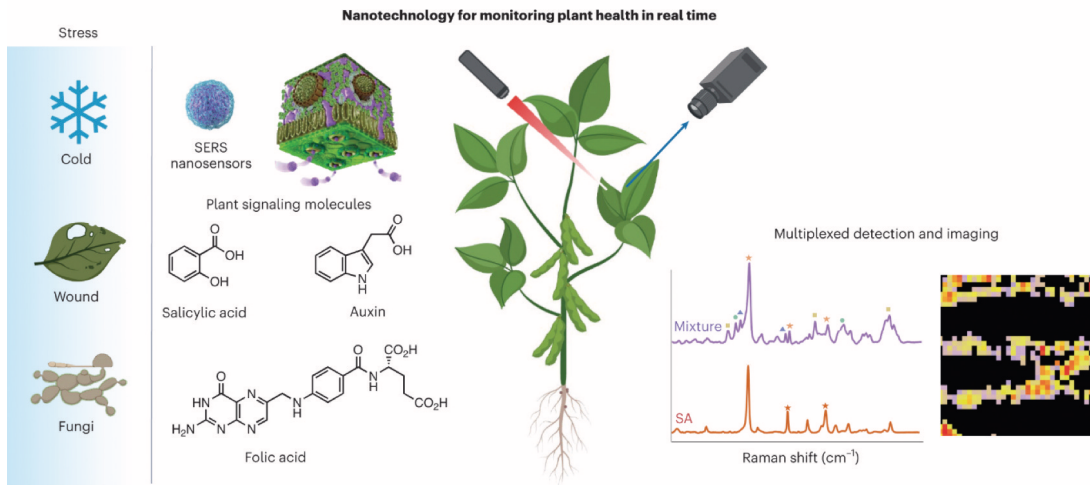


그림 2. SERS를 활용한 식물 신호전달물질의 검출 [Won Ki Son, *et al.*, *Nature Nanotech.* 2023]

Project 2 SERS를 활용한 카이랄성 분자의 구별

생명과학 및 의학 진단의 다양한 연구 영역에서 분자의 카이랄성 차이에 따라 생리학적으로 매우 다른 현상이 벌어지는 현상을 연구하고 있지만, 이를 분광학적으로 확인하는 것은 매우 난해하다. 현재 주류 연구 분야에서 사용되고 있는 라만, IR 등 전통적인 진동 분광학은 원자간 결합에 대한 정보를 상세하게 제공하지만, 원자 간의 결합 종류 및 배열에만 의존적이므로 카이랄성을 달리하는 입체 구조에 대한 변화를 민감하게 측정할 수는 없다는 한계점을 갖고 있기 때문이다. 이에 Barron 등은 카이랄 분자 구조체의 광학적 성질이 회전 편광의 방향(좌회전/우회전)에 따라서 달라진다는 광학 활성 이론을 라만에 적용하여, 라만 광학 활성법(Raman Optical Activity, ROA)이라는 분석 수단을 제안하였다. 이러한 ROA는 기존 분광학적 도구의 이점에 분자의 입체 정보를 추가로 제공하므로 유기, 무기 화합물 전반에 걸친 입체 구조 변화 분석에 있어 유용한 수단으로 이용되어왔다. 특히 ROA 분석에서는 카이랄성이 높은 분자의 신호만 두드러지기 때문에, 핵산과 펩타이드 등 카이랄성을 가지는 생체 분자에 대한 선택적 입체 구조 정보를 분석하는 도구로 관심을 받아왔다.

하지만 ROA의 특성상, 일반적인 라만 산란에 비해서 산란 세기가 1,000배 이상 낮기 때문에 매우 낮은

신호 감도를 보인다는 한계점을 안고 있었다. 일례로 현재 시장에 진출한 유일한 상용 ROA 분광기는 532 nm 파장에 1 W의 출력을 갖고 있으며, 대개 4~24 시간의 반복 측정을 통해서 신호를 수집해야 유의미한 신호를 획득할 수 있다. 이 같은 문제를 극복하기 위하여, ROA를 SERS와 결합하는 표면증강 라만 광학 활성법(Surface Enhanced Raman Optical Activity, SEROA)에 대한 노력이 이어졌다. 특히 Efrima 등 몇몇 연구진들은 금속 표면에서 SEROA 상호작용 및 메커니즘을 규명해 왔으며, 최근에는 등방성 금속 표면 위에서 비카이랄성 분자의 신호들은 소멸되며 거울상 이성질체는 크기는 같고 부호는 반대인 신호를 나타낸다는 것이 밝혀졌다. 그 외에도 ROA를 벗어나 SERS 자체에 카이랄성을 부여하는 SERS 카이랄 비등방성 효과 등 카이랄성 물질의 입체 구조 분석에 대한 연구도 활발하게 시도되고 있다. 우리 연구실에서는 재현성있는 SERS 기판을 제작하여 기존 SEROA 연구에서 보여준 측정의 한계를 극복하는 연구를 수행하고 있다.

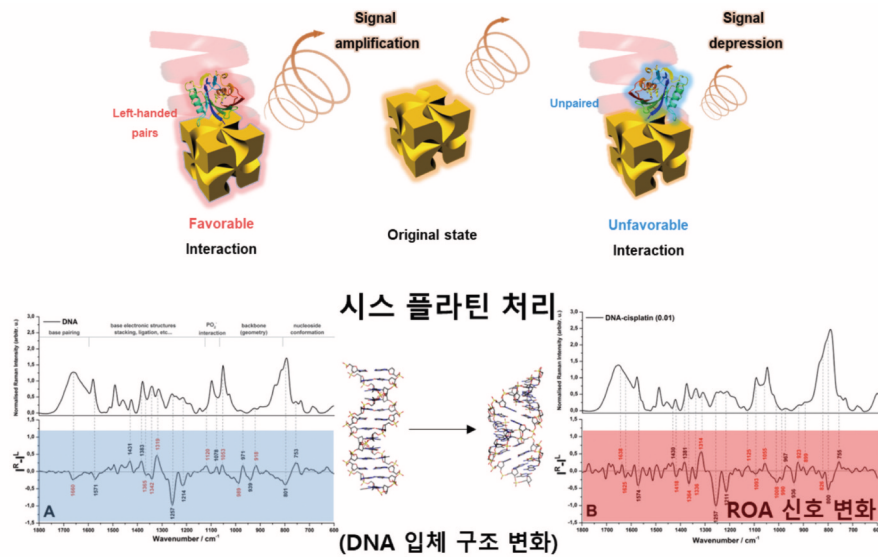


그림 3. 시스플라틴 처리에 따른 DNA 변화. 라만(상단 스펙트럼)과 ROA(하단 스펙트럼)

Project 3 SERS 기반 암 진단 기술 개발 동향

질병 조기 진단을 위한 액체 생검 기술은 면역염색 기반, 분자진단 기반을 기반으로 많은 기술이 연구되고 또 실용화되어 사용되고 있고, 전통적인 영상의학 기술에 의한 질병 조기 진단 기술 또한 큰 발전을 이루고 있다. SERS 분광법을 활용한 진단 기술이 뚜렷한 실용화 성공 모델이 부족하지만, 단분자 수준의 분자 측정 민감도와 분자 지문 정보를 제공하는 장점은 여전히 타 측정 기술이 따라올 수 없는 장점으로, 이를 이용한 암 조기진단을 위해 다양한 in vivo/in vitro 진단 기술이 개발되고 있다.

In vivo 진단 기술의 경우, 생체 내 적용에 적합한 나노 센서의 개발을 중점적으로 이루어지고 있다. 부

작용을 최소화하고 생체적합성을 높일 수 있는 고분자, 실리카 외벽 등을 기반으로, 인체 내에서 발생하는 배경 형광을 회피할 수 있는 근적외선 영역에서 SERS 신호를 획득할 수 있도록 근적외선 영역에서 강한 활성을 갖는 나노 광학 센서를 개발하고 있다. 표적 항체를 통해 폐암 세포 인근에서만 PLK1 억제제가 발현되도록 하여 주변 세포의 생존율을 높인 Reda의 연구와 같이 나노 입자 표면에 항체, DNA aptamer 등을 결합시켜 주변 세포들에 대한 부작용을 최소화하고 암세포에서 특이적으로 작용할 수 있도록 표면을 개질한 연구 또한 활발히 이루어지고 있다. 측정 기기적인 측면에서는 체내에서 넓은 범위의 병변을 제한된 시간 내에 빠르게 진단하기 위한 SERS 이미징 측정 기술의 개발이 이루어지고 있다.

암을 진단하기 위해 사용하는 방법 중에 하나는 암이 발생할 때에만 나오는 물질들, 즉 바이오마커들을 검출해내는 것이다. 하지만 암 발생 초기에는 이 바이오마커들의 농도가 매우 낮아서, 일반적인 방법으로는 검출해내기가 어렵다. 본 연구진에서는 항체-항원-항체가 순서대로 결합되어 있는 샌드위치 타입의 면역복합체를 형성하는 방법을 활용하여 SERS 기반의 진단 방법을 연구하고 있다. 시료 중에 바이오마커가 있을 경우에만 항원-항체 반응을 통해 나노입자가 기관 표면에 결합하기에 나노입자의 SERS를 통해서 바이오마커의 유무와 농도를 판정할 수 있다. 바이오마커의 농도와 표면에 붙은 나노입자의 개수가 상관관계를 띄기 때문에, 대면적 라만 분석 시스템 혹은 광섬유 신호 획득을 통해 나노입자의 개수를 특정하고, 이를 통해 혈액이나 체내에 있는 바이오마커의 농도를 알 수 있는 것이다. 본 연구진은 이런 나노입자 기반 바이오마커 검출 기술을 전립선암 종양 표지자(PSA) 및 그 서브타입 검출을 통한 전립선암 진단, 췌장암 바이오마커들을 통한 췌장암 진단에 활용하고 있다. 또한 이러한 생체 검출 기술을 기반으로 혈액에 있는 실제 바이오마커를 검출하거나, 광섬유를 통해 내시경 타입의 체내 진단 기술을 개발하는 등 기술을 다각도로 접목해나가고 있다. [Hyejin Chang *et al.*, 2016; Sinyoung Jeong *et al.*, 2015]

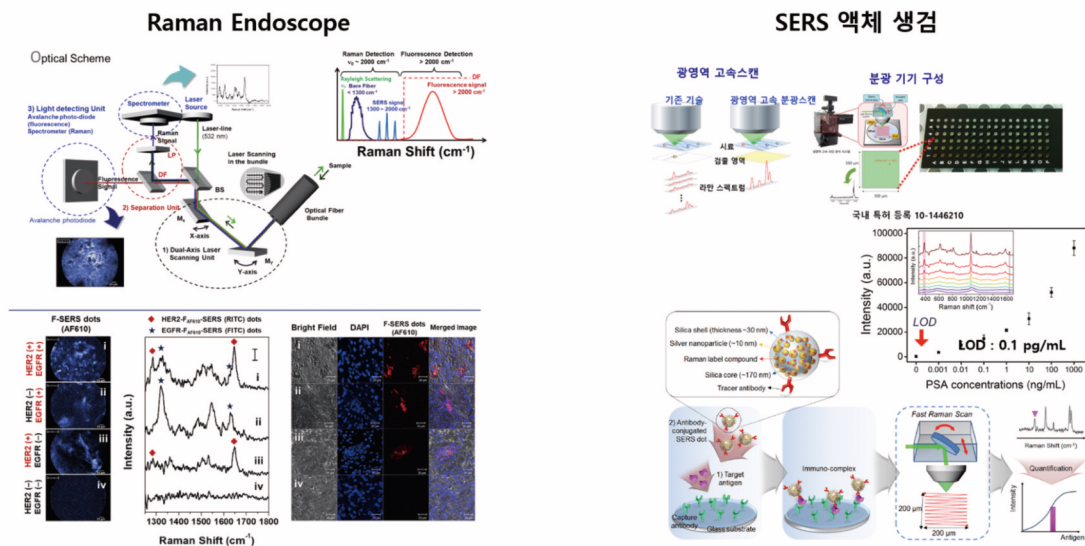


그림 4. SERS 기반 암 진단 기술 개발. (좌) 조직검사하는 내시경 [Scientific Reports 2015, 5, 9455] (우) 혈액 진단 기술 [ACS Sensors 2016, 1(6), 645–649]

Project 4 **과학교육 연구**

우리 연구실은 사범대학 소속의 연구실로서 자연과학 연구와 더불어 과학교육 연구도 함께 수행하고 있다. 과학교육의 많은 연구 분야 중에서 실험 교육, 화학교육과정, 데이터 리터러시 등 여러 분야에 대해서 연구를 수행해 왔는데, 우리 연구실에서 수행한 과학교육 연구 주제를 간단하게 소개하면 다음과 같다.

<p>실험교육 관련</p>	<p>증기압 측정[<i>현장과학교육</i>, 2012, 6(3), 224-230]; 반응속도 측정[<i>현장과학교육</i>, 2010, 4(2), 74-79]; 기체 확산[<i>현장과학교육</i>, 2011, 5(1), 27-34]; 끓는점 오름[<i>현장과학교육</i>, 2010, 17(1), 25-33]; 용해도 측정[<i>현장과학교육</i>, 2018, 12(3), 367-376]</p>
<p>교육과정 관련</p>	<p>지식정보 역량과 과학 탐구[<i>한국과학교육학회지</i>, 2018, 38(3), 441-449; <i>현장과학교육</i>, 2020, 1(3), 401-414]; 데이터 기반 과학 탐구[<i>현장과학교육</i>, 2022, 16(2), 165-178]; 지식정보처리 역량 함양 과학 탐구[<i>한국과학교육학회지</i>, 2020, 40(6), 657-670]; 과학교과 핵심역량[<i>한국과학교육학회지</i>, 2014, 34(6), 535-547]; [<i>한국과학교육학회지</i>, 2018, 38(5), 693-703]</p>

About



서울대학교
라만분광 연구실



정대홍 연구책임자
서울대학교 화학교육과 교수

최근 대표 학술 논문

1. 손원기 등, "In vivo surface-enhanced Raman scattering nanosensor for the real-time monitoring of multiple stress signalling molecules in plants." *Nature Nanotechnology* 2023, 18(2), 205-216.
2. 김경훈 등, "SERS detection of shikonin dye by metal-coordinated tethering on gold nanofilm." *Dyes and Pigments*, 2023, 111296.
3. 이민우 등, "Subnanomolar Sensitivity of Filter Paper-Based SERS Sensor for Pesticide Detection by Hydrophobicity Change of Paper Surface." *ACS Sensors* 2018, 3(1), 151-159.
4. 차명근 등, "A dual modal silver bumpy nanoprobe for photoacoustic imaging and SERS multiplexed identification of in vivo lymph nodes." *Nanoscale* 2017, 9(34), 12556-12564.
5. Hyejin Chang, *et al.*, "PSA Detection with Femtomolar Sensitivity and a Broad Dynamic Range Using SERS Nanoprobes and an Area-Scanning Method." *ACS Sensors* 2016, 1(6), 645-649.
6. Sinyoung Jeong, *et al.*, "Fluorescence-Raman dual modal endoscopic system for multiplexed molecular diagnostics." *Scientific Reports* 2015, 5, 9455.
7. Jong-Ho Kim, *et al.*, "Nanoparticle probes with surface-enhanced Raman spectroscopic tags for cellular cancer targeting." *Analytical Chemistry* 2006, 78, 6967-6973.
8. 손미현 등, "지식정보처리역량 관점에서 중학생들의 과학탐구활동 어려움 분석." *한국과학교육학회지*, 2018, 38(3), 441-449.





화학세계가 만난 화학자 23

“새로운 것을 배우면
늪지 않는 뇌를
유지할 수 있다”



〈화학세계가 만난 화학자〉에서는 대한민국 화학계에 공헌한 화학자와의 인터뷰를 소개해 드리고 있습니다. 이번 호에는 KIST 미래융합전략센터 소장이신 임혜원 박사님(책임연구원)을 모셨습니다. 박사님께서서는 화학과 신경생리학을 전공하시고 신경과학 분야를 선도하고 계시며, KIST 신경과학연구단장, 대외협력본부장, 한국뇌신경과학회 회장, 한국연구재단 국책본부 뇌침단의공학단장, 과기부 국가과학기술심의회 바이오특위 위원을 역임하였습니다. 지금은 KIST 미래융합전략센터 소장과 대한여성과학기술인회 회장으로 활동하고 계십니다. 임혜원 박사님의 연구 및 그 외 다양한 면모를 소개합니다.

[모더레이터: 이준석 교수(한양대학교 화학과)]

1. 박사님께서서는 서울대에서 화학 석사 학위를 받으시고 시카고 대학에서 뇌과학의 한 분야인 신경생리로 박사학위를 받으셨습니다. 화학과 뇌과학은 얼핏 전혀 다른 분야라고 생각되는데요. 화학전공자들에게 뇌과학은 어떤 관련이 있을까요?

화학과 제가 전공한 뇌과학의 신경생리학은 전혀 다른 분야로 느껴질 수 있습니다. 제가 뇌과학을 전공하게 된 동기는 너무 재미있게 들었던 대학교 3학년 생화학강의로 시작되어, 세로토닌, 도파민 같은 작은 화합물인 신경전달 물질들이 우리 뇌의 감정, 기억, 공포심들이 조절될 수 있다는 신경생화학(neurochemistry) 강의를 듣고 흥미를 느껴 뇌과학으로 전공을 결정하였습니다. 여러 학문의 기술들로 연구되어야만 하는 뇌과학은 대표적 융합학문으로 뇌의약학, 치매의 아밀로이드 및 타우단백질 PET 조영제 개발과 같은 뇌영상 프로브개발 등

다양한 화학분야가 뇌과학과 관련성이 높습니다.

2. 학위를 받으시고 KIST에서 신경과학 분야로 200편이 넘는 논문과 54건의 등록특허도 가지고 계실 만큼 오랫동안 한 분야를 연구하셨는데요. 정부출연연구소, 대학, 그리고 회사 연구소의 역할이 다르다고 생각합니다. 정부출연연구소와 다른 기관과의 차이점은 어떤 걸까요?

정부출연연구소와 대학 또는 회사연구소 등 다른 기관과의 차이점은 개인적으로 두 가지로 크게 구별지을 수 있습니다. 첫 번째 KIST를 포함한 정부출연연구소는 개인의 관심 연구가 아닌 국가가 필요로 하는 국가적 아젠더의 연구를 해야 하고 그것들이 대한민국이 빠른 시간내에 산업화되고 선진국이 되는 데 크게 기여했다고 생각합니다. 그러면 “개인적으로 관심있는 연구를 못 하는가?”하고 질문할 수 있는데, 실험실마다 상황은 다르지만 개인적으로 관심있는 연구도 할 수 있고 그런 분야 연구 결과는 향후 새로운 연구영역을 개척하는 seed로도 활용됩니다. 두 번째 차이점이자 장점은 집단 연구를 할 수 있어 개인이 할 수 없는 연구비 및 거대장비가 투입되는 좀 더 스케일이 크고 장기적인 연구를 집중적이며 효율적으로 할 수 있다는 점입니다.

3. 연구뿐만 아니라 여성생명과학기술포럼 이사, 대한여성과학기술인회 부회장과 회장을 하시는 등 여성과학기술인 간의 소통과 네트워킹 활동도 활발하게 하고 계십니다. 어떨 때 가장 보람을 느끼셨나요?

저는 대한화학회 종신회원이면서 저의 주 전공분야인 한국뇌신경과학회에서 10년간의 재무이사, 사무총장, 학회장 등의 활동을 하면서 연구자간의 네트워킹 활동이 연구 및 과학기술인 간의 소통에 얼마나 중요한지를 알게 되었습니다. 여성분야에서도 위의 말씀하신 활동들을 하면서 30년 역사의 대한여성과학기술인회에서 제 15대 회장으로 선출되어 올해부터 2년간의 활동을 시작하였습니다. 특히 이러한 네트워킹을 통해 한국연구재단 뇌첨단의공학단이 신설되었을 때 초대 PM으로 선임되어 저의 전공 및 네트워킹을 활용한 연구사업 기획, 평가, 예산작업 등을 통해 관련분야의 예산 및 성과를 증가시킬 때 보람이 있었고, 좀 더 대중에게 과학의 중요성을 설명할 수 있는 능력을 배워서 대중 강연을 할 때도 매우 보람이 있었습니다.

4. 현재는 과학기술정보통신부의 융합정책을 뒷받침하는 조직인 미래융합전략센터 소장을 맡고 계신데요. 화학전공자들에게 융합 R&D의 방향성에 대해서 조언해 주실 수 있을까요?

이제 과학의 발전방향은 점점 더 융합성이 강조되어 현재까지 난제인 기술을 해결하거나, 새로운 미래기술을 준비하는 방향으로 나아가야 합니다. 연구를 위해 공부해야 하는 분야도 다양해야 함과 동시에 연구의 목표도 학문의 융합성이 수반되는 창의적인 목표이어야 하므로 다양한 분야를 통합하기 위해서는 개인의 노력도 중요하지만, 이종 분야간의 공동연구를 통해 내가 잘 모르거나 못하는 부분을 빨리 배우고 흡수하는 좀 더 열린 연구자의 자세가 필요합니다.

5. 박사학위를 받은 화학전공자들에게 정부출연연구소는 선호도가 매우 높은 직장입니다. 박사님께서서는 KIST에서 여러 보직을 하시면서 인사에도 참여를 많이 해보셨을 텐데요. 정부출연연구소가 바라는 인재상을 설명해주실 수 있을까요?

실제적으로 보직을 하면서 인사위원회에서 오랫동안 활동했습니다. 국가의 세금으로 미래에 투자하는 정부출연

연구소에서는 우수한 연구 업적과 가능성·비전을 가진 인재를 원합니다. 그러나 KIST에 지원한 많은 우수한 분들 중 채용이 안되거나 향후 입사해서도 만족하지 못하는 분이 계십니다. 그 이유는 실제 KIST에서 바라는 인재상은 우수한 연구업적과 함께 프로젝트별로 연구가 진행되므로 좀 더 타인의 의견을 수용할 수 있는 분으로 향후 리더가 되기 위해서 선임연구원때부터 연구에 애착을 가지고 책임감있게 일할 수 있는 인재상이 중요하다고 생각합니다.

6. 박사님께서서는 많은 제자들을 양성하셨다고 들었습니다. 지금 박사님 머릿속에 떠오르는 제자를 소개해 주실 수 있을까요?

연구소이기 때문에 대학처럼 많은 학생들은 양성할 수 없지만, 현재 24명이 제 연구실에서 학생 및 박사 후 연구원으로 배출되었고 그 중에 5명이 대학교수, 1명이 출연연 연구원으로 재직 중입니다. 숫자에 비해 아주 좋은 결실이고 제가 학생들에게 해준 약속으로 석사과정에 제1저자인 논문을 쓸 수 있게 해주겠다고 약속했고 본인들이 노력했을 경우 그 약속을 어긴 적은 없습니다. 인상깊은 제자로는 첫 번째 제자로 현재 한양대에 재직 중인 이동윤 교수로 제 실험실에 아무것도 없을 때 와서 실험실 세팅하고 열심히 연구한 제자로 얼마나 열심히 일했는지 실험노트가 다 닳아 낱장이 날아가지 않게 실로 묶어 놓고, 아직도 실험실에는 이동윤 교수가 'Dr. Rhim's lab' 이라고 레이블링한 실험기구들이 남아있습니다. 또 다른 학생은 석사 과정 중에 항상 속내를 보이지 않고 조용하며 걱정스러웠던 친구인데 나중에 보니 항해사가 되어 있었습니다. 그래서 제가 왜 그때는 열심히 하지 않았냐고 했더니 '과학자로는 진로로 가는 것이 맞나?' 하면서 진로를 고민했던 시기라고 했고 나중에 자기의 적성을 찾아 지금은 행복하게 살고 있는 것을 보면 학위과정에 왔지만 모두 다 전공자는 될 수 없는 것 같습니다.



7. 화학공부를 열심히 해나가고 있는 학생들에게 조언의 말씀을 해 주실 수 있을까요?

일단 화학은 어느 분야로도 적용성이 많으니 화학이 전공이 좀 맞지 않아도 고민하지 말고 주어진 공부에 열심히 하면서 저처럼 가슴이 뛰는 분야를 만나면 좀 더 공부하면 좋겠습니다.

후배들에게 하고 싶은 조언은 현재 제가 맡고 있는 KIST 미래융합정책센터 소장으로서 근무하면서 20명 정도 직원을 채용하고 관리해 본 관리자로 세상을 대하는 MZ 세대들에게 조언을 드리고 싶습니다. 비정규, 물경력 등 부정적인 면들이 많지만 그런 것들을 너무 판단의 기준으로 삼지 말고, 어떤 분야이든지 본인이 최선을 다하는 모습으로 일하고 비록 가끔씩 앞이 보이지 않아도 한 분야에 열심히 최선을 다하면 그 길이 열리는 경우를 많이 보았기에 좀 더 professional하게 살기를 부탁드립니다.

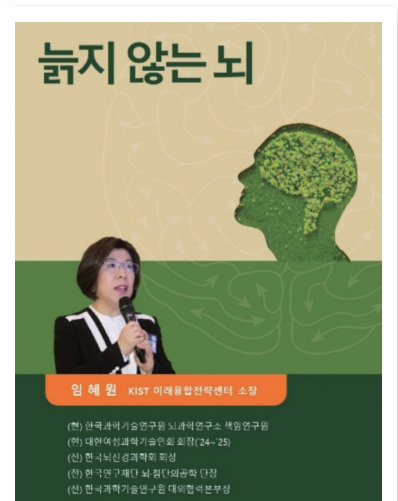


8. 화학연구를 열심히 해 나가고 있는 신진/중견 화학 연구자에게 조언의 말씀을 해 주실 수 있을까요?

요즘 신진/중견 화학 연구자들 다 열심히 연구를 너무 잘하고 계셔서 특별한 이야기는 없지만, 모두 R&D 예산 삭감으로 연구실 운영에 어려움이 있을 것 같아요. 모두가 힘든 상황이지만 잘 이겨가시기를 바라고 혼자 힘으로 힘들 때는 선후배와 공동 연구 등을 통해 우리 모두 잘 이겨내기 바랍니다.

9. 연구이외에 삶에서 후배들이나 은퇴를 준비하고 있는 화학연구자들에게 남기고 싶은 이야기가 있을까요?

KIST 한 직장에서 26년을 보냈고 이제 정년은 5년 남았습니다. 얼마전 내가 은퇴를 하면 무엇을 해야 하나? 내가 일 없이 살 수 있을까? 생각하면서 우울한 시절들이 있었습니다. 그런데 그 우울했던 시기들을 잘 넘기고 지금은 너무나 많은 취미생활이 있어 행복합니다. 일단 블로그 글쓰기, 그림 그리기, 옷 만들기, 피아노 치기 등 취미 부자가 되었습니다. 혹시 제 글을 읽으시는 분들 중 은퇴 전이거나 은퇴를 준비 중 이신 분들은 '인간의 뇌는 계속 새로운 것을 배우면 늙지 않는 뇌를 유지' 할 수 있으니 본인이 관심있는 것들을 배우면서 연구이외의 새로운 취미들을 만들기를 뇌과학자로 강력히 추천드립니다. 이러한 저의 전공지식과 경험을 바탕으로 최근에는 '늙지 않는 뇌' 라는 일반대중을 대상으로 강연도 하고 있으니 관심있는 분들은 연락 부탁드립니다.



「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 BKCS)의 재도약을 도모하고자

본회 운영위원회와 학술지간행위원회 BKCS 편집장은 BKCS의 논문 투고 시스템을

스칼라원 논문투고시스템(ScholarOne Manuscripts)으로 변경하기로 하였습니다.

이에 논문 투고 시스템 접속 방법을 별첨으로 안내드리오니 모든 회원들께서는

BKCS의 재도약을 위한 활동에 동참하여 주시기 바랍니다.

대한화학회 회장 신석민

대한화학회 학술지간행위원회 BKCS 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

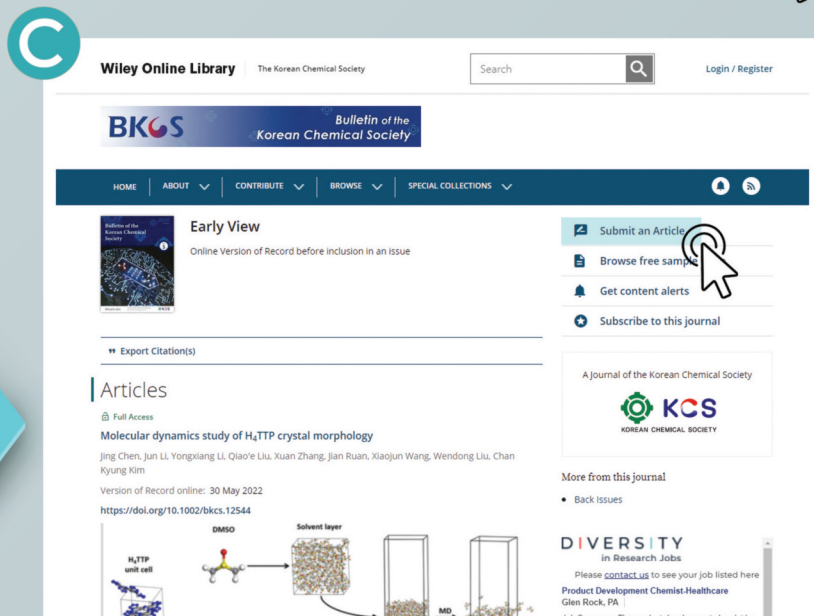
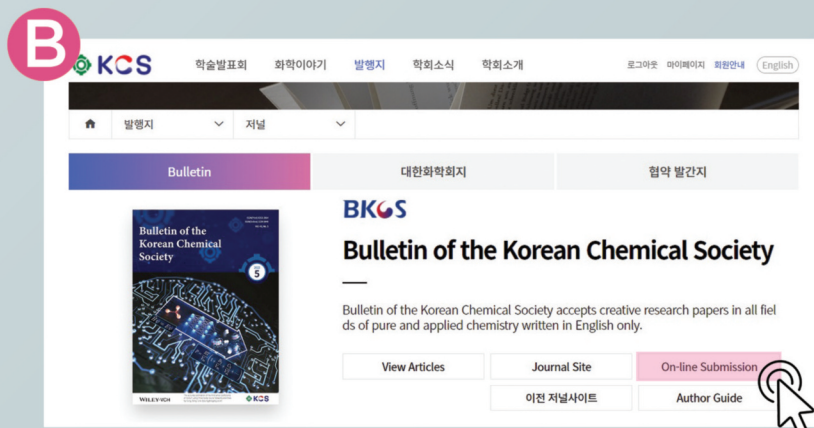
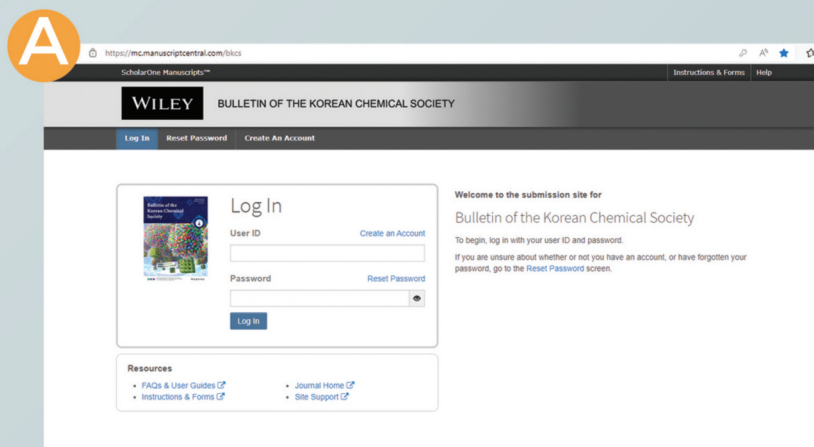
2. 계정 개설 후 로그인

- 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

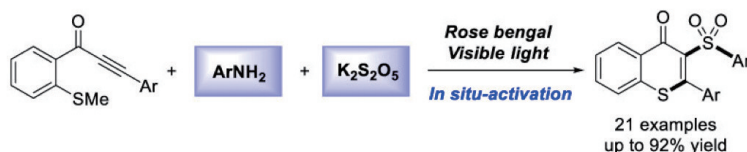
이번 호에는 지난 3년간 BKCS에 보고된 다성분 유기화학 반응(multicomponent organic reactions)에 대한 연구 논문을 소개합니다. 다성분 반응은 one-step 혹은 one-pot에서 3개 이상의 분자를 결합시키는 반응으로써, 구조적으로 단순한 출발로부터 기능화된 유기분자를 단계효율적으로 전환시킬 수 있는 방법입니다. 광화학 반응(photochemical reaction), 전이 금속 촉매(transition metal catalysis), 나노입자 촉매(nanoparticle catalysis)를 이용한 방법 등 여러 가지 반응 조건들을 이용한 연구논문들이 발표되었습니다. 관련 연구를 하시는 대한화학회 회원분들의 많은 관심 부탁 드립니다.

글 동방선(서강대학교 화학과 조교수, dongbang@sogang.ac.kr)

전북대학교 이안나 교수 연구팀은 가시광선/광촉매를 활용한 3성분 반응에 대한 연구를 보고하였습니다. 이 연구에서는 aryl amine, methylthiolated alkyne, 그리고 potassium metabisulfite를 출발물질로 사용하여 생리활성적으로 중요한 3-Arylsulfonyl thioflavone 구조를 합성할 수 있음을 발표하였습니다. [2023년 11월호, DOI: 10.1002/bkcs.12778]

Visible-light-mediated synthesis of 3-arylsulfonylated thioflavones using an in situ activation strategy

We have developed a visible-light-mediated synthesis of 3-arylsulfonylated thioflavones using an in situ-activation strategy. The reaction proceeds through a one-pot, three-component pathway, without the need for sensitive or harsh reaction conditions. Organic photocatalysts were employed to generate aryl radicals more efficiently from aryl diazonium salts generated in situ. This method enables the synthesis of 3-arylsulfonylated thioflavones from aryl amines and methylthiolated alkynes, utilizing potassium metabisulfite as an inexpensive source of sulfur dioxide. The resulting products were obtained under mild reaction conditions. This approach provides an efficient alternative pathway for synthesizing thioflavone derivatives, which are prevalent among various bioactive compounds.

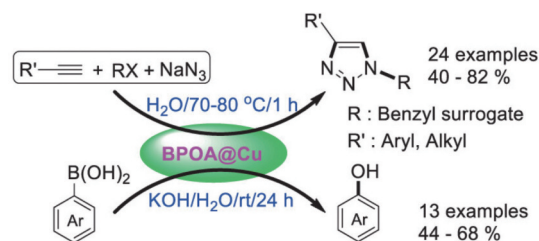


- One-pot, three-component reactions
- Visible light-mediated reactions
- Inexpensive SO₂ source: K₂S₂O₅
- In situ-generated aryl diazonium salts

단국대학교 김승희 교수, 안용현 교수 연구팀은 옥살아마이드 구리 착물(oxalamide copper complex)을 촉매로 활용하여 3성분 반응으로 1,2,3-triazole을 효율적으로 얻을 수 있음을 발표하였습니다. 이 3성분 반응에서는 출발물질로서 말단 알카인(terminal alkyne), 벤질 써로게이트(benzyl surrogate), 그리고 소듐 아자이드(sodium azide)를 활용하였습니다. [2023년 10월호, DOI: 10.1002/bkcs.12760]

Bis(2-pyridinyl)-oxalamide copper complexes: Scope and limitation in CuAAC and oxidative hydroxylation of arylboronic acids

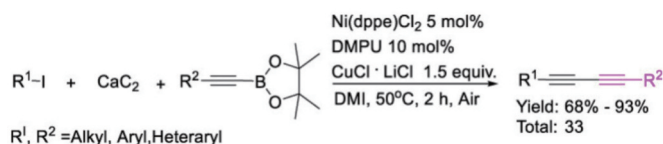
A versatile catalytic platform consisting of pyridine-containing oxalamide and copper salt was developed. The resulting complexes were fully characterized by spectroscopic analyses, showing a successful complexation of copper metal. The applicability of the newly prepared platforms was evaluated in a one-pot three-components system for the preparation of 1,4-disubstituted 1,2,3-triazole via 1,3-dipolar cycloaddition of terminal acetylenes, benzyl surrogates, and sodium azide in an aqueous environment. The corresponding cyclization proceeded smoothly affording the expected triazole products in moderate to good yields. In addition, the transformation of arylboronic acids to the corresponding phenols via ipso-hydroxylation was also explored using the same platform in an aqueous basic condition. In the course of the study, unfortunately, some drawbacks that could limit the applicability of the catalytic platform were also observed especially in terms of recyclability of the platforms.



Hebei Chemical and Pharmaceutical College의 Zhicai Zhao 교수 연구팀은 Ni/Cu 이중촉매를 기반으로 C(sp)-C(sp) 교차결합 반응에 해당되는 Cadiot-Chodkiewicz coupling이 3성분 반응으로도 가능함을 발표하였습니다. 이 반응에서의 출발물질은 calcium carbide, alkynyl boronic esters, aryl iodide으로, 특히 calcium carbide를 단일 탄소 원료로 사용하였다는 특징이 있습니다. [2023년 10월호, DOI: 10.1002/bkcs.12762]

One-pot synthesis of unsymmetrical 1,3-butadiyne derivatives

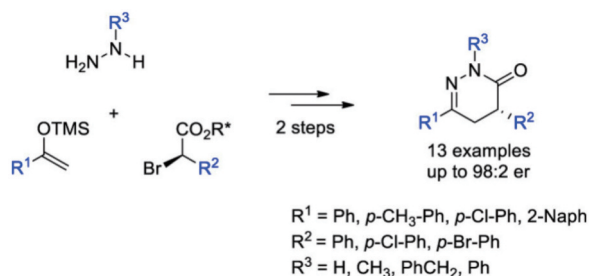
An efficient co-operative Ni/Cu system for Cadiot-Chodkiewicz coupling utilizes CaC_2 as the alkyne source. The advantage of this cross-coupling reaction lies in the low cost of using cheap and readily available raw materials and the simplicity of operation. A series of functionalized diaryl, aryl-alkyl, and aryl-heteroaryl 1,3-diynes are obtained in moderate to high yields.



건국대학교 박용선 교수 연구팀에서는 카이랄한 α -브로모 아세테이트(α -bromo acetate)와 실릴 엔올 에터(silyl enol ether)와의 치환반응 및 하이드라진(hydrazine)과의 축합 반응을 통하여 2,4,6-다이하이드로피리다진온(dihydropyridazinone) 구조를 비대칭적으로 합성할 수 있음을 보고하였습니다. [2023년 1월호, DOI: 10.1002/bkcs.12630]

Asymmetric preparation of 2,4,6-trisubstituted dihydropyridazinones

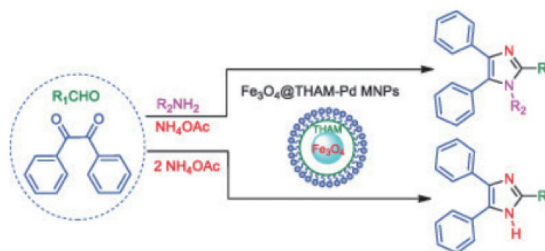
Modular three-component synthesis of highly enantioenriched 2,4,6-trisubstituted dihydropyridazinones was developed through the nucleophilic substitution of α -bromoacetates with silyl enol ethers and subsequent condensation with hydrazine derivatives.



University of Sistan and Baluchestan의 Reza Heydari 교수 연구팀에서는 벤질(benzil), 암모늄 아세테이트(ammonium acetate), 아닐린(aniline), 방향족 알데하이드(aromatic aldehyde)와 같은 구조적으로 단순한 4개의 출발물질로부터 Fe_3O_4 @THAM-Pd 나노촉매를 이용하여 one-pot으로 1,2,4,5-tetrasubstituted 및 2,4,5-trisubstituted imidazole을 합성할 수 있음을 보고하였습니다. [2021년 11월호, DOI: 10.1002/bkcs.12400]

Fe_3O_4 @THAM-Pd as a highly efficient magnetically recoverable nanocatalyst for facile one-pot assembly of substituted imidazoles under solvent-free conditions

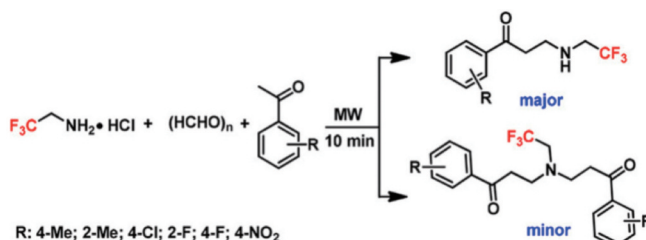
The current work has been explored an expeditious tactic toward one-pot multicomponent synthesis of 1,2,4,5-tetrasubstituted and 2,4,5-trisubstituted imidazoles using Fe_3O_4 @THAM-Pd MNPs as an effective catalyst. With readily accessible benzil, ammonium acetate, anilines, and aromatic aldehydes as the simple starting materials, the condensation is run under solvent-free conditions to afford the target products in high yields. The other salient features of the present catalytic system are a simple work-up process, shorter reaction times, ease of preparation and handling of the catalyst, and cleaner reaction profiles. In addition, the sustainability of the methodology was checked by the investigation of the stability and reusability of the catalyst using an external magnet. The results showed that Fe_3O_4 @THAM-Pd MNPs can be reused for successive five runs without an appreciable decline in catalytic efficiency.



Quzhou University의 Jiangang Yu 교수 연구팀에서는 trifluoroethyl derived 2°, 3° 아민을 형성하기 위해서 트라이프로오로에틸 아민(trifluoroethylamine), 파라포말데하이드(paraformaldehyde), 그리고 아세토페논(acetophenone)을 이용하여 마니히 반응(Mannich Reaction) 기반의 3성분 반응을 개발하였습니다. 특히 이 반응은 마이크로파(microwave)로 가열하여 솔벤트 없이 반응을 진행시킬 수 있었습니다. [2021년 6월호, DOI: 10.1002/bkcs.12293]

Mannich Reaction as a Key Strategy for the Synthesis of Trifluoroethyl Derived Tertiary and Secondary Amine

A Mannich reaction of 2,2,2-trifluoroethylamine hydrochloride, paraformaldehyde and acetophenone was described both in oil bath and microwave-heating conditions to give main products varied from trifluoroethyl derived tertiary to secondary amine. In the microwave-heating manner, the reaction was carried out in a commercial available microwave oven and took only 10 min to complete this transformation. After a simple post-treatment including washing and recrystallization, the product of trifluoroethyl derived secondary amine was obtained in high yield (71.4%).



아주대학교 장혜영 교수 연구팀에서는 Pd(triNHC)를 이용한 촉매시스템을 이용하여, 아릴 아이오다이드(aryl iodide), 아민(amine), CO으로 구성된 3성분 카보닐화(carbonylation) 반응을 보고하였습니다. [2021년 3월호, DOI: 10.1002/bkcs.12186]

Pd(triNHC)-catalyzed Double Carbonylation of Aryliodides With Amines: The Effect of triNHC Ligands

The Pd(triNHC) complex was synthesized and used for the carbonylative coupling of amine and aryl iodide. The electron-rich nature of palladium catalysts promoted the formation of α -ketoamides with good yields and selectivity.





유성현 Sung Hyun Yoo

전남대학교 화학과, 조교수

sunghyun.yoo@jnu.ac.kr, <https://sites.google.com/view/yoobioslab/>

소개글

유성현 교수는 유기합성을 통해 인공적으로 만들어지는 펩타이드 모방 물질의 개발과 응용을 연구하였다. 특히, 펩타이드 모방체의 수용액상 자기조립을 통해, 단백질에 비견될 수 있는 크기와 복잡성을 갖는 고차원 구조체를 합성하는 연구를 중점적으로 수행하였다. 최근에는 자연에 발견되는 적응형 결합 방식으로 당지질과 결합하는 인공 단백질, 주변 환경에 감응하여 채널의 지름이 변하는 인공 막단백질을 구현하였다. 현재는 결합 방식과 분자의 접힘 구조가 주변 환경에 따라 전환 가능한 역동적 펩타이드 모방 분자(Dynamic peptidomimetic molecule)의 개발과 함께, 이 신규한 유기물에 기반한 분자 인식 센서, 의약 물질 등으로의 응용성을 탐색하고 있다.

주요연구분야

- 유기화학(Organic Chemistry)
- 생유기화학(Bioorganic Chemistry)
- 초분자화학(Supramolecular Chemistry)
- 펩타이드 모방(Peptidomimetics)
- 단백질 모방(Protein Mimetics)
- 시스템 화학(Systems Chemistry)

대표논문

1. **S. H. Yoo**, J. Buratto, A. Roy, M. Pasco, K. Pulka-Ziach, G. W. Collie, G. Guichard*, "Oligourea helix bundle binds detergents with diverse polar head groups." *Org. Biomol. Chem.* **2024**, <https://doi.org/10.1039/d3ob01873c>.
2. **S. H. Yoo**, J. Buratto, A. Roy, E. Morvan, M. Pasco, K. Pulka-Ziach, C. M. Lombardo, F. Rosu, V. Gabelica, C. D. Mackereth, G. W. Collie, G. Guichard*, "Adaptive binding of alkyl glycosides by nonpeptidic helix bundles in water: toward artificial glycolipid binding proteins." *J. Am. Chem. Soc.* **2022**, *144*, 15988–15998.
3. **S. H. Yoo**, B. Li, C. Dolain, M. Pasco, G. Guichard*, "Urea based foldamers." *Methods Enzymol.* **2021**, *656*, 59–92.
4. **S. H. Yoo**†, G. W. Collie†, L. Mauran, G. Guichard*. "Formation and modulation of nanotubular assemblies of oligourea foldamers in aqueous conditions using alcohol additives." *ChemPlusChem* **2020**, *85*, 2243–2250. (†contributed equally)
5. **S. H. Yoo**, H.-S. Lee*, "Foldectures: 3D molecular architectures from self-assembly of peptide foldamers." *Acc. Chem. Res.* **2017**, *50*, 832–841.
6. **S. H. Yoo**, T. Eom, S. Kwon, J. Gong, J. Kim, S. J. Cho, R. W. Driver, Y. Lee, H. Kim*, H.-S. Lee*, "Foldecture as a core material with anisotropic surface characteristics." *J. Am. Chem. Soc.* **2015**, *137*, 2159–2162.

- KAIST 화학과, 학사(2006.3–2010.8)
- KAIST 화학과, 박사(2010.9–2017.2, 지도교수 : 이희승)
- KAIST 화학과, 박사 후 연구원 (2017.3–2017.8, 연구책임자 : 이희승)
- 유럽화학생물학연구소(IECB), 보르도 대학교, 박사 후 연구원(2017.10–2023.1, 연구책임자 : Gilles Guichard)
- KAIST 멀티스케일 카이랄 구조체 연구센터, 연구교수(2023.3–2023.8, 연구책임자 : 이희승)
- 전남대학교 화학과, 조교수 (2023.9–현재)



최이삭 Isaac Choi

충북대학교 화학과, 조교수

isaac.choi@chungbuk.ac.kr, <https://choi.cbnu.ac.kr>

소개글

최이삭 교수는 유기 금속 촉매를 활용한 유기화학 반응 개발 연구를 주도해 왔다. 그는 3d/4d/5d 전이금속을 기반으로 한 다양한 불균일 및 균일 유기금속 촉매를 개발하고, 이를 통해 탄소-수소 결합 기능화를 비롯한 다양한 유기합성 반응을 성공적으로 개발해 왔다. 뿐만 아니라 최이삭 교수는 전기화학을 활용한 유기합성반응 개발에도 기여하였다. 전기화학적 산화과정을 통해 촉매나 유기물질의 산화를 가능하게 하는 방식으로 유기합성 반응을 성공적으로 구현하였다. 현재는 “지속가능한 화학의 달성”이라는 큰 주제 아래, 전기화학 및 광화학을 활용하여 친환경적이고 경제적이면서 이전에는 밝혀지지 않았던 신규 유기합성법을 개발하고 있다. 이와 더불어 촉매 화학을 통하여 화학반응의 효율성과 선택성을 높이는 연구를 다채롭게 진행하고 있으며, 유동화학을 활용하여 합성 규모의 효과적인 증대 방법을 개발하고 있다.

주요연구분야

- 유기화학(Organic Chemistry)
- 전기유기화학(Electroorganic Chemistry)
- 광촉매화학(Photoredox Chemistry)
- 유동화학(Flow Chemistry)
- 유기금속화학(Organometallic Chemistry)
- 물리유기화학(Physical Organic Chemistry)

대표논문

1. **Choi, I.**; Trenerry, M. J.; Lee, K. S.; King, N.; Berry, J. F.; Schomaker, J. M. “Divergent C–H Amidations and Iridations by Tuning Electrochemical Reaction Potentials.” *ChemSusChem* **2022**, *15*, e202201662.
2. **Choi, I.**; Hou, X.; Ackermann, L. “A Strategy for Site- and Chemoselective C–H Alkenylation through Osmium-mediated electrooxidative Catalysis.” *Angew. Chem. Int. Ed.* **2021**, *60*, 27005–27012.
3. Meyer, T. H.; **Choi, I.**; Tian, C.; Ackermann, L. “Powering the Future: How Can Electrochemistry Make a Difference in Organic Synthesis?” *Chem* **2020**, *6*, 2484–2496.
4. **Choi, I.**; Messinis, A. M.; Ackermann, L. “C7-Indole Amidations and Alkenylations by Ruthenium(II) Catalysis.” *Angew. Chem. Int. Ed.* **2020**, *59*, 12534–12540.
5. **Choi, I.**; Müller, V.; Wang, Y.; Xue, K.; Kuniyil, R.; Andreas, L. B.; Karius, V.; Alauzun, J. G.; Ackermann, L. “Recyclable Ruthenium Catalyst for Distal *meta*-C–H Activation.” *Chem. Eur. J.* **2020**, *26*, 15290–15297.
6. **Choi, I.**; Muller, V.; Lole, G.; Kohler, R.; Karius, V.; Viol, W.; Jooss, C.; Ackermann, L. “Photoinduced Heterogeneous C–H Arylation by a Reusable Hybrid Copper Catalyst.” *Chem. Eur. J.* **2020**, *26*, 3509–3514.
7. Wang, H.; **Choi, I.**; Rogge, T.; Kaplaneris, N.; Ackermann, L. “Versatile and Robust C–C Activation by Chelation Assisted Manganese Catalysis.” *Nat. Catal.* **2018**, *1*, 993–1001.

- 광운대학교 화학과, 학사(2007.3–2015.2)
- 서울대학교 화학과, 석사(2015.3–2017.2, 지도교수 : 정영근)
- Georg-August-Universität Göttingen 화학과, 박사(2017.5–2021.9, 지도교수 : Lutz Ackermann)
- University of Wisconsin–Madison 화학과, 박사 후 연구원(2021.11–2022.8, 지도교수 : Jennifer M. Schomaker)
- 충북대학교 화학과, 조교수(2022.9–현재)

화학사 돌아보기

Part. 17

리비히의
왕국최정모 | 부산대학교 화학과,
jmchoi@pusan.ac.kr

19세기를 거치면서 유럽 과학의 지형은 많이 변화하게 됩니다. 그 중 가장 눈에 띄는 것은 독일의 부상입니다. 19세기 초 독일은 프랑스에 한참 뒤쳐진 나라였지만, 19세기 말이 되면 세계 과학을 선도하는 국가로 우뚝 서게 됩니다. 통계로 보면 보다 확실하게 알 수 있습니다. 1800~1825년의 기간 동안 프랑스와 독일에서 간행된 화학 논문 수를 비교하면 독일의 논문 수는 프랑스의 절반 밖에 되지 않았지만, 1870년대가 되면 독일은 프랑스보다 세 배 이상의 화학 논문을 생산해냅니다. 이러한 변화를 이끈 사람 중 하나가 바로 리비히(Justus von Liebig, 1803~1873)입니다. 오늘 글에서는 이 시기 독일 과학이 급성장하게 된 배경을 살펴본 후, 그 과정에서 리비히의 연구실이 어떠한 역할을 수행했는지 살펴보도록 하겠습니다.¹

19세기 독일 과학의 발흥은 많은 학자들의 관심을 끌었던 주제입니다.² 원래 19세기 초 유럽 과학을 선도하고 있

었던 국가는 프랑스였습니다. 계몽주의에 깊이 경도되어 있던 프랑스는 사회의 혼란을 해결할 수 있는 방법은 합리성에 근거한 과학밖에 없다는 믿음을 가지고 있었고, 이를 위하여 정부 차원에서 강력하게 과학을 지원했습니다. 프랑스 정부는 체계적인 과학 교육을 위해 대학 시스템을 개혁하였고, 많은 연구소를 세웠으며, 이들 기관에 우수한 실험실과 장비, 자연사 박물관, 천문대 등을 지원하였습니다. 이러한 노력에 힘입어 프랑스는 유럽 과학의 선두에 설 수 있었습니다.

하지만 프랑스의 시스템에는 몇 가지 문제가 있었습니다. 먼저 프랑스 정부는 각 대학과 연구소의 목적을 명확히 정하였고, 같은 목적을 가진 대학과 연구소를 허용하지 않았습니다. 이는 자원을 집중할 수 있다는 장점이 있었지만, 한편 한 번 기득권을 가진 기관은 현 상황에 안주하고 더이상 발전하지 못한다는 치명적인 문제가 있었습니다. 또한 당시

1. 이 내용은 다음 글들에서 큰 도움을 받았습니다. Alan Rocke, "The Rise of Academic Laboratory Science: Chemistry and the 'German Model' in the Nineteenth Century," in *A Global History of Research Education: Disciplines, Institutions, and Nations, 1840-1950*, eds. Ku-ming (Kevin) Chang and Alan Rocke (Oxford, UK: Oxford University Press, 2021); Alan J. Rocke, "Origins and Spread of the 'Giessen Model' in University Science," *Ambix* 50 (1): 90-115 (2003); Frederic L. Holmes, "The Complementarity of Teaching and Research in Liebig's Laboratory," *Osiris* 5: 121-164 (1989); J. B. Morrell, "The Chemist Breeders: the Research Schools of Liebig and Thomas Thomson," *Ambix* 19 (1): 1-46 (1972).

2. 독일 과학의 부상에 관한 자세한 논의는 김경만, 『과학지식과 사회이론』(한길사, 서울: 2004), 42-57쪽과 Alan Rocke (2021), 42-47쪽을 참조하십시오.

프랑스 학계는 다양한 분야를 두루 아는 제너럴리스트(generalist)를 추구하였고, 이는 점차 분야별 전문화가 진행되고 있던 당시 과학의 추세에 역행하는 것이었습니다.³ 그러나 무엇보다 과학자 개인에게 있어 가장 치명적인 문제는 대학과 연구소에서 연구자들에게 충분한 봉급을 제공하지 않았다는 점이었습니다. 당시 프랑스에서 과학은 수입을 얻기 위한 천박한 활동이 아니라 내 돈을 들여서 수행하는 신성한 활동이었기 때문입니다. 그나마 연구하는 직업이 아니라 가르치는 직업인 교수는 봉급을 받았지만, 교수 자리는 매우 한정적이었죠. “결론적으로 1850년대에 이르러서도 프랑스에서 과학을 전문직업으로서 추구한다는 것은 매우 위험한 일이었다. 학문적으로 성공한 사람들도 40대 말이나 50대의 나이에 겨우 교수직에 임명될 수 있었다.”⁴

한편, 19세기 초 독일의 상황은 어땠을까요? 나폴레옹 전쟁(1803-1815)에서 패배한 독일 역시 대학 개혁을 시도합니다. 그런데 그 방향은 독일의 민족 의식을 고양하는 방향이었고, 이에 호응한 “낭만주의자”들이 강단을 차지하게 됩니다. 그러면서 철학의 위상은 높아지고 경험 과학의 위상은 떨어졌죠. 게다가 강력한 중앙 정부가 없었던 독일 지역의 대학들은 정부로부터의 막대한 지원도 기대할 수 없었죠. 여려모로 과학이 발전하기 적합한 토양은 아니었습니다.

그런데 흥미롭게도, 대학 시스템이 강력한 중앙 집권제가 아니었다는 점이 도리어 이후 독일 과학의 발전에 큰 장점으로 작용하게 됩니다. 독일에서는 학생이나 교수나 더 나은 대학을 찾아 자유롭게 이동할 수 있었습니다. 따라서 대학들은 학문 세계에서 살아남기 위해서 서로 치열한 경쟁을 벌여야 했습니다. 그러다 보니 어떤 한 대학이나 연구소에서 혁신을 이룬다면, 다른 대학들이 이내 그 혁신을 모방하여 발전시키곤 했습니다. 한 가지가 일방적 강의 위주의 교육 대신 실험 교육과 세미나가 도입된 것이었습니다. 또한 대학 간 경쟁으로 인해 과학자들에 대한 대우도 자연스럽게 좋아졌습니다. 이제 독일 과학자들은 과학을 전문직업으로 가질 수 있었고, 특정 분야의 전문가로 인정받기만 한다면 그 분야에서 뛰어난 사람을 찾고 있는 여러 대학에서 러브콜을 받을 수 있었죠. 그 결과 독일에서는 대학 연

구실들이 연구 활동의 중심 역할을 수행하면서 과학 발전을 추동할 수 있었습니다.

이러한 배경을 염두에 두고, 이제 우리의 주인공인 리비히에게로 돌아가보겠습니다. 리비히 이전에도 개인 차원에서 개혁적인 연구실을 시도한 독일 화학자들은 많이 있었습니다. 약사들을 체계적으로 훈련하기 위해 화학 및 약학 연구소를 설립한 에어푸르트 대학의 트롬스도르프(Johann Trommsdorff, 1770-1837), 독일에서 최초로 대학 내 실험 교육을 시작한 괴팅겐 대학의 스트로마이어(Friedrich Stromeyer, 1776-1835), 세쌍 원소(triad) 개념으로 유명한 예나 대학의 되베라이너(Johann Döbereiner, 1780-1849) 등이 리비히 이전부터 화학 실험실을 성공적으로 운영하고 있었습니다. 리비히는 이들이 일궈놓은 땅 위에 씨를 뿌려 큰 결실을 얻은 것이죠.

1824년 기센 대학교에 부임한 리비히는 실험실 공간조차 없는 비정규 화학 교수였습니다. 다행히(?) 전임자가 요절하면서 1825년 정규 교수로 임명되었습니다만, 여전히 실험실 공간은 준비되지 않았죠. 그는 트롬스도르프의 예를 따라 기센 대학교에 화학 및 약학 연구소를 설립해 줄 것을 청원했지만, 학교 이사회는 대학은 시민 교육을 하는 곳이지 약이나 비누를 제조하는 데 필요한 기술을 연마하는 곳이 아니라며 해당 청원을 기각하였습니다. 결국 리비히는 전임자가 마련해둔 공간인 오래된 막사에서 1826년 여름 두 명의 조수들과 함께 조그만 실험실을 시작합니다. 설립 당시 이 실험실은 당시 일반적인 화학 교수들의 실험실과 크게 다르지 않았습니다. 즉, 약사들의 약제 공간과 비슷한, 소규모 실험을 수행하는 곳으로 교수 개인이 운영해야 했습니다. 하지만 그 이후 10년의 시간이 흐르는 동안 리비히와 그의 실험실은 당시 유럽 화학을 선도하는 연구실로 우뚝 서게 됩니다.

리비히의 성공에는 몇 가지 원인이 있습니다. 우선 그가 활동했던 시기에 개념적으로 유기 화합물들을 이해할 수 있는 틀이 많이 개발되고 있었습니다. 일례를 들어 베르셀리우스가 이성질 현상을 명명한 것이 1830년이죠. 당시 발견된 유기 화합물 중에는 조성이 동일한 분자들이 많았는데,

3. 과학자(scientist)라는 단어가 처음 만들어진 것이 1834년입니다. 이후 전문화된 과학 활동에 종사하는 사람을 가리키는 말로 널리 사용되었습니다. 이전까지는 자연철학자(natural philosopher) 등의 단어가 사용되었습니다.

4. 김경만, 앞의 책, 52쪽에서 재인용.

이들을 이해할 수 있는 개념이 만들어진 것입니다. 또한 “중이 도구”인 화학식이 널리 사용되기 시작했습니다. 그 전까지는 일일이 화학 반응을 서술하는 식으로 반응을 표현했지만, 화학식을 사용하면 복잡한 유기화학 반응을 쉽고 단순하게 표현할 수 있었습니다. 베르셀리우스가 화학식을 발표한 것은 1813년이었지만, 1827년을 즈음하여 그 유용성이 증명되었고 그 이후 널리 사용되기 시작하였죠.

리비히를 화학 세계의 리더로 만들어준 중요한 원인이 또 하나 있습니다. 리비히는 1832년 학술지를 하나 손에 넣습니다. 『약학 연감(Annalen der Pharmacie)』이라는 이름의 이 학술지는 리비히의 연구 발표 채널로 활용되었습니다. 리비히와 『연감』은 서로 상승 작용을 일으켰습니다. 리비히는 『연감』을 통해 손쉽게 자신의 연구를 세상에 선보였고, 『연감』은 리비히의 명성에 기대어 권위를 쌓을 수 있었습니다. 그 결과 리비히가 이 학술지를 인수한지 몇 년 만에 이 학술지는 유럽 전역에서 널리 읽히는 주요 학술지로 자리매김합니다. 이 학술지는 1840년 『화학 및 약학 연감(Annalen der Chemie und Pharmacie)』으로 이름을 바꾸었고, 리비히 사후에는 아예 『유스투스 리비히의 화학 연감(Justus Liebig's Annalen der Chemie)』으로 이름을 바꾸었죠.

하지만 리비히가 실험실을 효율적으로 운영할 수 있었던 데에는 마지막 퍼즐 조각이 필요합니다. 바로 리비히 본인이 개발하여 1831년 발표한 칼리구입니다. 칼리구는 간단한 조작으로 신뢰성 있는 조성 분석을 할 수 있게 해주었으므로 실험자의 “손”을 타지 않고 일관된 데이터를 얻을 수 있었습니다. 칼리구가 발명되기 전까지 화학자들이 유기 물질 연구에서 가장 시간과 노력을 많이 기울였던 단계가 조성 분석 단계였음을 고려해 보면, 이러한 기구가 화학 연구를 얼마나 효율적으로 만들었는지 상상해 볼 수 있겠습니다.

1830년대 초까지 리비히 실험실의 구성원은 10명을 크게 넘지 못했습니다. 하지만 앞서 살펴본 요인들로 인해 리비히 실험실은 큰 성공을 거둘 수 있었습니다. 리비히는 1831년 클로랄(chloral)을 발견하였고, 1832년에는 벨러와 함께 벤조일 라디칼(benzoyl radical)을 발견하였으며, 1835년에는 알데하이드(aldehyde)를 발견합니다. 또한 리

비히는 연구실의 책임자로서, 급속도로 확장하는 연구실을 유지하기 위해 학교 당국과 끊임없이 교섭하였습니다. 1833년 다름슈타트(Darmstadt)로 옮기겠다고 선언한 리비히를 붙잡기 위해 기센 대학교는 그가 원하는 실험실 확장 공사를 해주어야 했죠.

그렇게 1835년을 전후하여 리비히 연구실에는 큰 변화가 찾아옵니다. 리비히의 높아진 명성 덕분에, 이전까지 약학을 전공한 학생들이 주를 이루던 실험실에 화학을 전공한 학생들이 늘어나기 시작했고, 독일 내에서만 아니라 독일 밖에서도 많은 유학생이 찾아옵니다. 기센 대학교의 공식적인 지원까지 받으며 날개를 단 실험실은 1835년 이후 팀 시스템으로 운영됩니다. 즉 선배 연구자와 학생이 팀을 이루어 새로운 물질을 합성하고 그 조성을 분석하는 것입니다. 이는 화학 교육과 연구를 동시에 진행할 수 있게 해주는 시스템이었고, 연구 성과를 내는 데에도 매우 효율적이었습니다. 그 결과 리비히의 실험실은 짧은 시간 안에 많은 양의 연구 결과를 쏟아낼 수 있었습니다. 이후 리비히 실험실은 급속도로 팽창하여 1843년에 이르면 최소 68명(!)의 학생들이 리비히 실험실에 소속되어 있었습니다. 어찌 보면 “공장식” 연구가 이 때 시작된 것이라고 할 수도 있겠습니다.

리비히의 교육 방침은 선배 교수들과 조금 달랐습니다. 그는 부임 초기부터 실험 교육을 강조하여, 하루 종일 실험을 수행하는 커리큘럼을 제시하기도 했습니다. 그리고 그는 모든 학생에게 연구 경험을 시키는 것을 중요하게 생각했습니다. 그는 본인이 연구하고 있는 주제에서 일부를 떼어내 학생들에게 주었고, 우선 본인이 시도하고 있던 방법론대로 따라해 보도록 한 뒤, 학생들이 해당 주제를 더 발전시키도록 지도하였습니다. 그리고 학생들이 스스로 시도하는 단계에서도 끊임없는 토론과 피드백으로 학생들의 성장을 이끌었습니다.⁵ 이를 통해 학생들은 기초적인 실험 기법을 배우는 데에서 출발하여 반독립적인 연구자로 성장하는 데까지 체계적인 교육을 받을 수 있었죠.⁶ 이러한 교육-연구 프로그램이 리비히 연구실의 독특한 시스템이었고, 이후 벨러, 분젠(Robert Bunsen, 1811-1899), 콜베(Hermann Kolbe, 1818-1884) 등 독일 내의 연구자들과 영국, 프랑스, 미국의 여러 연구자들이 앞다투어 이런 프로그램을 도

5. 리비히는 1840년을 전후하여 개인적인 연구는 더 이상 진행하지 않고, 학생들의 연구를 지도하는 데 전념하였습니다.

6. 물론 모든 학생이 다 성공적이었던 것은 아닙니다. 리비히 연구실에 들어온 학생들 중 적지 않은 수가 별다른 성과를 내지 못하고 연구실을 떠났던 것으로 보입니다.

입하게 됩니다.⁷

리비히는 본래 유기 화합물의 구성 원리를 밝히는 데 관심이 많았습니다. 그러나 지난 글에서도 이야기했듯, 1830년대를 지나면서 여러 유기 분자의 작용 원리를 설명하는데 실패한 그는 점차 회의적으로 변합니다.⁸ 그리고 1840년대 초, 리비히는 대신 “합성”에 초점을 맞추기로 결정하고, 연구실의 최정예 멤버들을 골라 이 새로운 프로젝트를 맡깁니다. 당시 합성은 상대적으로 간단한 무기 화합물에 대해서만 가능하다고 여겨졌습니다. 그런데 리비히가 최초로 유기화학에 합성을 도입하기로 결정한 것입니다. 이는 그간 유기화학 지식이 충분히 쌓였기 때문에 따라온 귀결이라기보다, 조성 분석의 한계를 절감한 리비히가 유기화학의 원리를 탐구하는 새로운 길을 찾은 것이라고 보는 것이 더 좋을 것 같습니다.⁹

“합성(Synthese)”이라는 단어는 1845년 리비히 연구실에서 나온 논문에서 최초로 사용되었습니다. 이 논문은 리비히의 제자였던 존 블라이스(John Blyth, 1814-1871)와 호프만(August Hofmann, 1818-1892)에 의해 작성되었는데, 여기서 “합성”이라는 단어는 단순히 “분해”의 반대 개념으로 사용되었습니다. “분석과 합성은 동일하게 스타이롤(styrole)과 메타스타이롤(metastyrole)이 같은 분율의 조성을 가지고 있음을 보여준다.” 여기서 합성은 유기화학의 원리를 탐구하는 한 가지 방법으로 제시되고 있습니다. 물론 합성을 통해 목표한 물질을 만들어 내는 것도 원리상 가능했지만, 아직 유기화학의 원리가 많이 밝혀져 있지 않았기 때문에 당시 유기화학자들은 큰 기대를 걸지 않았던 것으로 보입니다. 당시 합성 실험은 목표를 두고 차근차근 수행된 실험이었다기보다, 적당한 시작 물질들로 반응을 시켜 어떤 물질이 나오나 보는 실험에 가까웠습니다.¹⁰ 이를 통해 화학의 원리를 밝히는 게 더 중요한 목적이었던 것이죠.

하지만 그럼에도 합성 유기화학이 시작되면서 사람들은

그 가치를 금세 알아차렸습니다. 1840년대 화학자들은 “생성화학(constructive chemistry)”이라는 표현을 사용하여 단순한 물질들로부터 복잡한 목표 물질을 만들어내는 화학을 지칭했고, 1860년대 이후로 (오늘날과 마찬가지로) “합성화학”이라는 단어가 널리 사용되었습니다. 19세기 화학 문헌을 분석한 한 연구¹¹에 따르면, 1820년 기준으로 화학자들이 알고 있던 무기 물질은 1000개 이상 있었지만 유기 물질은 100개가 간신히 넘었습니다. 하지만 이후 유기 물질의 수는 9년마다 두 배로 증가한 반면, 무기 물질의 수가 두 배 증가하는 데에는 20년 이상이 걸렸습니다. 그 결과 1860년대가 되면 화학자들이 알고 있는 물질의 99%는 유기 물질로 채워지게 됩니다. 가히 합성 유기화학의 승리라고 할 수 있겠습니다.

이렇게 리비히의 왕국, 그리고 그 왕국을 모방한 다른 왕국에서 훈련받은 화학자들이 쏟아져 나오면서, 19세기 화학은 그 전성기를 구가하게 됩니다. 그리고 비록 리비히와 그의 동시대 화학자들은 화합물의 구성 원리를 밝히는데 흥미를 잃었지만, 여전히 그 원리를 탐구하고 있던 화학자들도 있었습니다. 그들의 갖은 노력으로 유기 화합물의 구성도 조금씩 설명되기 시작했죠. 다음 글에서는 원리를 탐구하던 그 사람들의 이야기를 들려드릴까 합니다. 🌟



최 정 모 Jeong-Mo Choi

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

7. 훗날 리비히는 자신이 부임 초기부터 이렇게 잘 짜여진 교육 계획을 가지고 있었던 것처럼 이야기하지만, 실제 기록을 살펴보면 체계적인 시스템은 연구실 팽창 이후에 정착된 것으로 보입니다. Homles (1989) 참조.

8. 예를 들어 리비히는 알칼로이드(alkaloid)의 염기도와 질소 함량을 연결 짓는 시도를 하였습니다.

9. 합성화학에 관한 논의는 다음 논문을 많이 참조하였습니다. Catherine M. Jackson, “Synthetical Experiments and Alkaloid Analogues: Liebig, Hofmann, and the Origins of Organic Synthesis,” *Historical Studies in the Natural Sciences* 44 (4): 319-363 (2014).

10. 같은 해인 1845년에 콜베가 아세트산을 합성했음을 보고합니다. 이 논문은 종종 최초의 전합성 논문으로 간주되는데, 여기서도 콜베는 아세트산을 합성하려고 한 것이 이 연구의 주목적이 아니라 “이황화 탄소를 염소 기체로 분해할 때 생성되는 여러 물질을 탐구하고자 했다”고 밝힙니다.

11. J. Schummer, “Scientometric studies on chemistry, I: The exponential growth of chemical substances, 1800-1995,” *Scientometrics* 39: 107-123 (1997).

우리 실험실은요!

우리 실험실은요!

서울대학교 약학대학 약학과 유기약품합성화학 연구실

[지도교수: 홍석창 교수]

글 | 천시민(서울대학교 약학대학 약학과,
simin1000@snu.ac.kr)

안녕하세요? 저희 연구실은 서울대학교 약학대학 약학과 유기약품합성화학 연구실입니다. 저희 연구실은 저분자 화합물들을 토대로 약물 후보물질을 효과적이고 선택적으로 합성하기 위한 도구와 전략을 개발하고 있으며, 특히 금속 촉매를 이용한 방법론 개발과 천연물의 전합성에 중점을 두고 있습니다. 확립한 화합물 라이브러리와 개발한 합성 전략을 기반으로 암 및 다제내성 세균 감염과 같은 치료가 어려운 질병에 대한 의약품 후보물질을 발굴하는 것이 연구의 목표입니다. 현재 개발한 다양한 방법론과 천연물 합성법을 기반으로 여러 연구실과 협업하여 의약품 후보 물질을 도출하기 위한 의약화학 연구를 진행하고 있습니다[그림 1].

철 촉매 활용을 통한 N-헤테로고리 합성방법론 개발

저희 연구실에서는 금속 촉매 중 철 촉매를 중점적으로 다루고 있습니다. 철은 가격이 저렴하고 지구상에 풍부하게 존재하며 다른 금속에 비해 인체 내 낮은 독성을 가지고 있

습니다. 저희 연구실에서는 철의 고유한 특성을 기반으로 새로운 합성 경로를 제시하여 미래 의약품 개발을 위한 새로운 방향성을 제시하고자 노력하고 있습니다[그림 2]. 대표적인 연구 흐름은 첫째로, 산화적 고리화반응입니다. 저희 연구실에서는 최근 낮은 산화 레벨의 기질인 알코올과 메틸 아렌을 철 촉매와 산화제를 함께 사용하여 다양한 N-헤테로고리 화합물을 합성하는 방법을 개발하였습니다. 둘째로, 철 촉매의 수소 이동화 반응입니다. 수소 공여체인 알코올과 수소 수용체인 니트로아렌을 도입하여, 반응 중 각각 친전자체인 카보닐과 친핵체인 아닐린으로 산화환원되어 탄소와 질소간 결합하는 방법을 개발하였습니다. 이를 기반으로 다양한 종류의 N-헤테로고리 라이브러리를 구축하고 이들의 생물학적 활성을 탐색하고 있습니다. 특히 질소를 포함하는 헤테로고리 화합물은 다양한 생리활성을 가지며, 상용화된 저분자 의약품들 중에 N-헤테로고리 화합물 구조가 핵심 골격으로 사용되는 것을 흔히 볼 수

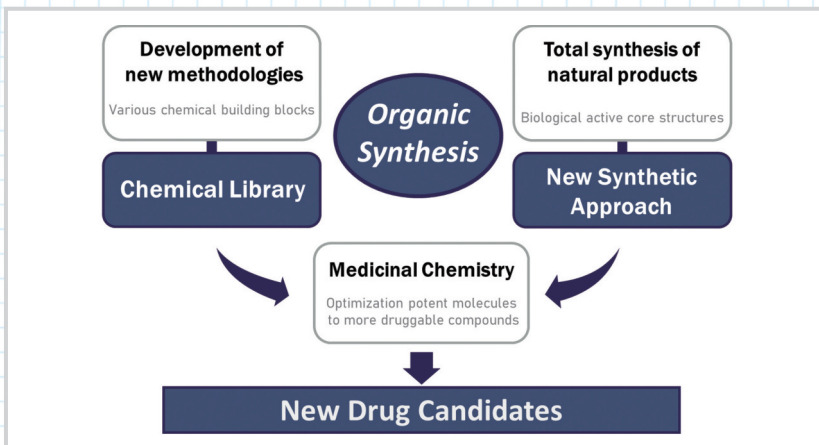


그림 1. 연구실 연구 분야 및 목표

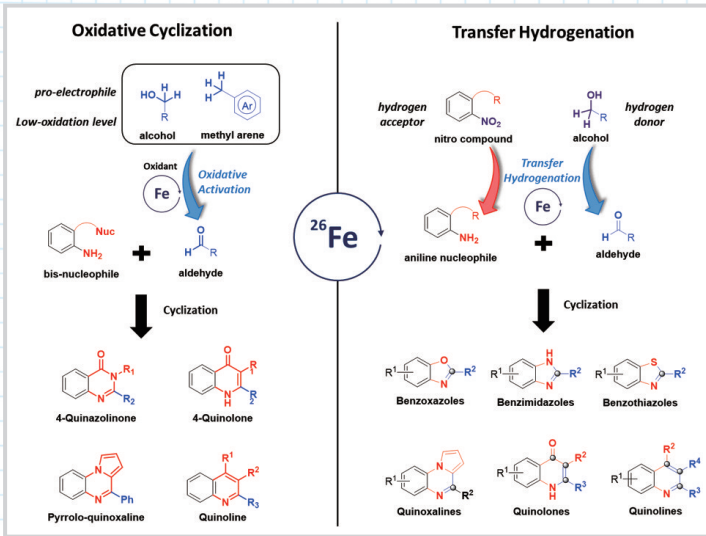


그림 2. 철 촉매를 활용한 다양한 방법론 개발

있습니다. 이는 *N*-헤테로고리 화합물이 생체내 표적 단백질의 아미노산과 중요한 상호작용을 형성하여 다양한 생리 활성을 나타낼 수 있기 때문입니다. 저희 연구실에서는 앞으로도 *N*-헤테로고리 화합물을 합성하는 새로운 방법론을 개발하고, 이를 기반으로 의약품 후보물질을 발굴하는데 초점을 둘 계획입니다.

생리활성 천연물의 전합성 및 유도체 합성

천연물은 생명체에서 발견되고 있는 2차 대사 물질로 보통 복잡한 구조를 가지고 있으며 다양한 생리 활성을 보여

주고 있습니다. 이러한 천연물의 생리 활성을 기반으로 다양한 의약품이 개발되어 왔습니다. 천연물의 전합성은 보통 유기화학의 꽃이라 불리며 고난도의 특수한 화합물 구조나 특정 입체 화합물의 합성이 필요합니다. 단순한 원료 물질로부터 다단계에 걸쳐 복잡한 구조를 합성하는 역합성 전략을 세우고, 합성 중 시행 착오를 겪으며 새로운 합성 전략을 확립하게 됩니다. 저희 연구실은 다양한 생리 활성을 가진 천연물 전합성 및 그 유도체의 합성을 통해 새로운 의약품의 개발을 목표로 하고 있습니다. 대표적인 예로, 해양 방선균에서 분리된 천연물 Marinacarboline을 기반으로 약물 내성 유방암에 항암활성을 지닌 의약품 후보 물질을 도출하였습니다. 또한 식물의 잎에서 추출한 고리형 펩타이드인 melicopteline을 전합성하고, 그 유도체 합성을 통해 항인플루엔자 활성에 대한 구조-활성관계 연구를 진행하였습니다. 그 외에도 저희 연구실에서는 [그림 3]과 같이 다양한 천연물의 전합성을 진행하고 있으며 이를 통해 새로운 의약품의 가능성을 탐색하고 있습니다.

저희 지도교수님은요!

저희 연구실의 지도교수님이신 홍석창 교수님께서서는 2017년 9월에 처음 부임하셔서 현재 7년차로 최근 박사 학위 학생을 2명 배출하셨습니다. 현재 저희 연구실은 박사 후 연구원 2명, 석·박통합과정 7명과 박사과정 1명, 석사 후 연구원 1명으로 구성되어 있습니다. 연구실 학생들에게 1인 1과제로 개인마다 적합한 연구 주제를 분배해 주셔서, 개인 역량을 펼칠 수 있는 분위기가 형성되어 있다는 장점이 있습니다. 매주 전체 그룹미팅과 개인 미팅을

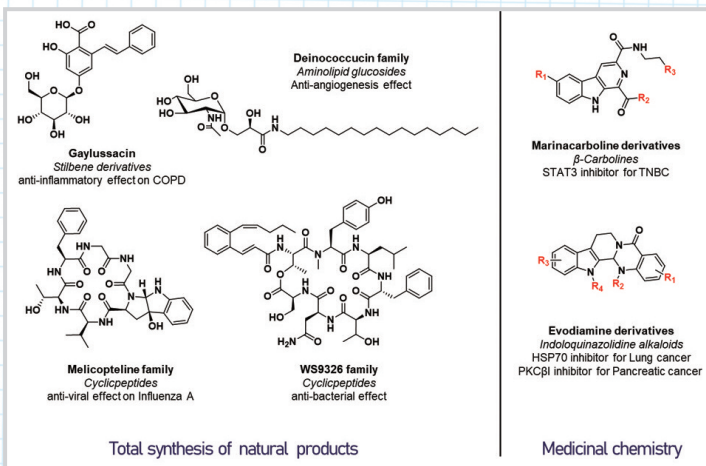


그림 3. 천연물의 전합성 및 유도체의 의약화학 연구



서울대학교 약학대학 학위수여식을 기념하여 홍석창 교수님과 함께



2023년 미국화학회 학술대회에 참여한 모습



2023년 송년회에서 연구실 구성원과 함께

통해 소속된 학생들에게 많은 지도를 해주시고 계시며, 연구 상황 파악 및 진행 방향에 대해 아낌없이 조언을 해주십니다. 특히 연구 지도 면에서 학생들이 가져온 아이디어를 존중해주시고, 개선된 아이디어를 제시해주시면서 연구 방향성을 잃지 않도록 지도해주십니다. 마지막으로 그동안의 활발한 연구와 성과를 통해 2023년 한국차세대과학기술한림원 회원으로 선출되신 바 있습니다.

연구실 내부의 분위기와 협력

저희 연구실은 개방적이고 협력적인 분위기를 가지고 있습니다. 선후배간 격식없이 소통하며 연구실 내부 공용 업무에 있어서도 모두 공평하게 일을 분배하고 있습니다. 입학 전 대체로 인턴 기간을 수행하게 되는데, 인턴 학생 모두 교수님과 연구실의 분위기가 좋아 입학을 희망하는 경우가 많았습니다. 따로 연구실 여행을 떠나지는 않지만, 1년에 한 번 학회에 모두 함께 참석하여 친목을 도모하고 추억도 만들고 있습니다. 연구실 내에서는 선후배 간의

경계가 없이 학생들 간 활발하게 토론하며 의견을 주고 받습니다. 또 그룹 미팅과 내부 세미나를 통해 연구 내용을 공유하고 협업하며 창의적인 아이디어를 공유하고 있습니다.

연구라고 하면 단순히 학문적인 부분만을 생각하기 마련인데, 저는 환경 요인도 꽤나 중요하다고 생각합니다. 어떤 사람들과 함께 연구하는지 또 나의 연구가 다른 사람들에게 얼마나 영향을 줄 수 있을지에 대한 고민도 필요하다고 생각합니다. 결국 연구도 사람이 하는 것이기에 무엇보다 좋은 사람들과 함께 성장하며 연구하는 것에 의미를 두었으면 좋겠고, 필자인 저는 그런 면에서 꽤나 운이 좋게 좋은 사람들과 연구할 수 있었다고 생각합니다. 졸업을 앞두고, 존경하는 교수님과 또 존경하고 응원하는 후배들에게 모두 원하는 바를 얻을 수 있길 바라고 기원하며 이 글을 읽어 준 독자 여러분들에게도 행복과 성취가 함께하길 바랍니다. 감사합니다.



2023년 한국유기합성학회 학술대회에 참여한 모습

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

특히 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 편집위원회 이현수 교수님(hsleel976@gmail.com)께 보내주시면 감사하겠습니다.

이은(李穩) 서울대학교 교수 (1946~)



이은 교수
서울대학교 화학부

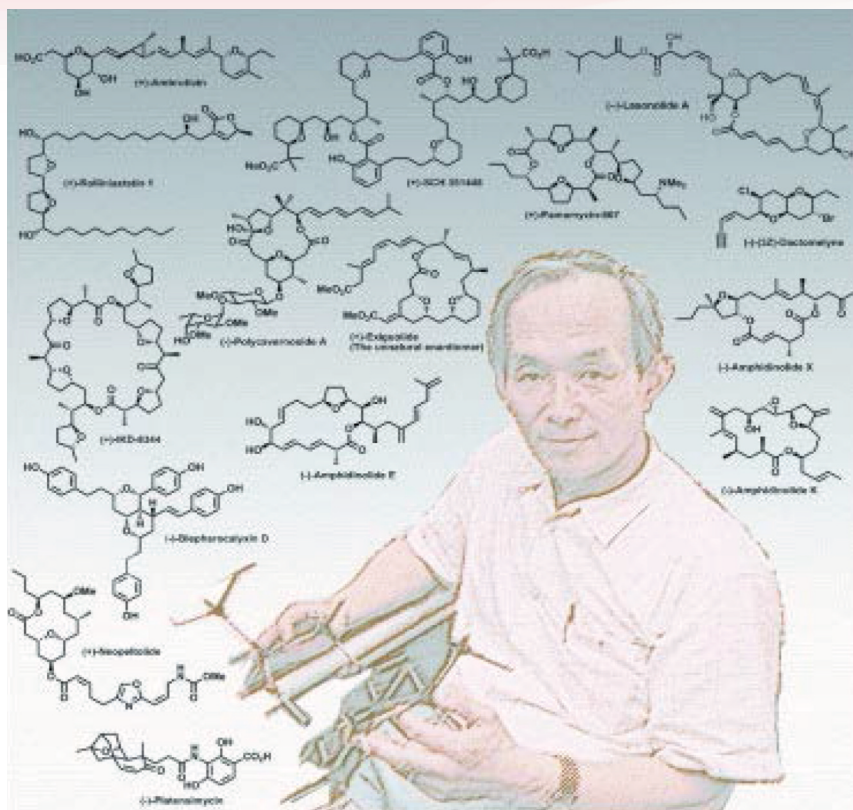
이은 교수는 1969년 서울대학교 화학과를 졸업하고, 1974년 예일(Yale)대학교 화학과에서 스캇(Scott) 교수 지도하에 트로폴론(tropolone)계 천연물인 스티피타토닉산(stipitonic acid)과 비타민 B12(vitamin B-12)의 생합성 연구로 박사학위를 취득하였다. 그 후에는 컬럼비아(Columbia)대학교 나카니시(Nakanishi) 교수 연구실에서 곤충 페로몬 알파-엑다이손(α -ecdysone)의 전합성을 연구하였고, 조에콘(Zoecon)사에서 유충 호르몬의 생합성 연구를 수행한 후 1977년 서울대학교 화학과 교수로 부임하였다.

이은 교수는 부임 이후로 꾸준히 천연물 전합성 연구를 수행하였다. 부임 초기에는 국내의 열악한 연구 환경으로 인해 간단한 화합물의 합성 연구를 수행하였으나, 전반적으로 전합성에 대한 경험이 부족했기 때문에 상당 기간

어려운 시기를 겪었다. 상대적으로 작은 화합물의 전합성을 연구하는 과정에 “입체 선택적인 음이온 옥시코우프 자리옮김반응을 이용한 다이하이드로메이유론(dihydro-mayurone)의 전합성”을 주저자로서 『미국화학회지』에 처음으로 출판하였고, 이어서 입체 선택적인 파보르스키(Favorskii) 자리옮김반응을 이용한 다양한 천연물의 전합성을 발표하였다.

한편으로 이은 교수는 1985년 영국 옥스퍼드 대학의 볼드윈(Baldwin) 교수 연구실에서 경험한 라디칼 반응을 복잡한 구조의 천연물을 합성하는데 응용하고자 노력하였다. 초기에는 분자내 라디칼 수용체로 프로피올레이트를 이용하여 다수의 논문을 발표하였고, 베타-알콕시아크릴레이트 수용체를 사용하면 시스-2,5-이치환 옥솔레인 및 시스-2,6-이치환 옥세인을 완벽하게 생성할 수 있음을 발견하고 (3Z) 및 (3E)-닥토멜라인(Dactomelyne, 1995년)의 전합성에 적용하였으며, 쿠모사인 및 쿠모살렌의 전합성에도 응용하였다. 베타-아미노아크릴레이트 수용체를 이용해서는 (-)-indolizidine 223AB와 같은 다양한 골격의 알칼로이드 화합물을 합성하였다.

이은 교수 실험실은 1999년 국가지정실험실(NRL)로 지정되면서 한 단계 도약할 수 있는 계기를 마련하였다. 이때부터 이은 교수는 라디칼 고리화 반응을 이용하여 항생제 파마마이신 607(Pamamycin-607), 항진균제 암부르티신(Ambruticin), 항암제 라소놀라이드 A(Lasonolide A), 금속 이온 리간드 SCH 351448, 페이그리솔라이드(Feigrisolide), IKD-8344, 항암제 암피디놀라이드 E/K/X



Cover Picture: (Chem. Asian J. 8/2011)

(Amphidinolide E/K/X), 롤리니아스타틴 1(Rolliniastatin 1), 지메네진(jimenezin), 에피기로스놀라이드 E(epigyrostanolide E)의 전합성을 발표하였고, 라소놀라이드 A(Lasonolide A) 및 페이그리솔라이드(Feigrisolide)의 경우에는 기존 구조의 오류를 밝히기도 하였다. 이를 통해서 이은 교수는 천연물 전합성 분야에서 국제적으로 최고 수준의 연구력을 인정받았다. 이외에도 프린스(Prins) 고리화 반응과 카보닐 일라이드의 고리 협동 반응을 이용해서도 매우 복잡한 천연물들을 전합성하였다.

이처럼 이은 교수는 유기합성화학 연구의 불모지나 다름없던 우리나라에서 세계적 수준의 천연물 전합성 및 유기반응개발 연구를 수행함으로써 학문의 초석을 다지고

국가의 위상을 높이는 데 기여하였다. 이은 교수는 지금까지 133편의 논문과 2편의 특허를 발표하였고, 국내외에서 수십 차례 강연하였으며, 석사 140명과 박사 22명의 학문후속세대를 양성하였다. 대표 수상 실적으로는 대한화학회 학술상(1995년) 및 한국과학상(1997년)이 있고, 퇴임을 앞두고 대한민국 학술원 회원(2010년)에 선임되었다.

이은 교수는 유기화학분과회와 대한화학회의 발전을 위해서도 많은 기여를 하였다. 유기화학분과회 활동으로는 1977년 유기화학 세미나를 정기적으로 개최하는데 참여하였고, 1982년 대한화학회 유기화학분과회를 신설함과 동시에 창립 간사(현 총무 부회장)로서 제1회 및 제2회

유기화학 심포지엄을 조직하였다. 2000년 유기분과회장 때에는 교수와 학생이 모두 참가하는 제1회 하계워크숍을 조직하는 등 현재 유기화학분과회의 근간을 이루는 중요한 사업들을 시작하였다. 대한화학회 활동으로는 1996년에는 대한화학회 간사장(현 총무 부회장)으로서 대한화학회 창립 50주년 기념사업인 화합물명명법 개정작업을 주도적으로 진행하였고, 2006년 대한화학회장으로 재직할 때에는 대한화학회 창립 60주년 기념행사를 성공적으로 개최함으로써 화학에 대한 일반 대중의 관심을 고양하고 국내 화학계의 저변 확대와 국제적 위상 제고에 공헌하였다.

이은 교수는 유기화학 분야의 국제화에도 많은 기여를 하였다. 당시 국내 학계의 국제적 인지도가 지극히 미미함에도 불구하고 1980년 한국-일본 유기화학 공동심포

지엄을 시작하였고, 1988년과 1995년에는 한-미 유기화학 공동심포지엄을 조직하여 국제교류의 장을 아시아에서 미주로 넓혔다. 2008년에는 국제화학연맹(IUPAC)이 공식 주관하는 국제학술대회(ICOS 2008, International Conference on Organic Synthesis)를 유치하고, 공동 조직위원장으로 활동하여 우리나라와 학계의 위상을 높였다. 또한 미국화학회 멤버 및 영국화학회 펠로우로 활동하였고, 우수한 국제학술저널 『Organic Letters』, 『Chemistry-an Asian Journal』, 『Tetrahedron』 및 『Tetrahedron Letters』의 편집자문위원으로도 많은 공헌을 하였다.

글 서강대학교 화학과 교수 이덕형

[출처 대한화학회 유기분과회 뉴스레터]



the 6th Japan-Korea Symposium on Organic chemistry, Nagoya, Japan, 1992
(왼쪽부터) 박창식(한국화학연구원), 김성각(KAIST), Ryoji Noyori(Nagoya 대학), 이은(서울대)

김용해(金容海) KAIST 교수(1939~)



김용해 교수
KAIST 교수

‘김용해 교수님’ 아마도 그는 태어나면서부터 숙명적으로 화학자의 길을 가시도록 되어 있었나 보다. 물론 한자 뜻은 다르지만, 우리말로 무엇을 녹이거나 녹는다는 뜻의 용해를 그 이름에 가지고 있는 것이다. 그 이름에 걸맞게 한평생을 화학자로서의 길을 걸으면서 화학, 그 중에서도 특별히 유기화학의 발전에 큰 족적을 남겼다. 오늘 그가 있기까지 교수님께서서는 오직 한 길 유기화학을 연구하며 가르치는 일에만 전력을 다한 것이다.

김용해 교수님은 1939년에 출생했으며 일본 오카야마 대학에서 화학을 전공하고 오사카 시립대학에서 유기화학을 연구하여 석사 및 박사학위를 받았다. 1971년부터 미국 스탠포드 대학교와 국립보건원(NIH)에서 연구원으로 활동하다가, 1975년 일본 쓰쿠바 대학 조교수로 부임해 부교수를 지냈고, 1979년 KAIST 부교수로 부임해 2004년

까지 교수를 역임하고 석좌교수를 지냈다. 1983년 미국 국립보건원 객원교수를 지냈으며, 1992년 프랑스 스트라스부르 대학 대학원 강의 교수와 1996년 파리 IV 대학 초빙교수를 지냈으며 중국 산서대 명예석좌교수와 제주대학교 석좌교수를 역임하였다. 현재 KAIST 명예석좌교수, 2007년부터 대한민국학술원 종신회원, 1995년부터 한국과학기술한림원 종신회원, 제3세계 학술회의 회원 등으로 활동하고 있다.

40여 년간 국내외에서 유기화학 연구 및 교육 활동을 활발히 해왔으며, 연구업적으로 SCI 등록 논문 250여 편, 영문 총설 15편, 영문 저서 8편과 등록 특허 40여 개가 있고, 석·박사학위 연구자 100여 명을 양성했다. 학술 활동으로는 초청강연이 167회이며 이중 국제학술회의 기조 강연 16회, 국제학술회의 초청강연 40회, 기타 대학 및 연구소 강연 111회에 이르고 있다. 이러한 결과로 1996년 KAIST 연구특별상, 1999년 KAIST 학술상, 2000년 상허 학술대상, 2001년 3·1문화상, 2003년 KAIST 학술대상, 2004년 과학기술훈장 혁신장(대통령상) 등을 수상했다.

그 외에 대한화학회 등 국내외 학회와 학술지에서도 다양한 활동을 했다. 대한화학회 초록편집 위원장(1983~1985), 대한화학회 유기분과회장(1995~1996), 대한화학회 학술위원장(2002~2003)으로 공헌했고, 국제적으로는 1995년에 IUPAC 및 대한화학회 주최로 3년에 한 번 개최되는 ICHAC(Int. Conference on Heteroatom Chemistry)을 서울에 유치하여 조직위원장을 맡아 33개국으로부터 800여 명이 참석하는 성공적인 학술회의를 이끌며

한국의 유기화학을 전 세계에 널리 알린 바 있다. 이외에 국제학술지인 『Chem. Lett.』, 『Int. Heteroatom Chem.』 과 『Int. Physical Org. Chem.』의 편집위원을 역임했다.

김용해 교수님의 주요 연구 분야와 업적을 살펴보면 헤테로원자 유기화학에서 황 및 질소와 산소를 포함한 유기화합물의 새로운 합성법 개발과 키랄 촉매와 보조기를 사용한 비대칭 합성법의 개발, 그리고 생리활성이 흥미 있는 천연물들에 관하여 주로 연구하여 많은 업적을 남겼다. 주요 연구업적으로 대표적인 논문 5개를 소개하면 다음과 같다. 『Science』(1975)에 처음으로 중남미 아텔로퍼스 개구리로부터 강력한 신경계 활성물질인 새로운 테트로도톡신 유도체를 발견하여 보고하였다.

또 다른 『Science』(1980)에는 희귀한 아이소과노신 유도체의 분리, 구조결정 및 생리활성을 규명하였고, 『Angew. Chem. Int. Ed.』(2000)에 Pinacol 결합 반응에서 1단계로 각각 R,R 형 S,S형의 높은 광학순도로 분자간의 반응에서는 처음으로 높은 선택성을 입체 제어에 의해서 얻어지는 논문을 발표하였다. 『Acc. Chem. Res.』(2001)에 지금까지 발표된 논문 내용을 인정받아 초대된 논문 '유기금속 SmI₂을 사용하여 입체선택성이 매우 높은 양쪽 enantiomer 합성'은 새로운 비대칭 합성의 체계적인 논문으로 인정받고 있다. 『Proc. Natl. Acad. Sci. USA』(2004)에는 새로운 신경계독성 유기화합물의 구조를 밝히고 생리활성이 매우 흥미 있는 신규 물질임을 입증하였다.

김용해 교수님은 KAIST 재직 시절부터 꾸준히 기부를 하던 중에 3·1 문화상 상금 등의 일부를 기부해 대학원생 우수논문상을 제정했다. 특히 정년퇴임 시에는 1억 원을 기부해 국제 세미나 개최에 사용하고 있어 그 의미가

깊다. 그는 한 언론과의 인터뷰에서 기부하게 된 동기와 목적에 대해 밝힌 적이 있다. "1억이라는 거액을 기부하게 된 동기는 KAIST는 수준 높은 교육으로 이공계 인재를 양성하는 우리나라의 대표 대학이다. 그럼에도 세계의 최신 기술 동향과 첨단 학문에 대해 배울 수 있는 국제 세미나가 자주 열리지 않는다는 점이 늘 안타까웠다. 학생들에게 우수 석학의 강의를 접할 기회를 더욱 많이 제공하고자 적극적으로 참여하게 되었다." 기부한 금액은 학과에서 기부금으로 '김용해 렉처(Lecture)'를 만들어 국내외 유명 석학을 초청해 세미나를 개최하고 있다. 김용해 렉처는 매년 한 번 정도 개최되고 있다. 이 외에도 2011년에는 석좌교수로 있었던 제주대학교에도 5천만원의 발전기금을 기부한 바 있다.

김용해 교수님은 최근에 근거 중심의학 전문가인 일본인 의사 나고 나오키의 책을 번역하여 약과 건강검진에서 벗어나 행복한 노년을 보내는 최선의 비결 『적당히 건강하라』를 발간하기도 했다(2019년). 의료 과잉시대에 세계 최장수 국가 일본에서 배우는 노인 적정 의료의 기본 원리를 담은 책이다. 이 책의 내용에서 건강하게 장수하기 위해서 "과학적으로 생각하라"고 조언한 것처럼 김용해 교수님께서도 항상 건강하신 가운데 행복하게 지내시기 바란다.

글 삼육보건대학교 총장 박두한

[출처 대한화학회 유기분과회 뉴스레터]

대한화학회 학술발표회 초록등록 안내

2024년 4월 24일~26일(3일간)
수원컨벤션센터(SCC)

초록등록 2024년 1월 10일-2월 21일, 17:00까지

사전등록 2024년 1월 10일-3월 15일, 17:00까지

01. 심포지엄 및 구두발표 주제/조직책임자

심포지엄

분과회		주제	조직책임자	이메일
고분자화학	1	고분자 네트워크 연구의 최신 동향	김연수(POSTECH)	ysookim@postech.ac.kr
	2	중건 고분자화학 연구자 심포지엄	김경택(서울대학교)	ktkim72@snu.ac.kr
	3	고분자 합성 연구의 최신 동향	강범구(송실대학교)	bkang@ssu.ac.kr
무기화학	1	초분자화학의 현재와 미래	윤효재(고려대학교)	hyoon@korea.ac.kr
	2	유기금속소재화학의 최신 연구동향	이강문(강원대학교)	kangmunlee@kangwon.ac.kr
	3	2D 무기 소재의 최신 연구동향	최상일(경북대학교)	sichoi@knu.ac.kr
물리화학	1	생명물리화학 연구의 최신 동향	심상희(고려대학교)	sangheeshim@korea.ac.kr
	2	에너지 및 배터리 응용을 위한 물리화학의 최신 연구 동향	김민호(경희대학교)	minho.kim@khu.ac.kr
분석화학	1	NMR을 기반의 분석화학 최신연구동향	김영관(동국대학교)	kimyk@dongguk.edu
	2	생분석화학의 최신 연구동향	이승아(경희대학교)	moon1131@gmail.com
생명화학	1	질병세포 표적 약물전달체 연구의 최신 동향	유자형(UNIST)	jhryu@unist.ac.kr
	2	구조생화학 연구의 최신 동향	송현규(고려대학교)	hksong@korea.ac.kr
유기화학	1	유기화학 선도연구 심포지엄	김정곤(전북대학교)	jeunggonkim@jbnu.ac.kr
	2	유기화학의 최신 연구동향	주정민(경희대학교)	jmjoo@khu.ac.kr
	3	화학센서의 최신 연구동향	한민수(GIST)	happyhan@gist.ac.kr

분과회		주제	조직책임자	이메일
의약화학	1	최신 의약화학 동향	임춘영(KMEDlhub)	cyim@kmedihub.re.kr
	2	뉴클레오사이드 및 핵산 기반의 최신 의약품 개발 동향	방은경(KIST)	eunkbang@kist.re.kr
재료화학	1	전기화학 촉매 및 광촉매 응용을 위한 재료화학의 최신 동향	이민형(경희대학교)	minhlee@khu.ac.kr
	2	전자소자 응용을 위한 차세대 반도체 소재	김명길(성균관대학교)	myunggil@skku.edu
	3	다공성 소재를 위한 재료화학의 최신 동향	박진균(한국외국어대학교)	jinkpark@hufs.ac.kr
전기화학	1	에너지저장시스템을 위한 안정적인 전해질/전극 계면 연구 동향	유승준(GIST)	sjoonyoo@gist.ac.kr
	2	기초전기화학의 최신 연구 동향	권승용(경상국립대학교)	srkwon@gnu.ac.kr
화학교육	1	화학교육의 연구 동향	정대홍(서울대학교)	jeongdh@snu.ac.kr
환경에너지	1	해수전해 넥서스 기술	박현웅(경북대학교)	hwp@knu.ac.kr
	2	폐플라스틱 완전순환 기술	한요셉(한국지질자원연구원)	yosep@kigam.re.kr
KCS	1	[BKCS심포지엄] BKCS, 한국 기초과학의 디딤돌	이은성(POSTECH)	eslee@postech.ac.kr
	2	[여성위원회 특별심포지엄] 학생 및 신진연구자를 위한 멘토-멘티 간담회	심은지(연세대학교)	esim@yonsei.ac.kr

구두발표

분과회	No.	주제	조직책임자	이메일
고분자화학	1	젊은 고분자화학 과학자를 위한 구두발표	구병진(단국대학교)	bkoo@dankook.ac.kr
무기화학	1	젊은 무기화학자 구두발표	김진영(서울대학교)	jykim@snu.ac.kr
			황승준(POSTECH)	sjhwang17@postech.ac.kr
물리화학	1	선도 및 차세대 물리화학자 구두발표 I	박재홍(이화여자대학교)	jaehong@ewha.ac.kr
	2	선도 및 차세대 물리화학자 구두발표 II	김태연(성균관대학교)	taeyeon@skku.edu
분석화학	1	젊은 분석화학자 구두발표 I	김연호(건국대학교)	yeonho@kku.ac.kr
	2	젊은 분석화학자 구두발표 II	김홍기(공주대학교)	hongkikim@kongju.ac.kr
생명화학	1	젊은 생명화학자를 위한 구두발표	전용웅(KAIST)	ywjun@kaist.ac.kr
유기화학	1	젊은 유기화학자 구두발표	지형민(POSTECH)	hmchi@postech.ac.kr
의약화학	1	젊은 의약화학자 구두발표	박성준(KRICT)	sjunpark@kriect.re.kr
재료화학	1	젊은 재료화학자를 위한 구두발표	김광우(충북대학교)	kw820@cbnu.ac.kr
전기화학	1	젊은 전기화학자 구두발표 세션	석정돈(한국화학연구소)	jdsuk@kriect.re.kr
화학교육	1	화학교육의 최신 동향	손미현(서울대학교)	79algus@snu.ac.kr
환경에너지	1	환경에너지 일반발표	김은주(한국과학기술연구원)	eunjukim@kist.re.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 2024년도 회비를 납부하여 주시기 바랍니다.
- 참가비 사전등록 : 2024.1.10~3.15 ※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 15일, 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 |

고분자 네트워크 연구의 최신 동향

본 심포지엄에서는 고분자 네트워크 연구의 최신 동향들을 공유할 수 있는 시간을 마련하였다. 고분자 네트워크는 탄성체, 열경화성 수지, 하이드로젤 등 고분자 고체 재료의 중요한 분야를 담당하며, 최근 고전적 공유결합 기반 네트워크에서 고분자 사이에 존재하는 가역적 상호작용을 이용하는 동적 네트워크의 합성과 특성결정, 응용으로 확장되어 왔다. 본 심포지엄을 통해 고분자 네트워크의 합성, 특성결정, 응용에 대한 발표와 토론을 통하여 관련 연구의 잠재력과 발전 방향에 대한 의견을 서로 교류할 수 있는 시간이 될 것이다.

| 심포지엄 2 |

중견 고분자화학 연구자 심포지엄

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

| 심포지엄 3 |

고분자 합성 연구의 최신 동향

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

| 구두발표 |

젊은 고분자화학 과학자를 위한 구두발표

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

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

무기화학분과회

| 심포지엄 1 |

초분자 및 무기 화학의 현재와 미래

본 심포지엄은 초분자 및 무기화학 분야 발전에 큰 공헌을 한 김기문 교수의 정년 퇴임을 기념하기 위해 조직되었다. 국내외 우수한 초분자 및 무기화학자의 발표 및 토론을 통하여 미래 연구방향을 모색하고 연구자 간 아이디어를 교환하는 자리를 마련하고자 한다.

| 심포지엄 2 |

유기금속소재화학의 최신 연구동향

최근 유기금속 기반의 소재들이 다양한 산업 분야에서 혁신적인 기술을 선도하는데 필수적으로 활용되고 있다. 결국, 유기금속소재화학은 현재 우리가 직면한 여러가지 문제의 해결책에 대한 근거를 제시한다. 본 심포지엄에서는 유기금속 소재를 다루는 우수 연구자들의 최신 연구 결과를 공유하고 문제 해결을 위한 새로운 응용 연구의 방향을 모색하고자 한다.

| 심포지엄 3 |

2D 무기 소재의 최신 연구동향

2D 소재는 벌크 소재에 비해 개별 원자 층이 갖는 매력적인 특성으로 인해 많은 관심을 받아왔다. 특히, 2D 소재는 물리적, 전기적, 및 화학적 변형에 취약한 극한 표면으로 인해 화학, 재료 과학, 생물학, 및 응집 물질 물리학의 새로운 현상을 연구할 수 있는 훌륭한 플랫폼으로 사용되고 있다. 본 심포지엄에서는 2D 소재의 새로운 합성법과 함께 이를 활용한 최근 응용연구의 진전에 초점을 맞추고자 한다.

| 구두발표 |

젊은 무기화학자를 위한 구두발표

본 세션은 젊은 무기화학자들의 연구를 촉진하고, 무기화학 분야의 최신 동향을 공유하여 공동 연구에 대한 다양한 의견을 나누기 위한 자리이다. 국내외에서 인정받는 신임무기화학 연구자 뿐만 아니라 박사

과정 학생 및 박사 후 연구원들의 최신 연구 성과를 적극적으로 공유하는 것을 장려하며, 이를 통해 무기화학 분야의 발전을 이끌어 나갈 차세대 리더들이 함께 성장할 수 있기를 기대한다.

물리화학분과회

| 심포지엄 1 |

생명물리화학 연구의 최신 동향

생명과학이 방대한 데이터를 지속적으로 축적하고 정량적 체계적 이해를 향한 패러다임 전환을 거치면서, 생명체라는 복잡계를 다루는 물리화학의 중요성이 대두되고 있다. 본 심포지엄은 비선형성, 비평형성, 무작위성을 지닌 복잡계인 생명체를 다루기 위한 이론적 전산모사적 접근을 소개한다. 또한 수많은 분자로 이루어진 생명체로부터 유의미한 정량적 데이터를 획득하기 위한 다양한 최신 실험 기법들을 소개하려 한다. 이론과 실험을 아우르는 다양한 물리화학적 연구를 소개하여 생명에 대한 체계적 이해를 넓히는 장을 마련하고자 한다.

| 심포지엄 2 |

에너지 및 배터리 응용을 위한 물리화학의 최신 연구 동향

본 심포지엄에서는 물리화학적 접근을 통하여 에너지 및 배터리 과학을 이해하고, 새로운 소재를 개발하는 최신 연구 동향을 소개하고자 한다. 환경 문제와 자원 고갈을 극복하기 위해 친환경의 경제적인 에너지 자원 및 전환 소재에 대한 관심이 계속 증가하고 있다. 물리화학은 분광학적인 분석 기술과 소재의 물성 변화, 그리고 이론적인 소재 전산 모사 등을 통해 에너지 및 배터리 소재를 개발하는 데에 각각적인 접근을 제시할 수 있다. 본 심포지엄은 이러한 에너지 및 배터리 응용에 초점을 두어 최신 연구 동향에서 이루어지고 있는 물리화학적 접근을 소개하고, 이를 통해 미래의 연구 방향을 예측할 수 있는 교류의 장을 제공할 수 있을 것이다.

| 구두발표 1,2 |

선도 및 차세대 물리화학자 구두발표 I, II

이 포럼은 이론 및 실험 물리화학 전 분야의 선도연구자와 차세대 물리화학 연구자의 혼합형 발표를 추구한다. 이를 통해 최신 물리화학 분야 연구 동향을 공유하고, 물리화학자와 박사과정 학생 및 박사 후 연구원 등 차세대 물리화학 연구자의 교류를 활성화하고, 물리화학자와 학생 연구원 간의 연속된 발표를 통해, 학생 연구원들의 발표 능력 배양에 기여하고자 한다.

분석화학분과회

| 심포지엄 1 |

NMR을 기반의 분석화학 최신 연구동향

핵 자기공명 분광법(NMR)은 제약, 바이오, 소재에 이르기까지 그 활용분야가 지속적으로 증가하고 있다. 본 심포지엄에서는 NMR을 기반으로 하는 분석화학 연구의 최신 동향을 공유하고, NMR기반 분석화학 분야 연구자들과 타 분야 연구자들 간의 의견교류 및 다양한 토론의 장을 마련하고자 한다. 본 심포지엄을 통해 학회 참여 연구자들의 NMR기반 분석화학의 연구분야에 대한 지식의 확장과 더불어, 공동연구의 기회를 제공하고자 한다.

| 심포지엄 2 |

생분석화학의 최신 연구동향

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

| 구두발표 1, 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, 분석화학을 전공하는 대학원생에게 최근 연구 성과를 발표할 수 있는 기회를 제공하고, 이를 통해 젊은 분석화학자의 꿈을 키울 수 있도록 격려한다. 본 구두발표를 통해 분석화학의 최신 연구 동향을 파악하고, 대학원생, 신진 연구자, 중견 연구자 간 연구 교류가 활성화될 것을 기대한다.

생명화학분과회

| 심포지엄 1 |

질병세포 표적 약물전달체 연구의 최신 동향

질병 치료를 위해 많은 저분자 약물들이 개발되고 있지만, 질병세포를 제거하는 것과 동시에 정상 세포를 죽이는 심각한 부작용을 피하

기 위해서는 질병 세포 선택적인 약물전달체 연구가 필수적이다. 최근에는 질병세포 선택적 약물전달체를 이용하여 저분자 약물 및 단백질 저해제를 전달하는 것뿐만 아니라, 질병을 진단하면서, 광동력 치료, 초음파 치료, 및 면역치료를 동시에 할 수 있는 나노메디신으로서 그 응용 가능성을 확대하고 있다. 본 심포지엄에서는 질병세포 선택적인 약물전달에 대한 최신 연구 동향을 소개하고 심도 있는 논의를 진행하고자 한다.

| 심포지엄 2 |

구조생화학 연구의 최신 동향

이 심포지엄에서는 생체 내 여러 생화학 경로에 대한 구조생물학적 접근에 대한 최신 연구 결과를 소개하고자 한다. 단백질의 합성 및 분해, 막단백질 기능 및 폴딩, 신호전달 등 중요한 세포 내 현상을 이해하기 위해서는 다양한 구조생물학 기법과 생화학적인 연구들이 병행되어야 한다. 초저온 전자현미경, 단백질 결정학, 핵자기공명 분광학 등의 구조생물학 기법들로 확보되는 구조 정보들과 전통적인 생화학 또는 세포생물학 방법에 더해서 최근 새롭게 개발된 생물리학 기법들이 합쳐져야 생체 거대고분자들의 복잡한 기전들을 이해할 수 있다. 본 심포지엄에서는 여러 가지 중요한 단백질들의 구조생물학적 연구 결과를 알아보고 미래 연구 방향에 대한 토론의 장을 마련하고자 한다.

| 구두발표 |

젊은 생명과학자를 위한 구두발표

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

유기화학분과회

| 심포지엄 1 |

유기화학 선도연구 심포지엄

최근 유기화학은 매우 다양한 연구분야로 확장되고 있습니다. 본 심

포지엄은 국내외에서 유기화학 선도하는 연구자들을 초청하여 진행할 예정이며, 새로운 합성법의 개발, 새로운 반응성의 발굴, 그리고 선택성의 탁월한 증가를 비롯하여 전문가들의 최근 연구 결과를 공유하고 활발한 토론의 장을 제공할 것입니다. 이를 통해 향후 유기화학의 발전 방향을 예측하고 미래 연구 방향을 조명하고자 합니다.

| 심포지엄 2 |

유기화학의 최신 연구동향

현대 유기화학은 유기화합물의 효율적인 합성과 다양한 응용 분야의 개발을 핵심 목표로 삼고 있습니다. 이번 심포지엄에서는 새로운 반응성을 이용해 유기반응을 개발하여 합성할 수 있는 분자의 폭을 크게 넓힌 유기화학자들을 초청하여 유기화학자 및 관련 분야 연구자들과 함께 논의하는 자리를 마련하였습니다.

| 심포지엄 3 |

화학센서의 최신 연구동향

유기분자를 기반한 화학센서는 대사 물질, 생체 분자, 환경 독성 물질 등 다양한 물질을 효율적으로 검출할 수 있는 방법으로 질병진단, 생체 신호전달 연구, 환경모니터링 등 매우 다양한 응용분야를 가지는 유기화학에서 매우 중요한 분야 중 하나입니다. 본 심포지엄에서는 이러한 화학센서의 최신 동향에 대해, 전문가들의 활발한 발표 및 토론의 장을 마련하여, 최근의 학문적 진보 및 미래 방향을 조명하고자 합니다.

| 구두발표 |

젊은 유기화학자 구두발표

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

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.

| 심포지엄 2 |

뉴클레오사이드 및 핵산 기반의 최신 의약품 개발 동향

본 심포지엄에서는 뉴클레오사이드, 올리고뉴클레오타이드 및 핵산과 관련된 의약품 개발에 대하여 최신 연구 동향을 공유할 수 있는 자리를 마련하고자 한다. 뉴클레오사이드 기반 의약품은 50여 년간 임상에서 암 및 바이러스 질환의 치료제로 사용되어 왔으며 현재까지도 많은 신약개발사가 주목하고 있다. 또한 올리고뉴클레오타이드 및 핵산은 인산화된 뉴클레오사이드의 중합체로서 환자의 유전자 서열에 기반한 맞춤형 치료가 가능한 차세대 의약품으로 잠재력을 보이고 있다. 본 심포지엄에서는 해당 분야의 최신 연구 동향 및 아이디어 공유를 통해서 국내 의약화학 분야 연구자들의 역량 제고와 상호 연구 교류에 기여할 수 있는 자리를 마련하고자한다.

| 구두발표 |

젊은 의약화학자 구두 발표

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 |

전기화학 촉매 및 광촉매 응용을 위한 재료화학의 최신 동향

전기화학적 촉매 및 광촉매는 신재생 에너지 및 탄소중립의 실현에 필수적인 기술로써 많은 관심을 받고 있다. 본 세션에서는 수전해 기반 수소 생산, 질소 환원 반응, CO2 환원, 인공광합성 등의 다양한 응용분야들에서 활발히 연구되는 촉매소재의 최신 재료화학 연구 결과를 공유하고 이에 관련하여 많은 연구자들이 토론할 수 있는 장을 제공하고자 한다.

| 심포지엄 2 |

전자소자 응용을 위한 차세대 반도체 소재

기존 반도체 소자의 고도화에 따라 실리콘으로 대표되는 기존 반도체 소재는 구동속도 및 집적화 등에 한계에 다다를 것으로 예상되어지고 있다. 최근 이러한 기존 반도체 소재들의 한계를 극복하는 다양한 반도체 소재 및 관련 전자재료의 개발에 대한 다양한 연구가 진행되고 있다. 본 심포지엄에서는 차세대 반도체 소자의 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.

| 심포지엄 3 |

다공성 소재를 위한 재료화학의 최신 동향

넓은 비표면적 및 낮은 밀도로 대표되는 다공성 소재는 촉매 담지체, 흡착제, 생체재료, 필터, 단열제등의 다양한 분야에 응용되어져 왔으며, 그 응용분야가 갈수록 넓어지고 있다. 이러한 다공성 소재는 기존 활성탄소 및 제올라이트와 같은 산화물재료 뿐만, 최근 다공성 액체, 유무기 하이브리드 소재, 칼코겐화물, 다공성 고분자 등의 다양한 신규 소재의 개발이 재료화학 분야에서 활발이 이루어지고 있다. 본 심포지엄에서는 다공성 소재의 합성 및 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 |

에너지저장시스템을 위한 안정적인 전해질/전극 계면 연구 동향

이 심포지엄에서는 전기화학적 에너지저장시스템의 안정적이고 효율적인 구동을 위한 전해질/전극 계면 연구의 최신 발전 방향에 대해서 논의하고자 한다. 최근 다양한 종류의 전해질 개발과 메탈 음극 연구가 급속도로 발전하면서 많은 관련 연구가 다학제적, 융합적으로 진행되고 있다. 보다 효율적인 시스템 개발을 위하여 전해질/전극 계면의 구조-특성-성능 상관관계에 대한 연구는 필수적이다. 본 심포지엄은 안정한 계면 연구의 최신 동향을 주제로 아이디어 교환의 기회를 제공하고 활발한 토론을 통한 공동연구의 기회도 함께 모색하고자 한다.

| 심포지엄 2 |

기초전기화학의 최신 연구 동향

이 심포지엄에서는 기초전기화학의 최신 연구 및 발전 방향에 대해 다루고자 한다. 최근 배터리, 친환경 에너지 변환, 바이오센서와 같은 전기화학 응용 분야가 성장을 거듭하고 있으며 다학제 융합 연구를 통한 전기화학의 영향력은 더욱 확장하고 있다. 기초 전기화학의 지속적인 성장과 더불어 새로운 응용 연구 분야 개척을 위해서는 고체-액체 계면에서 발생하는 전기 이중층의 구조, 전자 전달 동역학과 같은 기초 전기화학의 깊이 있는 연구와 이해가 더욱 중요하다. 본 심포지엄은 기초전기화학 연구의 최신 동향을 주제로 아이디어 교환의 기회를 제공하고 활발한 토론을 통한 공동연구의 기회도 함께 모색하고자 한다.

| 구두발표 |

젊은 전기화학자 구두발표 세션

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

화학교육분과회

| 심포지엄 1 |

화학교육의 연구 동향

중등 및 대학 화학교육의 현황, 문제점, 발전 방안 등에 관한 발표와

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

| 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.

환경에너지분과회

| 심포지엄 1 |

해수전해 넥서스 기술

해수는 지구상에 존재하는 물 중 가장 많은 양을 차지하고 있을 뿐 아니라, 다양한 고부가가치 물질을 함유하고 있다. 해수는 다양한 방식과 경로를 통해 에너지, 연료, 자원 등을 공급하는 원천이다. 예를 들어, 해수 전해를 통한 그린수소, 탈염을 통한 담수 확보, 농도차 발전, 리튬과 같은 유가자원 회수 등은 최근 들어 가장 활발히 연구되고 있는 분야이다. 본 심포지엄은 해수 혹은 고농도염수를 활용한 다양한 환경에너지 기술들을 소개하고, 현재 직면한 난관과 이를 극복하는 전략 등에 대해 심도 있는 논의의 장을 제공하고자 한다.

| 심포지엄 2 |

페플라스틱 완전순환 기술

코로나19 이후 플라스틱 사용량이 급증하면서 플라스틱 폐기물 관리 문제가 크게 대두되고 있습니다. 따라서 이번 심포지엄에서는 플라스틱 재활용 기술의 중요성을 강조하고 팬데믹 이후 플라스틱 사

용 증가로 인한 환경 문제 악화에 대해 심도 있는 논의를 진행합니다. 이번 심포지엄에서는 물질 재활용, 화학 재활용, 열 재활용, 생물학적 재활용과 같은 혁신적인 기술을 탐구하고 이러한 방법이 환경 보호와 지속 가능한 미래를 위한 해결책으로 어떻게 효과적으로 작용할 수 있는지 논의하며, 또한 완벽한 플라스틱 재활용 루프를 구축하기 위한 최신 연구 결과와 혁신적인 재활용 기술을 소개하는 것을 목표로 합니다. 환경 보호를 촉진하고 지속 가능한 미래를 위한 길을 여는 솔루션을 찾는 데 기여하고자 합니다.

| 구두발표 |

환경에너지 일반발표

본 구두발표에서는 환경에너지화학 분야의 최신 연구동향을 살펴보고자 한다. 특히 환경화학, 지구화학, 에너지화학 및 이와 관련된 분야에서 다양한 연구를 수행하고 있는 석/박사 학생 및 연구원들의 최신 연구결과를 소개하며 이를 바탕으로 연구방법에 대한 아이디어를 얻고 최신 분석기술 및 실험기술들을 교류하고자 한다.

기회를 얻게 됩니다. 이는 학생과 신진 연구자들이 화학 연구와 경력 개발에 있어서 보다 효과적인 방향을 설정하고, 적성에 맞는 진로 방향을 모색하고 혁신적인 연구를 추진하는 데 중요한 발판이 될 것입니다.

KCS

| 심포지엄 1 |

[BKCS 심포지엄]

BKCS, 한국 기초과학의 디딤돌

BKCS 지속적인 발전을 위해, 대한민국 화학 분야에서 선도적인 역할을 수행하고 있는 화학자를 초청하여, BKCS 심포지엄을 개최하고자 한다. 이번 심포지엄을 통해 화학 분야의 학문적인 맥락, 발전 과정, 해결해야 할 과제, 최근 연구 동향, 그리고 미래의 연구 방향에 대한 전문가 전망을 다양한 화학자들과 공유하고자 한다. 많은 참여를 통해 열띤 토론과 지식의 교류가 이루어지길 기대하며, BKCS 더욱 발전할 수 있는 계기로 삼고자 한다.

| 심포지엄 2 |

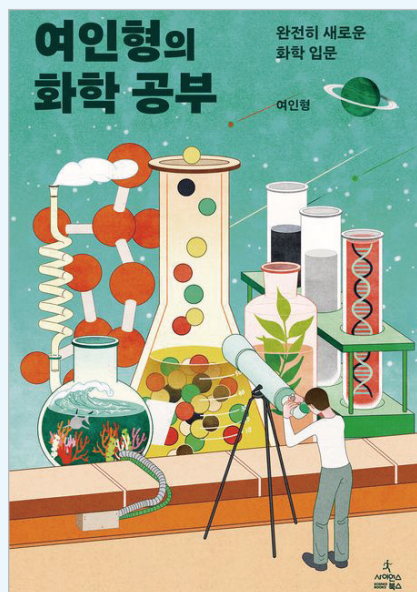
[여성위원회 특별심포지엄]

학생 및 신진연구자를 위한 멘토-멘티 간담회

본 간담회는 화학 전공 학생들과 신진 화학 연구자들이 멘토링을 통해 지도와 경험을 공유함으로써 진로에 대한 정보를 취득하고 학문적 성장을 도모하는 것을 목적으로 합니다. 참가자들은 화학 분야의 선도적인 전문가들과의 만남을 통해 전문적인 조언, 연구 아이디어, 실험 기법, 그리고 산업계, 정부출연연구소, 학계 내외의 네트워킹

여인형의 화학 공부

여인형 지음 | 사이언스북스 2023.12.15 출간 | ISBN 9791192908274



목차

머리말: 국어로 읽는 화학

주기율표

일러두기

1장 화학이란 무엇인가?

2장 자연의 알파벳

3장 주요 개념

4장 결합

5장 반응

6장 합성과 분석

7장 에너지

8장 반응 속도

9장 계산 과정

10장 미래의 화학

맺음말: '화학의 맛'을 느끼고 즐기기 위해

책 소개

『여인형의 화학 공부』는 공기처럼 “몰라도 살 수는 있지만, 없으면 삶이 불가능한” 이 학문의 재미를 더 많은 이와 공유하기 위해, 평생을 화학을 가르치며 보낸 여인형 교수가 대중과 소통하며 구축한 공부 비법과 노하우를 한 권에 담아낸 ‘미래의 화학 교과서’다.

그가 화학을 알리고 가르친 30여 년의 내공이 담긴 이 책은, 화학 공부의 문턱을 최대한 낮추기 위해 내용과 순서도 기존의 화학 교양서와는 전혀 다른 형식과 아이디어로 구성되어 있다. “왜 모든 길은 화학으로 통하며, 화학을 배워야만 하는지” 설명하는 1장 「화학이란 무엇인가?」, 우주 만물의 기본이 되는 원소 118개가 정리된 주기율표의 특징을 배우는 2장 「자연의 알파벳」, 화학을 공부하고 이해하기 위한 기본 용어와 개념에 대한 내용을 다루는 3장 「주요 개념」, 물질을 구성하는 화학 결합의 종류와 특징을 설명하는 4장 「결합」, 한 물질이 다른 물질로 변환되는 과정을 일대에서 경험할 수 있는 예들을 통해 안내하고 분류하는 5장 「반응」, 물질을 만들고, 확인하고, 이해하는 실제 사례들을 살펴보는 6장 「합성과 분석」, 화학 물질이 변할 때 반드시 함께하는 에너지 변화를 알아보는 7장 「에너지」, 화학 물질의 특성을 나타내는 반응 속도의 의미를 이해하는 8장 「반응 속도」, 화학에서 실제로 이루어지는 다양한 계산을 직접 해 보는 9장 「계산 과정」, 책을 읽는 미래의 화학자들이 도전할 무대를 정리한 10장 「미래의 화학」이 바로 그것이다.

저자 소개

여인형 : 서강대학교, 아이오와 주립 대학교에서 화학을 공부했다. 한국 에너지 연구소(현 한국 원자력 연구원)에서 연구원으로, 동국 대학교에서 교수로 일반 화학, 분석 화학, 전기 화학을 강의했고 전기 분석 방법 및 전극 물질을 연구했다. IBM 파견 및 연암 해의 연구 교수로서 IBM Almaden Research Center 및 Ames Lab. (USDOE)에서 방문 연구를 했다. 전기 화학 및 분석 화학에 대한 연구 논문 약 70편을 국제 학술지에 발표했다. 동국 대학교에서 ‘학술상’과 ‘명강의상’, 대한화학회에서 ‘전민체 화학인상’을 받았다. 학생과 일반인을 위한 화학 강좌(K-MOOC, “젊은 화학 물질과의 소통이다, 웰빙사이언스”)를 운영했다. 네이버 캐스트 ‘화학 산택’과 대한화학회 『화학세계』 등에 일반인 및 대한화학회 회원을 위한 칼럼을 연재했다. 현재는 네이버 프리미엄 채널(‘화학과 재미쌓기’)에 화학과 화학 물질에 대한 글을 올리고 있다. 그동안 발표했던 글과 일반 화학 및 분석 화학 실험에 대한 학습 및 실험 자료로 구성된 블로그를 운영하고 있으며, 전국 초·중·고등학교, 대학교, 일반인을 위한 강연으로 교육 재능 기부를 하고 있다.

>>> 운영위원회

1월 운영위원회

2024년 1월 2일, 대한화학회 사무실에서 시무식이 진행되었다. 1월 5일에는 과학기술인 신년 인사회에 이필호 회장이 참석했다. 이후 한국연구재단 자연과학단의 안태규 단장이 대한화학회를 방문하여 회장과 함께 화학회의 발전 방향에 대한 대화를 나누었다. 1월 10일에는 한국화학관련학회 연합회의 신년 교류회에 회장과 다수의 부회장들을 비롯한 운영위원들이 참석하여 타 화학관련학회 임원들과 인사와 친교의 시간을 가졌다. 1월 25일에는 ACS 중국파견 오피스 대표가 대한화학회를 방문하여 KCS-ACS Publication Summit 회의를 대한화학회 회의실에서 가졌고 이 회의를 바탕으로 4월 24일 수요일 오후에 수원컨벤션센터(SCC)에서 개최될 예정인 제133회 춘계 학술 발표회의 세션 진행을 확정했다. 또한 매년 KCS-ACS Summit을 개최하기로 결정하고, 향후 Emerging Scholar Forum 개최 및 주요 교류 사업에 대한 논의가 있었다. 학술팀은 Asian Chemical Editorial Society (ACES)가 후원하는 KCS-ACES Early Career Award 신설을 제안받아 정관세칙 수정안을 마련하기로 했다. 총무팀은 2024년 학술발표회에서 채용설명회를 개최하는 것을 제

안하고, 이에 대해 화학 관련 기업들의 참여를 요청할 계획이다. 1월 29일에는 회장, 총무팀, 학술팀이 수원컨벤션 센터를 방문하여 세션장 현황을 파악하고 분과 세션장 배정에 대해 논의하였다.

>>> 지부·분과회

무기화학분과회

- 행사명: 2024년 대한화학회 무기화학분과회 동계심포지엄
- 개최기간: 2024.2.1~2024.2.2
- 개최장소: 고려대학교 SK미래관 최중현홀
- 주최: 대한화학회 무기화학분과회
- 담당자: 윤효재(고려대학교 화학과, hyoon@korea.ac.kr)
- 참석인원: 80명
- 발표편수: 구두 발표
- 연사: 오문현 교수(연세대), 이창연 교수(인천대), 박진희 교수(DGIST), 김진영 교수(서울대), 홍승우 교수(이화여대), 서준혁 교수(GIST), 유창호 교수(UNIST), 나한아 박사(KRICT), 진경석 교수(고려대)

물리화학분과회

- 행사명: 제142차 물리화학분과 봄 심포지엄
- 개최기간: 2024.2.23
- 개최장소: 서울대학교 28동 101호
- 주최: 대한화학회 물리화학분과
- 담당자: 김남준(충북대학교 화학과, namjkim@chungbuk.ac.kr)
- 참석인원: 70명
- 발표편수: 교수 구두발표(5-8편)
- 내용: 제142차 물리화학분과 봄 심포지엄이 2월 23일 금요일 오후 1시부터 서울대학교에서 진행될 예정입니다. 이번 심포지엄에서는 새로 임용된 신진 연구자분들과 흥미로운 연구 결과를 발표한 연구자분들을 연사로 초청하여 최근 물리화학분야 연구 동향에 대한 강연을 듣고 이야기를 나누고자 합니다. 구체적인 일정과 프로그램은 분과 이메일을 통해 공지하겠습니다. 회원님들의 많은 참여 바라며 궁금하신 점은 총무간사나 아래 심포지엄 조직위원들에게 문의해 주시기 바랍니다.

*조직위원: 이남기(서울대, 총괄), 황윤정(서울대), 오주원(순천향대), 임종우(서울대) 간사



대한화학회 사무실에서 진행된 시무식 모습

대구 · 경북지부

- 행사명: 제1차 이사회
- 개최기간: 2024.2.22
- 주최: 대한화학회 대구 · 경북지부
- 후원: 대한화학회
- 담당자: 최철호(경북대학교 화학과, cchoi@knu.ac.kr)
- 참석인원: 10명
- 내용: 지부 사업계획 및 예산 심의, 이사-임원 상견례 등

의약화학분과회

- 행사명: 의약화학분과 동계워크샵
- 개최기간: 2024.2.1~2024.2.2
- 개최장소: 무주 덕유산 리조트
- 주최: 대한화학회 의약화학분과
- 담당자: 김병선(경상국립대학교 화학과, bkim@gnu.ac.kr)
- 참석인원: 100명
- 내용: 의약화학분야 최신 연구동향 파악 및 분과 회원 교류

전기화학분과회

- 행사명: 대한화학회 전기화학분과/한국전기화학회 물리전기분과 동계 합동 심포지엄
- 개최기간: 2024.2.15~2024.2.16
- 개최장소: 경기도 수원시 영통구 광교로 145, 서울대학교 융합과학기술대학원(수원 캠퍼스)
- 주최: 대한화학회 전기화학분과, 한국전기화학회 물리전기분과
- 담당자: 박준희(충북대학교 화학과, JHP@cbnu.ac.kr)
- 참석인원: 100명
- 발표편수: 초청연사 발표, 포스터 발표(50편 내외)
- 연사: 최원호 교수(전남대), 김자영 교수(연세대), 오정욱 교수(한국외대), 주상훈 교수(서울대)
- 좌장: 한동훈 교수(가톨릭대), 임종우 교수(서울대)

유기화학분과회

- 행사명: 제43회 유기화학 심포지엄 및 정기총회
- 개최기간: 2024.2.15~2024.2.16
- 개최장소: 한국화학연구원 대전본원
- 주최: 유기화학분과회
- 담당자: 홍석원(GIST 화학과, shong@gist.ac.kr)
- 참석인원: 150명

- 발표편수: 교수 구두발표 8편
- 내용: 1. 연구자 발표 및 토론
정규성 교수(연세대), 이정효 교수(한양대), 이수민 교수(건국대), 유성현 교수(전남대), 김진우 교수(충남대), 최경민 박사(KRICT), 김유영 박사(KRICT)
- 2. 제12회 유기화학 학술상 시상 및 기념 강연
- 수상자: 한민수(GIST)
- 3. 정기총회

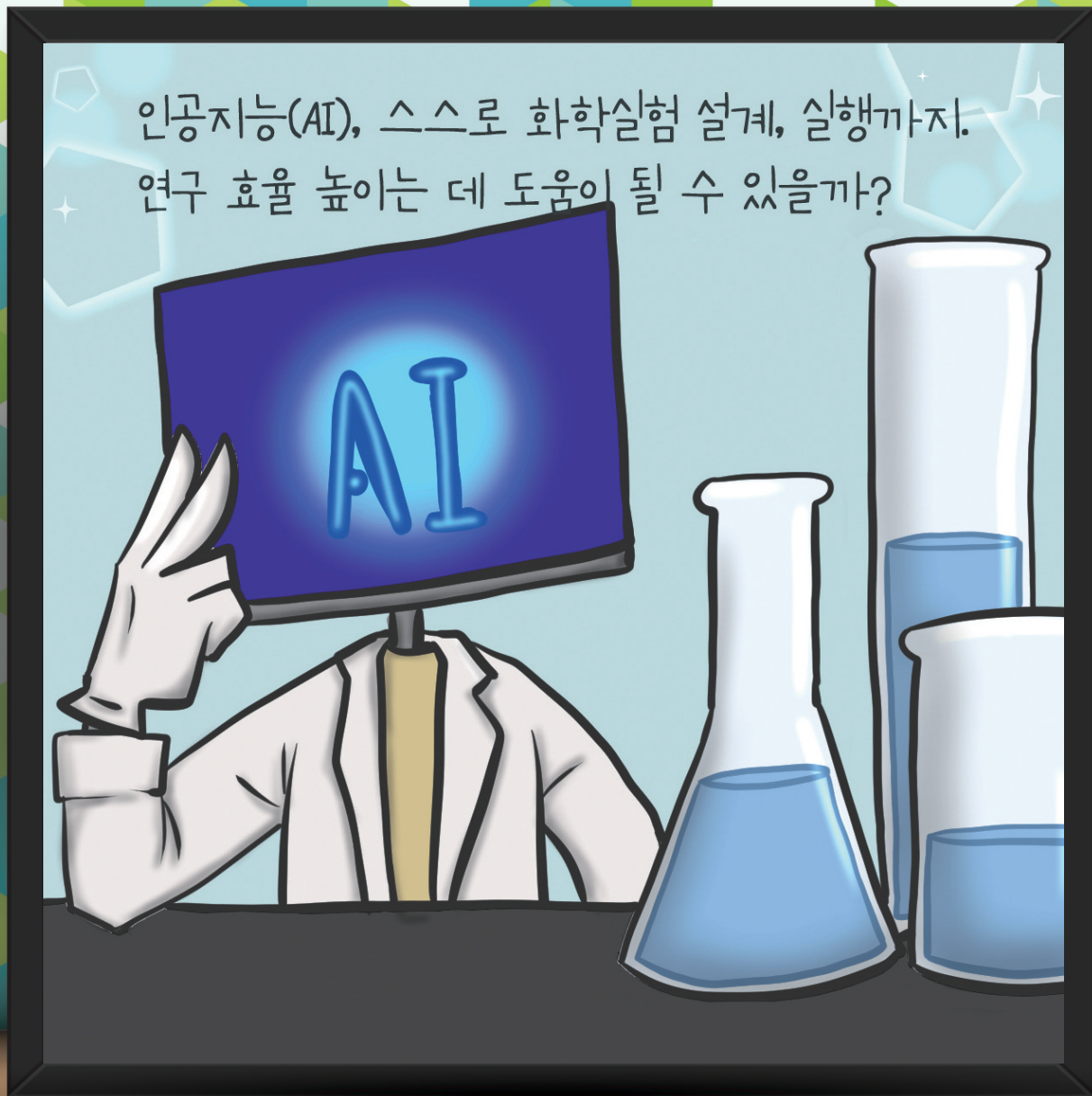
재료화학분과회

- 행사명: 2024년 대한화학회 재료화학분과회 동계심포지엄
- 개최기간: 2024.2.2
- 개최장소: 서울대학교 호암교수회관 목련관
- 주최: 대한화학회 재료화학분과회
- 담당자: 정인(서울대학교 화학부, inchung@snu.ac.kr)
- 참석인원: 70명
- 내용: 재료화학분야 최신 연구동향 파악 및 분과 회원 교류
PI급 참석(학생 참여 없음)

>>> 부 고

2024.01.26	이준화(경상국립대학교 자연과학대학 학장)회원	별세
2024.01.23	김두리(한양대학교 화학과)회원	시부상
2024.01.23	박택규(건국대학교 화학과 명예교수)회원	별세
2024.01.19	임재민(창원대학교 화학과)회원	빙부상
2024.01.19	김영독(성균관대학교 화학과)회원	빙모상
2024.01.18	류재정(경북대학교 화학교육학과)회원	모친상
2024.01.17	강인남(가톨릭대학교 화학과)회원	빙부상
2024.01.16	강용철(부경대학교 화학과)회원	모친상
2024.01.06	백행남(전 한국화학연구원 책임 연구원)회원	별세
2024.01.05	채영기(세종대학교 화학과)회원	빙부상
2024.01.04	강철훈(전 경희대학교 동서의학대학원)회원	빙모상
2024.01.04	전무진(연세대학교 화학과 명예교수)회원	별세
2024.01.02	홍종인(서울대학교 화학부)회원	빙부상

인공지능(AI), 스스로 화학실험 설계, 실행까지.
연구 효율 높이는 데 도움이 될 수 있을까?



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

제133회(춘계)	2024.4.24(수)~26(금)	수원컨벤션센터(광고)
제134회(추계)	2024.10.16(수)~18(금)	엑스코(대구)

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(1.05×0.55×0.75m, 가로×세로×높이) 1개, 의자 2개, 테이블보 1장, 사각테이블(1.8×0.8×0.75m, 가로×세로×높이) 1개, 조명등 3개, 콘센트 1개(2구), 전력 1kw(220v 단상)
- ※ 독립부스의 경우, 전력 1kw와 콘센트 1개만 제공되며, 다른 기본 제공물은 제공되지 않습니다.
- 별도 제공물(업체 실비 부담)
 - LAN이용료, 추가 전력, 추가 의자, 추가 테이블 및 기타 비품(익스텐션, 변압기 등)

4. 참가 신청 방법

신청 방법	① 대한화학회 홈페이지(www.kcsnet.or.kr) 접속 ② (하단) 광고 → 기기전시회 선택 ③ '참가신청' 에서 참가신청서를 작성 후, '입력' 클릭 ※ 학회에 별도로 신청서를 제출하지 않으셔도 됩니다. ④ 참가비 입금 후 부스 위치 선택 ※ 사전 완납하셔야 좋은 자리를 선택하실 수 있습니다. ※ 화학회에서 입금 확인 후 부스 위치 선택 가능
신청 마감	• 춘계 : 2024. 1. 10~3. 15 *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(070-8670-1484, mykim@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	출수연도 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		
		Sigma-Aldrich 화학자상	매년 추계	2인	서울, 지방소재 각1인 각 300만원		
		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 '헵스켄 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.

2024년도 본회 회비 및 각종 간행물의 구독료는 다음과 같습니다.

(단위: 원)

구분	종신회원	정회원	교육회원	학생회원
회원기간	2024.1.1~2024.12.31			
연회비	1,400,000 (가입 당시 정회원 연회비의 20년치)	70,000	50,000	50,000
회지 · BKCS	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.



IRSpirit™, Ready to Run

S/N ratio 37,000 : 1의 초소형 FT-IR



Note:
Consumables are excluded. There is an additional work fee for replacing parts.

IRSpirit-X

FOURIER TRANSFORM INFRARED SPECTROPHOTOMETER

주요 부품의 10년 warranty를 제공!

BIONEER

Life Science Total Solution

바이오니아는

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

생명과학 분야의

Total Solution을

제공합니다.

Our Services

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

www.bioneer.co.kr



BIONEER
Innovation • Value • Discovery