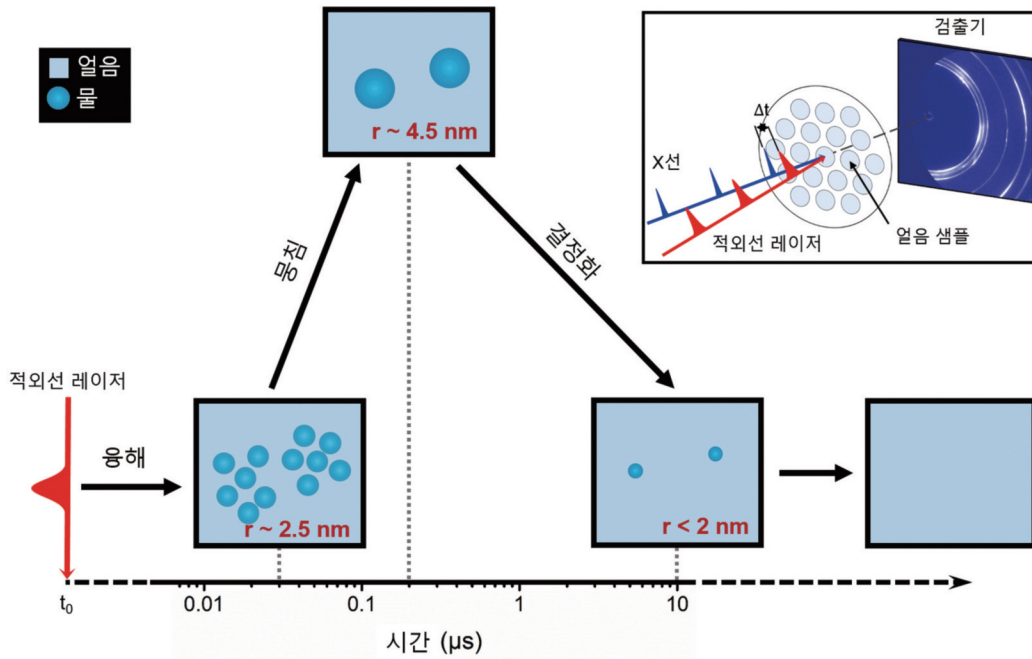


화학세계

CHEMWORLD



01
2024

<이달의 하이라이트> X선을 이용해 물과 얼음의 상 변화를 연구하는 실험 방법의 모식도, 그리고 이번 연구에서 규명된 얼음이 녹고 다시 얼어붙는 과정을 나타낸 그림.

읽기쉬운 총설

총설에 부쳐: 양자점의 현황과 미래 화학
양자점의 광학특성과 다양한 양자점 소재 개발 현황

이달의 하이라이트

펨토초 X선을 이용한 물의 특이한 성질들의 근원 연구

화학교육

논의기반 탐구(Argument Based Inquiry: ABI) 과학수업

우수선도연구기관

한양대학교 차세대유기합성연구센터(CNOS)

INTERVIEW

화학세계가 만난 화학자 | 최진호 석좌교수

한국을 빛낸 화학자

장세희 교수, 심상철 교수

“앞서가는 화학회, 공식후원사와 함께 합니다”



화장품 분야 및 OTC Drug Manufacturer 대상
Cosmetic Promotion Campaign 을
실시합니다.

Analytical Testing in Cosmetics & Personal Care Product

**화장품/퍼스널케어 제품 분석
Total Solution!**

Total Solution Application Book 확인하기 ▶



화장품 분석의 허용 한계는 매우 엄격하게 규제되어 있습니다. Shimadzu는 수년 동안 화장품 및 퍼스널 케어 제품 테스트를 위한 포괄적인 솔루션을 제공하여 화장품 품질과 안전성을 모두 입증할 수 있도록 돕고 있습니다. Shimadzu는 화장품 개발, 품질 관리, 제품 개선 및 규제 테스트에 유용한 광범위한 분석 방법을 지원합니다. 제한 또는 승인될 수 있는 제형에 대한 정확한 분석을 지원하고 색소 분석, 피부 민감성 테스트 방법 등을 제공합니다. 화장품 관련 솔루션에 대해 자세히 알아보세요!

Shimadzu의 다양한 분석 장비와 함께 화장품 연구 및 개발, 품질 관리, 제품 개선 및 규제 테스트 분야에서의 응용 분야에 대해 Shimadzu의 150년간의 분석 전문 지식을 바탕으로 소개합니다.

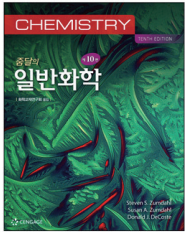


Contents



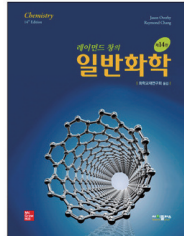
- 모듈형 액체크로마토그래프
Nexera Series
- 가스크로마토그래프
NexisGC-2030
- 가스크로마토그래프질량분석계
GCMS-TQ8050NX
- 자외선·가시광선 분광광도계
UV-1900i/2600i/2700i
- 푸리에변환형 적외선 분광광도계
IRSpirit-X series
- 원자흡수분광광도계
AA-7000/7800
- 유도결합플라즈마 분광분석기
ICPE-9820
- 유도결합플라즈마 질량분석기
ICPMS-2030/2050
- 총유기탄소분석기
TOC-L
- 시료 전처리 부터 분석까지
All in one support
- 시마즈 사이언티픽코리아 고객 지원
- 실험실 안전장비
- 화장품/퍼스널케어 제품 분석
최신 Applications

줄달의
일반화학 10판



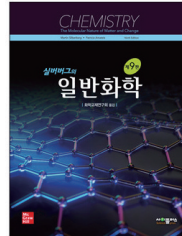
저 자: Zumdahl
판 수: 10
발 행: 2019
페 이 지: 1168
I S B N: 9788962184358

신간 레이먼드 창
일반화학 14판



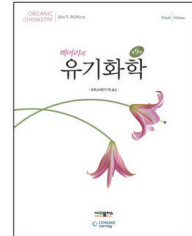
저 자: Overby, Chang
판 수: 14
발 행: 2023
페 이 지: 1080
I S B N: 9791188731343

신간 실버버그의
일반화학 9판



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

맥머리의
유기화학 9판



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

★ 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

신간 화학자를 위한
결정학



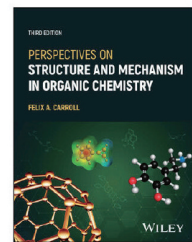
역 자: 윤우진, 윤호섭
판 수: 1
발 행 일: 2022
페 이 지: 236
I S B N: 9791188731329

Biochemistry



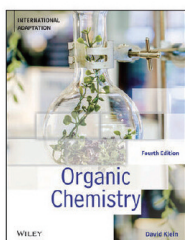
저 자: John T. Tansey
판 수: 1
발 행: 2022
페 이 지: 1008
I S B N: 9781119820802

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



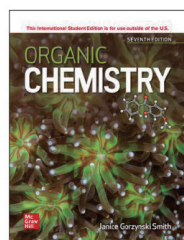
저 자: Carroll
판 수: 3
발 행: 2023
페 이 지: 864
I S B N: 9781119808619

신간 Organic Chemistry
4/e



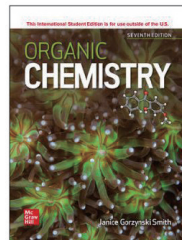
저 자: David R. Klein
판 수: 4
발 행 일: 2022
페 이 지: 1178
I S B N: 9781119820833

근간 스미스의
유기화학 7판



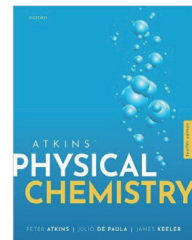
저 자: Smith
판 수: 7
발 행 일: 2024

근간 Organic Chemistry
7/e



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

근간 앳킨스의
물리화학 12판



저 자: Atkins
판 수: 12
발 행 일: 2024

경북대학교 공동실험실습관

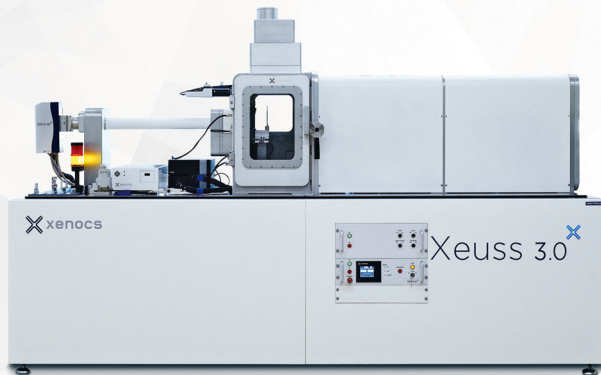
이용 안내

경북대학교 공동실험실습관에서는 첨단 연구장비(62종 127점)를 보유하고 있으며, 연구자들에게 분석 서비스를 제공하고 있습니다.

대학뿐만 아니라 산업체, 연구소 등 분석지원이 필요한 연구자들에게 분석 서비스를 지원하고 있으니 많은 이용 바랍니다.

신규 도입기기

2D 소각 / 광각 X-선 산란장치 2D Small / Wide Angle X-ray Scattering System : SAXS / WAXS



- 제조사 : Xenocs / 나노랩코리아(주)
- 모델명 : Xeuss 3.0
- 주요 규격
 - High brightness X-ray tube : 50 μ m beam size, 8 KeV Cu K α X-ray beam
 - Detector : 75 \times 75 μ m Pixel size, 1,028 \times 1,062 total number Pixel
 - Stage : Solid/powder/Gel, GiSAXS, Modular Force Stage, Temperature Stage

주요 보유기기

- 전계 방사형 주사전자 현미경 (Field Emission Scanning Electron Microscope ; FE-SEM)
- 집중 이온빔 (Focused Ion Beam ; FIB)
- 전계 방사형 전자탐침미세분석기 (Field Emission Electron Probe Micro Analyzer ; FE-EPMA)
- 전계 방사형 투과 전자현미경 (Field Emission Transmission Electron Microscope ; FE-TEM)
- X선 광전자 분광기 (X-Ray Photoelectron Spectroscopy ; XPS)
- 초고해상도 공초점 레이저 주사현미경 (Super Resolution Confocal Laser Scanning Microscope : SR-Confocal)
- 핵자기 공명분광계 (700MHz/액체) (Nuclear Magnetic Resonance Spectrometer(700MHz/Liquid) ; NMR)
- 액체 크로마토그래피 텐덤질량분석기 (Liquid Chromatography/tandem mass spectrometry ; LCMSMS)
- 가스 크로마토그래프 질량분석기 (Gas Chromatograph Mass Spectrometer ; GC-MS)
- 레이저 유도 플라즈마 분광계 (Laser Induced Breakdown Spectrometer ; LIBS)
- 레이저 어블레이션 유도결합플라즈마 질량분석기 (Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer ; LA-ICP-MS)
- 유도결합플라즈마 질량분석기 (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer ; ICP-MS)
- 원소분석기 (Elemental Analyzer ; EA)
- 단백질 안정성 분석기 (Protein Stability Analyzer ; Prometheus)



KNU 경북대학교 공동실험실습관
KYUNGPOOK NATIONAL UNIVERSITY

대구광역시 북구 대학로 80 경북대학교 공동실험실습관
Tel. 053-950-6817 Fax. 053-958-5581
<http://kpcl.knu.ac.kr>



CONTENTS

2024년 1월 광고 목차

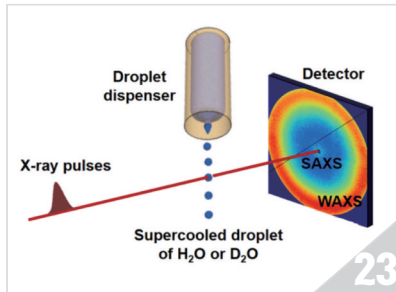
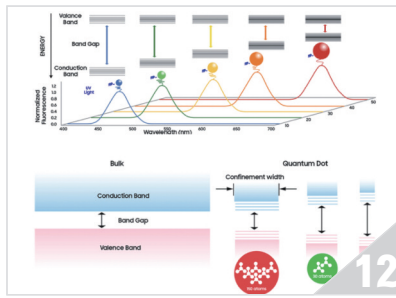
뒤표지 동우화인컴
 앞표지 안쪽 시마즈 사이언티픽 코리아
 뒤표지 안쪽 아이센스
 p.01 사이플러스
 p.02 경북대학교 공동실험실습관

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)
 문희리(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 문희리 이준석
 상임위원 김성지 김양래 동방선
 박준우 윤홍석 이영주
 이호익 장지현 정홍제
 최은영 최정모
 편 집 자 오민영



NEWS

- 04 KCS 캘린더
- 05 이달의 학회
- 06 취임사 · 제54대 대한화학회 회장 이필호
- 08 대한화학회 운영위원회 부회장
- 53 신진연구자 소개 · 심교승
- 54 신진연구자 소개 · 이성현
- 76 KCS News
- 78 2024년 대한화학회 임원명단

PAPER

- 10 총설에 부쳐 | 양자점의 현황과 미래 화학 · 김성지
- 12 읽기 쉬운 총설 | 양자점의 광학특성과 다양한 양자점 소재 개발 현황 · 방지원
- 23 이달의 하이라이트 | 펨토초 X선을 이용한 물의 특이한 성질들의 근원 연구 · 양철희, 김경환*

SPECIAL

- 34 우수선도연구기관 | 한양대학교 차세대유기합성연구센터(CNOS) · 조천구
- 40 INTERVIEW | 화학세계가 만난 화학자 · 최진호 석좌교수
- 46 KCS 하이라이트 | 전기화학적 응용 소자, 재료 및 물질 · 박영주, 박준우

EDUCATION

- 29 화학 교육 | 논의기반 탐구(Argument Based Inquiry: ABI) 과학수업 · 박지훈

COLUMN

- 55 화학칼럼 | 방향 만큼 속력도 중요한 빈대 이야기 · 장홍제
- 62 한국을 빛낸 화학자 | 故장세희(張世熹) 서울대학교 교수 · 정봉영
- 64 한국을 빛낸 화학자 | 故심상철(沈相哲) KAIST 교수 · 고희영

TREND

- 58 우리 실험실은요! | 단백질화학 연구실(Protein Chemistry Lab) · 이상원, 이준영
- 60 우리 실험실은요! | 화학/생물정보학 연구실(Chem/Bioinformatics Lab) · 한리
- 75 이달의 추천도서
- 77 화학만평 · 윤슬기

133rd GENERAL MEETING

- 66 심포지엄 및 구두발표 주제/조직책임자
- 68 연회비 및 참가비 안내
- 69 심포지엄 및 구두발표 주제 요약문

ADVERTISING & CAMPAIGN

- 05 클린 인터넷을 선언합니다
- 44 BKCS 논문 투고 시스템 안내
- 84 지면광고 안내/회비 및 구독료 안내

2024

KCS
CALENDAR



JANUARY

S	M	T	W	T	F	S
	1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27
28	29	30	31			

- **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 8일 ~ 1월 20일)

February

- 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)

March

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

April

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

May

- 한국화학올림피아드 여름학교 입교대상자 평가

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

※본 일정은 사정에 따라 변경될 수 있습니다.

CONFERENCE OF THE MONTH

2024년 1월 13일~14일

6th International Conference on Advancing Knowledge from Multidisciplinary Perspectives in Engineering & Technology

장 소 | Tokyo, Japan

안 내 | <https://consortium-et.com/upcoming-events/ampe-2024-annual-conference/>

2024년 1월 14일~17일, 19일

49th Conference on the Physics and Chemistry of Surfaces and Interfaces (PCSI-49)

장 소 | Santa Fe, USA

안 내 | <https://pcs2024.av5.org/>

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 구제적으로 밝힌 의사에 반하여 공소를 제기할 수 없다.

형법 제309조(출판물에 의한 명예훼손)

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

2024년 갑진년(甲辰年) 새해를 맞이하여 건강과 행운이 함께하기를 기원합니다



이 필 호

제54대 대한화학회 회장
강원대학교 화학과 교수

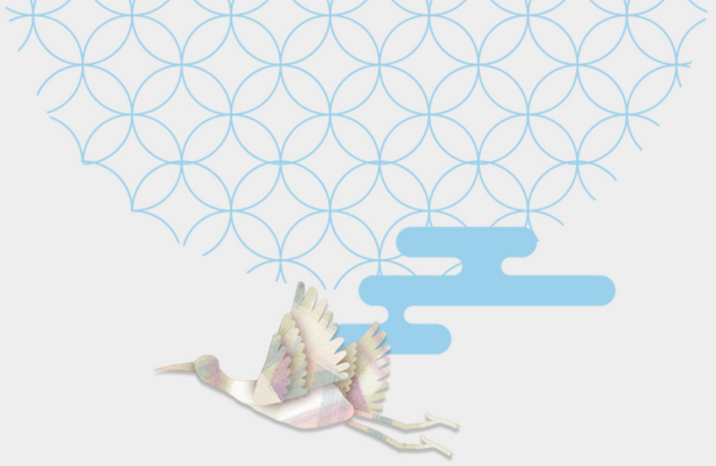
존경하는 대한화학회 회원 여러분, 희망으로 가득한 2024년 갑진년(甲辰年) 새해를 맞이하여 회원분들의 가정과 직장에 건강과 행운이 함께하기를 기원합니다. 지난 한 해 교육, 연구 및 산업 현장에서 크고 작은 어려움을 극복하고 다시 한번 도전하는 용기와 열정을 보여주신 모든 회원분께 감사와 존경의 인사를 드립니다. 코로나 팬데믹 이후 어려운 여건에서도 지난 2년간 학회를 잘 이끌어 주신 전임 신석민 회장과 성재영 총무부회장을 비롯한 학회 운영진 모든 분께 깊은 감사를 드립니다. 여러 면에서 부족한 저에게 역사와 전통을 자랑하는 학회의 회장으로 봉사할 기회를 주신 선배, 동료, 후배 회원 여러분께 다시 한번 진심으로 감사를 드립니다. 학회장의 무거운 책무를 지고 운영진과 함께 미래를 준비하고 선도하는 대한화학회, 화합해서 모두가 참여하는 대한화학회, 전통을 계승하고 성장하는 대한화학회가 되도록 임기 중 최선의 노력을 다하겠습니다.

2024년 대한화학회 회원들의 전문성과 참여를 바탕으로 화학회를 다음과 같이 운영하겠습니다.

첫째로, 모든 회원이 참여하고 소통·화합하는 대한화학회를 만들겠습니다. 이를 위해 대한화학회 총회, 이사회 및 평의원회를 내실 있게 운영함은 물론 분과회장단과 지부장 회의를 활성화하여 화학 분야의 당면 문제와 현안들을 청취하고, 의견 수렴 과정을 거쳐 학회 발전과 성장의 실마리를 찾겠습니다. 회원들의 참여를 끌어낼 수 있는 적극적인 소통으로 화학의 저변을 확대해 열린 대한화학회가 될 수 있도록 만들어 나가겠습니다.

둘째로, 화학이 중요 학문으로서의 위치를 찾기 위한 대외적 활동과 홍보를 적극적으로 펼쳐나가겠습니다. 지난 132회 대한화학회 총회에서 '화학 대중화위원회' 설치를 인준받았으며 이를 통해 청소년들은 물론 국민들을 대상으로 화학의 중요성을 지속적으로 홍보해 나가겠습니다. '올해의 분자(Molecule of the Year)'와 '올해의 10대 화학뉴스'를 선정하여 화학 대중화와 홍보에 활용하겠습니다.

셋째로, 2020년부터 대한화학회가 역점 사업으로 추진해 오고 있는 『BKCS』의 국제적 위상을 높이기 위해 남원우 편집장을 비롯한 편집진과 최선의 노력을 기울이겠습니다. 또한, 대한화학회의 국제적 위상을 높이기 위해 선진 학술 강국과의 학술 교류 협정, 공동 심포지엄 및 세계적 학술회의 유치 등 다양한 교류 활동을 추진하겠습니다. 특히, 2023년 10월 25일 미국 화학회와 MOU를 체결하였고 이를 바탕으로 ACS-KCS Publication Summit와 ACS-KCS Young Chemist Summit를 대한화학회 학술발표회에서 개최하여 대한민국 화학의 우수성을 알리고 ACS가 발행하는 학술잡지의 편집진에 대한화학회 회원의 참여와 역할을 증대시키고자 합니다. 분과회나 지부에서 주관하는 각종 학술행사를 적극 지원하고, 이를 유기적으로 연결해 화학회를 더욱 활성화하겠습니다.

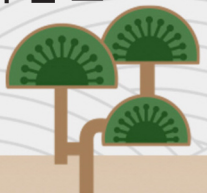


넷째로, 인구 감소에 대비하고 화학교육을 강화하는 대한화학회를 만들겠습니다. 향후, 인구감소로 인한 회원 감소가 예상됨으로 이를 미리 대비하여 지속 가능한 대한화학회를 만들기 위해 다양한 방안들을 강구하겠습니다. 학생회원을 대학 원생회원과 학생회원으로 구분한 후 대학교 화학과 학부생, 영재고 및 과학고 학생들의 회원 가입을 적극 권장함은 물론 유익한 정보를 제공하여 회원으로 유도하겠습니다. 학부생들을 조기에 대한화학회 회원으로 유도하여 소속감을 심어주고 나아가 화학에 대한 관심도를 높이도록 하겠습니다. 또한, 사회로 진출한 대학원 졸업생들이 대한화학회에 재가입하는 프로그램을 운영하며 현재 20개에 불과한 단체회원의 가입을 적극 유도하겠습니다. 대한화학회의 지속적인 발전을 위해서는 미래 화학을 책임질 전문인력 양성이 매우 중요합니다. 이에 대한화학회를 중심으로 학생들이 화학의 중요성을 인식할 수 있는 프로그램을 개발해 나가는 것은 물론, 화학 교육위원회를 중심으로 초·중·고와 대학의 화학교육에 대한 연계성을 강화하고, 교사 및 학생들에게 친근한 화학회로 다가가 자라나는 세대가 화학에서 꿈을 키울 수 있게 하겠습니다. 지난 2년간 성황리에 개최된 중·고등학생 대상 특강을 더 내실 있게 운영함은 물론 미래 화학자 연구 발표회에 참가한 학생들이 학회 프로그램에 더 많은 관심으로 가지도록 노력하겠습니다.

다섯째로, 대한화학회 창립 100주년을 준비하겠습니다. 1946년에 창립한 국내에서 가장 오래된 학술단체인 대한화학회의 역사를 체계적으로 기록하는 작업을 시작하겠습니다. 2020년 유기화학분과 회장으로서 편찬한 ‘대한민국을 빛낸 유기화학자’와 같은 기록물들을 각 분과에서 출판할 수 있도록 장려하였고 화학세계에 소개하겠습니다. 특히, 화학회에 많은 기여를 하셨던 선배님들의 업적과 기록물을 체계적으로 정리, 출판하여 화학회의 역사와 전통을 계승하고 발전시키겠습니다. 이제는 발간을 중단한 화학세계 인력 총람을 홈페이지에 게재하여 대한화학회에 기여하셨던 모든 분의 업적을 남기도록 하겠습니다. 2024년 5월부터는 화학세계의 지면 발행을 중단하고 온라인과 pdf로 제공할 예정입니다. 지난 수십 년간 대한화학회에서 발행한 많은 출판물을 pdf로 제공할 수 있는 시스템을 구축하겠습니다. 이외에도 ‘과학기술정책위원회’를 조직하여 회원들의 의견을 모아 정부 정책에 효과적으로 대응하겠습니다. 2024년 과학기술계 연구비 예산 감축으로 학회 운영에 많은 어려움이 예상됩니다. 공식 후원사 및 협력 기업들을 더 발굴하고 기기 전시회 등을 더 활성화하여 대한화학회의 재정 건정성을 확보하도록 노력하겠습니다.

2024년 갑진년 대한화학회의 약속을 실현하기 위해서는 회원분들의 지속적인 관심과 적극적인 참여가 필요합니다. 서로에 대한 믿음, 그리고 미래에 대한 희망을 품고 함께 힘차게 나아갑시다. 감사합니다.

제54대 대한화학회 회장 **이 필 호**



대한화학회
운영위원회 부회장

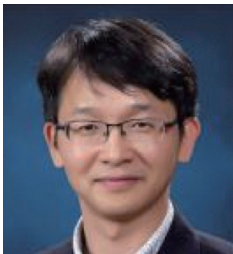


오한빈 총무부회장

· 서강대학교 화학과

오한빈 교수는 서울대 화학과에서 학부를 1993년 졸업하고, 캐나다 University of Toronto에서 2001년 박사학위를 취득하였다. 미국 코넬대학교에서 박사 후 연구원으로 근무한 후, 2003년에 서강대 화학과에 부임하였다. 질량분석학, 인공지능을 활용한 분석, 화학 분석 로봇 제작, 적외선 다광자 분광학, QSAR 등에 관한 연구를 수행하고 있다. 한국 질량분석학회 학술상(2015), 대한화학회 물리화학분과 김명수 학술상(2017), 분석화학분과 학술상(2019)을 수상하였고, 질량분석학회 총무이사(2014-2015), 한국단백질학회 총무간사(2016-2017), 대한화학회 분석화학분과 총무간사(2018), 물리화학분과 총무간사(2020), 『Mass Spectrometry Letters』 편집장(2018-2019) 역임하였고, 현재 『Journal of the Korean Chemical Society』 편집위원장을 맡고 있다.

주소 서울시 마포구 백범로 35, 서강대학교 화학과, 리치과학관 309호 홈페이지 <https://sc.sogang.ac.kr/hanbinoh/2164.html>
연락처 02-3273-1647 이메일 hanbinoh@sogang.ac.kr

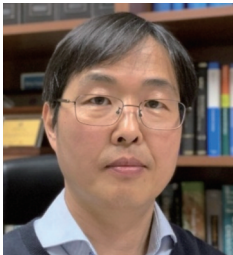


홍창섭 기획부회장

· 고려대학교 화학과

홍창섭 교수는 KAIST 화학과에서 학사(1993), 석사(1995), 박사(1999) 학위를 취득하였으며, 한국표준과학연구원(1999-2002)과 UC Berkeley(2002-2003)에서 박사 후 연구원으로 재직하다가 2003년 3월부터 고려대학교 화학과에 임용되었다. 현재 다공성 물질을 이용한 기체 흡착 및 분리, 촉매, 전도성 등의 연구를 수행하고 있다. 홍창섭 교수는 젊은 무기화학자상(2015), 무기화학분과회 우수연구상(2021), 한민정학술상(2023)을 수상하였다. 대한화학회 무기화학분과회 총무간사(2015)를 역임하였고 『Journal of the Korean Chemical Society』 상임위원(2020-현재)으로 활동하고 있다.

주소 서울시 성북구 안암로 145 고려대학교 화학과 아산이학관 322호 홈페이지 immlab.korea.ac.kr
연락처 02-3290-3138 이메일 cshong@korea.ac.kr



신승훈 학술부회장

· 한양대학교 화학과

신승훈 교수는 서울대 화학과에서 학사(1994) 및 석사(1996) 학위를 받고, 오하이오 주립대에서 유기화학으로 박사학위(2001)를 받았다. 이후 스탠포드 대학에서 박사 후 연구원(2002-2004)으로 근무한 후, 2004년 한양대 화학과에 부임하였다. 다양한 촉매반응의 개발을 통한 효율적인 유기합성법을 연구하고 있다. KCS-Wiley 젊은화학자상(2010), 유기분과회 심상철 학술상(2013), 유기합성학회 젊은과학자상(2013), HYU 학술상(2014)을 수상하였다. 대한화학회 유기분과회 총무부회장(2020), 한국합성학회 부회장(2022)을 역임하였다.

주소 서울 성동구 왕십리로 222, 한양대학교 화학과 홈페이지 <https://sites.google.com/hanyang.ac.kr/coslab/>
연락처 02-2220-0948 이메일 sshin@hanyang.ac.kr

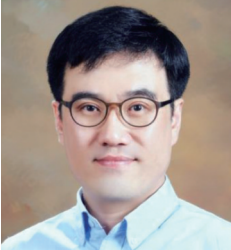


조규봉 홍보부회장

· 서강대학교 화학과

조규봉 교수는 1993년 서울대 화학교육과에서 학부를 졸업하고, 1995년에 화학과에서 생화학전공으로 석사학위를 받았다. 1995년부터 2001년까지 삼성종합기술원 분석연구실에서 연구원으로 근무하였고 이후에 University of Wisconsin-Madison에서 유전체 분석 방법 개발로 2006년 박사학위를 받았다. 2006년부터 2008년까지 University of Illinois at Urbana-Champaign에서 신경 세포 분비 펩타이드 분석 방법에 대한 연구로 박사 후 연구원을 지냈으며 2008년부터 서강대학교 화학과 및 바이오융합 과정의 교수로 재직하고 있다. 연구분야로 미세 유체 장치와 형광 및 전자 현미경을 이용한 새로운 유전체 분석 방법 개발을 수행하고 있다. 2021년에는 우수 강의로 Faculty Member of the Year로 선정되었다. 교외 활동으로는 2019년 한국바이오협회에서 학술위원장을 역임하였고 2020년 공로상을 수상하였으며 2014년부터 현재까지 임원으로 활동하고 있다. 대한화학회에서는 2015년 국제협력 실무이사를 역임하였다.

주소 서울시 마포구 백범로 35, 서강대학교 화학과 홈페이지 singlecell.sogang.ac.kr
연락처 02-705-8881 이메일 jokyubong@sogang.ac.kr



박진균 국제협력부회장
• 부산대학교 화학과

박진균 교수는 서울대 화학교육과(1996)를 졸업한 이후 같은 대학교 화학과에서 석사학위(1998) 및 박사학위(2003)를 취득하였다. LG화학 기술연구원(2004-2009)에서 OLED 물질 개발 연구를 수행하였으며, Florida State University에서 방문 연구원(2008년) 및 박사 후 연구원(2009-2012)으로 근무하였다. 2012년 9월 부산대학교 화학과에 부임하여 유기 화학을 가르치고 있고, 전이금속 화학, 연속흐름 화학, 전기유기 화학과 관련된 연구를 수행하고 있다. Asian Core Program에서 수여하는 Lectureship Award를 2013년(일본, 대만), 2015년(태국), 2023년(홍콩)에 각각 수상하였으며, 2018년 젊은과학자상(한국유기합성학회), 2019년 Thieme Chemistry Journals Award(Thieme), 2020년 심상철 학술상(대한화학회 유기분과)을 각각 수상하였다. 2016년에는 제7기 청암 사이언스 fellow에 선발되었다. 학회 활동으로는 한국유기합성학회 학술/조직위원(2016년)과 교육위원(2021년-현재), 대한화학회 유기분과에서 운영위원(2016)으로 활동하였다.

주소 부산시 금정구 부산대학교 63번길 2, 부산대학교 화학관 307호
연락처 051-510-2242

홈페이지 <https://pjkyoon.wixsite.com/ecor>
이메일 pjkyoon@pusan.ac.kr



이혁 산학협력부회장
• 한국화학연구원

이혁 박사는 연세대 화학과에서 학사(1994), 석사(1996), 박사(2000) 학위를 취득하였으며, UC Berkeley (2001-2002), Cornell대(2003-2004)에서 박사 후 연구원으로 근무한 후, 2004년 12월부터 한국화학연구원에 재직하고 있다. 현재 저분자 화합물을 이용한 항암제, 내성박테리아 치료제, 생촉매 등의 연구를 수행하고 있다. 이혁 박사는 국가연구개발 우수성과 100선(2019), 한국화학연구원 우수직원상(2023) 제11회 유기화학분과 학술상(2023)을 수상하였으며, 한국화학연구원 의약바이오연구본부부장(2018-2020), 파스퇴르 선임이사(2019-2022), 과학기술연합대학원대학교(2011-2018) 교수, 충남대 신약전문대학원 학연교수, 대한화학회 유기화학분과 간사(2010), 산학협력 실무이사(2016-2017) 등의 활동을 하였다.

주소 대전시 유성로 141 한국화학연구원 E1동 308호
연락처 042-860-7019

이메일 leeh@kriect.re.kr



박현주 교육부회장
• 조선대 화학교육과

박현주 교수는 세종대 화학과에서 학사(1985), 이화여자대학교 교육대학원에서 화학교육 석사(1989), University of Wisconsin-Madison에서 과학교육(화학교육)으로 박사학위(1995년)를 취득하였다. 한국연구재단의 지원을 받아 한국 교원대학교에서 박사후 연구원으로 근무한 후, 2001년부터 조선대학교 사범대학 화학교육과 교수로 재직 중이며 현재 조선대학교 부총장을 맡고 있다. 과학과 교육과정, 개념변화과학교수학습, STEAM 및 융합교육, 미래교육혁신, 사회적 과학적 이슈 탐구학습(Socio Scientific Issues Inquiry Based Learning), 실험실 안전교육, 디지털과학교과서 개발, 과학적 소양 기반 시민교육 등에 관한 연구와 사업을 수행하고 있다. 교육부 교육과정심의회 과학교과위원, 융합교육위원회 부위원장, 중앙영재교육진흥위원회 위원, 과학기술정보통신부 미래인재특별위원회 위원, 국가교육과정 개발 위원, 대한화학회 교육위원회, 화학교육 분과회장 등을 역임하였고, 대한화학회 교육진보상, 공로상, 학술진보상 등을 수상하였다.

주소 광주광역시 동구 조선대길 146, 조선대학교 사범대학 화학교육과,
사범대 3129호

연락처 062-230-7638
이메일 hjapark@chosun.ac.kr



중 설 에 부 처
**양자점의 현황과
 미래 화학**

김성지 | POSTECH 화학과,
 sungjee@postech.ac.kr

2023년 노벨 생리의학상과 노벨 물리학상이 차례대로 발표되고, 10월 4일에는 과학 분야에서 마지막 남은 노벨 화학상의 발표가 중부유럽 표준시(CET) 기준 오전 9시 30분에 예정되어 있었습니다. 그런데 공식 발표 약 3시간 전부터 올해 노벨 화학상 수상자는 양자점의 발견 및 개발에 기여한 모운지 바웬디, 루이스 브러스, 알렉세이 에크모프에게 돌아간다는 뉴스가 나왔으며, 이는 언론사의 단순 예측이 아니라 스웨덴 왕립과학원으로부터 유출되었다는 해프닝 뉴스가 있었습니다. 그리고, 이후 그 뉴스가 사실임을 알리는 수상자 공식 발표가 뒤따랐습니다. 1981년 러시아 바빌로프 국립광학연구소의 알렉세이 예키모프 박사는 금속염이 함유된 유리의 색상을 연구하다가 유리에 함

유된 염화구리 반도체 나노결정의 크기에 따라 빛과 반응하는 성질이 달라진다는 현상을 처음으로 발견하고 이를 러시아 학술회지에 발표하였습니다. 하지만 해당 논문이 러시아어로 발표되는 바람에 연구 결과가 전 세계에 널리 알려지지는 못하였습니다. 한편 비슷한 시기에 미국 벨 연구소에 근무 중이던 루이스 브러스 교수는 물 속에서 계면활성제로 둘러싸인 콜로이드 상태의 황화카드뮴 양자점을 합성하였고, 수용액에 분산된 황화카드뮴 양자점이 시간이 지날수록 크기가 커지면서 그 색깔이 달라지는 양자 효과를 발견하였습니다. 이후 브러스 교수는 양자점의 크기와 에너지 구조와의 상관관계에 대한 이론적 고찰을 발표함으로써 양자점 연구에 촉불을 켜기 시작했습니다.

벨 연구소에서 브러스 교수와 공동 연구에 참여하기도 한 바웬디 박사는 그 이후 MIT 화학과 교수가 되어 본격적으로 양자점 연구를 시작하게 됩니다. 바웬디 교수는 끓는 기름과 계면활성제를 함께 활용해 양자점을 만들어내는 혁신적인 방법을 고안하여 1993년 『미국화학회지』에 발표하였습니다. 섭씨 300도 정도의 매우 뜨거운 기름과 계면 활성제가 혼합된 용액에 양자점을 구성하는 원소가 포함된 유기 분자 전구체를 재빠르게 주입하여 양자점 씨앗물질을 만들고, 반응 온도 및 농도를 제어하면서 양자점의 균일한 결정 성장을 유도하였습니다. 물 대신 끓는점이 높은 유기 용매를 사용하여 양자점 합성 온도 범위를 확장하고 반응 전구체 후보물질을 다양화하여, 양자점 핵 형성 및 성장 반응 인자를 자유롭게 조절할 수 있게 되었고 다양한 크기의 양자점 입자를 균일하게 만들었습니다. 또한 뜨거운 용액에서 입자를 성장시켜 결정성을 향상하고 내부 결정 결함을 줄여 뛰어난 발광성을 가지는 고품질의 양자점을 만들 수 있게 되었습니다. 노벨상을 수상한 3인의 과학자 외에도 많은 연구자들이 지난 30여 년 동안 양자점의 합성법을 개량하고 그 광학적, 전기적 성질을 분석하여 양자점 화학 연구를 수행해왔습니다. 바웬디 교수의 혁신적인 양자점 합성 기술이 발표된 이후에 전 세계적으로 양자점 합성 및 분광학적 분석 연구는 기하급수적으로 늘어났으며, 특히 에너지 장벽이 큰 무기물 껍질로 양자점을 보호하는 핵/껍질 구조의 양자점 합성법이 추가로 발표되면서 양자점의 발광특성과 안정성이 눈에 띄게 향상되었습니다. 이를 통해 밝기, 색순도, 안정성이 모두 확보된 인화인듐(InP) 기반의 양자점 소재를 양산하는 기술까지 확보할 수 있게 되었고, 완벽히 분리된 청색, 녹색, 적색의 순수한 삼원색의 조합으로 자연의 색을 모두 표현할 수 있는 양자점 디스플레이가 제품으로 나오게 되었습니다. 양자점 디스플레이 시장을 선점하고 있는 우리나라 입장에서는 양자점 분야의 노벨화학상 수상이 더욱 반갑게 느껴지게 됩니다.

이번 읽기 쉬운 총설에서는 양자점의 현황과 미래에 대하여 연재하고자 합니다. 소재로서의 양자점에 대한 총설은 인천대 방지원 교수님께서 소개하는 글을 써주셨습니다. 양자점의 합

성 및 분류 그리고 일반적인 성질에 대하여 기술해주셨습니다. 현재 양자점 디스플레이는 조명, TV와 같은 일반 디스플레이는 물론이며 AR/VR 기반 초고해상도 디스플레이에도 사용되고 있으며, 레이저를 포함한 다양한 응용이 연구되고 있습니다. 이러한 양자점 디스플레이에 대한 소개는 한국전자기술연구원 오민석 박사님과 한국전자통신연구원 최수경 박사님께서 소개 해주실 예정입니다. 양자점 광검출기에 관련하여서는 단파적외선 양자점 광검출기를 위주로 한국과학기술연구원 황규원 박사님, 그리고 양자점의 밴드 내 전이와 이를 이용한 중적외선 양자점 광검출기 위주로 고려대 정광섭 교수님께서 수고해 주실 예정입니다. 양자점을 이용한 태양전지에 관하여서는 국민대 김영훈 교수님께서 소개해주시로 하셨습니다. 현재 반도체 산업은 반도체를 자유자재로 도핑하여 n형 반도체와 p형 반도체를 이용하기 때문인 것처럼, 반도체 나노입자인 양자점 또한 도핑에 의하여 여러 새로운 화학이 펼쳐집니다. 이에 관련해서는 진호 박사님께서 소개해주실 예정입니다. 양자점은 형광 센서나 영상 프로브 등 다양한 생물학적 그리고 의학적 활용이 가능합니다. 이에 대하여, 가톨릭 의대 박준혁 교수님께서 다루어 주실 예정입니다. 진행될 총설 연재를 통해 양자점의 다양한 화학에 대해 이해하실 수 있는 기회가 되기를 바랍니다. 이 외에도 양자점을 이용한 촉매 반응 그리고 양자 컴퓨터 및 양자 통신 등 더 다양한 연구분야들을 모두 다루지 못하여 아쉬운 마음 또한 있습니다.

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



김성지 Sungjee Kim

- POSTECH 화학과 학사(1991-1997)
- Department of Chemistry, MIT, Ph.D.(2003)
- Harvard Medical School, PostDoc (2003-2004)
- Department of Applied Physics, CALTECH, PostDoc(2004-2005)
- POSTECH 화학과 교수(2005-현재)

양자점의 광학특성과 다양한 양자점 소재 개발 현황

방지원 | 인천대학교 화학과, jwbang@inu.ac.kr

서론

반도체 결정의 크기가 수 나노미터 크기로 작아지면 반도체 결정 내의 전자(electron)와 정공(hole)이 강한 공간적 제약을 받는 양자 제한 효과(quantum confinement effect)가 나타나고 본래의 벌크(bulk) 무기 결정 상태에서 가지고 있는 물질의 광학적/전기적 특성이 변하게 되는데, 이러한 양자 제한 효과를 가지는 반도체 물질을 양자점(quantum dot)이라고 부른다. 1980년대 초반 미국 Bell 연구소의 Brus 그룹에서 수용액내에서 계면활성제로 안정화된 콜로이드 상태의 황화 카드뮴 양자점을 합성하고 벌크 황화 카드뮴과 이질적인 광학특성을 보이는 것을 밝혔다.¹ 이후 1993년에 MIT 대학의 Bawendi 그룹에서 고온 열분해법을 이용하여 크기 선택적으로 뛰어난 결정성을 가지는 카드뮴 계열의 II-VI족 양자점 합성 방법을 보고한² 이후에 30여년 동안 양자점 합성 및 응용 연구가 가속화되었다. 현재에는 카드뮴 계열 외에도 II-VI족, III-V족, IV-VI족, I-III-V족 등의 다양한 조성의 양자점 소재가 보고되고 있다. 다양한 조성의 양자점 소재에서 그 크기를 조절하여 광학적/전기적 성질을 변화시킬 뿐만 아니라, 양자점 모양을 조절하여 공간내에서 전하의 분포 배향 및 그에 따른 양자 제한 효과의 방향성을 제어하여 우리가 원하는 특성을 쉽게 도출할 수 있다. 또한 반도체 양자점 결정 내부에 이중 원소를 도핑하거나, 양자점 결정 표면에 새로운 양자점을 성장시킨 핵/껍질 구조와 같은 이중 양자점 구조를 이용하여 양자점의 특성을 다변화 하는 방법들이 보고되고

있다.

양자점의 독특하고 뛰어난 발광특성은 순수한 자연의 색에 가까운 빛을 발현하는 광원으로 사용되어 고 색재현 디스플레이에 적용되고 있으며, 이외에도 형광센서, 광학이득 매질, 양자정보 통신 등에 활용될 수 있을 것으로 기대하고 있으며, 넓은 파장 대역의 빛 에너지를 흡수하여 이를 다른 유용한 에너지로 전달하는 특성은 태양전지, 광검출센서, 광촉매 등에 활용하고자 하는 연구가 활발히 수행되고 있다.

본 총설에서는 양자제한 효과로 인해 나타나는 양자점의 불연속적인 에너지 구조와 띠틈(band gap) 변화 및 이에 따라 나타나는 양자점의 광학적 특성에 대해 살펴보고, 지난 30여년 동안 발전되어온 콜로이드 양자점 소재에 대해, 비등방 양자점 구조, 도핑 양자점, 이중 접합 양자점 등의 다양한 양자점의 구조 및 이들의 특성에 대해 개괄적으로 소개하고자 한다.

본론

1. 양자점의 광학성질

반도체 물질에 띠틈 이상의 에너지를 가하게 되면, 전자와 정공이 생성되고, 전자와 정공은 서로가 정전기적 인력으로 강하게 결합된 전자-정공 쌍인 엑시톤(exciton)으로 존재한다. 이때 엑시톤의 공간적 분포를 나타내는 엑시톤 보어 크기(exciton Bohr diameter)는 반도체 결정의

유전 상수와 전자와 정공의 유효질량에 의해 결정되는데 보통 수 나노미터에서 크게는 수십 나노미터의 정도의 공간을 차지한다. 무기 반도체 결정의 크기가 엑시톤 보어 크기보다 훨씬 크다면 물질의 크기 및 모양에 상관없이 엑시톤의 특성이 유지되지만, 반도체 입자의 크기가 엑시톤 크기보다 작아지게 되면, 양자역학에서 다루는 ‘상자 속 입자’ 문제와 유사하게 입자의 크기가 작아질수록 그 내부에 존재하는 엑시톤의 에너지는 결정 크기의 제곱에 반비례하고 에너지 준위가 불연속적으로 나타나는 양자 제한 효과가 발생한다(그림 1). 이처럼 양자 제한 효과에 의해 벌크 물질과는 다른 특성을 나타내는 수 나노미터 수준 크기의 반도체 재료를 양자점이라고 한다. 반도체 나노입자의 크기, 모양, 조성 등을 조절하여 양자 제한 효과를 제어할 수 있으며 이를 통해 우리가 원하는 특성의 재료를 만들 수 있다. 양자점에서 엑시톤 에너지는 빛의 흡수, 방출 파장대역과 직접적인 연관이 있으며, 양자점의 불연속적인 에너지 레벨은 전하의 움직임과 관련이 있어, 입자의 조성 뿐만 아니라 입자의 모양 및 크기를 제어하여 물질의 색깔을 비롯한 다양한 성질을 조절할 수 있게 된 것이다.

양자점은 유기 염료와 달리 넓은 대역의 빛을 흡수할 수 있으며, 띠틈(band edge) 에너지 레벨에서 전자와 정공의 공간적 겹침이 커서 동일한 조성의 벌크 무기물 물질과는 다르게 띠틈 에너지 레벨에서 강한 빛 흡수 능력을 가진다. 양자점은 띠틈 에너지 이상의 빛을 흡수하여 뜨거운 엑시톤(hot exciton)을 형성하고, 뜨거운 엑시톤은 격자 진동을 통해 피코초 이내에 띠틈 상태로 이동하여 준안정화된다. 띠틈 에너지를 가지는 엑시톤은 다시 재결합하면서 발광(luminescence)하는 광원으로 사용하거나, 엑시톤이 전자와 정공으로 분리되어 각각 전자 받개(electron acceptor) 및 전자 주개(electron donor) 물질로 전달되어 빛 에너지를 활용한 태양전지, 광센서, 광촉매 등에 활용할 수 있다.

CdSe와 같은 II-VI족 등방성 양자점의 전도띠 끝은 II족 양이온의 비어있는 s 원자 오비탈 특성과 유사하게 2개의 서로 다른 전자 스핀을 가지는 상태로 이중 축퇴화(two-fold degeneracy) 되어 있으며, 가전자띠 끝은 VI족 음이온의 채워져있는 p 원자 오비탈 중에서 전체 각 운동량(total angular momentum, j)값이 2/3인 4개의 양자 상태로 축퇴화(four-fold degeneracy) 되어 있다. 여기서 띠틈 엑

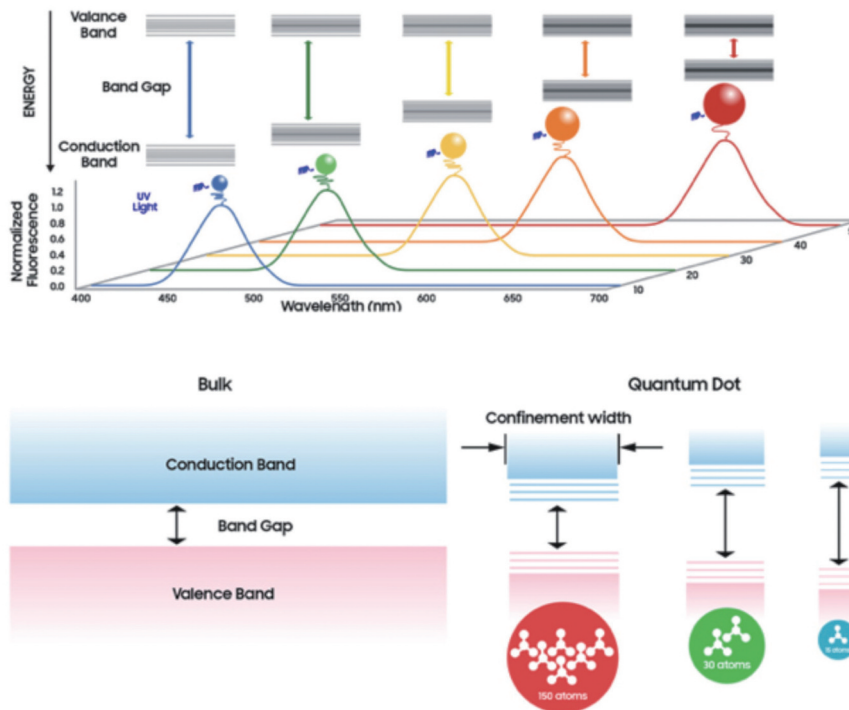


그림 1. 양자점의 크기에 따른 에너지 띠틈 변화 및 발광 파장 변화 [출처: 삼성디스플레이]

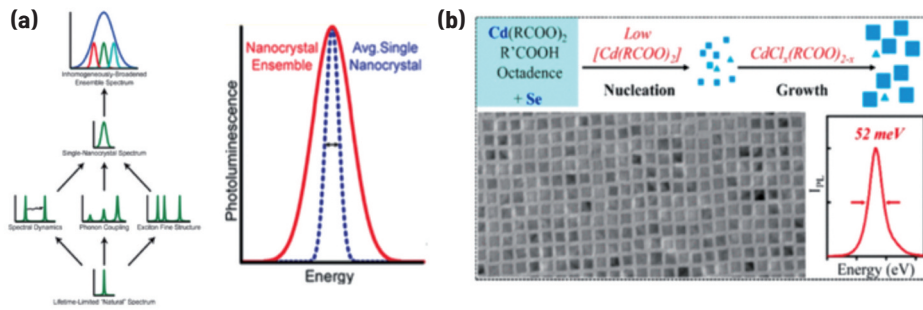


그림 2. (a) 양자점의 형광 반치폭 원인 및 단일 양자점과 앙상블 양자점의 형광 반치폭 비교.³ (b) 매우 균일한 크기로 합성한 CdSe 양자큐브의 TEM 이미지 및 형광 스펙트럼.⁴

시톤 에너지 레벨은 결정구조 및 전자와 정공의 교환 상호작용(exchange interaction)으로 미세구조 세분화(fine structure splitting)되고, 선택규칙에 위배되는 삼중항 상태(보다 정확히는 엑시톤 전체 각운동량이 ± 2 인 상태)가 단일항 상태의 엑시톤에 비해 더 안정하지만, 유기 염료와는 달리 무기물질에서는 선택규칙에 위배되는 상태와 허용되는 상태의 에너지 차이가 수~수십 meV에 불과하여 상온에서 선택 규칙에 허용되는 상태로 쉽게 열적 여기 되기 때문에 효과적으로 형광(fluorescence)신호를 발할 수 있다. 또한 띠틈 에너지 레벨의 발광 효율은 엑시톤이 다른 경로로 소멸되기 전에 재결합을 할 수 있는, 즉 엑시톤 재결합 속도가 빠를수록 높아지는데, 엑시톤이 공간적으로 강하게 속박된 양자점에서는 벌크 물질에 비해 전자와 정공의 공간적 겹침이 커서 재결합 속도가 빨라지게 되며 이에 따라 발광 효율을 높일 수 있다. 양자점의 발광은 높은 발광 효율 뿐만 아니라 유기 형광체에 비해 매우 좁은 발광 선포를 가질 수 있다. 발광 선포는 엑시톤 에너지 분포에 의해 결정되는데, 양자점의 띠틈 엑시톤 에너지는 전하의 편극 상태, 미세구조 에너지 분포, 격자 진동 등에 의해 수십 meV 정도의 편차를 보인다. 하지만 벌크 물질과는 다르게 양자점은 크기나 모양에 따라서 엑시톤 에너지가 달라지므로, 양자점 용액 또는 박막내에 존재하는 양자점의 크기 분포가 넓을수록 발광 에너지 분포가 커지게 된다.³ [그림 2a] 따라서 좁은 발광 선포를 위해서는 균일한 크기의 양자점 합성 기술이 필요하다. 그 예로 2020년 중국 Zhejiang 대학의 X. Peng 그룹에서는 콜로이드 CdSe 양자점의 성장 과정에서 표면에너지 제어를 통해 크기분포 5% 이하의 매우 균일한 나노입자를 합성하여 상온에서 52 meV의 선포

를 가지는 매우 균일한 발광에너지를 가지는 양자점 합성 결과를 보고하였다.⁴ [그림 2b]

양자점의 뛰어난 발광 효율 및 가변적이고 순수한 색 표현 특성은 디스플레이, 다중 형광 기반 진단 프로브에 활용할 수 있을 뿐만 아니라, 레이저용 광학 이득 매질로 응용될 수 있을 것으로 기대한다. II-VI족 양자점의 띠틈 상태에서 축퇴화된 2개의 에너지 레벨에 엑시톤이 모두 생성되어 밀도 반전(population inversion)이 일어난 바이엑시톤(biexciton) 상태에서는 방출되는 빛에 의해 자극 방출(stimulated emission)이 일어나 결맞는 빛이 증폭되는 광학이득 현상이 나타난다. 하지만 바이엑시톤 상태에서 하나의 엑시톤이 재결합하는 에너지가 빛으로 방출되지 않고 남아있는 엑시톤의 전자 또는 정공으로 에너지가 전이되는 오제 비복사 재결합(Auger recombination)도 빠르게 일어난다. 특히 벌크 물질과 달리 양자점에서는 전하가 좁은 공간에 모여 있기 때문에 엑시톤-전하 사이의 에너지 전달이 매우 잘 일어나게 되며, 양자점에서의 오제 재결합 속도는 부피에 반비례 하는 경향성을 보인다.⁵ 따라서 양자점의 다중 엑시톤 에너지를 광학이득 매질 등에 활용하기 위해서는 오제 재결합 속도를 늦춰 비복사 전이를 차단하고 자극 방출을 유도해야 된다. 대표적으로 본문 5절에서 설명하는 이중 접합 양자점 구조를 이용하여 전하의 분포를 제어하여 오제 재결합을 늦추는 연구가 미국 Los Alamos 국립연구소의 V. Klimov 그룹의 주도로 이루어지고 있으며,⁶ 이 그룹에서는 2023년도에는 최초로 콜로이드 양자점을 이용하여 전계발광 광학이득 소자를 구현하였다.⁷ [그림 3] 양자점의 매우 작은 크기에 기인하는 엑시톤의 강한 구속 효과 및 넓은 비표면적 특성에 의해 양자점의 빛의 흡수

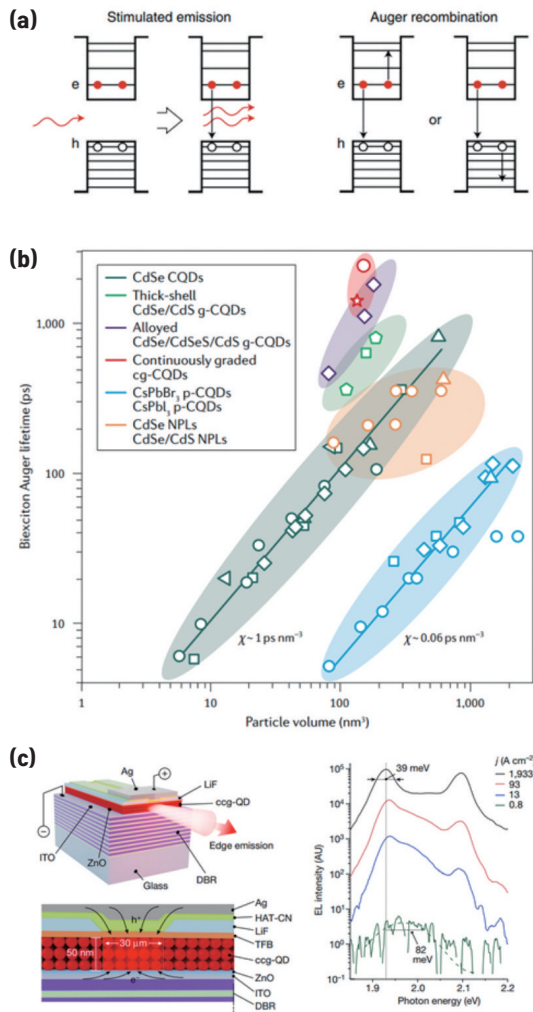


그림 3. (a) Biexciton 상태의 양자점에서의 자극방출과 오제 재결합 모식도.⁶ (b) 다양한 양자점 소재들의 x축 입자 부피와 y축 오제 재결합 속도의 상관관계.⁶ (c) CdSe기반 양자점 레이저 다이오드 구조 및 증폭된 발광.⁷

및 발광 특성은 양자점의 크기 및 조성 뿐만 아니라 양자점 표면을 둘러싸고 있는 주위 환경에 따라서도 크게 달라질 수 있다. 가령 양자점 표면을 다른 이종의 무기물질로 적층한 핵/껍질 구조의 양자점을 제조하게 되면, 기존의 핵 양자점 표면에 노출된 결함을 최소화하여 엑시톤 비복사 방출 경로를 최소화할 수 있으며 껍질 양자점의 에너지 구조를 제어하여 전자와 정공의 공간적 분포를 제어하여 양자점의 흡수 및 발광 특성 뿐만 아니라 전하 추출 특성도 조절할 수 있게 된다.

2. 콜로이드 양자점 합성

콜롬비아 대학교의 L. Brus 교수가 1983년에 수용액에서 계면활성제로 둘러싸인 콜로이드 상태의 CdS 양자점 합성법을 최초로 보고하였으나,¹ 마이셀 형태로 제조되는 초창기 양자점 합성법은 크기 조절이 어려웠으며, 합성 온도가 낮아 결정성이 좋지 못하고 결함이 많았다. 이후 1993년 MIT의 M. G. Bawendi 그룹에서는 이러한 한계를 극복하기 위해 매우 뜨거운 유기용매와 계면활성제가 혼합된 용액에 양자점을 구성하는 원소가 포함된 전구체 화합물을 재빠르게 주입하여 결정 핵을 만들고, 이후 반응 온도 및 농도를 제어하면서 양자점의 균일한 결정 성장을 유도하는 고온 주입법(hot injection)방식의 열분해 법 합성법을 보고하였다.² 이후에는 고온에서 전구체를 주입하는 방법이 아닌, 전구체 및 계면활성제 모두가 포함된 반응용기를 상온에서부터 가열하면서 임계 온도 이상에서 전구체들이 분해되면서 핵이 형성되고 성장이 일어나는 가열 승온법(heat up) 방식의 열분해 법 합성법도 보고되었다.^{8,9} 고온 주입법과 승온법 각각의 경우 모두 활성화된 전구체 물질이 과포화 상태에 이른 뒤에, 재빠르게 씨앗 물질이 형성되고(nucleation), 그 이후 확산 지배 반응의 입자 성장(diffusion controlled growth)을 유도하여 핵 형성 및 성장 반응을 용이하게 제어할 수 있어 균일한 크기 분포를 가지는 양자점을 획득할 수 있음을 이론적으로 확인하였다.⁹ [그림 4a] 즉 균일한 크기의 양자점 제조를 통해 균일한 광학적/전기적 에너지 분포를 가지는 콜로이드 양자점을 수득할 수 있게 되었으며, 또한 300 °C 정도의 고온에서 합성되는 양자점은 내부 결함이 적으며 결정성이 뛰어나 광학적/전기적 특성을 향상시킬 수 있었다. 이와 같은 열분해법 양자점 합성법은 II-VI족(CdS, CdSe, CdTe, ZnS, ZnSe, ZnTe 등), III-V족(InP, InAs, InN, GaP 등), I-III-VI족(AgIn(Ga)S, CuInS (Se) 등) 등의 다양한 화합물 반도체에 적용할 수 있고 물질의 조성에 따라 활용가능한 흡수 및 발광 파장 대역을 조절할 수 있어 자외선에서부터 적외선 영역에 이르는 넓은 범위의 빛을 선택적으로 활용할 수 있게 되었다.[그림 4c] 뿐만 아니라 양자점에 불순물 원소 또는 전하를 도핑하거나, 양자점의 모양에 변화를 주고 핵/껍질 구조를 이용하여 양자점을 데코레이션하여 광학적/전기적 특성을

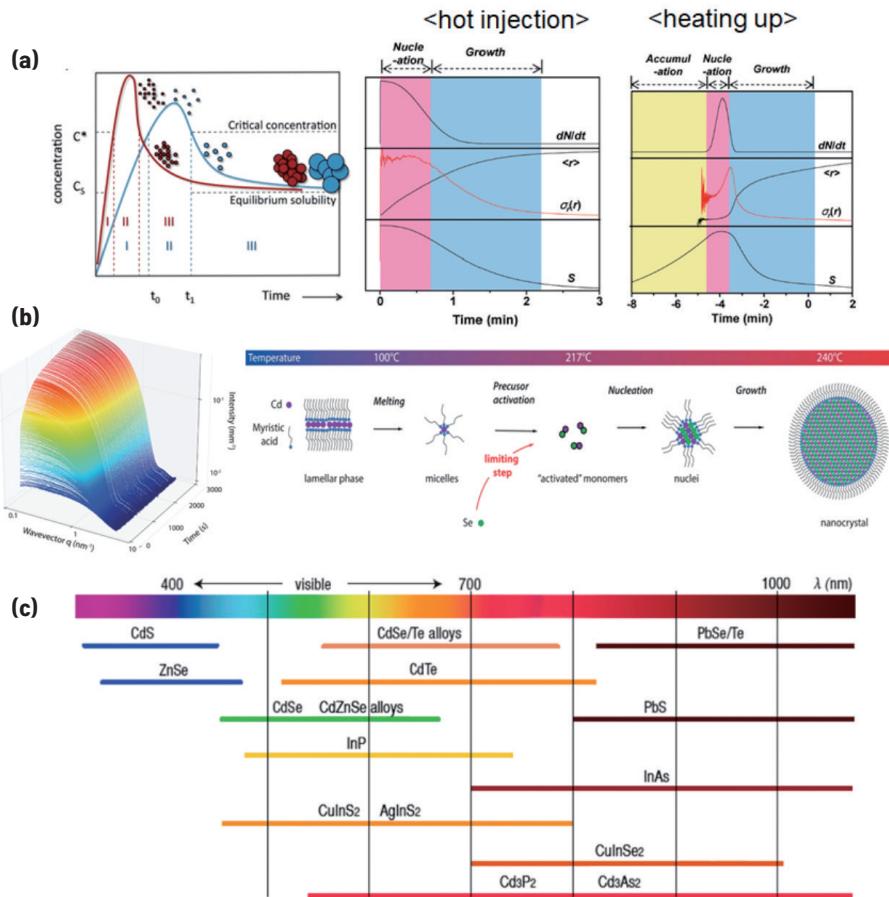


그림 4. (a) LaMer 콜로이드 입자 성장 diagram⁸과 고온열분해법 및 승온법의 양자점 합성시 반응시간에 따른 입자수 변화(dN/dt), 크기분포(σ) 및 과포화도(S).⁹ (b) 승온법의CdSe 양자점 합성 용액에서의 in-situ SAXS 그래프 및 결정형성 메커니즘.¹⁰ (c) 양자점 조성성분에 따른 발광 파장 대역.⁸

다변화 할 수 있다.

3. 도핑 양자점

벌크상태의 고유 반도체(intrinsic semiconductor) 물질에 극소량의 n형 또는 p형 원소를 주입하여 반도체 물질의 전기적 성질을 변화시킬 수 있는 것처럼 콜로이드 양자점의 결정내에 불순물 원소를 주입하여 양자점의 전기적/광학적 특성을 변화시킬 수 있다. 수 나노미터 크기의 양자점에는 단지 수백~수천개의 원자로 구성되어 있어 양자점 소재에 한 두개 정도의 불순물 원소를 주입하더라도 강한 도핑 효과를 나타낼 수 있어,¹¹ 전도띠 또는 가전자띠의 에너지 레벨에 잉여전하를 채우거나 밴드갭 내에 새로운 도펀트 에너지 레벨을 생성하여 전하의 에너지 및 움직임에

영향을 끼친다. 콜로이드 양자점을 도핑시키는 방법은 양자점 합성 과정 또는 합성된 양자점에 불순물 원소를 주입하여 양자점의 에너지 레벨 구조를 변형시키는 것과, 양자점의 전도띠 또는 가전자띠에 직접 전하를 주입하여 반도체의 특성을 조절하는 것으로 구분 지을 수 있다.

양자점에 불순물 원소를 도입하는 방법으로는 양자점 합성 반응 용기내에 불순물 원소를 함께 넣어 양자점 전구체 물질들이 핵 형성과 성장과정을 통해 양자점이 만들어 지는 과정 중에 불순물 원소가 양자점 결정내에 주입되는 nucleation and growth doping 법과, 양자점 입자가 합성 된 이후에 불순물 원소를 주입하여 양이온 교환(cation exchange) 방법으로 양자점 결정내의 양이온과 반응 용액 안의 불순물 양이온을 치환하여 도핑 하는 방법이 있다.¹² 양이온 교환 방법의 경우에는 hard-soft 산 염기 이론(HSAB theory)에

따라 결정내 양이온과 반응 용기내 존재하는 도펀트 양이온과 염기성의 리간드 물질과의 결합력 차이를 이용하여 용이하게 원하는 양이온을 서로 교환할 수 있다.[그림 5a] 이와 같은 방법을 통해 II-VI족, III-V족의 화합물 반도체 나노결정에 Mn^{2+} , Cu^+ 등과 같은 전이금속을 도핑하여 양자점의 발광파장 대역을 변조시킬 수 있다. 양자점의 넓은 대역에서의 뛰어난 빛 흡수 능력과, 구속된 공간에서의 양자점 엑시톤과 도펀트 사이의 효율적인 에너지 또는 전하이동 특성을 통해 양자점 결정과 결합된 도펀트 발광을 손쉽게 관찰할 수 있다. 이로써 양자점 소재의 발광 파장 대역을 더욱 넓힐 수 있으며, 양자점 흡수와 도펀트 발광 사이의 큰 에너지 차이를 이용하여 간섭이 최소화된 바이오 이미징 프로브 또는 태양전지의 태양광 집광기로 이용하고자 하는 연구가 수행되고 있다.¹³ [그림 5b] 한편, 양자점을 구성하는 양이온과 산화수가 다른 불순물을 도입을 통해 잉여전하를 제공하여 n형 또는 p형의 양자점 소재를 만들 수 있다. 2011년 이스라엘 Hebrew 대학의 U. Banin 그룹에서는 약 3 nm 크기의 InAs 양자점에 수개~수십개의 Ag 및 Cu 이온을 주입하였을 때, InAs 격자 사이에 끼워진 Cu 이온은 전자를 제공하여 InAs의 전도띠에 전자가 채워지며, In보다 최외각 전자의 개수가 작은 Ag 원소가 In 위치에 들어가면 가전자띠의 전자가 일부 제거되는 것을 확인하였다. 비록 수개~수십개 정도의 불순물 원소가 들어가

더라도 전도띠 또는 가전자띠까지 잉여전하가 제공된 축퇴 반도체(degenerated semiconductor) 특성을 보이며 흡수 스펙트럼의 변화를 야기하게 된다.¹¹

불순물 원소를 이용한 도핑 뿐만 아니라, 양자점에 직접 전자를 주입하여 전기적 특성을 제어할 수 있다. 양자점의 전도띠에 직접 전자를 주입하는 방법으로는 sodium biphenyl과 같은 강한 환원제를 이용하여 주입하는 방법이나,¹⁴ 양자점에 빛을 조사하여 전자와 정공을 생성시킨 다음 lithium triethylborohydride와 같은 강한 산화제를 이용하여 정공만 선택적으로 제거하여 전도띠에 전자를 남기는 방법이 있다.¹⁵ 이러한 방법으로 양자점에 전자를 주입하여 n형 특성의 양자점의 전기적/광학적 특성에 대해 분석할 수 있지만, 외부에서 주입된 전자는 산소, 수분이 존재하는 주위 환경에 의해 쉽게 제거된다는 단점이 있다. 양자점의 넓은 비표면적을 이용하여 양자점 표면을 배위하는 리간드 물질에 의해 전자 또는 정공을 양자점에 제공하여 n형 또는 p형으로 도핑할 수 있다. 예로써, lead-chalcogenide 양자점 표면에 Br^- , I^- 와 같은 할로젠 이온을 배위시켜 양자점이 n형 특성을 지니는 것을 확인하였고, 표면에 싸이올(thiol)을 포함하는 리간드를 배위시키면 p-type 특성을 나타내는 것을 확인하였다.¹⁶ 리간드에 의해 n형 또는 p형으로 도핑된 양자점 박막은 대기중에서도 안정성을 보이며 태양전지, 광센서 등의 광전자 소자에 널리 활용되고 있다.

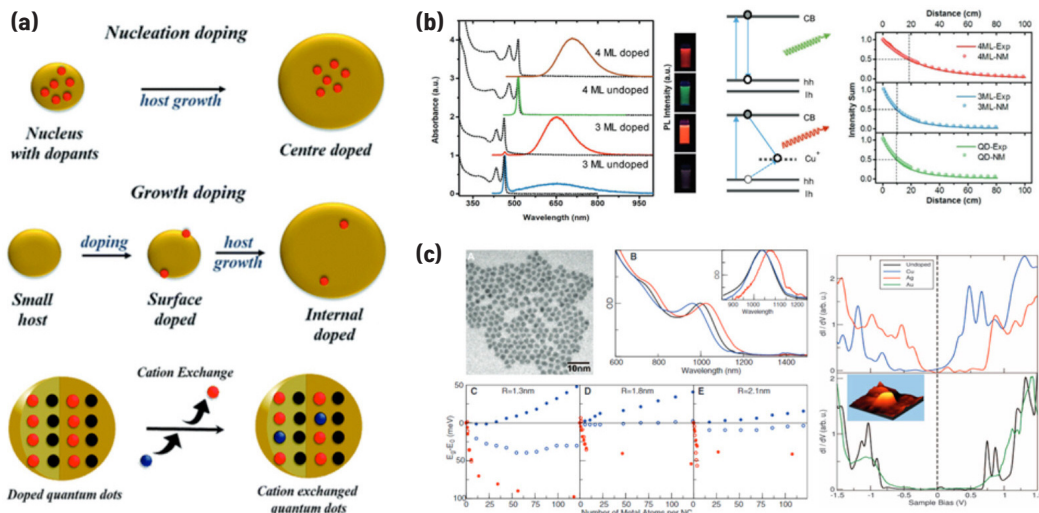


그림 5. (a) 양자점의 nucleation, growth 그리고 cation exchange doping 방법 모식도.¹² (b) Cu이온이 도핑된CdSe/CdS 양자판의 광학 스펙트럼 및 CdSe/CdS양자판(녹색)과 Cu 도핑된 CdSe/CdS 양자판(적색) 박막에서 발광신호의 전파(propagation)효율 비교.¹³ (c) InAs 양자점에 Ag(적색) 및 Cu(청색) 이온을 도핑한 뒤 흡수 스펙트럼과 엑시톤 에너지 변화 및 주사터널링 스펙트럼.¹¹

4. 비등방 형태의 양자구조체

수 나노미터 크기의 양자점 나노물질은 일반적으로 표면적을 최소화할 수 있는 구형의 형태로 성장하지만, 양자점의 성장 방향을 제어하여 구형이 아닌 다양한 형태의 구조체도 합성할 수 있다. 나노입자의 크기 뿐만 아니라 모양을 변화시킴으로써 양자점 구조에 속박된 전하의 공간적 분포를 제어하여 에너지 레벨 및 편광 발광과 같은 물질의 특성을 제어할 수 있다. 열분해법 기반의 양자점 합성 과정에서 반응온도 및 반응농도를 조절하여 양자점 결정 구조 및 결정의 성장속도를 제어하고, 표면 리간드를 통해 특정 방향으로의 성장을 유도하여 반도체 나노 입자의 모양을 조절할 수 있다. 이를 통해 구형 외에도, 1차원 구조의 막대 형태, 2차원 평면 형태의 양자판(nanoplatelet) 형태, 구형과 막대가 결합된 tetrapod 형태 등의 다양한 형태의 양자 구속 효과를 보이는 양자 구속체 입자가 보고되고 있다.

모양이 제어된 비등방 양자 구속체는 구형의 등방성 구조에서는 가지지 못하는 특이적인 광학 현상을 보인다. 등

방성의 양자점은 생성되는 엑시톤의 쌍극자의 방향이 공간 상에 균일한 확률로 분포하게 되며, 이에 따라 발광 빛은 특정한 방향성을 가지지 않고 전 방향으로 발광한다. 하지만 1차원 막대형태의 양자구조체는 엑시톤이 막대 내에서 단축 방향에 비해 약한 구속효과를 보이는 장축 방향으로 길게 배치되어 있어, 엑시톤이 재결합할 때 선형 편광 된 빛을 방출할 수 있다. 하지만 비록 단일 양자막대가 선형 편광 빛을 내더라도 양자막대 군집체에서 막대들이 자유롭게 배치되어 있으면 서로 다른 방향의 편광 빛이 혼합될 수밖에 없으며, 양자막대로 구성된 필름이나 광소자에서 편광 발광을 구현을 위해서는 양자막대를 균일한 방향으로 배향하는 기술이 필요하다. 2012년 미국 Florida 대학의 Y. Cao 그룹은 CdSe/CdS 양자막대의 표면 리간드 조절을 통해 양자막대 사이의 인력을 정밀하게 제어하여 용액상에서 양자막대가 일정한 방향으로 배향된 콜로이드 초격자(superlattice) 구조를 성공적으로 합성하였다. 마이크로 크기를 가지는 1차원 양자막대 초격자 구조는 벌크한 크기로 인해 프린팅 기법만으로도 기판위에 손쉽게 정렬이 가능하여 선형 편광

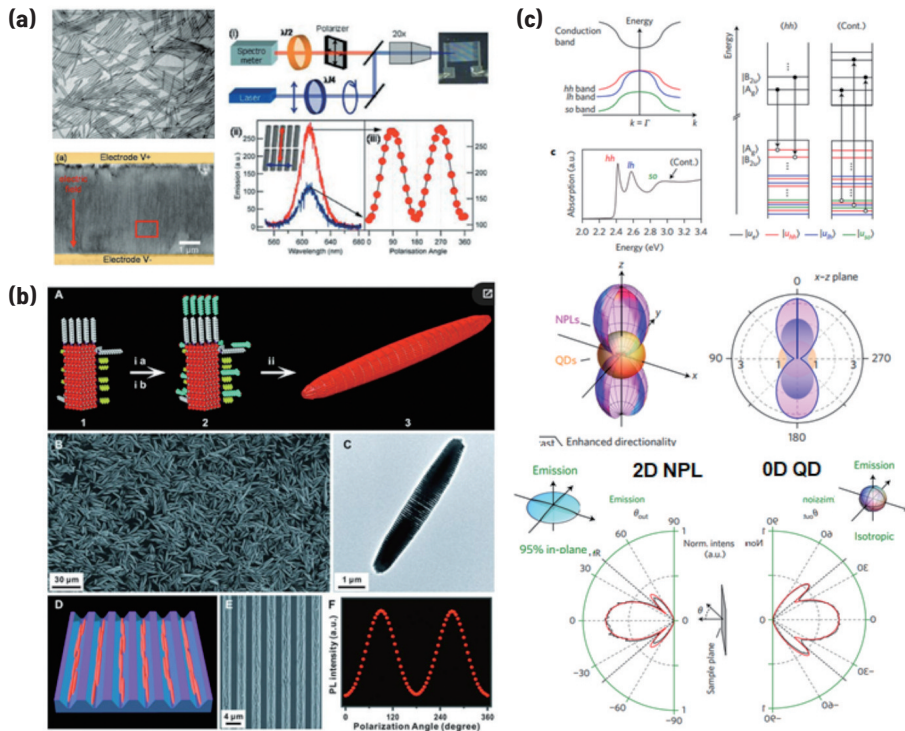


그림 6. (a) CdSe/CdS 양자막대 및 전기장을 이용해 정렬시킨 양자막대 필름의 편광발광 특성.¹⁹ (b) CdSe/CdS 양자막대를 자기조립한 마이크로 크기의 1차원 양자막대 초격자 구조 및 편광발광 특성.¹⁷ (c) 상: 2차원 양자판의 에너지 구조, 중-양자판(NPL)과 양자점(QD)의 이론적 발광 배향 특성, 하: 양자판과 양자점의 각도별 광 분포 패턴 결과.¹⁸

된 빛을 발광하는 양자막대 필름을 제조할 수 있었다.¹⁷ [그림 6a,b]

또한 평면 형태의 2 차원 양자판(nanoplatelet) 구조는 z축 두께 방향으로 이산적인(discrete) 결정 층수의 제어를 통해 두께 부분의 양자 제한 효과의 분포를 최소화하며, z 축 방향으로 강하게 구속된 입자의 형태가 가전자띠의 축퇴된 heavy 정공과 light 정공의 에너지 레벨을 분리시킨다. 이러한 특이적인 띠틈 에너지 분포는 띠틈에서의 흡광계수를 증대시키며 발광 선폴을 매우 좁게 만들어 단일 입자 수준의 발광 선폴을(~ 30 meV)을 보일 수 있다. 또한 2차원 양자판에서 나오는 발광 빛의 방향을 제어하여 광소자에서 발광 빛의 추출을 용이하게 할 수 있다. 2017년 독일 베를린 공대의 A. Achtstein 그룹은 CdSe 양자판에서 띠틈 상태의 엑시톤 쌍극자가 양자판의 x, y 평면 상에 위치하게 되며, 이에 따라 등방성의 양자점에 비해 양자판에 수직인 방향으로의 빛이 발산하는 것을 이론 및 실험결과로 확인하였다. LED 소자에서 발광면에서 수직 방향으로 발광하는 빛은 소자 내부와 공기층 경계면에 수직에 가까운 방향으로 빠져나가 전반사에 의한 손실없이 외부로 빛을 방사할 수 있어 2D 양자판을 이용하여 전계발광 소자의 광 추출 능력을 향상시킬 수 있음을 보였다.¹⁸ 이처럼 양자점의 조성 및 크기 뿐만 아니라 형태를 조절하여 양자 구조체의 활용범위를 더욱 확대할 수 있게 되었다.

5. 이종접합 양자구조체

양자점 표면에 노출된 원자는 내부의 원자와 달리 불완전 전한 배위상태(dangling bond) 가지게 되며, 이에 따라 전도띠와 가전자띠 사이에 새로운 에너지 레벨을 만들고 들뜬 전하를 트랩(trap) 할 수 있다. 표면에 트랩된 전하는 띠틈 레벨에서의 전하의 복사 재결합 또는 전하 추출을 방해하게 되어 수광/발광 소자로 활용하는데 어려움이 따른다. 양자점의 표면결함을 억제하기 위해 양자점과 격자 구조가 유사한 이종(hetero) 무기 결정체로 적층한 핵/껍질(core/shell) 구조의 이종접합 양자점 구조체를 형성하는 방법이 알려져 있다. 껍질층 구성원소가 핵 양자점의 표면원자에 결합함으로써 트랩 에너지 레벨을 제거함과 동시에 핵 양자점을 산소와 수분이 존재하는 가혹한 외부 환경으로부터 보호할 수 있다. 이때 핵과 껍질의 결정 구조와 격자 상수

가 비슷할수록 이종 접합 구조에서 핵과 껍질 사이의 인장력을 최소화하여 안정적으로 껍질 층을 적층 할 수 있다.

양자점 내부의 전하는 강한 구속효과에 의해 확률 밀도 함수가 양자점의 표면까지 넓게 퍼져 있어, 핵 양자점 표면을 둘러싸고 있는 껍질 양자점의 에너지 레벨, 유전율 등과 같은 특성에 따라 핵 양자점에서 여기된 전하의 성질이 껍질 양자점에 의해 달라지며, 공간적으로 강하게 구속된 핵 양자점의 전하가 껍질 양자점으로 유출될 수도 있다.

핵/껍질 구조의 이종 구조체 양자점은 핵과 껍질 물질의 에너지 준위 위치 및 그에 따른 전하의 공간적 분포에 따라서 type-I, reverse type-I, type-II, quasi-type-II 구조로 나눈다.²⁰ [그림 7a] 발광소자 및 형광 프로브 등에 널리 활용되는 type-I 구조는 핵 양자점의 전도띠와 가전자띠가 껍질 양자점의 전도띠와 가전자띠 사이에 존재함으로써 전자와 정공 모두가 핵 양자점에 갇히고, 따라서 외부 환경으로의 전하 유출을 억제하고 발광효율을 향상시킬 수 있다. Type-I 구조의 예로는 CdSe/CdS, CdSe/ZnSe, CdSe/ZnS, PbSe/CdSe, InP/ZnS, AgIn(Ga)S₂/Ga₂S₃ 등이 보고되어 있다. 2000년대 이후에는 CdSe/CdS/ZnS, InP/ZnSe/ZnS와 같이 핵과 껍질 양자점 사이에 급격한 격자 불일치를 완화시켜줄 수 있는 중간층(interlayer) 이종 물질을 도입하거나, CdSe/Cd_{1-x}Zn_xS와 같이 합금구조의 껍질을 도입한다. 이때 껍질의 방사방향으로 합금비율을 연속적으로 조절하여 핵과 껍질층 사이의 인장력을 최소화하고 에너지 장벽을 연속적으로 증대시켜 발광효율의 감소 없이 두꺼운 껍질층을 적층할 수 있게 된다. 중간층 또는 연속 합금 구조가 도입된 type-I 구조는 발광특성 및 안정성을 크게 향상시켜 발광 소자 및 분자 영상 프로브로 활용될 수 있다. 일 예로 연속적인 에너지 장벽을 가지는 두꺼운 껍질의 연속합금(gradient alloy) 구조의 type-I 양자점에서는, 외부 광원에 의해 양자점이 지속적으로 여기 되는 상태에서 전하가 trap/detrapped 되면서 형광신호가 깜박이는 blinking 현상을 억제하여 단일 양자점의 형광 신호를 연속적으로 추적할 수 있음을 보임으로써 양자점을 분자영상 프로브로 활용할 수 있는 단초를 제시하였다.²¹ [그림 7b]

Reverse type-I 구조는 핵과 껍질의 에너지 구조가 type-I 과 반대되는 구조로, 전자와 정공이 바깥쪽인 껍질 양자점에 위치하게 되며 따라서 도넛모양의 공간적 분포를 가지는 엑시톤 특성을 보이며 이러한 물질의 예로는 CdS/

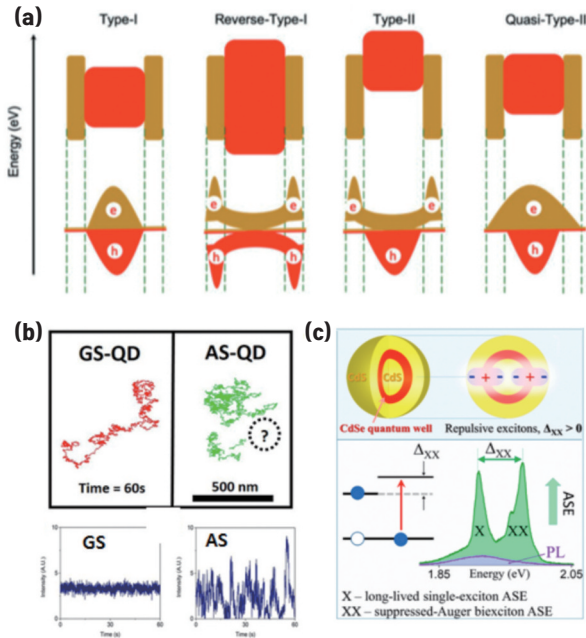


그림 7. (a) 이중접합 양자구조체의 에너지 레벨 다이어그램 및 전자와 정공의 확률분포.²⁰ (b) CdSe/CdZnSe(핵/합금껍질, GS, 적색) 및 CdSe/ZnS(핵/껍질-AS, 녹색) type-I 양자점의 EGFR 추적 이미지 및 단일 양자점의 시간에 따른 형광세기 스펙트럼. AS양자점에서는 형광 감박임으로 인해 지속적인 추적 불가능.²¹ (c) CdS/CdSe/CdS reverse type-I 양자점의 전하 분포 및 증폭발광현상.²²

HgS, CdS/CdSe, ZnSe/CdSe 등이 있다. 그리고 CdS/CdSe/CdS(핵/껍질/껍질) 구조와 같이 reverse-type-I 구조에 다시 type-I 구조의 껍질을 적층한 양자벨트 구조를 통해 엑시톤을 핵과 바깥쪽 껍질층 사이에 도넛 모양으로 가두어 활용한 예도 있다. 2022년 미국 볼링그린 주립 대학교의 M. Zamkov 그룹은 CdS/CdSe/CdS(핵/껍질/껍질) 구조를 이용하여 도넛모양의 공간내에서 밀도반전 된 바이엑시톤 상태에서 전하들 사이의 공간적 겹침이 일반적인 양자점 구조에 비해 훨씬 줄어들음을 보였다. 전하들이 서로 멀리 떨어진 양자점 구조는 전하들의 오제 비탄성 충돌을 억제하여 오제 재결합 속도를 현저하게 늦출 수 있었으며, 바이엑시톤 상태에서 엑시톤과 엑시톤의 반발력에 의해 증가된 바이엑시톤 에너지는 발광 빛의 재흡수를 억제할 수 있었다. 이와 같은 특성들을 이용하여 CdS/CdSe/CdS(핵/껍질/껍질)는 낮은 문턱값에서도 방출 빛의 증폭 현상(amplified spontaneous emission, ASE)이 보임을 확인하였으며, 레이저용 광학이득 소재 가능성을 확인하였

다.²² [그림 7c]

Type-II 구조는 핵과 껍질 물질의 에너지 준위들이 계단식 구조를 가지면서 이중 접합 구조내에서 전자와 정공이 공간적으로 분리되는 특성을 가지며 CdTe/CdSe, ZnTe/ZnSe 등의 구조가 보고되어 있다. 계단구조의 type-II 양자점에서는 핵과 껍질의 전도띠와 가전자띠 사이에서 띠간격 차이가 적은 부분이 유효 띠간격(effective band gap)으로써 역할을 하게 되면서 구성물질 자체의 띠간격 보다 더 작은 띠간격을 구현할 수 있게 된다. 즉 type-II 구조를 이용하여 빛의 흡수 및 발광 파장 대역을 훨씬 넓힐 수 있다. MIT의 M. Bawendi 그룹에서는 CdTe/CdSe 구조의 type-II 핵/껍질 양자점을 통해 각 구성물질로는 구현이 불가능한 근적외선 영역에서의 형광 신호를 보였으며 이를 생체 조직 영상 프로브로 활용하는 예를 보고 하였다.²³ 또한 type-II 구조에서는 전자와 정공이 각각 공간적으로 분리되어 있어 이들의 재결합을 억제하고 외부로 추출하여 빛 에너지를 전기 또는 화학 에너지로 전환하는 소재로의 응용연구도 활발히 수행되고 있다.

Quasi-type-II 구조는 핵과 껍질의 전도띠 또는 가전자띠의 에너지 레벨이 유사하여, 하나의 전하는 핵에 존재하며 다른 전하는 핵/껍질에 공간적으로 넓게 퍼져 있는 경우를 말한다. 대표적으로 CdSe/CdS 구조가 알려져 있다. 벌크 CdSe의 전도띠는 벌크 CdS의 전도띠에 비해 약간 낮은 에너지를 가진다. CdSe 핵의 직경이 커 양자 제한 효과가 미미할 때는 CdS 껍질층의 전도띠 에너지 레벨이 CdSe 핵 양자점의 전도띠 레벨보다 커서 전자를 CdSe에 효과적으로 가두게 되지만, CdSe 핵 양자점의 직경이 작을 때는 CdSe 전도띠 레벨이 높아지게 되는데 이때 CdS 껍질의 두께가 증가하면서 CdS 전도띠의 에너지 레벨이 강한 구속 효과를 보이는 CdSe의 전도띠 레벨과 유사하게 되면서 전자가 CdSe/CdS(핵/껍질) 양자점 전체에 퍼져있는 quasi-type II 특성을 나타낸다. 이 구조는 양자점 내부에 3개 이상의 전하가 존재할 때, 전하의 공간적 겹침이 type-I 보다는 감소하여 오제 비복사 재결합을 억제할 수 있으며, type-I 구조와 유사한 발광효율을 보이기 때문에 전계발광 소자 및 레이저용 광학이득 매질로 응용하는 연구가 활발히 수행되고 있다. 상기 소개한 다양한 핵/껍질 구조는 비단 구형의 양자점 형태에만 국한되는 것이 아니라 1차원 양자막대 및 2차원 양자박막에도 동일하게 적용되며, 비등방 양자소재


에 이중 접합 구조의 다양성을 접목하여 양자점의 광전기적 특성 및 응용처를 확대할 수 있게 되었다.

한편 핵/껍질의 이중 접합 구조 외에도, 불연속적이고 공유의 에너지 레벨을 가지는 양자점을 인공원자로 사용하여 인공 분자 구조체를 합성하는 연구가 이스라엘 Hebre 대학의 U. Banin 그룹의 주도로 수행되고 있다. 두 개의 수소 원자가 공유결합 하여 수소 분자를 이루는 것처럼, 인공 원자인 양자점 두 개를 결합하여 이합체(dimer) 상태의 양자점 인공 분자를 제조하였다. 실리카 나노입자 표면에 CdSe/CdS(핵/껍질) 양자점을 고정화 한 뒤, 3-mercaptopropionate 링크 분자를 이용하여 고정화 된 양자점에 용액 내 분산되어 있는 양자점을 결합시켜 양자점 이합체를

실리카 나노입자 표면에 형성 하였다. 이후 산을 이용하여 실리카 나노입자에서 양자점 이합체를 탈착 시킨 후 이를 열처리 하여 두 양자점을 접합시킴으로써 두 양자점이 결합된 양자점 인공 분자(coupled QD molecule)를 형성하였다.²⁴ CdS 껍질층의 두께 및 접합 온도를 조절하여, 마치 분자 내 원자들의 거리를 조절하는 것처럼, 두 양자점 인공 원자들 사이의 상호작용 정도를 제어할 수 있고, 인공 분자 내 전자(electron) 파동함수 분포를 조절할 수 있음을 보였다. 2023년 같은 그룹에서는 엑시톤 에너지가 서로 다른 두 인공원자 양자점을 결합한 양자점 인공분자를 만들고, 인가되는 외부 전기장의 방향에 따라 인공분자내 전자의 편극방향을 조절하여 양자점의 발광 파장이 변조되는 특성을 확인하였으며²⁵ 이와 같은 연구는 신경전달 이미징 프로브로 사용할 수 있을 것으로 기대된다.

결론

지금까지 양자 제한 효과에 의해 나타나는 양자점의 특이적인 광학적 성질과 더불어 다양한 구조 및 모양의 양자점 소재에 대해 소개하고 이들의 특성을 살펴보았다. 크기 제어 가능한 고 결정성의 양자점 합성법이 알려진 이후 지난 30여년간 많은 연구자들이 연구를 거듭한 결과 양자점 소재에 대해 눈부신 발전을 이뤄 왔다. CdSe를 시작으로 현재에는 InP 와 같은 친환경 소재를 이용하여 초창기의 양자점 보다 훨씬 월등한 발광 특성과 안정성을 가지는 소재가 개발되고 있다. 양자점의 광학특성은 디스플레이 기술에 가장 먼저 적용되고 상용화 되었지만, 밝고 외부 환경에 민감하게 반응할 수 있는 양자점의 발광 신호는 질병 진단 센서나 바이오 이미징 프로브 등에 활용 할 수 있다. 또한 하나의 양자점에서 나오는 순수한 상태의 빛 알갱이 신호는 양자 컴퓨터 및 양자 통신에 적용할 수 있을 것으로 기대된다. 그리고 양자점의 넓은 대역의 빛을 흡수 할 수 있는 특성을 이용하여 빛 에너지를 다른 유용한 에너지로 전환하여 태양전지 또는 광촉매 등에 활용할 수 있다.

산업체와 학교, 연구소의 노력을 통해 우리나라의 양자점 기술도 크게 발전되어 왔으며, 전 세계의 연구자들이 주목하고 있다. 앞으로도 체계적인 산학연 협력 연구를 통해 디스플레이 뿐만 아니라 다양한 분야에 양자점 기술이 폭 넓게 사용될 수 있을 것이라고 기대한다. 

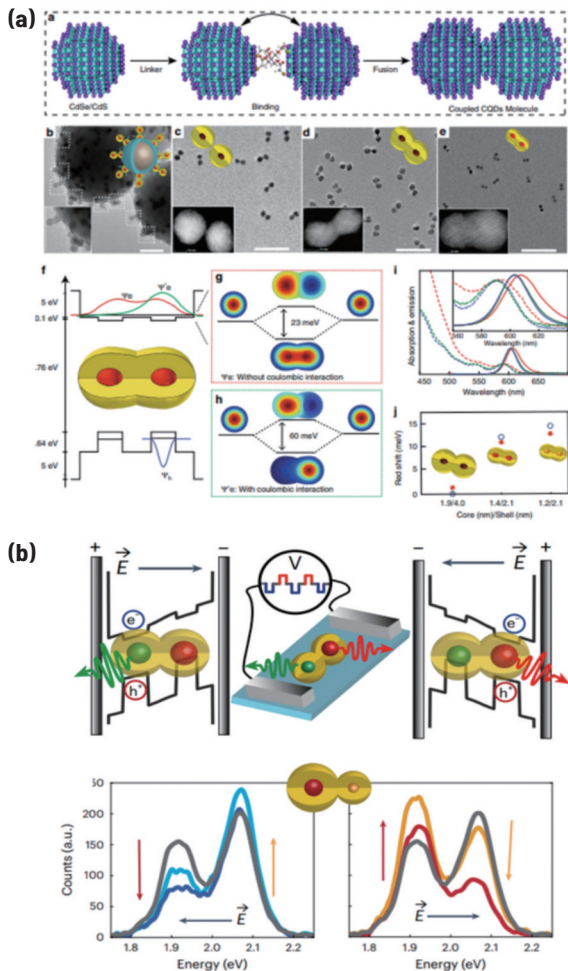


그림 8. (a) 두개의 양자점 접합 모식도 및 이와 같이 형성된 양자점 이합체 인공분자의 에너지 레벨 다이어그램.²⁴ (b) 엑시톤 에너지가 서로 다른 두 양자점이 접합된 인공분자의 전기장 방향에 따른 발광 특성 변화.²⁵



1. R. Rossetti, S. Nakahara, L.E. Brus, "Quantum size effects in the redox potentials, resonance Raman spectra, and electronic spectra of CdS crystallites in aqueous solution." *J. Chem. Phys.* **1983**, *79*, 1086-1088.
2. 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.
3. J. Cui, A.P. Beyer, I. Coropceanu, L. Cleary, T.R. Avila, Y. Chen, J.M. Cordero, S.L. Heathcote, D.K. Harris, O. Chen, J. Cao, M.G. Bawendi, "Evolution of the Single-Nanocrystal Photoluminescence Linewidth with Size and Shell: Implications for Exciton-Phonon Coupling and the Optimization of Spectral Linewidths." *Nano Lett.* **2016**, *16*, 289-296.
4. L. Lv, J. Li, Y. Wang, Y. Shu, X. Peng, "Monodisperse CdSe Quantum Dots Encased in Six (100) Facets via Ligand-Controlled Nucleation and Growth." *J. Am. Chem. Soc.* **2020**, *142*, 19926-19935.
5. I. Robel, R. Gresback, U. Kortshagen, R.D. Schaller, V.I. Klimov, "Universal Size-Dependent Trend in Auger Recombination in Direct-Gap and Indirect-Gap Semiconductor Nanocrystals." *Phys. Rev. Lett.* **2009**, *102*, 177404.
6. Y.-S. Park, J. Roh, B.T. Diroll, R.D. Schaller, V.I. Klimov, "Colloidal quantum dot lasers." *Nat. Rev. Mater.* **2021**, *6*, 382-401.
7. N. Ahn, C. Livache, V. Pinchetti, H. Jung, H. Jin, D. Hahn, Y.-S. Park, V.I. Klimov, "Electrically driven amplified spontaneous emission from colloidal quantum dots." *Nature* **2023**, *617*, 79-85.
8. P. Reiss, M. Carrière, C. Lincheneau, L. Vaure, S. Tamang, "Synthesis of Semiconductor Nanocrystals, Focusing on Nontoxic and Earth-Abundant Materials." *Chem. Rev.* **2016**, *116*, 10731-10819.
9. S.G. Kwon, T. Hyeon, "Formation Mechanisms of Uniform Nanocrystals via Hot-Injection and Heat-Up Methods." *Small* **2011**, *7*, 2685-2702.
10. B. Abécassis, C. Bouet, C. Garnero, D. Constantin, N. Lequeux, S. Ithurria, B. Dubertret, B.R. Pauw, D. Pontoni, "Real-Time in Situ Probing of High-Temperature Quantum Dots Solution Synthesis." *Nano Lett.* **2015**, *15*, 2620-2626.
11. D. Mocatta, G. Cohen, J. Schattner, O. Millo, E. Rabani, U. Banin, "Heavily Doped Semiconductor Nanocrystal Quantum Dots." *Science*, **2011**, *332*, 77-81.
12. M. Makkar, R. Viswanatha, "Frontier challenges in doping quantum dots: synthesis and characterization." *RSC Adv.* **2018**, *8*, 22103-22112.
13. M. Sharma, K. Gungor, A. Yeltik, M. Olutas, B. Guzelturk, Y. Kelestemur, T. Erdem, S. Delikanli, J.R. McBride, H.V. Demir, "Near-Unity Emitting Copper-Doped Colloidal Semiconductor Quantum Wells for Luminescent Solar Concentrators." *Adv. Mater.* **2017**, *29*, 1700821.
14. M. Shim, P. Guyot-Sionnest, "n-type colloidal semiconductor nanocrystals." *Nature* **2000**, *407*, 981-983.
15. J.D. Rinehart, A.M. Schimpf, A.L. Weaver, A.W. Cohn, D.R. Gamelin, "Photochemical Electronic Doping of Colloidal CdSe Nanocrystals." *J. Am. Chem. Soc.* **2013**, *135*, 18782-18785.
16. Z. Ning, O. Voznyy, J. Pan, S. Hoogland, V. Adinolfi, J. Xu, M. Li, A.R. Kirmani, J.-P. Sun, J. Minor, K.W. Kemp, H. Dong, L. Rollny, A. Labelle, G. Carey, B. Sutherland, I. Hill, A. Amassian, H. Liu, J. Tang, O.M. Bakr, E.H. Sargent, "Air-stable n-type colloidal quantum dot solids." *Nat. Mater.* **2014**, *13*, 822.
17. T. Wang, J. Zhuang, J. Lynch, O. Chen, Z. Wang, X. Wang, D. LaMontagne, H. Wu, Z. Wang, Y.C. Cao, "Self-Assembled Colloidal Superparticles from Nanorods." *Science* **2012**, *338*, 358-363.
18. R. Scott, J. Heckmann, A.V. Prudnikau, A. Antanovich, A. Mikhailov, N. Owschmikow, M. Artemyev, J.I. Climente, U. Woggon, N.B. Grosse, A.W. Achtstein, "Directed emission of CdSe nanoplatelets originating from strongly anisotropic 2D electronic structure." *Nat. Nanotechnol.* **2017**, *12*, 1155-1160.
19. L. Carbone, C. Nobile, M. De Giorgi, F.D. Sala, G. Morello, P. Pompa, M. Hytch, E. Snoeck, A. Fiore, I.R. Franchini, M. Nadasan, A.F. Silvestre, L. Chiodo, S. Kudera, R. Cingolani, R. Krahne, L. Manna, "Synthesis and Micrometer-Scale Assembly of Colloidal CdSe/CdS Nanorods Prepared by a Seeded Growth Approach." *Nano Lett.* **2007**, *7*, 2942-2950.
20. G.S. Selopal, H. Zhao, Z.M. Wang, F. Rosei, "Core/Shell Quantum Dots Solar Cells." *Adv. Funct. Mater.* **2020**, *30*, 1908762.
21. L.A. Lane, A.M. Smith, T. Lian, S. Nie, "Compact and Blinking-Suppressed Quantum Dots for Single-Particle Tracking in Live Cells." *J. Phys. Chem. B* **2014**, *118*, 14140-14147.
22. J. Cassidy, B.T. Diroll, N. Mondal, D.B. Berksky, K. Zhao, D. Harankahage, D. Porotnikov, R. Gately, D. Khon, A. Proppe, M.G. Bawendi, R.D. Schaller, A.V. Malko, M. Zamkov, "Quantum Shells Boost the Optical Gain of Lasing Media." *ACS Nano* **2022**, *16*, 3017-3026.
23. S. Kim, Y.T. Lim, E.G. Soltesz, A.M. De Grand, J. Lee, A. Nakayama, J.A. Parker, T. Mihaljevic, R.G. Laurence, D.M. Dor, L.H. Cohn, M.G. Bawendi, J.V. Frangioni, "Near-infrared fluorescent type II quantum dots for sentinel lymph node mapping." *Nat. Biotechnol.* **2004**, *22*, 93-97.
24. J. Cui, Y.E. Panfil, S. Koley, D. Shamalia, N. Waiskopf, S. Remennik, I. Popov, M. Oded, U. Banin, "Colloidal quantum dot molecules manifesting quantum coupling at room temperature." *Nat. Commun.* **2019**, *10*, 5401.
25. Y. Ossia, A. Levi, Y.E. Panfil, S. Koley, E. Scharf, N. Chefet, S. Remennik, A. Vakahi, U. Banin, "Electric-field-induced colour switching in colloidal quantum dot molecules at room temperature." *Nat. Mater.* **2023**, *22*, 1210-1217.



방 지원 Jiwon Bang

- 포항공과대학교 화학과, 학사(2002.3-2009.2)
- 포항공과대학교 화학과, 박사(2009.3-2013. 8, 지도교수 : 김성지)
- LG화학 기술연구원, 선임연구원(2013.7-2015.9)
- 한국세라믹기술원, 선임연구원(2015.10-2020.8)
- 원광대학교 화학과, 조교수(2020.9-2022.8)
- 인천대학교 화학과, 조교수(2022.9-현재)

펨토초 X선을 이용한 물의 특이한 성질들의 근원 연구

양철희, 김경환* | POSTECH 화학과, kimkyunghwan@postech.ac.kr

서론

물은 자연의 생명현상에 필수적이며, 또 여러 물리, 화학, 생물학적 반응에 있어서 가장 중요한 역할을 하는 물질이다. 따라서 물의 특성을 정확히 이해하는 것은 연구, 산업, 사회 등 모든 측면에서 매우 중요하다고 할 수 있다. 이러한 중요성 때문에 물은 오랜 세월 동안 수없이 많이 연구되어 왔으며, 따라서 대중들에게는 흔히 물의 성질은 이미 모든 것이 밝혀져 있는 것으로 오해 되곤 한다. 하지만 현실은 오히려 그 반대라고 할 수 있다. 물이 자연계에서 그러한 중요한 역할을 수행할 수 있는 특별한 물질이 되는 이유는 물의 거시적인 성질들이 가지고 있는 매우 변칙적인 특성(anomalous properties) 때문이며, 따라서 이러한 변칙적인 특성은 수많은 연구자들의 관심을 끌어들였다.^{1,2} 하지만 전 세계 많은 연구자들의 수십 년에 걸친 오랜 연구에도 불구하고 '물은 왜 4도에서 가장 무거운가?' 와 같은 근원적인 질문에 대한 해답이 아직도 명확하게 주어지지 않으며 여전히 세계적인 난제로 남아있다.

이러한 물의 비밀에 대한 힌트는 얼음에 대한 연구로부터 얻어졌다. 얼음의 여러 가지 상에 대한 오랜 연구를 통해 연구자들은 비결정성 얼음의 존재를 발견하였으며, 이것이 높은 밀도(High Density Amorphous ice, HDA) 혹은 낮은 밀도(Low Density Amorphous ice, LDA) 상태로 존재할 수 있고 이들 사이에 상 전이가 가능함을 밝혀냈다. 이러한 비결정성 얼음은 현재 CryoEM등에 필수적으로 사

용되고 있다. 한편, 이 결과로부터 사람들은 HDA가 녹아 생길 수 있는 HDL(High Density Liquid), LDA가 녹아 생길 수 있는 LDL(Low Density Liquid)을 상상하였고, 비결정성 얼음들 사이의 상 전이를 이들이 녹아 생긴 액체 상으로 연장하여 생각하였다. 즉, 물은 HDL과 LDL의 두 가지 서로 다른 액체 상을 가질 수 있으며, 이들 사이의 액체-액체 전이가 존재한다는 가설을 세웠다.^{3,4} 이 가설이 크게 주목받은 이유는, 이 가설을 통해 물의 특이한 성질(물

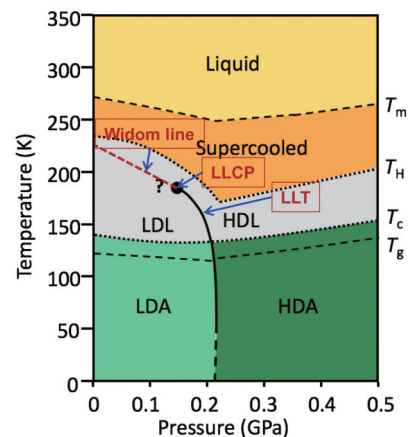


그림 1. LLCP모델이 설명되어 있는 액체 물의 가상 압력-온도 상평형도. LDL과 HDL 사이의 액체-액체 전이(LLT) 선(검은 실선)이 있으며, 이 둘의 구분이 사라지고 하나의 상 영역으로 합쳐지는 임계점(LLCP, 검은 원)이 표시되어 있다. 이후 연장선은 Widom선(붉은 점선)이라고 불린다. LLCP, LLT선 그리고 Widom선 모두 기존에 실험적으로 측정할 수 없었던 영역 내에 존재한다.

은 왜 4도에서 가장 무거운가 등)의 근원을 설명할 수 있었기 때문이다. 즉, 물은 상온, 상압에서 두 개의 서로 다른 로컬 구조(HDL-like와 LDL-like)를 가지고 있으며, 이 둘 사이의 요동이 물이 다른 액체들과 구분되는 특이한 성질을 가지는 근원이라는 것이다. 예를 들어, 온도가 낮아질수록 LDL-like 로컬 구조(가벼운 물)의 비율이 늘어나며 밀도가 낮아지는 효과를 보이고, 이러한 효과는 열적 진동이 줄어들어 밀도가 높아지는 효과와 경쟁한다. LDL-like 로컬 구조로의 변화가 심해지는 구간에서 밀도 변화 역전이 일어나 4도에서 가장 높은 밀도를 가지게 되는 것이다. 이러한 가설이 제안된 이후, 학계는 이러한 LLT와 LLCP의 존재 여부를 두고 수십 년 이상 극심한 논쟁을 벌여 왔다.

이 난제를 해결하려는 수많은 노력과 일부 성과에도 불구하고 LLT 및 LLCP의 존재 여부에 대한 논쟁은 해소되기는 커녕 아직까지도 평행선을 달리면서 첨예하게 대립하고 있다. 그 가장 큰 이유는 기존에 제시된 양측의 근거들이 모두 '간접적'인 측정의 결과이기 때문이다. 이러한 물의 액체-액체 전이(LLT)와 액체-액체 임계점(LLCP)은 (만약 존재한다면) 약 영하 70도 이하의 '얼지 않은 물' 상태에서 일어나는 것으로 예측되므로, 기존의 그 어떠한 실험 방법으로도 직접적인 측정이 불가능하였고, 따라서 실험적으로 증명이 될 수 없었다. 때문에 이 이론을 믿거나 믿지 않는 학계의 연구자들 사이에 극심한 논쟁이 여전히 이어지고 있다.^{5,6,7,8}

따라서, 영하 70도 이하의 '얼지 않은 bulk 상태의 순수한 물'을 만들고, 이 상태의 물에서 액체-액체 전이가 있는지 직접적으로 측정하여 증명하는 것만이 지난 수십 년간

이어져 온 세계적 난제와 그로 인한 학계의 격한 논쟁을 해결하는 유일한 방법이 된다. 우리는 매우 짧은시간이나마, 영하 70도 수준의 얼지 않은 상태의 물을 만들 수 있는 실험 장치들을 고안하였고, 이렇게 만들어진 샘플을 포함 4세대 방사광 가속기에서 제공하는 강력한 펨토초 X선을 활용하여 연구하였다. 이를 통해 기존에 전 세계 그 누구도 수행하지 못한 실험을 수행하여 이 난제를 푸는 것에 도전하였고, 성공적인 실험적 증거들을 학계에 보고할 수 있었다.^{9,10,11,12,13} 이들은 물의 특이한 성질들의 근원인 물의 액체-액체 전이의 실험적 증명,^{9,10,11} 펨토초 시간에서 일어나는 물의 정렬 및 무질서화 거동 규명,¹² 얼음과 물 간의 상전이 메커니즘 규명¹³ 등에 해당한다.

본 론

1. 물의 특이한 성질들의 근원인 물의 액체-액체 전이의 실험적 증명

앞서 설명했듯이, 위의 가설들을 증명하여 학계의 오랜 난제를 해결하는 목표를 달성하기 위해서는 기존에는 불가능했던 영하 70도의 얼지 않은 물을 만들 수 있어야 하며, 또한 극히 짧은 시간 동안만 존재하는 이 물로부터 충분한 구조적 정보를 얻어낼 수 있어야 한다. 우리는 우선 마이크로 크기의 물방울을 진공 챔버 속에서 생성하고, 이 물방울들이 증발열에 의해 매우 빠르게 냉각되는 방법을 이용하여 영하 46도의 얼지 않은 극한 과냉각 물을 만들 수 있었다. 이후 이를 더 발전시켜, 비정질 얼음(HDA)으로부터 출

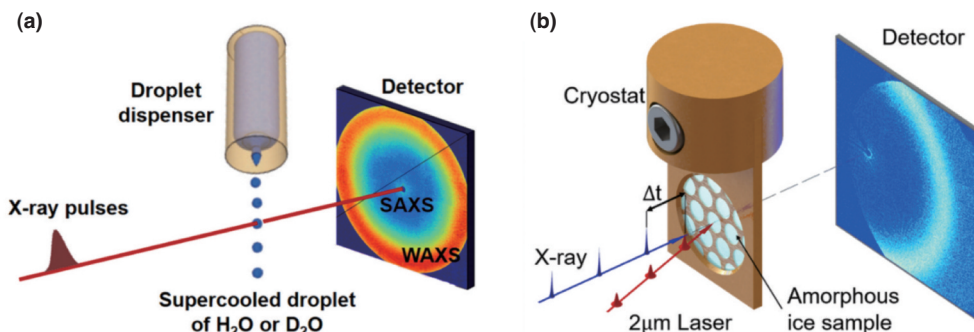


그림 2. (a) 증발 냉각 원리를 이용한 극한 과냉각 물방울 생성 장비의 개요. (b) 적외선 레이저를 이용한 비정질 얼음의 가열 실험 장비의 개요.

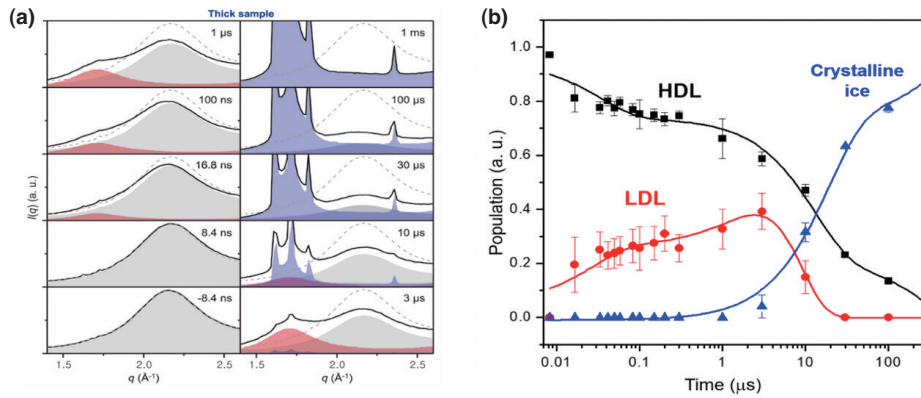


그림 3. (a) 강한 적외선 레이저를 맞은 고밀도 비정질 얼음의 회절 패턴을 시간의 흐름에 따라 측정하였다. 적외선 레이저에 의해 생성된 영하 70도의 고밀도 물(HDL, 회색)이 시간이 흐름에 따라 점차 저밀도 물(LDL, 빨간색)로 변해가며, 이는 액체-액체 전이의 직접적인 실험적 증거가 된다. (b) 시간에 따른 상대적인 양의 변화를 나타내었다.

발하여 여기에 짧고 강한 적외선 레이저를 조사하는 것으로 물이 고밀도 비결정성 얼음 상태에서 고밀도 액체 상태로 전환된 다음, 저밀도 액체 상태(HDA → HDL → LDL)로 변환되는 과정을 이용하였고, 이를 통해 영하 70도의 얼지 않은 고압 극한 과냉각 상태의 물도 만들어 낼 수 있었다. 이렇게 만들어진 영하 46도 혹은 영하 70도의 극한 과냉각 상태의 물은 수 마이크로 초의 매우 짧은 시간동안만 존재할 수 있으므로, 순간적인 측정 만으로도 충분한 구조적 정보를 얻어낼 수 있어야 한다. X선 자유 전자 레이저(XFEL)는 기존 3세대 X선 보다 훨씬 밝고 빠른 X선 펄스를 제공하므로, 이를 이용하면 이러한 짧은 순간의 측정만으로도 물의 구조 정보를 충분히 측정하는 것이 가능했다. 우리는 2017년부터 가동을 시작한 포항 4세대 방사광 가속기를 주로 활용하여 실험을 수행하였다.

포항 4세대 방사광 가속기의 역사적인 첫 번째 실험으로 증발냉각 방식으로 만들어진 극한 과냉각 상태 물방울의 온도에 따른 SAXS와 WAXS 패턴의 변화를 측정하였고, 이를 통해 우리는 두 가지 서로 다른 국소 구조(무거운 물, HDL과 가벼운 물, LDL)의 물이 1:1로 존재하는 Widom line이 약 229 K에 존재한다는 것을 세계 최초로 발견하여 학계에 보고 한 바 있다.⁹

이후 이러한 연구를 더욱 더 발전시켜, 영하 70도로 냉각된 얼지 않은 물을 만들어 냄으로써, 액체-액체 전이를 직접 측정하는 데에도 성공하였다. 우리는 먼저 고밀도 비정질 얼음을 만들어 강력한 극초단 자외선 레이저 펄스를

조사하였고, 이렇게 생성된 영하 70도의 물이 변해가는 과정을 PAL-XFEL에서의 X선 회절 측정을 통해 관찰하였다. 영하 70도의 얼지 않은 고밀도 물은 약 20 나노초가 지난 후 조금씩 저밀도 물로 바뀌기 시작하며, 고밀도 물의 시그널이 점차 줄어들며 저밀도 물의 시그널이 증가하는 전형적인 상전이에 해당하는 실험 결과를 보여주었다. 최대 3 마이크로초의 시간까지 이러한 지속적인 액체-액체 상전이가 관찰되었으며, 이후 시간에서는 물이 얼어붙어 결정형 얼음이 생성되었다. 각 시간에서의 회절 패턴을 고밀도 물, 저밀도 물, 결정형 얼음의 기여도로 나누어 분석하였고, 이를 통해 시간에 따른 상대적인 양의 변화를 추적할 수 있었다. 액체-액체 상전이를 통해 고밀도 물이 점점 저밀도 물로 변해가며, 3 마이크로초 이후 다시 얼어붙는 것을 확인할 수 있다. 이를 통해 우리는 물에서 액체-액체 상전이가 존재한다는 것을 세계 최초로 발견하여 학계에 보고할 수 있었다.^{10,11}

이러한 실험결과는 물이 원래는 두 가지 액체상(무거운 물, 가벼운 물)으로 이루어져 있으며, 이들 사이의 요동이 물이 다른 액체들과 구분되는 특이한 성질을 가지는 근원이라는 이론의 직접적인 증거가 된다. 이를 통해 실험적 증거의 부재로 인해 발생했던 세계적 난제와 그와 관련된 학자들 간의 심각한 논쟁을 해결할 수 있는 정보를 학계에 제공하였다. 이러한 성과를 넘어서서, 물의 특이한 성질의 근원을 명확히 밝혀, 지난 수십 년간 풀지 못한 물에 대한 학계의 세계적인 난제를 완벽하게 해결하기 위해서는 물의

액체-액체 임계점(물의 두 가지 상이 하나로 합쳐지는 점)을 실험적으로 직접 증명하는 것이 필요하다. 우리는 후속 연구를 통해 두 개의 레이저 펄스를 이용한 가열이라는 새로운 실험 방법을 고안하였고, 물의 액체-액체 임계점이 존재한다는 새로운 실험 결과를 얻어 새로운 논문을 준비하고 있다.

2. 펨토초 시간에서 일어나는 물의 정렬 및 무질서화 거동 규명

물에 대한 다양한 방식의 연구 중에서, 광학적 커 효과(OKE)를 이용한 방법은, 강한 빛의 전기장에 의해 일시적으로 물 분자가 정렬되었다가 다시 무질서해지는 과정을 관찰하는 것으로, 이를 통해 물의 동역학적 성질을 연구할 수 있는 것으로 잘 알려져 왔다. 그러나 기존 광학적 커 효과 분광법에서는 구조 정보를 직접 얻을 수 없다는 한계가 존재했다. 물의 광학적 커 효과 연구에서 구조 정보가 특히 더 중요한 이유는, 물분자가 가지는 세 방향의 polarizability가 거의 유사하다는 성질 때문이다. 이러한 매우 독특한 성질 때문에 물분자는 광학적 커 효과에 의한 신호가 매우 작을뿐더러, 물이 전기장 하에서 전기장과 평행한 방향으로 정렬되는지, 전기장과 수직인 방향으로 정렬되는지조차 알기가 매우 어려웠다. 그동안 학계에는 정확한 구조 정보가 부재했기 때문에 이러한 해석에도 여러 논쟁이 있었다.

우리는 분자 구조에 매우 민감한 광원인 X선을 이용한 비등방성 X선 산란 실험을 광학적 커 효과에 접목시켜 물 분자의 순간적인 정렬 과정을 직접적으로 측정하였다. 이러한 정렬 효과는 펨토초 시간대에만 매우 짧게 일어나는 현상이므로, 펨토초 X선을 제공하는 4세대 가속기의 활용이 필수적으로 요구되었다. 우리는 이러한 실험을 통해 물 분자의 정렬과 다시 무질서해지는 과정의 동역학을 밝혀내었으며, 실험 결과와 분자 동역학 모사 이론의 비교를 통해 물이 무거운 물(HDL)과 가벼운 물(LDL)의 두 가지 국부 구조로 이루어져 있다는 세계적인 난제에 대한 답을 뒷받침하는 또 하나의 핵심적인 증거를 제공하였다. 이를 통해 기존 학계에서 완벽히 설명되지 않았던 물의 구조 동역학적 성질을 성공적으로 규명하고, 물분자들이 레이저의 전기장과 같은 방향으로 정렬된다는 명확한 증거도 학계에 제공할 수 있었다.¹² 또한 우리가 여기서 제안하고 검증한 연구 방법은 온도에 따른 물의 구조 동역학 연구로 확장될 수 있다. 우리는 이러한 연구 방법을 앞서 설명한 영하 46도까지의 과냉각 물을 만들 수 있는 실험 방법에 접목하였고, 그 누구도 측정하지 못했던 극한 과냉각 물의 동역학을 측정할 수 있었다. 이를 통해 해당 분야의 오랜 세계적 난제 중 하나인 물의 Fragile-to-Strong transition 현상이 실제로 존재하는지에 대한 최초의 직접적인 실험적 증거 또한 성공적으로 얻었고, 학계에 보고를 준비하고 있다.

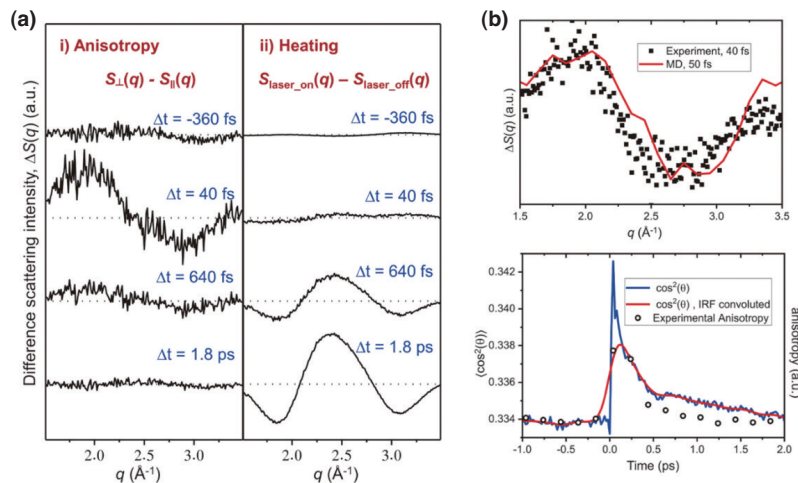


그림 4. (a) 강한 레이저의 전기장에 의해 물이 정렬되어 나타나는 비등방성 회절 패턴의 시간에 따른 변화. (b) 분자동역학 시뮬레이션과의 비교 결과.

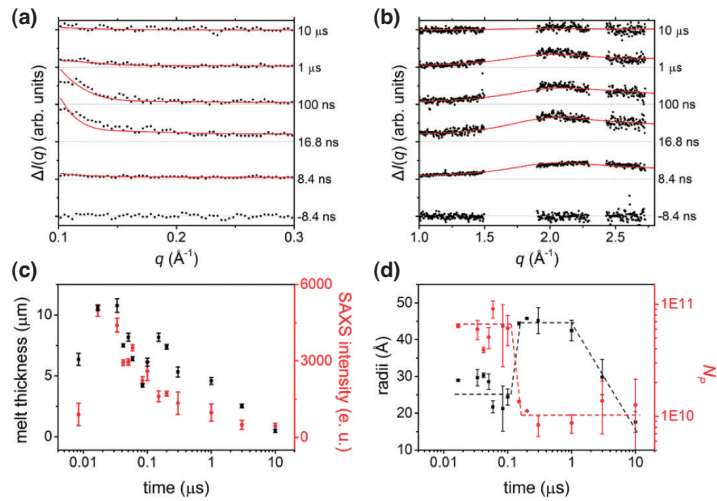


그림 5. (a, b) 적외선 레이저 조사 후 산란패턴 변화. (a) SAXS와 (b) WAXS 영역. (c) 시간에 따른 녹은 물의 양 변화. (d) 시간에 따른 물방울의 반지름(검은 사각형)과 그 개수(붉은 원) 변화.

3. 펨토초 X선을 이용한 얼음의 용해 및 재결정 동역학의 연구

얼음이 녹거나 물이 얼어붙는 것은 우리 주위에서 흔히 겪는 매우 기본적인 중요한 현상이다. 그렇기 때문에 물과 얼음 사이의 상전이(phase transition)를 이해하는 것은 중요한 일이라고 할 수 있다. 하지만, 그 중요성에도 불구하고 이러한 현상의 동역학적 메커니즘은 의외로 많이 연구되지 못하였다. 얼음의 용해과정은 그 동안 시간분해 적외선 분광학과 전산모사 등을 이용하여 집중적으로 연구되어 왔다. 하지만, 시간분해 적외선 분광학의 경우는 직접적인 구조 정보가 제한적이며, 전산모사의 경우 제한된 크기의 시스템에 대한 시뮬레이션이라는 한계가 있었다. 우리는 이러한 한계를 포함 4세대 방사광 가속기에서 제공되는 강력한 X선을 이용하여, 적외선 펄스-X선 프로브 방법을 통해 연구함으로써 극복할 수 있었다.

우리는 적외선으로 얼음을 빠르게 가열한 후 PAL-XFEL에서 나오는 강력한 X선을 산란시키는 방법으로 얼음이 녹는 과정을 분석했고, 이를 통해 1억분의 1초의 시간에 일어나는 물과 얼음의 상전이 과정을 10억분의 1미터 크기의 물방울들의 생성과 변화를 직접적으로 관찰하여 연구할 수 있었다. 얼음이 녹는점 이상으로 가열된 상황에서도 모두 녹지 않고, 약 13% 정도만 녹는 과가열(superheating) 현상도 관찰할 수 있었다. 또한 서로 상보적인 정보를 주는

광각 X선 산란과 소각 X선 산란을 동시에 수행하고, 이를 이용하여 전체적인 구조 정보를 밝히는 분석 방법을 확립하였다.¹³ 이러한 결과는 얼음과 물의 상전이 과정의 메커니즘에 대한 학계의 이해를 크게 넓힐 수 있을 것으로 기대된다.


여기서 확립한 실험 및 분석 방법을 이용하여 우리는 이러한 연구를 더 확장한 실험을 진행하고 있다. 예를 들어, 펨토초 및 피코초 영역의 측정을 수행함으로써, 실제로 물이 결정 구조로부터 어떻게 diffuse한 패턴으로 변화하는지를 자세히 추적할 수 있을 것으로 기대한다. 또한, 레이저 세기 및 초기 온도의 변화에 따른 녹는 과정과 과가열 현상의 변화를 연구하고 있으며, D_2O 로 이루어진 물에서의 연구를 통해 핵양자효과가 물과 얼음의 상전이에 미치는 영향도 자세히 연구하고 있다.

결론

앞서 소개한 연구들을 통해 우리는 극한 과냉각 상태의 물을 만드는 새로운 방법과, 강력한 4세대 펨토초 X선을 결합하여 기존에는 그 누구도 수행이 불가능했던 실험을 수행할 수 있음을 보였다. 또한 이러한 실험 방법들을 통해 그 동안 세계적인 난제였던, 물이 여러 특이한 성질을 가지는 근원을 밝힐 수 있는 실험적인 증거들을 얻을 수 있었고,

이를 학계에 보고하여 큰 관심을 받고 있다.

물은 많은 물리, 화학 반응, 그리고 생명현상에서 용매로 사용되며 수소 결합 네트워크를 통해 중요한 역할을 한다. 따라서 우리의 연구의 결과는 수많은 분야에 큰 파급효과를 가질 것으로 기대된다. 물이 그러한 중요한 역할을 수행할 수 있는 특별한 물질이 되는 이유는 물의 거시적인 성질들

이 가지고 있는 매우 변칙적인 특성(anomalous properties) 때문이므로, 우리의 연구 결과는 물이 어떻게 생명/화학/물리 현상에 꼭 필요하고 적합한 성질을 가질 수 있는지에 대한 근원적인 이해를 제공할 수 있다. 이를 통해 물을 이용한 다양한 실험/이론 연구를 더 정확하게 수행하는 데 활용될 수 있는 정보를 제공할 수 있을 것으로 기대된다. 



1. O. Mishima, H. E. Stanley, "The relationship between liquid, supercooled and glassy water." *Nature* **1998**, 396, 329-335.
2. P. H. Poole *et al.*, "Phase behaviour of metastable water." *Nature* **1992**, 360, 324-328.
3. L. Xu *et al.*, "Relation between the Widom line and the dynamic crossover in systems with a liquid-liquid phase transition." *Proc. Natl. Acad. Sci. (USA)* **2005**, 102, 16558-16562.
4. A. Nilsson *et al.*, "The structural origin of anomalous properties of liquid water." *Nat. Commun.* **2015**, 6, 8998.
5. S. Woutersen *et al.*, "A liquid-liquid transition in supercooled aqueous solution related to the HDA-LDA transition." *Science* **2018**, 359, 1127-1131.
6. Chris A. Tulk *et al.*, "Absence of amorphous forms when ice is compressed at low temperature." *Nature* **2019**, 569, 542-545.
7. Loni Kringle *et al.*, "Reversible structural transformations in supercooled liquid water from 135 to 245 K." *Science* **2020**, 369, 1490-1492.
8. Pablo G. Debenedetti *et al.*, "Second critical point in two realistic models of water." *Science* **2020**, 369, 289-292.
9. K. H. Kim *et al.*, "Maxima in the Thermodynamic Response and Correlation Functions of Deeply Supercooled Water." *Science* **2017**, 358, 1589-1593.
10. K. H. Kim *et al.*, "Experimental observation of the liquid-liquid transition in bulk supercooled water under pressure." *Science* **2020**, 370, 978-982.
11. K. Amann-Winkel *et al.*, "Liquid-liquid phase separation in supercooled water from ultrafast heating of low-density amorphous ice." *Nat. Commun.* **2023**, 14, 442.
12. K. H. Kim *et al.*, "Anisotropic x-ray scattering of transiently oriented water." *Phys. Rev. Lett.* **2020**, 125, 076002.
13. C. Yang *et al.*, "Melting domain size and recrystallization dynamics of ice revealed by time-resolved X-ray scattering." *Nat. Commun.* **2023**, 14, 3313.



양 철 희 **Cheolhee Yang**

- KAIST 화학과, 박사(2008.2-2016.2)
- POSTECH 화학과, 박사 후 연구원 (현재)



김 경 환 **Kyung Hwan Kim**

- KAIST 화학과, 학사(2002.3-2006.8)
- KAIST 화학과, 박사(2006.9-2013.2 지도교수 : 이효철)
- KAIST 화학과, 박사 후 연구원(2013.2-2016.3 지도교수 : 이효철)
- 스톡홀름대학교 물리학과, 박사 후 연구원(2016.3-2018.9 지도교수 : Anders Nilsson)
- POSTECH 화학과 조교수(2018.9-현재)

논의기반 탐구(Argument Based Inquiry: ABI) 과학수업

박지훈 | 부산과학고등학교 화학교사, parkji6980@nate.com

서론

과거 산업 사회에서 학생들에게 요구되었던 능력은 체계화된 학문을 습득하고 이를 활용하는 것이었던 반면, 현대 사회에서는 범람하는 정보와 지식 사이에서 필요한 것을 선별하여 사용할 줄 알며, 자신의 주변에서 일어나는 일에 대한 의사결정에 적극적으로 참여할 수 있는 능력을 요구한다. 따라서 과학교육의 목표 역시 과학 지식을 올바르게 전달하는 것에서부터 과학적 탐구를 통하여 과학적 소양을 함양하는 것으로 옮겨져 갔다. 이와 함께 과학적 탐구가 개인이 지식을 획득하거나 발견하는 것이 아닌 공동체가 지식을 협력하여 구축하는 과정으로 여겨지면서, 이러한 과정에서 이루어지는 논의에 대한 중요성이 부각되었다. 과학 탐구를 통해 도출한 결론이 과학 이론으로 인정받기 위해서는 과학 공동체의 검증이 필수적이므로 과학교육에서도 탐구 학습으로써 실험뿐만 아니라 실험 과정을 통해 얻은 결과를 바탕으로 한 학생들 간의 논의 활동 역시 함께 강조되어야 한다.

과학교육에서 논의의 효과는 학자마다 다양하게 제시되지만, 일반적으로 크게 세 가지로 구분될 수 있다. 먼저 논의 활동은 학생들이 과학개념을 이해하는 것을 도울 수 있다. 과학개념의 올바른 이해를 위해서는 증거를 바탕으로 자기의 주장을 분명하게 표현할 기회가 주어져야 하는데 바로 이러한 역할을 하는 것이 논의이다. 두 번째는 학생들이 실험과 이론을 의미 있도록 연결하고 결과에 대한 반성적 사고를 하며 같은 자료에 대해 서로 다른 해석을 고려하게 함으로써 탐구 능력 계발에 도움을 줄 수 있다. 세 번째는 논의를 통해 과학 지식이 어떻게 구성되며, 왜 중요하고, 어

떻게 사용되는지에 대하여 학습할 수 있다.

논의의 중요성과 교육적 효과는 분명하지만 현재 학교에 서는 논의가 주로 국어나 사회 등의 인문 교과에 적용되는데 인식이 강하며 과학 교과에서는 ‘학생 중심 수업’이나 ‘탐구 수업’과 ‘실험’ 수업이 동일하게 여겨져 논의를 통한 수업 방법에 대한 고려가 부족한 실정이다. 이에 따라 이 글에서는 논의를 기반으로 과학 탐구 학습을 수행하는 교수 학습 모형인 ‘논의기반 탐구(Argument Based Inquiry: ABI)’ 과학수업에 대해 소개하고자 한다.

본론

1. 논의기반 탐구(Argument Based Inquiry) 과학수업

논의기반 탐구(ABI) 과학수업은 탐구과정에서 학생들이 읽기, 쓰기, 말하기, 듣기 등의 언어적인 상호작용을 매개로 하여 탐구의 전 과정에 논의와 글쓰기를 실시하는 탐구 적 과학 글쓰기 활동(Science Writing Heuristic)을 국내 실정에 맞게 수정한 프로그램이다. 논의기반 탐구 과학수업은 탐구와 지식의 형성에 있어서 학생들의 능동적인 참여를 강조하는 프로그램으로 교사가 문제 상황을 제시하면 이에 대해 학생들이 (1)의문을 만들고, (2)실험을 설계 및 수행하며, (3)관찰한 것을 바탕으로, (4)협상을 통해 주장과 증거를 형성하고, (5)읽기를 통해 과학적 지식과 자신의 지식을 비교하여, (6)반성에 이르는 6단계의 과정을 학습자들 스스로 수행하는 학습자 중심의 프로그램이다. 논의기반 탐구 과학수업은 실험 목적, 실험 방법, 관찰, 결과, 결론의 5단계로 진행되는 교사 중심의 전통적인 실험수업

표 1. 논의기반 탐구 과학수업 단계별 수업 전략

단계	전략
의문 만들기	<ul style="list-style-type: none"> • 나의 의문은 무엇인가? • 합의된 우리조의 의문은 무엇인가? • 학급에서 합의된 의문은 무엇인가?
실험 설계 및 수행	<ul style="list-style-type: none"> • 어떻게 실험할까?
관찰	<ul style="list-style-type: none"> • 내가 관찰한 것은 무엇인가?(뭘 봤는가?) • 내가 실험에서 얻은 자료는 무엇이며, 이 자료로부터 얻은 결과는 무엇인가? • 내가 쓴 공식은 무엇이었는가? • 나는 적절히 분류하고 그래프를 그리고 있는가?
주장과 증거	<ul style="list-style-type: none"> • 나의 의문 또는 학급의 의문에 대한 대답으로써의 내 주장은 무엇인가? • 어떻게 알았는가? 그러한 주장을 한 이유는 무엇인가? • 내 주장을 뒷받침할 나의 자료(관찰, 그래프, 표, 또는 다른 분석)에 대한 내 결과 해석은 무엇인가? • 주장과 증거를 적절하게 연결하고 있는가?
읽기	<ul style="list-style-type: none"> • 여러 참고 자료로부터 무엇을 알았는가? • 여러 참고 자료가 나의 의문에 해답을 주는가? • 여러 참고 자료가 나의 주장을 어떻게 지지해 줄 수 있는가?
반성	<ul style="list-style-type: none"> • 어떻게 내 생각이 바뀌었는가? • 내 생각은 왜 바뀌지 않았는가? • 내가 가진 새로운 의문은 무엇인가? • 이 활동이 어떻게 내가 이미 배운 내용과 어떻게 연결될까? • 실험에서 나온 오차를 어떻게 설명할 수 있는가? • 이 실험과 관련된 실생활에서의 예는 어떤 것이 있을까?

과 달리 학생 중심의 수업 형태로, 의문 만들기, 실험 설계 및 수행, 관찰, 주장과 증거, 읽기, 반성의 6단계로 구성되어 자기 주도적인 학습이 가능하다. [그림 1]은 논의기반 탐구 과학수업의 단계를 [표 1]은 각 단계에서의 수업 전략을 나타낸다.

논의기반 탐구 과학수업에서 학생들은 교사가 제시한 문제 상황을 보고 나의 의문을 만들고, 모둠 논의를 통한 조의 의문을 만든다. 이를 통해 학급 논의를 통한 학습의 목표인 학급의 의문을 만든다. 학급의 의문을 해결하기 위해 각 모둠에서 실험을 설계하고 실행한 후, 관찰 결과를 작성한다. 이를 근거로 하여 학급 의문에 대한 자신의 주장과

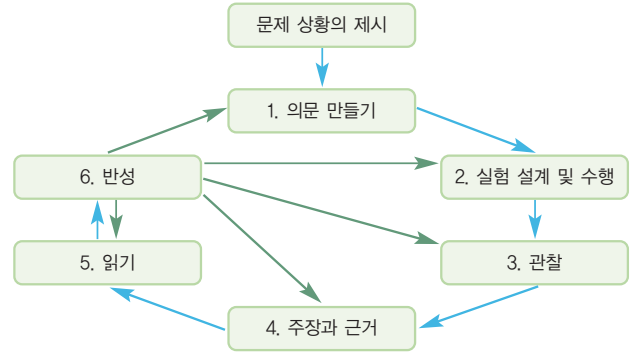


그림 1. 논의기반 탐구 과학수업 단계

증거, 조의 증장과 증거를 작성하게 된다. 그 후 전문서적, 교과서, 인터넷 등의 다양한 종류의 객관적인 자료를 찾아 읽어봄으로써 자신의 주장과 증거에 대한 타당성을 확인하는 과정을 거친다. 이런 여러 과정을 거치고 마지막으로 학습의 모든 과정을 정리하여, 자신의 사고 변화를 되돌아보는 반성을 하게 된다. 구체적인 단계는 다음과 같다.

1) 의문 만들기

학생들은 주어진 여러 문제 상황에서 공통 요소를 찾아 자신이 궁금하고 알고 싶은 것에 대해서 나의 의문을 만든다. 개인의 의문은 조별 논의를 통해 조의 의문으로 발전하

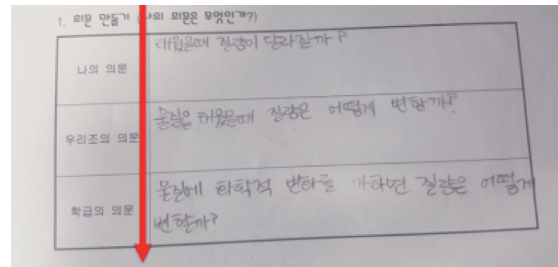


그림 2. 의문 만들기 단계

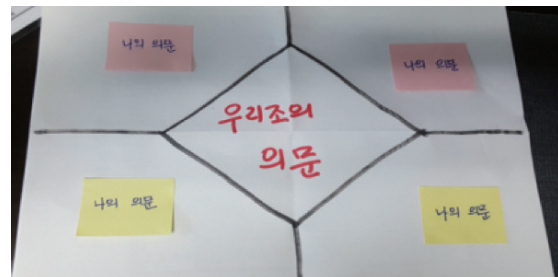


그림 3. 의문 만들기 방법

고 조의 의문에 대한 학급 전체논의를 통해 하나의 학급 의문으로 통합한다.

의문을 해결하기 위해서 탐구 설계 및 수행을 하고 의문에 대한 답으로써 주장과 증거를 세우기 때문에 의문 만들기 활동을 통해 학생 스스로 학습목표를 찾는 기회를 제공한다는 점에서 그 의미가 크다. 학생들이 만드는 의문은 자신이 이미 알고 있는 것, 알고 싶어 하는 것에 기초로 만들어지기 때문에 교사는 의문 만들기를 통해 학생들의 지식 구조와 이해 수준을 알 수 있고, 학생들은 의문을 만들면서 생각하고, 의미를 찾으며, 새로운 생각을 친숙한 개념에 연관 지을 수 있다. 또한 학생들이 작성한 의문은 학생들의 흥미와 관련되어 있기 때문에 학습자의 능동적인 참여를 이끌어낼 수 있다. 그러므로 의문 만들기는 학습의 효과를 높일 수 있는 한 방법이며, 수업 진행에서 전체적인 방향을 제시하도록 하는 중요한 역할을 한다.

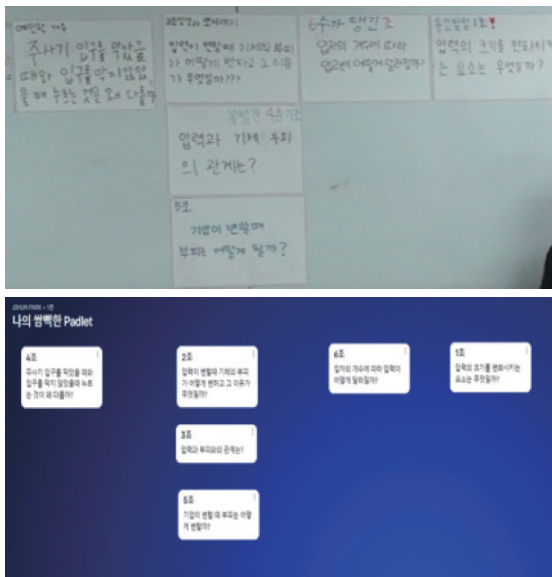


그림 4. 학급 의문 선정

2) 실험 설계 및 수행

두 번째 단계는 학급 의문을 해결하기 위해 조별 논의를 통해 실험을 설계하고, 실험을 실행하는 단계이다. 탐구적 과학 글쓰기 활동에서 실험은 전통적인 실험수업과 달리 학생이 직접 실험을 설계하도록 함으로써 스스로 생각하는 능력과 과학적 태도를 증진시킬 수 있다. 이때 개방된 실험 상황을 처음 접하는 학생들의 어려움을 덜어주고자 실험 준비물을 제시하여 학생들의 실험 설계를 돕는다. 조별로

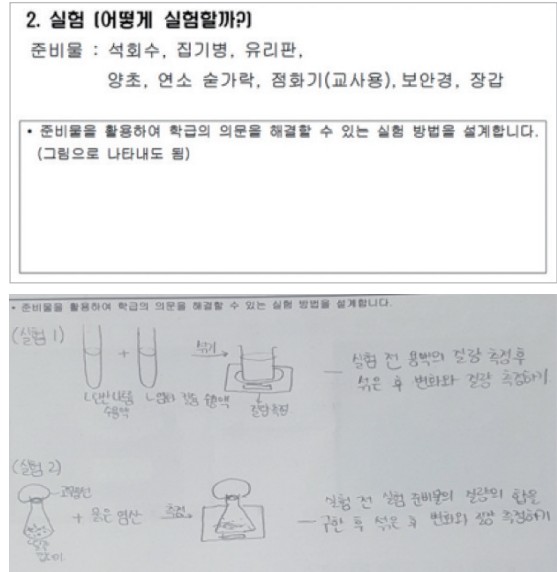


그림 5. 실험 설계

다양한 실험 방법이 설계될 수 있으며, 이는 학급 논의가 활발하게 일어날 수 있도록 하는 중요한 요소로 작용한다.

3) 관찰

관찰 단계는 실험을 통해 수집한 자료와 데이터를 해석하고 종합하는 단계이다. 이때 학생들은 다양한 실험 결과를 효율적으로 정리하고 상대방의 이해를 돕기 위해 그래프나 도표, 그림 등 다양한 방법으로 나타내고자 노력한다.

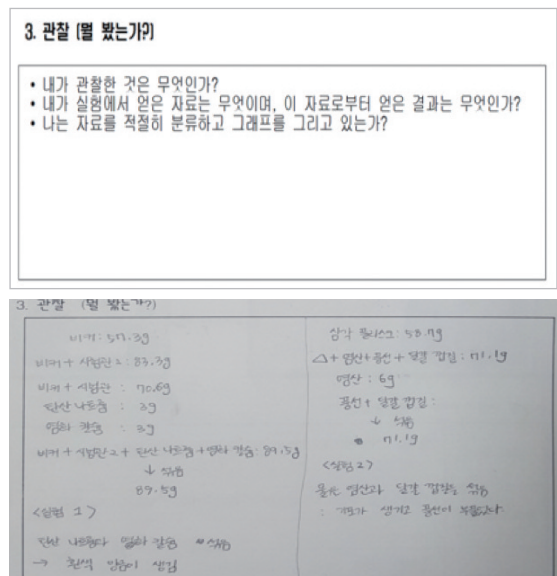


그림 6. 관찰

학생들은 변환된 자료를 해석하여 도출된 결론이 의문을 해결하는데 타당한지 평가하여 자신의 주장과 증거를 이끌어 내게 된다. 이 과정을 통해 학생들은 자료를 변환하고 해석하는 능력을 기르며, 실험 결과를 더욱 깊이 이해할 수 있다.

4) 주장과 증거

주장과 증거 단계는 관찰 결과를 바탕으로 학급 의문에 대한 주장과 주장을 뒷받침할 증거를 작성하는 단계이다. 먼저 개별로 주장과 증거를 만든 후 조별 논의를 통해 조의 주장과 증거를 작성하고, 합의된 조의 주장과 증거는 칠판에 게시하여 조별 발표, 패널 토의 등 다양한 방법으로 전체 논의과정을 거치게 된다. 이런 과정에서 학생들은 자신의 생각을 다른 사람의 생각과 비교하면서 끊임없는 협상을 하게 되고, 자신의 생각을 발전시키면서 과학적 지식이 형성되는 과정을 경험하게 된다. 주장-증거 단계를 효과적



그림 9. 조별 논의

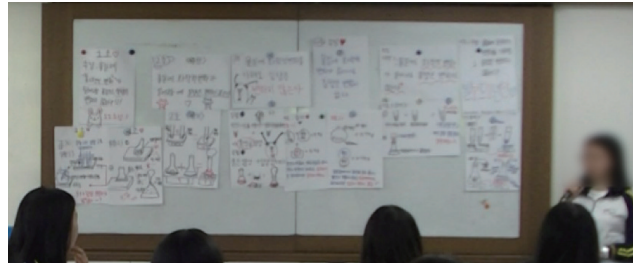


그림 10. 학급 논의

나의 주장 (별 의미할 수 있는가? & 그러면 의미를 한 의미는 무엇인가, 왜냐하면...)	
나의 주장 · 의문에 대한 대안으로 나의 내 주장문?	화학 변화가 일어나도 물질의 질량은 같다.
나의 증거 · 어떻게 알았는가? - 어떤 증거를 써야 하는지 무엇인가? - 무엇을 측정할 것인가? - 어떤 결과를 기대하는가? - 주장과 증거를 어떻게 연결하고 있는가?	(실험 1) → 각각의 시험관에 탄산나트륨, 염화칼슘을 넣어서 왜 질량과 두꺼의 중량의 차이가 다른 다음 (시험관도 일어서) 질 질량이 같다 (실험 2) → 중성화 결과 플라스크에 각각 염화칼슘과 탄산은 넣고 질 질량과 두꺼의 중량을 서로 재를 질량 다른 질 질량이 같다.

그림 7. 나의 주장과 근거

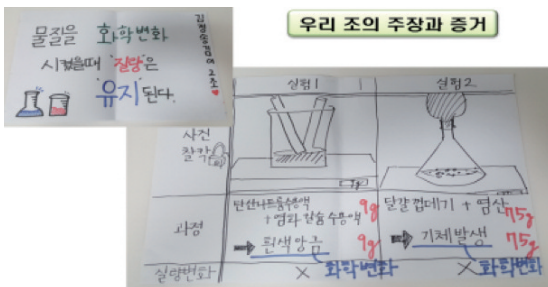
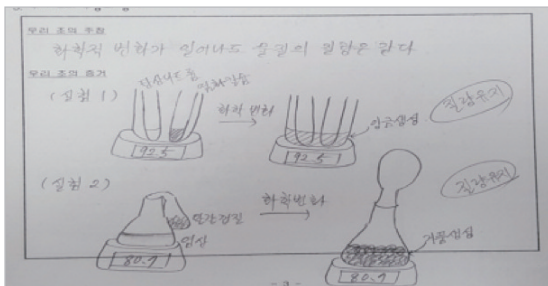


그림 8. 우리조의 주장과 근거

인 학습의 전략으로 발전시키고 수준 높은 주장-증거를 유도하기 위해서는 주장-증거 단계에서 이루어지는 논의를 활성화해야 한다. 의문에 대한 자신의 주장과 증거를 제시하고 그것을 상대방에게 설득시키는 과정은 과학자들이 자신의 지식 주장을 대중에게 또는 다른 과학자들에게 설득하는 과정과 유사하며, 과학지식이 세워지는 과정이다. 특히 조별 논의뿐만 아니라 학급 논의는 학생들이 과학 지식을 구성하는 과정에 중요한 역할을 한다.

5) 읽기

읽기 단계는 자신의 생각을 객관적인 자료와 비교하면서 의미를 형성하는 개인적인 협상 단계이다. 읽기는 단순히 정보나 지식을 수용하는 것이 아니라 자신의 선개념과 경험을 기초로 하여 의미를 새롭게 구성하는 과정이다. 읽기를 통해 내용을 이해하고, 그 내용에 의미를 부여함으로써 자신의 기존 장기기억 체계에 통합시키는 중요한 사고 과정을 경험한다. 학생들은 교과서, 참고서, 과학 서적, 인터넷 등에서 의문에 대한 공식적인 답을 찾고, 자신의 주장이나 생각을 더 견고하게 해줄 이론적 해설을 찾을 수 있다. 반대로 이 단계를 통해 자신의 주장과 증거의 오류를 찾아내고 수정할 수도 있다.

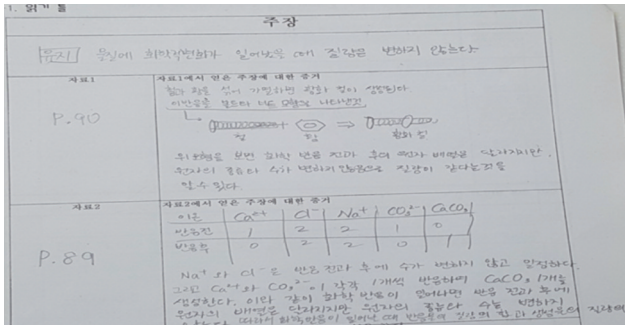


그림 11. 탐구

6) 반성

반성 단계는 학습의 전 과정에 대해 스스로 생각하고, 자신의 사고 변화 과정을 되짚어보는 단계이다. 또한 실험 단계에서 발생했던 오차를 분석하고, 새로운 의문을 확인하며, 이미 배운 과학개념이나 실생활과 어떻게 연관되는지 생각해 보는 단계이다. 활동 과정에서 경험한 다양한 인지적이고 정의적인 사건들을 기록하는 과정은 개념의 내면화와 사고 발달을 유도한다. 학생들은 자신의 사고 변화 과정

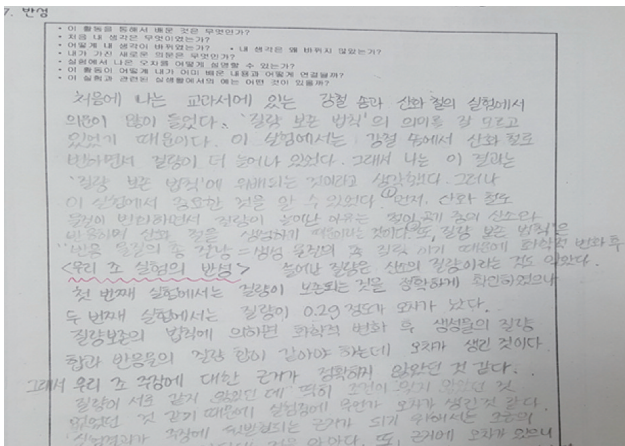


그림 12. 반성

을 지속적으로 되돌아봄으로써 과학학습뿐만 아니라 다른 영역에도 학습을 전이시킬 수 있다.

결론

EBS에서 제작한 영상을 매우 인상 깊게 본 기억이 있다. 영상의 내용은 2010년 G20에서 미국의 대통령이 성공적으로 행사를 개최한 한국에 감사의 뜻을 표하며 한국 기자들에게 질문권을 주었으나, 단 한 명의 한국 기자도 질문을 하지 못했다는 내용이였다. 사실 학교에서 근무하는 나에게 이러한 사건은 놀라운 일이 아니었다. 왜냐하면 교사들은 매일 겪고 있는 문제이기 때문이다. 학생들은 질문하지 않는다. “궁금한 것 있는 사람?”이라는 질문은 학생도 교사도 어색한 침묵 속에 서로를 불편하게 하며, 그런 상황에서 일부 교사들은 “우리 학생들 너무 질문하지 않는다.”라고 푸념 섞인 말을 하기도 한다. 그러나 과연 그것이 학생들 탓일까에 대해서는 의문점이 남는다. 얼마 전 자녀의 초등학교 공개 수업을 참관 하였는데, 대단한 질문이 아니었음에도 초등학생들은 서로 발표하겠다고 손을 들면서 초롱초롱한 눈으로 선생님을 바라봤다. 그 순간 이런 학생들이 중학교에서, 고등학교에서 질문을 하지 않게 된 것은 ‘내가 학생들을 그렇게 만들었기 때문이 아닐까?’라는 생각이 들었다. 강의식 수업 속에서 학생들이 할 수 있는 일은 교사의 말을 열심히 듣는 것밖에 없으며, 탐구 절차만 따라서 하는 실험은 학생들의 수공적 실험 능력만을 키워 줄 뿐이다. 학생들이 스스로 생각하게 하기 위해서는 교사가 수업 방식을 바꾸는 수밖에 없다. 논의기반 탐구 과학수업은 처음 하는 교사에게 큰 도전이 될 수도 있고, 어려울 수도 있다. 그러나 그러한 도전이 수업을 바꾸게 되고 학생들을 변화시킬 것이라 믿어 의심치 않는다. ☺



1. 성화목. "읽기전략으로 사용된 읽기틀이 중학생들의 반성 글쓰기에 미치는 영향". 국내박사학위논문 부산대학교 대학원, 2013. 부산
2. 박지연. "논의기반 탐구(ABI) 과학수업에서 나타나는 중학생들의 인식론적 사고 분석". 국내박사학위논문 부산대학교, 2018. 부산
3. 이지화. "비대면 및 대면 상황의 논의기반 탐구(ABI) 과학수업에서 나타나는 중학생들의 인식론적 사고 비교 분석". 국내박사학위논문 부산대학교 대학원, 2021. 부산



박지훈 Park Jihun

- 부산대학교 교육대학원 화학교육전공, 석사 (2012.3-2015.2, 지도교수 : 남정희)
- 부산대학교 대학원 과학교육학과 화학교육학 전공, 박사(2015.3-2018.8, 지도교수 : 남정희)
- 부산광역시 교육청 교사(2011.3-현재)
- 현재 부산과학고등학교 근무

한양대 차세대유기합성연구센터

“새로운 고효율·고선택성·친환경성 유기반응 개발과
기능성 복잡·복합 유기분자의 효율적 합성”

CNOS 차세대유기합성연구센터
Center for New Directions in Organic Synthesis

서울특별시 성동구 왕십리로 222
한양대학교 화학과 318호

☎ 02) 2220-1746

✉ ccho@hanyang.ac.kr

🔍 <http://bmsl.hanyang.ac.kr>

한양대학교 차세대유기합성연구센터(CNOS, 센터장 조천규 교수)는 2014년 한국연구재단 선도연구센터(SRC)로 선정되어 ‘새로운 고효율·고선택성·친환경성 유기반응 개발과 기능성 복잡·복합 유기분자의 효율적 합성’이라는 목표로 통합적 협력 연구를 수행하고 있다. 탄소를 기반으로 하는 물질은 현대사회의 다양한 영역에서 필수불가결하며 이러한 수요를 수용할 수 있는 탄소화합물을 발굴하고 이들을 효율적으로 합성하는 새로운 방법의 개발은 중요한 연구 과제이다. 통상 탄소화합물의 목적지향적 합성과 반응 개발 연구 분야는 별도의 노력으로 진행되어 왔으나 본 센터에서는 두 분야의 긴밀한 상호작용을 통해 도전적인 반응과 전략을 개발하고 복잡·복합 유기분자의 전합성에 적용하여 합성의 효율을 혁신적으로 개선하고자 한다. 또한 복잡·복합 분자골격이 제공하는 영감과 동기를 발판으로 고도의 선택성과 친환경성을 지닌 개념적으로 새로운 유기반응의 개발 연구도 본 센터가 추구하는 중요한 연구지향점이다. 연구센터는 2014년부터 2020년까지 7년간 우리나라 유기합성 분야의 발전에 기여한 성과를 인정받아서 2021년 후속지원 과제로 선정되었으며 유기반응 개발과 전합성 분야의 협력 연구를 통해 새로운 시너지를 창출하고 기능성 고부가가치 유기화합물의 발굴과 효율적 합성에 유용한 방법을 개척하기 위한 지속적인 연구를 수행 중이다.

연구센터는 새로운 반응성의 탐색을 통하여 고효율·고선택성 유기반응을 개발하는 연구팀, 지속 가능한 원료와 에너지를 활용하는 반응을 개발하는 친환경 및 촉매 반응 연구팀 그리고 반응 개발

연구를 바탕으로 창의적인 합성전략과 경로를 개척하여 복잡·복합 유기분자를 합성하는 세 그룹의 연구 팀으로 구성되어 있으며 최근 연구 내용을 아래에 소개한다.

Project 1 복잡·복합 유기분자 합성 연구

제1그룹은 원자 간 연결구조가 고도로 정교하고 입체화학이 복잡하여 합성이 매우 어려운 골격을 지닌 천연물 및 생리활성 유도체 타겟을 짧은 단계로 간결하게 합성하는 연구를 중점적으로 수행하고 있다. 조천규 교수(한양대), 하현준 교수(한국외대), David Chen 교수(서울대), 이철범 교수(서울대), 천철홍 교수(고려대) 연구팀이 이 그룹의 멤버로서 참여하고 있으며 천연물 전합성 및 새로운 합성전략 개발 연구가 활발하게 진행되고 있다.

조천규 교수 연구실은 접합 고리 인돌 천연물을 합성하는 새로운 경로 도출을 위하여 엔올 트리플레이트와 아릴 하이드라이드 간의 짝지음을 매개하는 전이금속 촉매반응을 개발하였고 얻어진 생성물을 위치선택적 Fischer 인돌화 반응에 활용하는 합성법을 개발하였다. 새로운 합성법은 aspidospermidine, tabersonine, ervatamine 등 다양한 인돌 알칼로이드 천연물을 간결하게 합성하는 경로의 개척에 활용되었다. 최근 N-아릴-N'-알케닐 하이드라이드 합성 과정에서 탄소-질소 결합형성 짝지음 반응이 엔올 트리플레이트 작용기를 포함하는 탄소 고리의 크기에 따라서 팔라듐 또는 구리 촉매가 선택적인 효용성을 보이는 흥미로운 반응의 메커니즘을 계산 및 실험을 통하여 규명함으로써 Fischer 인돌화 합성법의 중요한 가이드라인을 제시하였고 lundurine A 합성에 응용하여 접합 고리 인돌 알칼로이드 합성에 폭넓게 활용할 수 있는 계기를 제공하였다. 또한 전혀 새로운 형태의 비대칭적 분자내 Diels-Alder 반응을 3,5-dibromo-2-pyron에 적용하여, lycopladine A의 합성을 완성하였으며, 최근 platensimycin의 합성에도 성공적으로 적용하여, 현재 합성단계의 최적화 연구를 수행하고 있다.

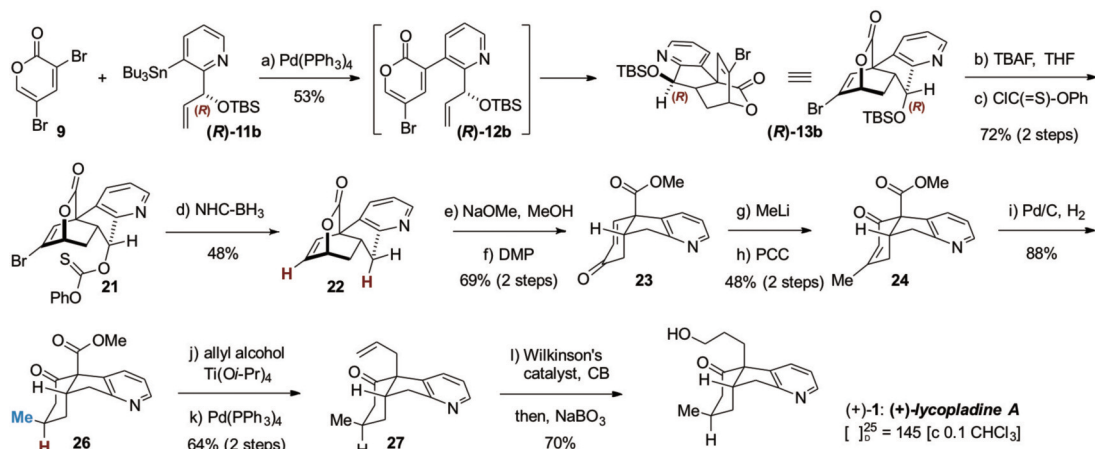


그림 1. 조천규 교수팀에서 개발한 lycopladine A의 합성법

질소가 포함된 3각 고리 화합물인 아지리딘의 독특한 반응성을 지속적으로 연구해온 하현준 교수팀은 카이랄 보조물이 부착된 아지리딘을 용이하게 구축하고 입체선택적 고리열림 반응 및 간단한 일련의 반응을 통하여 유용한 생리활성을 지닌 물질에 손쉽게 접근하는 합성법 개발 연구를 지속적으로 추진 중이다. 최근 항경련제 라코사마이드와 유도체를 아지리딘 고리열림 반응과 후속 반응으로 합성하였고 아지리딘 화학 연구를 5각 질소고리에 확장하여 N-알킬피롤리딘 화합물도 N-탈알킬화 반응을 통하여 고리 열림이 가능함을 보였고 반응경로와 메커니즘을 계산 결과로 뒷받침하였다. 아지리딘 화학 연구 경험을 바탕으로 활성화 과정의 핵심 중간체인 아지리디늄 이온 및 연쇄적으로 부착된 아지리딘 화합물의 합성과 응용을 조망하는 총설을 발표하였다.

David Chen 교수 연구팀은 다양한 알칼로이드 계열 천연물의 분자골격 구축에 전례 없는 접근법을 활용하여 actinophylic acid, dendrobine, morphinans, strychnine, communesin F 및 동류 천연물들의 전합성을 완결하였다. 최근 대칭성을 지닌 중간체의 비대칭화 과정을 전합성의 핵심단계에 접목시켜 전합성의 효율을 획기적으로 높이는 독창적 합성전략을 개발하였고 oxycodone, reserpine, quinine, quinidine, houamine A 등 학문적으로 중요한 위상을 지닌 천연물의 전합성을 성공적으로 완수하는 성과를 거두었으며 zaragozic acid A 와 같이 고도로 복잡한 산소 작용기를 지닌 천연물 타겟까지 전합성 연구 대상을 확장하고 있다.

이철범 교수 연구팀은 항알츠하이머 생리활성을 지닌 식물유래 천연물 garsubellin A 전합성 연구를 지속적으로 수행하여 최근 완결하였다. 기존 라세미 전합성과는 달리 보호기를 사용하지 않는 간결한 비대칭 합성경로를 개발하여 최초로 순수한 거울상 이성질체 형태로 합성함으로써 생리활성 연구의 발판을 마련하였다.

천철홍 교수 연구팀은 시안화 음이온을 촉매로 이용한 이미노-스테터 반응을 이용한 생리활성을 띠는 인돌계 화합물의 전합성에 관한 연구를 지속적으로 수행하였다. 이미노-스테터 반응을 통해서 인돌 중간체를 손쉽게 확보한 이후 인돌계 천연물인 antirhine, hinckdentine A와 iheyamine B의 전합성법을 개발하였다. 뿐만 아니라, 난소암 및 전립선암 치료제인 rucaparib의 효율적인 합성 경로를 개발하였다. 이미노-스테터 반응의 개념을 확장하고자 하는 연구를 진행하였으며, N-benzyl-2-aminocinnamic acid 유도체를 염기성 조건에서 벤질 위치에 음이온을 형성한 후 고리화 반응을 통해서 인돌린 화합물의 신규합성법 개발과 aza-신남산 유도체와 알데히드 사이의 이미노-스테터 반응을 통한 aza-인돌 화합물의 신규합성법도 개발하였다.

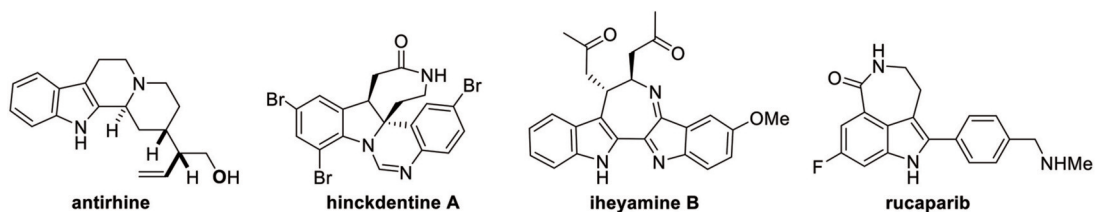


그림 2. 천철홍 교수팀에서 합성한 인돌 천연물들의 구조

Project 2 새로운 반응성 탐색 및 고효율·고선택적 유기반응 개발 연구

제2그룹은 간단한 물질로부터 복잡성을 가진 분자를 높은 효율성과 선택성으로 합성하는 유기반응 개발을 목표로 새로운 반응성 탐구를 중점적으로 수행 중이다. 신승훈 교수(한양대), 윤소원 교수(한양대), 오창호 교수(한양대), 박철민 교수(UNIST)가 제2그룹의 멤버이며, 파이 시스템을 지닌 간단한 반응물이 분자 복잡도가 높은 고리구조를 지닌 생성물로 단숨에 변환되는 새로운 고리화 축매반응을 개발하기 위한 연구가 진행 중이다.

신승훈 교수 연구팀은 알카인 기능화 반응 개발 연구의 일환으로 아인아마이드로부터 아마이드 카보닐의 알파 위치에 친전자체를 만들어내는 극성반전 반응을 개발하였고 반응이 S_N2' 경로로 진행됨을 밝혔다. 또한 아인아마이드 화합물이 산축매 할로젠화 반응을 통해 클로로엔아마이드가 형성되고 브린스테드 산의 산성도가 케텐이미늄의 화학선택성에 끼치는 영향을 규명하였다. 브린스테드 산을 활용한 활성화 연구는 최근 N-아실옥시 인돌에 적용되어 친핵체가 인돌 고리에 도입되는 극성반전 반응의 개발로 확장되었고 여기에서 발전하여 반응의 시발점이 되는 질소-산소 결합의 분해가 이온성 메커니즘 뿐만 아니라 전이금속 및 가시광축매가 매개하는 다양한 경로를 통하여 진행될 수 있으며 거울상선택적 반응으로의 개발 가능성을 열었다.

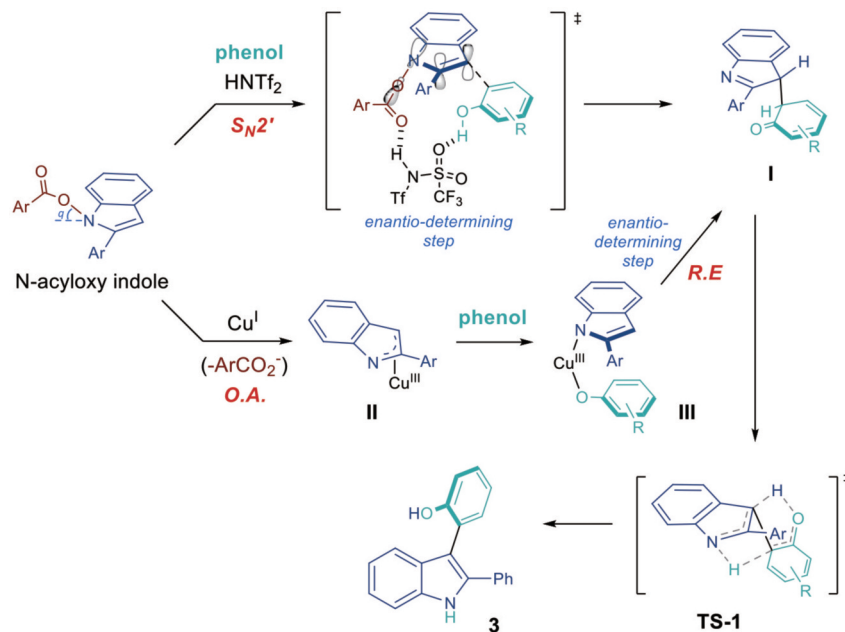


그림 3. 신승훈 교수팀에서 개발한 극성반전된 인돌의 C-H 아릴화 반응의 제안 메커니즘

윤소원 교수 연구팀은 다양한 금속 축매나 N-헤테로고리 카빈 유기 축매를 이용하여 탄소-수소 결합 활성화 또는 다중 결합 활성화를 거쳐 위치 선택적으로 새로운 탄소-탄소 및 탄소-헤테로원자 결합이 형성되는 여러가지 고리화 반응을 개발하였다. 이를 통해 인돌, 카바졸, 파이롤, 피라졸, 아이소인돌리논, 옥사졸리딘, 프탈라이드 등의 5각 헤테로고리와 퀴놀린, 쿠마린, 아이소쿠마린 등의 6각 헤테로고리를 높은 선택성과

수율로 합성할 수 있었다. 연속적 다결합 형성을 위한 새로운 한단계 촉매 반응 개발에 대한 지속적인 연구를 수행하여 기존의 합성법으로는 구축하기 어려운 신규 헤테로고리 골격 합성은 물론, 효율성과 선택성이 극대화된 새로운 반응 개발과 그에 대한 메커니즘 연구를 수행하고 있다.

오창호 교수 연구팀은 알카인과 금으로부터 유래하는 착화합물의 특이 반응성을 활용하여 일련의 촉매반응을 개발하고 반응 메커니즘 연구를 수행하였다. 최근 프로파질 에스테르 화합물이 금촉매의 작용을 통하여 벤젠고리로 변환되는 고리이성질화 반응의 메커니즘을 X-선 분석 데이터를 기반으로 재조명하였다. 금 촉매를 활용한 알카인 활성화 전략은 알카인, 알켄, 카보닐 작용기의 적절한 조합을 통하여 다양한 고리이성질화 반응으로 개발될 수 있으며 다른 방법으로 구축하기 어려운 다중고리 구조를 쉽게 형성할 수 있음을 보여주는 연구가 계속되고 있다.

Project 3 친환경 유기반응 및 촉매 개발 연구

제3그룹은 지속가능한 원료물질과 에너지를 사용하여 부산물을 최소화하는 친환경 유기반응을 연구하고 유기합성 분야 뿐만 아니라 태양광 촉매, 친환경 고분자화 촉매 등 공업적으로 적용이 가능한 재사용 촉매의 개발을 목표로 연구를 수행 중이다. 홍순혁 교수(KAIST), 김현우 교수(KAIST), 조은진 교수(중앙대), 유은정 교수(경희대)가 제3그룹의 멤버이며 가시광촉매, 전기화학 및 입체선택적 고분자화 반응 개발 연구가 활발히 진행 중이다.

홍순혁 교수 연구팀은 전이금속 촉매 및 광촉매를 활용, 단전자 및 이전자 메커니즘 기반 반응 전략으로, 비활성화된 탄소-수소 결합의 작용기화 연구를 진행, 일반적인 C-H 결합을 C-C(acyl), C-CN, C-CF₃, C-N,

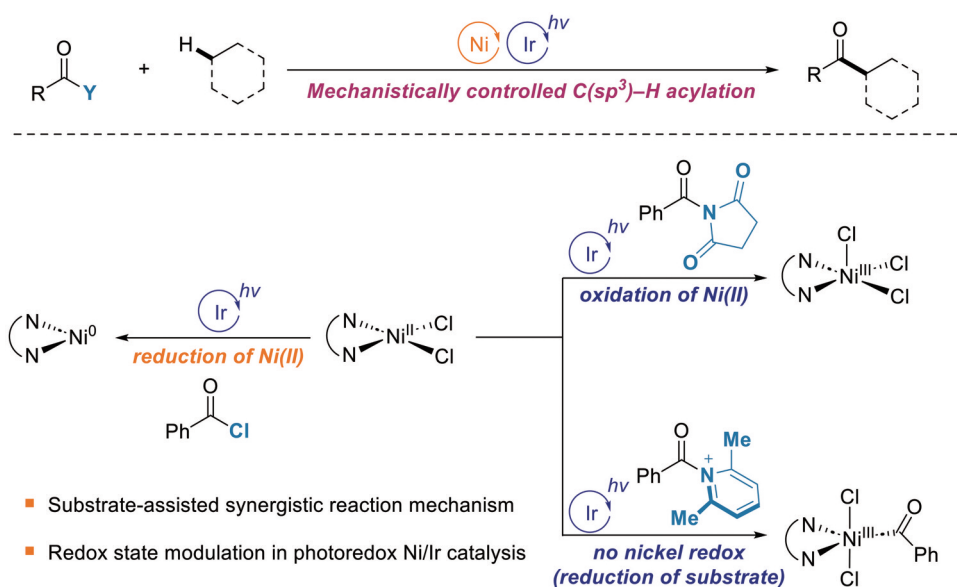


그림 3. 홍순혁 교수 연구팀에서 개발한 C(sp³)-H 아실레이션 반응 및 메커니즘

C-S 등 작용기가 도입된 기능성 결합으로 변환시키는, 다양한 합성 방법들을 개발하였다. 또한, 분자적 구조 설계를 통해, 고리화 화합물의 고리스트레인 에너지를 증가시켜, 난제였던 사이클로헥센 유도체의 고리열림 이중결합복분해 반응을 수행하여, 화학적 재활용이 가능한 산소차단 기능성 고분자 소재를 개발하였다.

조은진 교수 연구팀은 가시광선에 의해 유도되는 유기반응 개발 연구를 지속적으로 수행하여 별도의 광제를 사용하지 않고 온화한 반응 조건에서 2,2'-다이아미노아릴에서 카바졸 유도체를 형성하는 반응을 개발하였다. 이러한 친환경 반응은 다양한 형태의 불소화알킬 그룹을 방향족 및 알켄 파이 결합에 도입하는 합성법으로 활용될 수 있음을 보였고, 광화학적 조건에서 일어나는 1,2,4-옥사다리아졸린의 반응이 전기화학적 방법을 사용할 경우 상이한 경로를 통하여 진행됨을 밝히고 퀴나졸린 합성법으로 개발하였다. 가시광선 광촉매반응과 전기화학반응을 접목하여 고전적 방법으로는 활용하기 힘든 라디칼 짝지음 반응을 트라이플루오로알킬화 3차 알코올을 합성법으로 발전시켰다.

핵자기공명 분광법을 이용한 광학 순도 측정 방법을 중점적으로 수행해온 김현우 교수 연구팀은 최근 카이랄 산촉매로 널리 사용되는 유기인산의 광학순도를 정량적으로 분석할 수 있는 코발트 착화합물을 개발하였다. 또한 전이금속 착화합물의 디자인, 합성 및 응용 연구를 확장하여 라세미 락타이드로부터 입체선택적으로 헤테로택틱 폴리락타이드를 합성하는 타이타늄 기반 촉매 시스템을 개발하고 반응성과 선택성을 최대화하는 최적 구조를 도출하였다.

유은정 교수 연구팀은 다양한 헤테로고리 화합물의 합성이 가능한 친환경 고리화첨가 반응을 개발하고 있다. 탈방향족성 고리화 반응 개발에 경험을 바탕으로, 비대칭 고리화반응 및 고리-재구성 반응 연구를 차례로 발표하였다. 악리활성이 예상되는 다양한 카이랄 고리 화합물을 확보해 바이오 응용 연구도 수행하고 있으며, 비활성 방향족 화합물의 비대칭 작용기화 반응 개발에도 관심을 갖고 있다.

About



한양대학교
차세대유기합성연구센터(CNOS)



조천규 센터장
한양대학교 화학과 교수

조천규 교수는 한양대학교 공업화학과를 졸업한 후 미국 존스홉킨스대학에서 박사 학위를 취득했으며, 미국 매사추세츠공과대학에서 박사 후 연구원을 지냈다. 1997년 한양대학교 화학과에 부임한 후 천연물 전합성 및 유기반응 개발에 대한 연구에 매진하고 있다. 대한화학회에서 수여하는 '장세희 학술상(2008년)', '시그마 알드리치 상(2014년)', '웹스켄 한만정 학술상(2017년)', 한국유기합성학회에서 수여하는 '학술상(2016년)', 한양대학교에서 수여하는 'HYU 학술상(2017년)' 그리고 한국유기합성학회의 '이남순 학술대상(2023년)'을 각각 수상하였으며, 2014년과 2015년에 각각 'Organic Synthesis Lectureship' 과 'Asian Core Program Lectureship'의 수상자로 선정되었다. 『Organic Letters』의 Editorial Advisory Board Member와 『BKCS』의 Associate Editor로 활동하였으며, 대한화학회 유기분과회 회장과 한국유기합성학회 회장을 각각 역임하였다.



화학세계가 만난 화학자 22

“포기하지 말고
목표를 달성해
최후의 승자가 되길”



〈화학세계가 만난 화학자〉에서는 대한민국 화학계에 공헌한 화학자와의 인터뷰를 소개해 드리고 있습니다. 이번 호에는 나노화학 분야 세계적 석학이신 최진호 교수님(단국대 석좌교수)을 모셨습니다. 교수님은 고체무기화학과 세라믹스를 기반으로 하는 융합과학기술 분야를 선도하고 계시며, 대한민국학술원, 한국과학기술한림원, 세라믹분야 세계학술원 등에서 세계적 석학으로서 활발하게 활동하고 계십니다. 최진호 교수님의 인터뷰를 통해 교수님의 연구, 인생관 및 그 외 다양한 면모를 소개합니다.

[모더레이터: 이준석 교수(한양대학교 화학과)]

1. 교수님께서서는 일본 동경공업대학교에서 재료공학 박사 학위를 받으시고, 독일의 뮌헨대학교에서는 화학으로 박사 학위를 받으셨습니다. 그리고 영국 옥스퍼드대학교 무기화학연구소에서 연구원으로 계시다가, 1981년부터 서울대 화학과 교수로 부임하시고 이화여대 석좌교수, 그리고 지금은 단국대 석좌교수로 연구를 계속하고 계십니다. 이렇게 다양한 곳에서 경험하고 왕성하게 연구를 하실 수 있는 교수님만의 철학이나 원동력이 있을까요?

제가 대학과 대학원에서 공부하던 1960년대 말과 1970년 초 당시의 우리나라 경제 상황은 아무 열악했죠. 그래서 대학이나 대학원 실험실에는 연구장비가 잘 갖추어져 있지 않았어요. 당연히 하고 싶은 연구를 할 수 없는 상황이었습니다. 좋은 기회에 장학금을 받아 일본 동경공업대학으로 유학을 가게 됐는데, 그 당시 실험실에는 모든 장비가 갖춰져서 연구하기 좋은 환경이었습니다. 하지만, 지도교수님이 제가 원하는 연구 주제를 주시지 않

고 다른 주제를 권유하셨어요. 사실 저는 전이금속 산화물의 자기적 특성에 관심이 많았습니다. 특히 강자성 물질의 합성과 응용에 관한 연구를 하고 싶었지요. 왜냐하면 향후 우리나라 산업에 크게 도움이 될거라고 생각되었지요. 당시 일본에서는 전철을 탈 때도 자성테이프 티켓을 넣거나 기억 소자에 자성 재료를 활용하는 연구가 활성화 되어 있었기 때문에 자성체 분야의 기초와 응용 연구를 하고 한국에 돌아와 한국 경제에 기여할 수 있겠다 싶었죠. 그래서 지도교수님께 계속 연구주제 변경을 부탁드립니다 허락해 주시지 않으셨습니다. 연구주제가 결정되지 않아 차일피일 연구 시작을 미루고 있던 어느날 아침 일찍 교수님을 찾아갔더니, 교수님께서 제게 “학문하는 사람은 학문적 호기심에 경계가 있어선 안 된다네. 그런 학문적 자세로는 외골수(전문바보)가 될 수밖에 없네. 어떠한 분야라도 학문적 호기심을 가져야 하네”라고 조언해 주시더라고요. 그때 딱 깨달음이 왔죠. 그때 이후로 교수님의 가르침대로 연구에 몰두했어요. 2~3달을 아무 소리 하지 않고 연구에만 집중했어요. 새로운 모델을 제시하는 연구였는데, 교수님이 그때야 제게 잘했다고 이야기하시더군요. 그때는 정말 밤낮 가리지 않고 학문적 갈증을 해소하기 위해 연구했던 것 같아요. 하루에 3~4시간씩 자고 실험실에 나가는 일을 반복했거든요. 일본에서의 지도교수님 말씀이 제가 지금까지 융합연구를 할 수 있었던 원동력이라고 볼 수 있겠네요.



■ 조직재생공학연구원 앞에서 최진호 교수.

2. 그럼 일본에서 학위를 하시고 귀국하셨다가 다시 독일의 뮌헨대학교에서 화학 박사를 받으신 거죠?

제가 배우고 싶은 분야가 고체화학 분야이었는데 그 당시에는 미국 보다 유럽 쪽에서 더 활발히 연구를 하고 있었어요. 운이 좋게 DAAD장학생으로 뽑혀서 독일 뮌헨대학교 화학과로 가게 됐죠. 제가 학부에서 공학을 전공으로 했기 때문에 기초가 부족하다는 생각을 하고 있었어요. 공대에서는 ‘know how’를 배운다면 자연대학에서는 ‘know why’에 대해 배운다고 생각합니다. 그래서 독일에서는 화학공학에서 화학으로 전공을 바꿔 공부를 시작했어요. 전공이 바뀌었으니 더 열심히 해야 했고, 다양한 전공 수업을 많이 들을 수 있었어요. 연구소에서 매일 자정까지 일하다가 퇴근하는 일상을 반복했습니다. 굉장히 힘들었지만, 지적 호기심의 해소로 몸은 힘들었지만 마음은 즐거웠어요. 그때 지도교수이신 Armin Weiss 교수님은 거의 매일 아침 새벽에 실험실에 오셨는데, 그때 나와 있는 대학원생이 저밖에 없어서 저는 실험결과에 대하여 매일 토론할 수 있어서 완전 행운이었죠. 그래서 매우 짧은 기간에 박사 학위를 받았어요.

3. 교수님께서 1996년에 나노 관련 학회로는 처음으로 국제심포지엄을 개최하시는 등 국내에 ‘나노 화학’이라는 개념을 처음 전파하셨다고 들었습니다. 나노에 관심을 가지게 된 계기가 궁금합니다.

서울대 화학과에 교수로 임용된 1981년 이후 유럽에 자주 왕래하면서 유럽 과학자들과 공동연구를 했어요. 특히 벌크의 전이금속 화합물을 초고압에서 합성하면 상압에서와는 달리 전이금속 주위의 대칭성이 low symmetry에서 high symmetry로 전이되며 전혀 다른 결정구조를 갖는 신물질이 합성되며 물리적, 화학적 성질도 달라지게 됩니다. 마치 graphite가 초고압 하에서 diamond 구조로 전이되는 것과 같은 이치입니다. 또한 벌크 물질을 submicro-meter (nano-meter) 크기로 작게 만들어 주면 표면기여도가 커지면서 symmetry가 낮아지는 것도

알게되며 벌크와 분자 사이의 물질들에 관심을 갖게 되었어요. 그래서 나노과학 분야가 중요해질 것 같다는 느낌이 들었고, 1995년도에 전 과기부 장관께 나노 관련 국제심포지엄 개최를 건의했는데 예산 문제가 어려워 개최를 못 했죠. 그래서 1996년에 다시 기획했고 당시 서울대 화학과의 SRC (분자촉매연구센터)의 지원으로 세계최초로 국제 나노심포지엄(International Symposium on Nanoparticle, Nanopore and Nanocomposite Chemistry)을 개최했습니다. 미국, 프랑스, 독일, 일본 등 외국 선진국들의 학자들을 초청해서 꽤 정성을 들여서 컨퍼런스를 운영했어요. 그때는 나노분야가 생소했지만, 연구가 본격화된 건 2000년 미국 빌 클린턴 대통령이 나노백서를 발표하면서 전 세계 나노 열풍이 불기 시작했습니다. 제가 나노하이브리드라는 용어를 만들어 1998년에 논문을 발표했는데, 그 용어가 과학자들 사이에서 통용되기 시작했어요.

4. 교수님께서서는 여러 난제를 많이 해결하셨을 텐데요. 현재 나노화학이 해결해야 하는 가장 중요한 화학적 문제가 무엇인가요?

글로벌 이슈에 나노화학이 기여할 수 있다고 생각합니다. 기존의 다양한 과학기술 영역과 나노화학의 융합이 이루어지는 인터페이스에 새로운 문제가 제기되며, 예로서 그린에너지/환경, 이와 관련한 탄소 중립 문제도 있고 의약바이오에서는 지난 펜데믹과 관련된 문제가 매우 많거든요. 제가 요즘 바이러스 치료제 분야를 연구하고 있는데 기존 항바이러스 약의 문제점들이 많습니다. 약의 용해도나 생체 흡수율 관련된 문제점들을 나노화학이 해결할 수 있다고 생각합니다.

5. 교수님께서서는 700여 편의 논문을 발표하셨는데요. 그 중에서 1편을 『화학세계』 독자에게 소개해 주시기를 부탁드립니다.

나노과학 기법을 이용한 초전도 물질을 개발해 1998년 『Science』에 논문을 발표한 적이 있습니다. 논문 제목은 「High- T_c Superconductors in the Two-Dimensional Limit: $[(\text{Py-C}_n\text{H}_{2n+1})_2\text{HgI}_4]\text{-Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{m-1}\text{Cu}_m\text{O}_y$ ($m=1$ and 2)」이에요. 그 당시 순수 한국인 연구자들 3명이 팀을 이뤄서 연구했고 해외 연구기관 도움 없이 국내의 연구 환경에서 완성한 논문이기 때문입 니다. 또 지금 생각나는 다른 연구는 2차원 구조를 갖는 나노물질을 유전자 전달체로 개발하여 『JACS』(1999)와 『Angewandte Chemie』(2000)에 연속으로 발표하고 미국 보스턴에서 열린 세계 최대의 재료학 회의 ‘Material Research Society-2000’에서 발표를 했는데 그 연구가 ‘세계 8대 innovative research’에 선정되고 C&EN 뉴스에도 하이라이트 되었던 것도 기억에 남습니다.

6. 교수님께서서는 긴 시간 동안 화학자의 길을 걸어오면서 보람도 많이 느끼셨겠지만, 그만큼 육체적으로도 힘들고 스트레스도 많이 받지 않으셨나요?

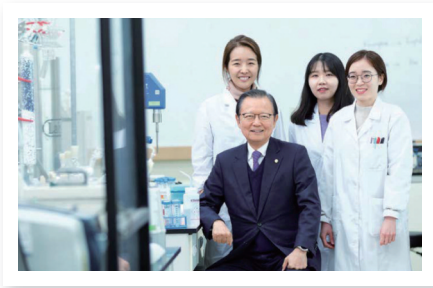
연구할 때는 열심히도 했지만, 늘 신나서 했습니다. 특히 서울대 화학과의 학문적으로 뛰어난 동료 교수들과 일할때는 바빠도 피곤한 줄 몰랐어요. 그리고 정말 열심히하는 대학원생들과 연구했을 때는 그 기쁨이 몇 배가 되었습니다. 물론 실패했을 때는 스트레스를 받기도 하였지만 지나서 생각해 보면 오히려 저에게 즐거운 스트레스로 느껴졌고 더 좋은 연구를 할 수 있는 원동력이 되었습니다. 즉, “쉽지 않았지만 즐거운 스트레스였다.”라고 생각합니다.



▲ Science 1998, 280, 1589

7. 교수님께서 양성하신 많은 제자 중에 가장 기억에 남는 분이 있나요? 그 제자가 특별했던 이유는 무엇인가요?

서울대에서부터 박사 졸업생이 30명이 넘는 것 같아요. 대학, 대기업, 정부출연연구기관에서 인정받으면서 우리 사회의 꼭 필요한 인재가 되어 다들 잘 하고 있고 모두 기억에 남습니다. 부모의 마음하고 똑같은 것 같아요. 지금은 성균관대에서 교수로 재직하며 후학양성과 Perovskite Solar Cell 연구로 노벨상이 기대되는 박남규 교수는 서울대 화학과 박사학위 과정 중에 너무 열심히 연구해서 다른 학생보다 1년 더 빨리 졸업시킨 기억이 있습니다. 그리고 연세대 황성주 교수는 꾸준히 2차전지 연구로 국내외 학계에서 두각을 나타내고 서울대 교수로 활약 중인 정인 교수는 석사과정 중에 2차원 구조 물질의 van der Waals gap 내에 radical 분자를 안정화시키는 연구 아이디어를 내어 저에게 깊은 인상을 주었지요. 모두 열심히 포기하지 않고 연구를 하더니 지금은 확실하게 본인 연구의 정체성을 잘 보여주고 있습니다. 이화여대 화학과에서는 최고은 박사가 독심을 잃지 않고 끝까지 연구를 하며 지금은 단국대에 교수로 임용되어 있습니다. 제가 목표로 하는 연구를 마지막까지 이어서 하는 연구자이기도 합니다.



■ 실험실에서 학생들과 함께하는 최진호 교수.

8. 화학공부를 열심히 해나가는 학생들에게 조언의 말씀을 해주실 수 있을까요?

공자님 말씀과 같이 공부는 아무리 해도 미치지 못하는 듯이 애써야 하고 오히려 이를 잊어버리지 않을까 두려워 해야 한다고 배웠고 이를 몸소 실천하며 보여 주려 노력해 왔습니다. 그리고 최후의 승자는 포기하지 않는 자라고 학생들에게 항상 조언합니다. 학생들이 중간에 실험실 생활을 포기하지 않았으면 좋겠어요. 마라톤의 메달리스트와 같이 끝까지 달려야 해요. 중간에 타협하는 학생들이 많아요. 연구를 하다가 힘들면 중간에 그만두고 적당한 곳으로 취직하겠다고 하는 학생들이요. 저는 그럴 때마다 포기하지 말고 끝까지 가라고 해요. 목표를 달성하라고요. 끈대라고 할지 모르겠지만, 요즘 학생들은 견뎌내는 힘이 약한 것 같아요. 적당히 하고 적당히 사회에 순응하려고 하는 게 안타깝워요. 최후의 승자가 되길 바랍니다. 최후의 승자는 포기하지 않아요.

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

전 세계는 4차 산업혁명과 함께 치열한 첨단기술 경쟁체제에 돌입했어요. 따라서 탄탄한 기초과학의 뒷받침이 없이는 우리나라의 미래가 어둡다고 판단됩니다. 따라서 우리나라의 과학기술 역량과 잠재력을 키우기 위해서는 정부의 기초과학 연구투자가 지속적이고 획기적으로 이루어져야 한다고 생각합니다. 그러나 현 정부의 연구비 삭감 소식을 접하며 우리나라 신진, 중견 과학자들의 연구 열정에 찬물을 끼얹는 근시안적 과학기술 정책을 매우 걱정스럽게 생각합니다. 혹시라도 지금보다 연구환경이 조금 어려워진다 해도 우리 신진/중견 화학 연구자들의 연구 열정이 식지 않기를 바라며 항상 응원합니다. 그리고 조언이라기 보다는 부탁 말씀을 드리면 글로벌 이슈에 관심을 계속 가지면서 학문의 패러다임 변화를 읽기를 바랍니다. 저도 처음에는 화학공학을 공부하다가 화학을 했고 지금은 나노과학을 접하면서 계속 BT, IT와도 융합하고 있습니다. 이렇게 학문의 장벽이 없이 꼭 연결해 나가면 아까 말했던 에너지, 환경, 의약바이오 문제와 같은 글로벌 이슈에 접근할 수 있고, 이를 통해서 미래에는 젊은 과학자들 중에 노벨상을 받는 분들이 많이 나올 것으로 생각합니다. 요새 노벨상들이 글로벌 이슈를 해결한 사람들에게 주목하니깐요. 물론 기초과학으로 부터 문제 제기가 되어야하고 과학적 논리로 문제의 답을 찾아야겠지요.

「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

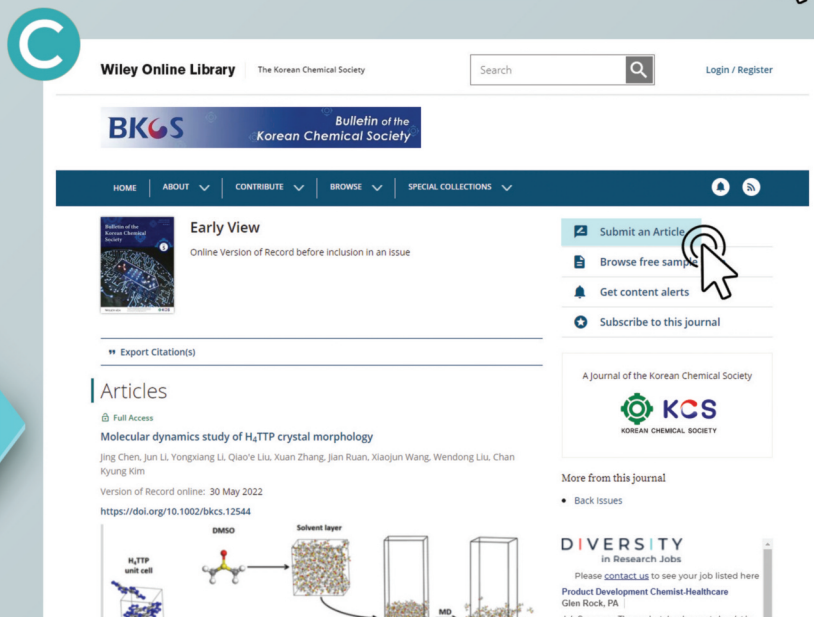
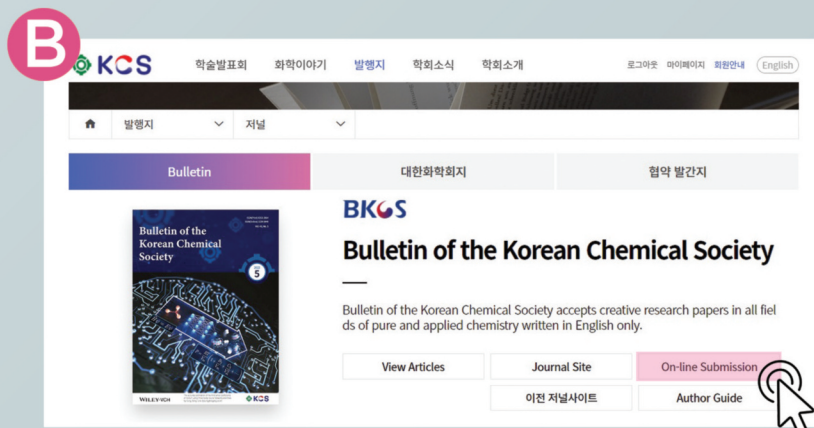
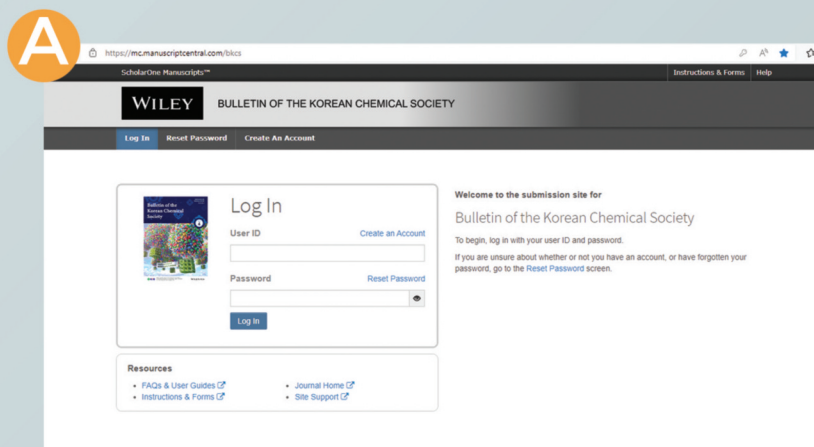
2. 계정 개설 후 로그인

- 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

KCS 하이라이트

25 전기화학적 응용 소자, 재료 및 물질

이번 호에는 지난 2019–2023년 사이에 BKCS에 게재된 논문 중 재료의 전기적 특성 분석에 기반하여 응용 소재를 개발한 연구에 대해 소개합니다. 회원분들의 많은 관심 부탁드립니다.

글 박영주(서강대학교 화학과 석·박사통합과정), 박준우(서강대학교 화학과 조교수, parkjw@sogang.ac.kr)

BKCS

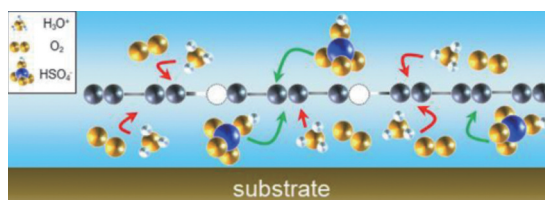
Vol.43 No.01 p.40-43 / Communication

포항공과대학교 류순민 교수 연구팀에서 황산 용액에서 그래핀의 전하 수송 도핑에 대한 이중 채널 메커니즘을 보고하였습니다. 이때 전하 수송 과정이 O_2/H_2O 산화-환원과 관련된 산소 환원 반응과 bisulfate ions 또는 관련 종의 환원에 의해 구동됨을 밝혔습니다.

[2022년 1월호, DOI: 10.1002/bkcs.12443]

Dual-channel charge transfer doping of graphene by sulfuric acid

Two-dimensional materials represented by graphene and transition metal dichalcogenides undergo charge transfer (CT) processes and become hole-doped in strong mineral acids. Nonetheless, their mechanisms remain unclear or controversial. This work proposes and verifies two distinctive CT channels



in sulfuric acids, respectively, driven by oxygen reduction reaction involving O_2/H_2O redox couples and reduction of bisulfate or related species. Acid-induced changes in the charge density of graphene were in situ quantified as a function of oxygen content using Raman spectroscopy. At acid concentrations lower than 6 M, the former channel is operative, requiring dissolved O_2 . Above 6 M, the degree of CT was even higher because the former is cooperated with by the latter channel, which does not need dissolved oxygen. The mechanism revealed in this study will advance our fundamental understanding of how low-dimensional materials interact with chemical environments.

BKCS

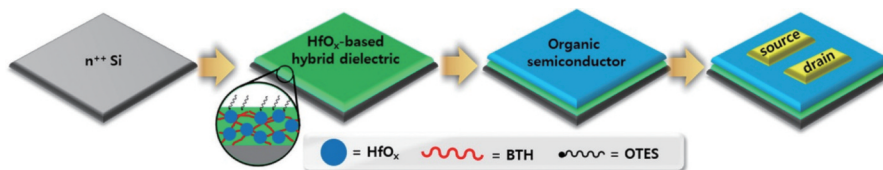
Vol.42 No.07 p.983-987 / Article

경기대학교 하영근 교수 연구팀에서 원스텝 용액 기반 저온 공정을 이용해 개발한 방법으로 하이브리드 게이트 유전체를 펜타센 박막 트랜지스터에 집적함으로써 고성능 저전압 동작을 구현하였습니다. [2021년 7월호, DOI: 10.1002/bkcs.12290]

One-Step Fabricated and Solution-Processed Hybrid Gate Dielectrics for Low-Voltage Organic Thin-Film Transistors

Here, we report the facile one-step fabrication of rationally designed hybrid gate dielectric films for low-voltage

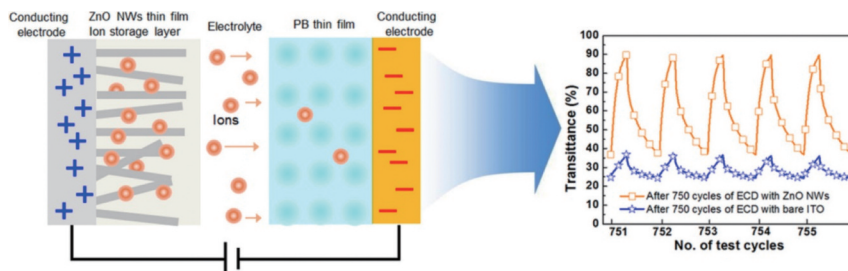
organic thin-film transistors. To generate facile one-step fabricated and solution-processed organic–inorganic hybrid dielectric films with high dielectric properties, we designed the multicomponent precursor solution by employing high-k oxide materials to attain a large capacitance and cross-linkable agents to allow for processability and reducing the surface energy of dielectric films. After spin-coating with the precursor solution and the subsequent thermal annealing process, we obtained cross-linked organic–inorganic hybrid dielectric films, exhibiting excellent dielectric properties with a low leakage current density ($\sim 10^{-5}$ A/cm²) and high capacitance (295 nF/cm²). The effectiveness of the hybrid dielectrics was demonstrated by realizing high-performance organic thin-film transistors at low operating voltages, mobility up to 0.31 cm²/V/s, high on/off current ratio ($\sim 10^5$), and low threshold voltage (-0.8 V).



서울대학교 홍종인 교수와 숭실대학교 신익수 교수 연구팀에서 산화인듐주석(ITO)/유리 기판 위에 ZnO 나노 와이어를 전착하고 이를 전 기변색소자에서 이온 저장 상대전극으로 적용하는 방법을 개발하였습니다. [2020년 3월호, DOI: 10.1002/bkcs.11953]

Electrodeposition of Zinc Oxide Nanowires as a Counter Electrode in Electrochromic Devices

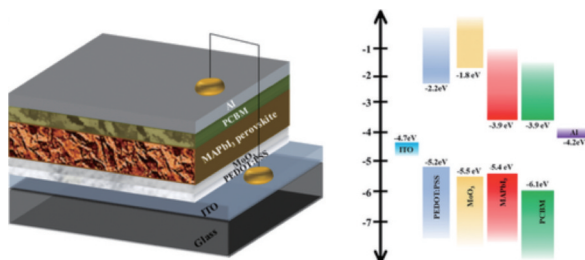
In this study, we report the electrodeposition of ZnO NWs on indiumtin oxide (ITO)/glass substrate and their application as an ion storage counter electrode (CE) in electrochromic devices (ECDs). The ECD consists of two ITO electrodes. The WE had the electrodeposited Prussian blue (PB, $KFe^{III}[Fe^{II}(CN)_6]$) thin film as the electrochromic (EC) material. The two types of the CE such as a bared ITO electrode and the ITO electrode deposited with ZnO nanowires (NWs) were employed. As a result, the ECD with ZnO NWs thin film at the CE showed drastically improved coloration efficiency and a good cycling life compared to those from the other control.



조선대학교 이재관 교수 연구팀에서 $\text{MoO}_3/\text{PEDOT:PSS}$ 정공 수송 물질 이중층에 수성 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 로 제조된 MAPbI_3 페로브스카이트 필름은 동일한 조건에서 PEDOT:PSS , MoO_3 및 ITO 기판에서 제조된 것보다 더 나은 결정성, 형태 및 우수한 성능을 가진다는 연구 결과를 보고하였습니다. [2020년 9월호, DOI: 10.1002/bkcs.12092]

Efficient Planar Heterojunction Inverted Perovskite Solar Cells with Perovskite Materials Deposited Using an Aqueous Non-Halide Lead Precursor

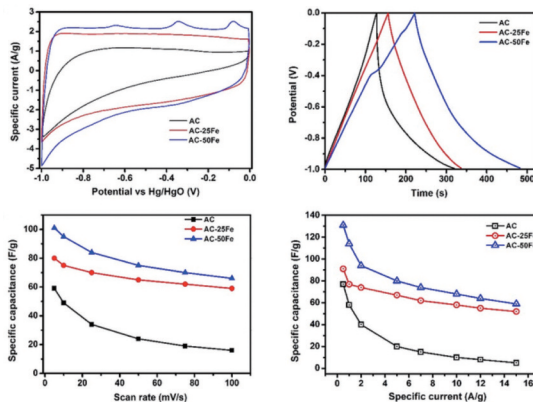
Efficient planar heterojunction inverted perovskite solar cells (PrSCs) were fabricated with MAPbI_3 perovskite layers prepared by using an aqueous $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ as a facile, cost-effective, and an environmentally benign approach. Especially, the MAPbI_3 perovskite film fabricated from aqueous $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ on the $\text{MoO}_3/\text{PEDOT:PSS}$ hole transporting material bilayer exhibited better crystallinity, morphology, and performance.



동국대학교 유국현 교수와 순천대학교 김병철 교수 연구팀에서 활성탄에서 최적의 양 Fe_3O_4 는 활성탄의 전기 이중층 커패시턴스와 슈도커패시턴스를 공급하여 전극의 슈퍼커패시터 성능을 효과적으로 향상시킬 수 있다는 연구 결과를 보고하였습니다. [2020년 8월호, DOI: 10.1002/bkcs.12078]

Improved Electrochemical Performance of Fe_3O_4 Nanoparticles Decorated Activated Carbon Supercapacitor Electrodes

Metal oxide decorated activated carbon (AC) composites exhibit excellent electrochemical property and which is potential for energy storage and catalytic applications. Here, we report the synthesis of iron oxide (Fe_3O_4) anchored AC composite for supercapacitor (SC) electrode. The citrate-stabilized Fe_3O_4 aqueous dispersion (5 mg/mL) of various concentration was utilized for the functionalization of commercial AC and the sample prepared using 50 mL Fe_3O_4 aqueous dispersion in 2 g of AC (AC-50Fe) displayed better surface morphology with comparable surface area and porosity. Moreover, the sample AC-50Fe showed excellent electrochemical performance with a maximum specific capacitance value 131 Fg^{-1} and cyclic stability $\sim 105\%$ after 10 000

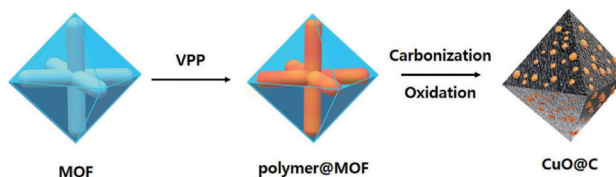


charge/discharge cycles, which is much higher than the bare AC (77 Fg⁻¹) and AC-25Fe (91 Fg⁻¹) electrodes. Thus, the optimum amount of Fe₃O₄ in AC can effectively enhance the SC performance of the electrode by supplying additional pseudocapacitance along with the electric double-layer capacitance of AC.

한양대학교 유원철 교수 연구팀에서 수 마이크로미터 크기의 금속-유기 구조체(metal-organic framework, MOF)를 사용하여 증기상 중합(vapor-phase polymerization, VPP) 공정으로 내부에 폴리머로 기공을 채우는 방식으로 탄소 함량을 제어하였습니다. 제어 가능한 탄소 및 금속 산화물 함량을 갖는 단분산 및 나노크기의 CuO@C 다면체 복합체가 합성되어 고성능 비대칭 슈퍼커패시터로의 활용 가능성을 보고하였습니다. [2021년 4월호, DOI: 10.1002/bkcs.12263]

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

Herein, CuO nanocrystals spatially embedded inside carbon polyhedron (CuO@C) derived via morphology-preserved transformation of metal-organic frameworks (MOFs) are utilized for high-performance



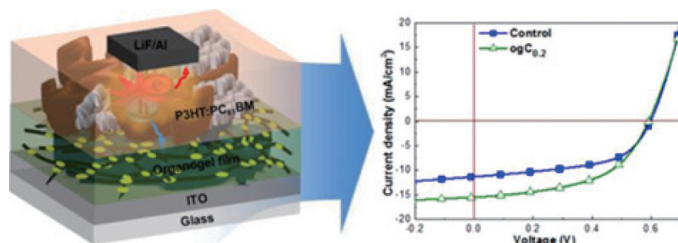
asymmetric supercapacitors (SCs). Using a conventional MOF (several micrometers in size), pore-filling with polymer inside MOF (polymer@MOF) via vapor-phase polymerization (VPP) process was achieved that amount of polymer used for VPP can be readily adjusted to control the carbon content of CuO@C after thermolysis and subsequent oxidation processes. When monodisperse and nano-sized MOF is used for CuO@C (denoted as nCuO@C₁), it presents superior electrochemical performance because monodispersity and smaller size reduce interfacial resistance and promote mass-transport property, respectively. Asymmetric SC of nCuO@C₁ with carbon sphere (CS) as a counter electrode presents excellent energy density of 55.47 Wh/kg and long-term stability of 88.7% at 5000 cycles, comparable to the best MO-based asymmetric SCs derived from MOFs.

서울대학교 홍종인 교수 연구팀에서 유기 광전지 장치의 정공 수송을 향상시키기 위해 탄소소점을 포함하는 PEDOT:PSS 기반 유기겔을 개발하였습니다. [2019년 12월호, DOI: 10.1002/bkcs.11899]

Organogels Based on PEDOT:PSS and Carbon-dots for Efficient Hole Transport in Organic Photovoltaics

In this letter is described the development of reticulated charge-transporting networks with enhanced electrical properties of self-assembled PEDOT:PSS organogels containing carbon-dots. Carbon-dots acted as a physical

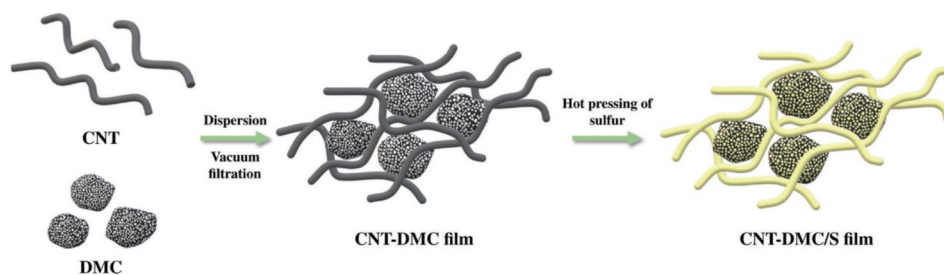
with a maximum specific capacitance value 131 Fg^{-1} and cyclic stability $\sim 105\%$ after 10 000 charge/discharge cycles, which is much higher than the bare AC (77 Fg^{-1}) and AC-25Fe (91 Fg^{-1}) electrodes. Thus, the optimum amount of Fe_3O_4 in AC can effectively enhance the SC performance of the electrode by supplying additional pseudocapacitance along with the electric double-layer capacitance of AC.



한국기술교육대학교 정용주 교수와 부산대학교 김석 교수 연구팀에서 탄소 나노튜브(CNT)-disordered mesoporous carbon (DMC)/S(황) 전극은 큰 초기 용량과 우수한 용량 유지력의 특성으로부터 CNT 사이에 위치한 DMC가 다황화물을 효과적으로 흡수하여 음극 밖으로 확산되는 것을 방지한다는 연구 결과를 보고하였습니다. [2019년 5월호, DOI: 10.1002/bkcs.11701]

Mesoporous Carbon-dispersed Carbon Nanotube Film Electrode Incorporated with Sulfur for Long-Life Li-S Batteries

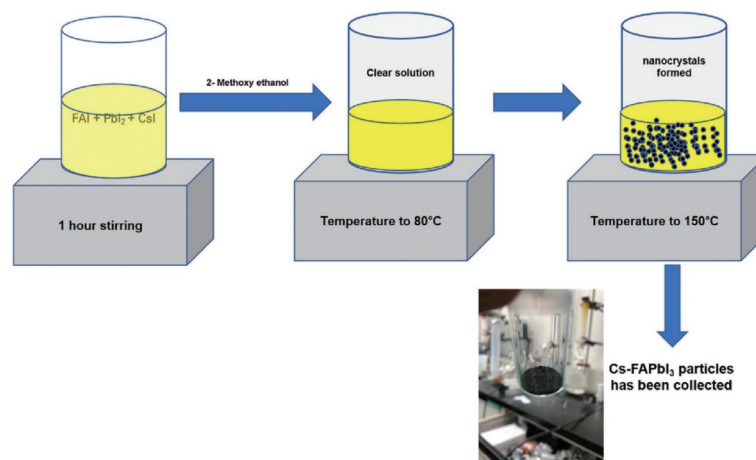
Free-standing carbon nanotube (CNT) frameworks have been found to be highly effective in increasing sulfur loading and energy density of lithium-sulfur (Li-S) batteries. This owes to their ability to accommodate a large amount of sulfur in their interspaces. Also, this solution does not require neither a binder nor a current collector. As a drawback, the application of free-standing CNT frameworks suffers from the abundance of their inherent macroporosities, as these promote the diffusion of polysulfides. In this work, we address this issue by incorporating disordered mesoporous carbon (DMC), as a polysulfide reservoir, into a CNT matrix to form CNT-DMC hybrid film. We apply facile hot-pressing to incorporate sulfur into the composite electrode. Furthermore, we determine the electrochemical performances of CNT-DMC/sulfur (S) cathode by a galvanostatic method. We find that the CNT-DMC/S cathode exhibits a high initial capacity of 1032 mAh/g at 0.25 C and a superior capacity retention of 92% after 100 cycles, compared to sulfur-impregnated CNT cathode. We attribute these enhancements to the efficient polysulfide absorption ability of DMC. This novel approach bears a high potential for the development of high-performance Li-S batteries with flexible sulfur cathodes.



부산대학교 진성호 교수 연구팀은 혼합 양이온 페로브스카이트 태양 전지가 24.5%의 전력 변환 효율로 현재까지 보고된 Cs로 도핑된 페로브스카이트 태양 전지 중 가장 높은 수치를 보고하였습니다. [2023년 8월호, DOI: 10.1002/bkcs.12703]

Stable dual cations perovskite nanocrystals as absorbers for perovskite solar cells with efficiencies exceeding 24%

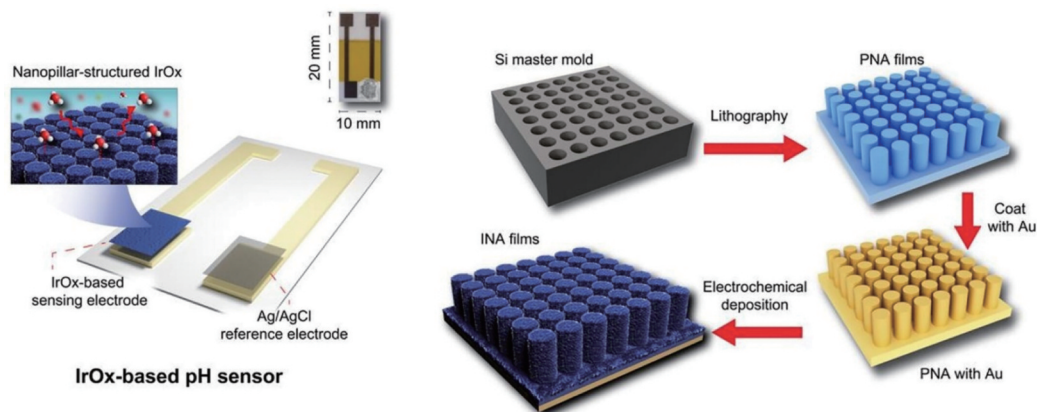
$\text{FA}_{1-x}\text{Cs}_x\text{PbI}_3$ (formamidinium [FA]; cesium [Cs]; lead [Pb]; and iodine [I]) perovskites are promising candidates in perovskite solar cells (PSCs) for the superior optoelectronic properties, tunable bandgap, and high thermal stability. It is well known that the preparation of phase-pure perovskite and hybrid cations and/or halides strategy are effective ways to achieve high efficiency and strengthen the stability of PSCs. In this work, dual cation perovskite precursor $\text{Cs}_{0.05}\text{FA}_{0.95}\text{PbI}_3$ was synthesized by a simple and effective one-step solution process under ambient conditions and successfully used in the PSCs as an active layer. By this strategy, the high-purity Cs-FA hybrid cations perovskites not only enhanced power conversion efficiency (PCE) to 22.10% but also achieved long-term stability. This work explains in detail the effects of Cs^+ in FAPbI_3 perovskites on precursor chemistry, film nucleation, grain growth, and defect properties. Furthermore, with the incorporation of MAI in the precursor and passivation process, the photovoltaic properties are further enhanced. Encouragingly, the mixed cations PSCs feature the champion PCE of 24.5%, which is one of the highest values reported to date for Cs-doped PSCs.



강원대학교 최봉길 교수 연구팀에서 전기화학적 증착법을 이용해 pH에 민감한 소재인 나노 구조의 산화인듐(IrO_x-based nanopillar array, INA) 기반 센서를 만들었습니다. 유연한 이 센서의 빠른 응답 시간, 우수한 내구성, 웨어러블 기기로의 응용 등의 장점들을 보고하였습니다. [2023년 6월호, DOI: 10.1002/bkcs.12689]

Preparation of nanopillar array electrode of iridium oxide for high performance of pH sensor and its real-time sweat monitoring

A highly sensitive potentiometric pH sensor was developed based on nanopillar array electrodes of iridium oxide. The as-prepared pH sensor exhibited a high pH sensitivity (69.43 mV/pH), fast response time (8.1 s), and good durability (0.76 mV/h). The sensing performance of the pH sensor was maintained under mechanical bending and even after 1000 repetitive bending/releasing cycles. As a proof-of-concept, a wearable headband sensor was fabricated by integrating the pH sensor with a wireless electronic module based on a printed circuit board. The on-body test indicated that the wearable pH sensor provides reliable and stable data in the real-time monitoring of pH changes in human sweat during stationary indoor cycling. The pH sensors based on nanopillar array electrodes of iridium oxide have great potential in many portable or wearable applications in healthcare systems, non-invasive diagnostics, environmental analysis, and food sensors.





심교승 Kyoseung Sim

울산과학기술원 화학과, 조교수

kyos@unist.ac.kr, <https://kyosunist.weebly.com/>

소개글

심교승 교수는 유기 반도체를 이용한 신축성 센서, 트랜지스터, 논리회로 개발과 이를 응용한 웨어러블 시스템 그리고 소프트 로봇에 대한 연구를 주로 진행해 왔다. 특히 산화물 반도체를 이용한 웨어러블 소자와 인간-로봇 인터페이스, 온도 감응형 액정 엘라스토머 기반의 소프트 로봇, 신축성을 갖는 고분자 전자재료 연구 및 이를 이용한 전자 소자 및 시스템에 관한 연구를 중점적으로 진행하였다. 현재는 고속 응답 특성을 갖는 고분자 기반 신축성 전자 소자, 신축성 시냅스 소자 및 이를 이용한 시스템 단위의 응용, 그리고 신축성 유기 전기화학 트랜지스터, 재활용이 가능한 유기 전자 소자에 관한 연구를 진행하고 있다.

주요연구분야

- 재료화학(Materials Chemistry)
- 고분자 반도체(Polymeric semiconductor)
- 연성 전자 소자(Soft Electronics)
- 웨어러블 기기(Wearable devices)

대표논문

1. Haechan Park, Sehyun Kim, Juyeong Lee, Inwoo Lee, Sujitkumar Bontapalle, Younghoon Na, and **Kyoseung Sim*** "Organic flexible electronics with closed-loop recycling for sustainable wearable technology." *Nature Electronics*, **2023**, Published Online (DOI: 10.1038/s41928-023-01078-9)
2. Hyunseok Shim†, **Kyoseung Sim**†, Binghao Wang†, Yongcao Zhang†, Shubham Patel, Seonmin Jang, Tobin J Marks, Antonio Facchetti, and Cunjiang Yu* "Elastic integrated electronics based on a stretchable n-type elastomer-semiconductor-elastomer stack structure." *Nature Electronics*, **2023**, 6, 349-359.
3. Sujitkumar Bontapalle, Myeonghyeon Na, Haechan Park, and **Kyoseung Sim*** "Fully soft organic electrochemical transistor enabling direct skin-mountable electrophysiological signal amplification." *Chemical Communications*, **2022**, 58, 1298-1301.
4. **Kyoseung Sim**†, Faheem Ershad†, Yongcao Zhang†, Pinyi Yang, Hyunseok Shim, Zhoulyu Rao, Yuntao Lu, Anish Thukral, Abdelmotagaly Elgalad, Yutao Xi, Bozhi Tian, Doris A. Taylor and Cunjiang Yu* "An epicardial bioelectronic patch- made entirely from soft rubbery materials and capable of spatiotemporal mapping of electrophysiological activity." *Nature Electronics* **2020**, 3, 775-784.
5. **Kyoseung Sim**, Zhoulyu Rao, Faheem Ershad and Cunjiang Yu* "Rubbery Electronics Fully Made of Stretchable Elastomeric Electronic Materials." *Advanced Materials* **2020**, 32, 1902417.
6. **Kyoseung Sim**, Song Chen, Zhengwei Li, Zhoulyu Rao, Jingshen Liu, Yuntao Lu, Seonmin Jang, Faheem Ershad, Ji Chen, Jianliang Xiao and Cunjiang Yu* "Three-dimensional curvy electronics created using conformal additive stamp printing." *Nature Electronics* **2019**, 2, 471-479.
7. **Kyoseung Sim**, Zhoulyu Rao, Zhanan Zou, Faheem Ershad, Jianming Lei, Anish Thukral, Jie Chen, Qing-an Huang, Jianliang Xiao and Cunjiang Yu* "Metal oxide semiconductor nanomembrane-based soft unnoticeable multifunctional electronics for wearable human-machine interfaces." *Science Advances* **2019**, 5, eaav9653.
8. **Kyoseung Sim**, Zhoulyu Rao, Haejin Kim, Anish Thukral, Hyunseok Shim, Changliang Peng and Cunjiang Yu* "Fully rubbery integrated electronics from high mobility intrinsically stretchable semiconductors." *Science Advances* **2019**, 5, eaav5749.

- 건국대학교 화학과, 학사(2004.3~2008.2)
- 건국대학교 화학과, 석사 (2008.2~2010.2, 지도교수 : 표승문)
- 대구경북과학기술원, 연구원(2010.3~2013.3)
- 포항공과대학교, 연구원(2013.4~2014.3)
- University of Houston, 재료공학 박사 (2014.8~2018.8, 지도교수 : Cunjiang Yu)
- University of Houston, 기계공학 박사 후 연구원(2018.8~2020.2, 지도교수 : Cunjiang Yu)
- 울산과학기술원 화학과, 조교수(2020.3~현재)



이성현 Seonghyun Lee

성균관대학교 메타바이오헬스학과/의학과, 조교수
shlee9@skku.edu, <https://mbtl.skku.edu/>

소개글

이성현 교수는 최신의 유전자 교정 방법을 이용하여 세포소기관인 미토콘드리아의 DNA를 교정하는 연구를 수행하고 있다. 단백질 공학을 통해 보다 고효율의 미토콘드리아 유전체 교정 단백질을 제작하고, 비표적효과와 같은 부작용을 줄일 수 있는 새로운 유전자 교정 방법을 개발하는 연구를 진행하고 있다. 또한 생쥐 개체 수준에서의 미토콘드리아 유전자 교정을 통해 희귀 난치성 유전 질환의 동물 모델을 제작하고 있으며, 이와 같은 동물 개체 수준에서의 유전자 교정을 기반으로 실제 환자 유래 세포에서의 유전자 치료와 같은 응용 방법을 연구하고 있다.

주요연구분야

- 생화학(Biochemistry)
- 유전자 교정(Genome Engineering)
- 미토콘드리아(Mitochondria)
- 생쥐 유전학(Mouse Genetics)
- 단백질 공학(Protein Engineering)
- 단일분자 DNA 분석(Single-molecule DNA Analysis)

대표논문

1. SI Cho, K Lim, S Hong, J Lee, A Kim, CJ Lim, S Ryou, JM Lee, YG Mok, E Chung, S Kim, S Han, SM Cho, J Kim, EK Kim, KH Nam, Y Oh, M Choi, TH An, KJ Oh, **S Lee***, H Lee*, JS Kim* "Engineering TALE-linked deaminases to facilitate precision adenine base editing in mitochondrial DNA." *Cell* **2023**, in press.
*Co-correspondence
2. **S Lee**, H Lee, G Baek, JS Kim "Precision mitochondrial DNA editing with high-fidelity DddA-derived base editors." *Nature Biotechnology* **2023**, *41*, 378-386, DOI: 10.1038/ s41587-022-01486-w, IF=68.164
3. **S Lee***, H Lee*, H Baek, E Namgung, JM Park, S Kim, S Hong, JS Kim "Enhanced mitochondrial DNA editing in mice using nuclear-exported TALE-linked deaminases and nucleases." *Genome Biology* **2022**, *23*, 211, DOI: 10.1186/ s13059-022-02782-z. IF=17.906 *Equally Contributed
4. SI Cho, **S Lee**, YG Mok, K Lim, J Lee, JM Lee, E Chung, and JS Kim "Targeted A-to-G base editing in human mitochondrial DNA with programmable deaminases." *Cell* **2022**, *185*(10), 1764-1776. e12. IF=66.850
6. H Lee*, **S Lee***, H Baek, A Kim, BC Kang, H Seo, JS Kim "Mitochondrial DNA editing in mice with DddA-TALE fusion deaminases." *Nature Communications* **2021**, *12*, 1190. IF=17.694 *Equally Contributed
7. **S Lee***, Y Kawamoto*, T Vajjayanthi, J Park, J Bae, J Kim-Ha, H Sugiyama, K Jo "TAMRA-Polypyrrole for A/T Sequence Visualization on DNA Molecules." *Nucleic Acids Research*, **2018**, *46*(18), e108. *Equally Contributed

- 서강대학교 화공생명공학과, 학사 (2010.3-2014.2)
- 서강대학교 화학과, 박사 (2014.3-2020.2, 지도교수 : 조규봉)
- 기초과학연구원 유전체교정연구단, 선임연구원 (2020.3-2022.2, 연구단장 : 김진수)
- 기초과학연구원 유전체교정연구단, 연구위원 (2022.3-2022.8)
- 주식회사 옛진, 수석연구원(2022.8-2023.8)
- 성균관대학교 메타바이오헬스학과/의학과 정밀 의학교실, 조교수(2023.8-현재)

방향 만큼 속력도 중요한 빈대 이야기

장홍제 | 광운대학교 화학과, hjang@kw.ac.kr

‘인생은 속도가 아니라 방향이다’

유명한 만큼 이야깃거리도 많이 뒤따르는 격언이다. 올바른 방향을 향해 나아가는 것 모두가 중요하다는 의미에서 감명받는 사람이 대부분이지만, 간혹 몇몇의 소위 ‘이과 감성’을 보유한 철저한 과학적 분석가들은 속도에는 방향이 포함되어 있으니 속력으로 수정함이 옳다고 평가한다. 하지만 처음 격언을 남긴 사람이 하고 싶은 이야기가 무엇일지는 누구나 이해할 수 있다. 최근 방향과 속력에 대한 이야기가 떠오르는 당혹스러운 사회적 사건이 유명하다. 바로 갑작스러운 빈대의 출현이다.

빈대 박멸의 시대

당시를 정확히 살아간 세대는 아니지만, 한국전쟁 전후로 빈대는 우리의 일상과 함께하고 있었다 알고 있다. 뇌염이나 말라리아를 옮기는 모기나 다양한 질병을 확산시키는 바퀴벌레와는 달리 빈대는 특별히 심각한 질병의 전파에는 관여하지 않는다고 한다. 대신 흡혈을 통해 너무나도 고통스러운 간지러움을 피부 여기저기에 산발적으로 남긴다.

빈대는 분명 인간의 입장에서 해충인 만큼, 빈대를 박멸하기 위한 시도는 몇 차례 있어왔다. 그 중 가장 효과적이었던 것은 말라리아 모기를 비롯한 수많은 해충 퇴치의 선봉장에서 서 있었으나 안타깝게도 불명예로 퇴출당한 DDT의 시대였다. DDT의 살충 효과는 탁월했으며, 이에 대한 발견은 노벨 생리의학상의 수상으로 명실공히 인정받았다. 하지만 시간이 흐르며 드러나게 된 사실은 효율성 뒤에 가려져 있던 치명적인 부작용이었다. 유기염소 계열 살충제였던 DDT는 환경과 누적되고 생물체 내 지방 조직에 점차 축적되어 문제를 일으켰다. 또 다른 유기염소 계열 살충제들의 개발, 유기인산 계열 살충제의 발명 등 사람들은 편리함과 이들을 위해 많은 위험을 낳고 시간이 흐르며 직면하



사라졌던 빈대가 어느새 나타났다

는 것을 반복해 왔다.

모기나 빈대, 이, 바퀴벌레 등 인간의 입장에서 여러 해충들을 박멸하려는 시도는 계속되었지만, 드넓은 지구 환경에서의 완전한 제거는 이루어질 수 없었다. 오히려 내성의 형성이나 적응 진화라는 방식으로 해충을 더 강하게 만들었을 뿐이다. 최근 빈대의 출몰이 국내 여기저기서 요란하게 터져나오고 있지만, 사실 빈대는 박멸된 적 없었을지도 모른다. 그런 만큼 우리의 안전을 위한 대응에는 새로운 고민들이 필요한 순간이다.

빈대에 대항하기

모든 투쟁은 적에 대해 아는 것으로부터 시작된다. 빈대가 사람을 무는 작은 생물이며, 간지러움과 불편함을 일으킨다는 것 외에도 특유의 냄새를 풍긴다는 사실은 유명하다. 빈대의 냄새는 꼭 빈대가 아니어도 대략적이거나 체감해 볼 수 있다. 바로 국내에서도 선호도가 크게 갈리는 향신료 중 하나인 고수다. 고수를 의미하는 단어인 coriander는 어원에서부터 빈대와 연관을 갖는다. 그리스어로 빈대를 의미하는 koris와 냄새라는 뜻의 andros가 결합해 형성된 단어기 때문이다. 고대로부터 빈대 냄새와 고수 향이 같다고 여겨져 온 셈이다.

유기염소 계열 살충제가 빈대에게 효과적이었다고 하나, 위험성이 확인된 화학 물질을 다시금 꺼내들어 살포할 수는 없는 일이다. 최근 빈대 이야기가 다시 나오게 된 것은, 이전까지의 살충 방식이 정상적으로 작동하지 않는 현상이 터져나왔기 때문이다. 살충제라는 단어로부터 우리들의 머릿속에서 가장 먼저 떠오르는 제품은 모기향이나 모기약과 같은 일상적인 제품들이다. 이들은 공통적으로 피레트로이드(pyrethroid)라는 분자 계열의 물질을 사용하고 있다. 피레트로이드는 나름 안전한 유래를 두고 있다. 바로, 살충 능력을 갖는 식물인 국화다. 국화에 함유된 천연 성분이 피레트린(pyrethrin)이며, 화학적으로 분석된 구조를 바탕으로 합성된 물질들이 피레트로이드이다. 피레트로이드 계열 살충제는 꾸준히 사용되어온 만큼 빈대가 내성을 갖게 된 것으로 추측되며, 국가에서는 다른 종류의 살충제 사용을 승인하게 된다. 네오니코티노이드(neonicotinoid)라는 계열이다.



고수의 이름은 빈대 냄새라는 의미를 갖는다.

니코틴(nicotine)이라는 단어가 연상되듯 네오니코티노이드는 담배류 식물에서 흔히 관찰되는 니코틴과 유사한 구조를 갖는다. 네오니코티노이드는 곤충의 신경계를 지속적으로 자극시켜 기능을 상실하도록 만든다. 생명체에게서 가장 중요한 회로를 과열시켜 태워버리는 것과 같으며, 앞서 살펴본 피레트로이드와는 작용 방식이 완전히 다르기에 현재까지 만들어진 내성과는 무관하다. 하지만 네오니코티노이드 살충제를 장기간 사용했음에도 별다른 해결책을 보지 못한다면, 해충들은 다시 한번 적응하고 진화해 더욱 끈질긴 적이 될 것임에 틀림없다. 올바른 방향을 향해 나아가고 있지만, 막다른 길을 마주할지도 모른다.

과학인가 미신인가

연구개발을 통해 탄생한 살충제의 적용은 가장 효과적인 방식이지만, 그 외에도 일상적으로 누구나 시도해볼 수 있는 일종의 민간요법도 전해오기 마련이다. 비록 언론에서는 속설에 의존한 방역을 시도하지 말고 승인된 살충제를 활용하라 안내하지만, 그래도 궁금정은 남는다. 아무런 근거 없이 풍문으로 떠도는 이야기들일지, 혹은 충분한 가능성이 있지만 단지 우리가 잘못 시도하고 있을 것일지. 과학일지 미신일지 말이다.

첫 번째로 규조토나 베이킹소다, 드라이시트 등 건조제를 이용해 빈대를 박멸할 수 있다는 설이다. 단순한 건조가 빈대 제거에 효과 있다는 사실은 여러 가설 중 가장 의아하게 느껴지기도 하지만, 의외로 살충제보다도 더욱 확실한 방식이다. 건조에 대해서는 다양한 문헌에서 빈대에 대한



넝 나무는 빈대를 비롯한 살충 효과가 입증된 식물이다.

연구가 이루어졌다. 건조제는 밀랍 성분으로 이루어진 빈대의 외부 코팅을 파괴하는 방식으로 작동한다. 외부 코팅 없이는 서서히 탈수되어 죽게 된다. 특히, 살충제와 같은 화학적 방식이 아닌, 체내 수분 고갈이라는 물리적 작용이기 때문에 저항성을 가질 수 없는 확실한 퇴치법이다. 단지 우리에게만 방향은 옳지만 속력이 충분하지 못했을 뿐이다. 우리가 상상하는 일반적인 건조한 방안 환경보다는 확실한 건조제가 필요하다. 식품 보존에 사용되는 실리칼겔 알갱이나 규조토 가루를 방 한구석에 놓아두는 정도로는 어렵다.

두 번째로 방의 온도를 높여 살충한다는 이야기다. 어떤 생물이든 적정 온도 이상의 고온에 노출되면 살아갈 수 없다. 빈대 역시 방 온도를 높이면 사멸할 수 있다. 하지만 단순한 온도만 높여서는 하루이틀 사이에 빈대가 사라지지 않는다. 먹이가 없는 상황에서 온도를 높이고, 건조제를 이용해 건조한 환경을 만들었으며, 빈대 제거를 도와줄 특정한 곰팡이 등에 노출된 경우거나 며칠 내에 빈대 제거가 가

능해진다. 이번에도 올바른 방향이었지만 우리에게 속력이 부족했다.

가장 극적인 당혹스러움은 피톤치드 용액을 이용한 살충에 있다. 흔히 식물 추출물 용액을 일상적으로 피톤치드라 부르곤 하는데, 불가능한 것은 아니지만 지금껏 시도했던 피톤치드들은 효과가 없었을 것도 당연하다. 빈대 퇴치가 가능한 것으로 확인되어 등록된 식물 유래 생화학 살충제는 단 한 종류 뿐이기 때문이다. 바로 동남아시아와 아프리카에 성장하는 열대 상록수인 넝(neem) 나무의 씨앗과 잎을 압착해 얻어지는 오일이다. 넝 오일에는 아자디라크틴(azadirachtin)이라는 분자가 다량 함유되어 있다. 아자디라크틴은 곤충 성장을 조절하는 효과가 있어 활동을 억제하며, 생식 기능을 방해해 불임 상태로 만들고, 곤충 후각을 교란시켜 식욕마저 없앤다. 이를 섭취하면 도파민 신경세포를 조절해 무언가 먹었을 때 매우 혐오스러운 맛 기억으로 변환시켜 거식을 통해 자가 사멸하도록 만들기도 한다. 모든 피톤치드의 효과가 아닌 넝 오일 성분만이 가능한 방식인 만큼, 이번에는 속력은 충분했더라도 방향이 잘못되었던 것과 같다.

빈대의 급격한 출몰은 분명 놀랍고 불유쾌한 사태지만 그리 심각한 문제는 아니다. 빈대가 위험한 전염병을 옮기거나 직접적으로 사람을 죽게 만들지는 않으니 말이다. 하지만 해충이나 전염병, 바이러스, 환경 문제 등 예상치 못한 사건 사고는 언제나 발생할 수 있다. 당황하지 않고 올바른 선택으로 문제를 해결하기 위해서, 우리는 과학적 방식을 기반 삼아 올바른 방향을 향해 충분한 속력으로 나아가 수 있어야만 한다. Ⓞ



장 홍 제 Hongje Jang

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

우리 실험실은요!



우리 실험실은요!

서강대학교 화학과 단백질화학 연구실

(Protein Chemistry Lab)

[지도교수: 이현수 교수]

글 | 이상원(서강대학교 화학과, swlee9716@sogang.ac.kr)

이준영(서강대학교 화학과, mindju@sogang.ac.kr)



우리 실험실은요...

저희 연구실은 2010년부터 서강대학교 화학과에서 시작했으며, 지금은 이현수 교수님의 지도를 받으며 박사과정 1명, 석사과정 6명, 학부 연구생 2명이 함께 유전 코드 확장 기술을 이용한 단백질 변형 및 설계를 통한 단백질 신약 개발 및 저분자 센서 단백질 개발 연구를 진행하고 있습니다.

생명체 내에서 핵심 역할을 하는 단백질은 우리가 잘 알고 있는 20개의 아미노산으로 구성되어 있습니다. 매우 단순한 작용기로 구성된 20개의 아미노산으로 단백질을 생명체 내의 매우 복잡한 생화학적 과정들을 효율적으로 수행하고 있습니다. 그러나 20개의 아미노산의 기능적 단순함은 우리가 단백질을 연구하고, 활용하는데 많은 제약을 주고 있습니다. 이런 한계 때문에 다양한 방법으로 단백질을 변형하려는 연구들이 진행되고 있습니다. 이러한 단백질 변형 방법의 하나가 유전 코드 확장 (genetic code expansion) 기술입니다.

현재 저희 그룹은 세포 내의 단백질 합성 시스템을 변형하여

20개의 아미노산이 아닌 21개 또는 그 이상의 아미노산을 단백질 합성에 사용하도록 하여 추가적인 아미노산을 단백질에 도입하고 있습니다. 이러한 변형된 번역 시스템을 가지는 세포를 이용하여 아자이드, 알카인, 케톤, 형광체 등을 포함한 비천연 아미노산을 단백질에 도입하여 단백질 표지와 센서 디자인에 활용하고 있습니다. 이러한 전략을 바탕으로 항체에 약물을 표지한 항체-약물 접합체 합성과 혈액 속의 저분자 물질을 검출하는 센서 개발 등에 활용하고 있습니다.

진정한 연구자의 길로

‘대학원생은 단순히 주어진 실험을 수행하는 수동적 인력이 아니라 스스로 문제를 찾고, 데이터를 논리적으로 분석하여 자체적으로 연구의 방향을 설정할 수 있는 주체’ 라는 교수님의 말씀대로, 연구실에 들어오는 신입생들은 바로 실험에 참여하기 보단 프로젝트에 관련된 논문을 읽고 정보를 수집하며 해당 프로젝트를 이끌어 나갈 지식과 논문 작성 시 필요한 정보를

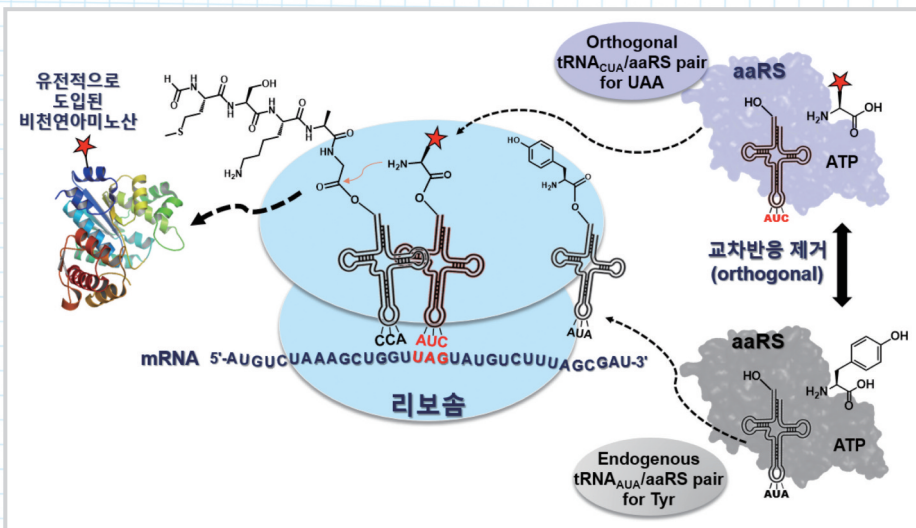


그림 1. 유전 코드 확장 기술의 개요



2019 강릉 하계 워크숍



2016 동계 홍천 학회 참석



2023 제주 하계 워크숍

충분히 축적합니다. 그리고 난 후 본격적으로 자신만의 프로젝트를 맡아 연구자로서 첫 발걸음을 내딛게 됩니다.

개인 프로젝트는 교수님과 상담 후 자신이 원하는 분야를 골라 진행할 수 있으며, 교수님께서 유기합성과 생화학학을 모두 전공하셨기에 원한다면 연구에 필요한 유기합성도 직접 해보며 폭넓은 연구 경험을 쌓을 수 있다는 특색이 있습니다.

한편 저희는 비정기적으로 교수님께서 골라 주신 논문 중 하나를 읽고 설명하는 논문 리딩 미팅을 진행합니다. 교수님께서서는 마치 미술관의 큐레이터처럼, 저희가 발표하는 중간에 이 연구는 어떤 부분에서 흥미로운 연구인지나 요즘 연구의 트렌드는 어떠한지, 어떤 논문 데이터가 잘 짜인 데이터인지 등을 언급하시며 나중에 논문을 쓸 때 참고할 만한 조언을 해주심과 동시에 연구를 바라보는 시각을 넓혀 주십니다.

연구실 생활

많은 사람들이 대학원에 대해 막연한 두려움을 가지고 있듯, 저 또한 대학원에 진학하기 전에는 '실험실이 너무 딱딱한 분위기여서 하루 종일 한 마디 말도 못 꺼내고 집에 가는 건 아닐까? 대학원 생활을 시작하면 무조건 주말에도 출근해야 하는데 그 스트레스를 관리할 수 있을까?' 하는 고민을 했었습니다. 그러나 연구실에 들어오고 나니 그런 걱정은 멀끔히 사라졌습니다.

교수님께서서는 일과 삶의 균형을 중요히 여기셔서, 저희에게 종종 "실험실에 늦게 남아 있다고 해서 항상 좋은 성과를 이끌어낼 수 있는 것이 아니다. 오히려 일과 시간에 집중해서 최선을 다하고 충분한 휴식이 있을 때 새로운 아이디어가 더 잘 떠오를 수 있다." 라고 말씀하십니다. 그래서 저희 연구실에

서는 일과 시간 동안 열심히 연구하고, 오후 6시면 누구든 눈치보지 않고 편안하게 퇴근할 수 있는 문화가 정착돼 있습니다.

또한 현 박사과정 선배는 자신이 신입생 때 선배들의 실험에 방해가 될까 편하게 질문하지 못했던 경험을 후배들은 느끼지 않도록 실험실 분위기를 차차 바꾸려 노력했고, 현재 저희 연구실은 여러모로 자유롭고 화목한 분위기로 연구에 임하고 있습니다. 연구실 선후배들 간 평등한 분위기 속에서, 비단 실험뿐만 아니라 대학원 강의, 조교 활동 등 대학원 생활에서 생기는 갖가지 어려움이나 궁금증에 대해 조언을 주고받곤 합니다. 덕분에 서로가 그저 연구실을 같이 쓰는 사람이 아닌, 연구에 대해 함께 고민하고 난관을 헤쳐 나가며 성장하는 동지의 관계로 끈끈하게 맺어졌습니다. 그리고 거의 매일 점심식사도 함께하며, 누구든 연구실 식구로 금방 적응하고 모두와 자연스럽게 친해질 수 있었습니다. 연구에 대한 얘기도 자주 나누지만, 식사를 하며 나누는 가벼운 대화들은 서로를 더 잘 이해하고 존중할 수 있는 밑바탕이 되지 않나 생각해 봅니다.

앞으로도 화목한 가운데서 연구의 길에 정진하는 우리 단백질화학 연구실 식구들이 되길 기대합니다.

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

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

문의사항이나 작성한 원고는 코너 담당 편집위원이신 이현수 교수님(hsleel976@gmail.com)께 보내주시면 감사하겠습니다.

우리 실험실은요!



우리 실험실은요!

중앙대학교 약학과 화학/생물정보학 연구실

(Chem/Bioinformatics Lab)

[지도교수: 이윤지 교수]

글 | 한리(중앙대학교 약학과, hanri3333@gmail.com)

우리 연구실 소개

우리 연구실은 2020년 3월에 중앙대학교 약학과 소속으로 시작하여 현재 석사 연구원 2명, 박사과정생 1명, 그리고 석사과정생 3명으로 구성되어 있으며, 각 구성원이 개별 프로젝트를 수행하면서 연구에 대한 즐거움을 공유하고 있는 열정! 열정! 열정! 가득한 연구실입니다.

우리 화학/생물정보학 연구실은 약학 및 생명과학이란 어두운 동굴을 컴퓨터라는 등불로 비춰 나아가는 연구를 진행하고 있습니다. 단백질의 구조와 기능, 분자 간 상호작용 등 관련된 문제들을 이해하고 해결하기 위한 방법을 모색하는 것이 주요 관심사이며 화학과 생명과학 그리고 정보학이 교차하는 흥미로운 연구 분야에서 더욱 깊이 이해하고 새로운 통찰을 발견하는

것을 목표로 하고 있습니다. 그 과정에서 약물 작용 메커니즘을 연구하고, 새롭고 효과적인 활성 분자를 발견하여 drug discovery 과정에 이바지하고자 합니다.

연구 분야에 대해 더 자세히 설명해보겠습니다. 주요 연구 분야 중 하나는 막 단백질의 구조와 homology, dynamics 및 co-evolution 연구입니다. 단백질의 활성화 메커니즘과 약물 선택성을 dynamics 및 evolutionary 관점에서 탐구하고 있습니다. 또한, 단백질의 움직임과 allostery 현상을 규명하고 단백질-단백질 상호작용과 생체 분자 복합체의 예측 및 단백질-펩타이드 상호작용 예측 연구에도 주력하고 있습니다.

또 다른 연구 분야는 컴퓨터를 이용한 약물 설계 연구입니다. 화학 및 생물정보학 기반의 접근 방식으로 small molecule

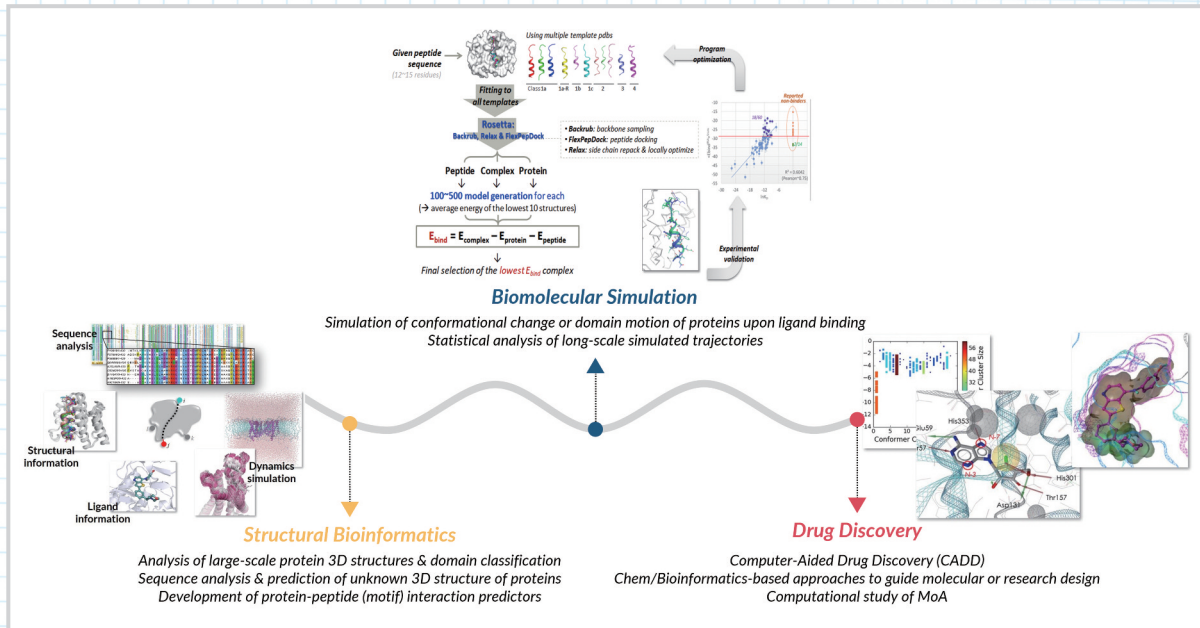


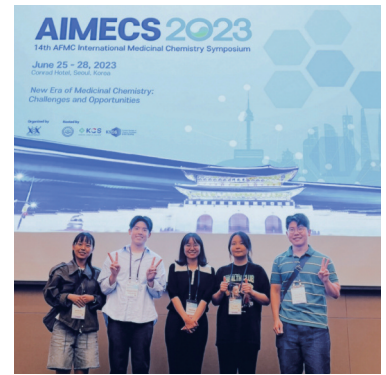
그림 1. Chem/Bioinformatics Lab 연구 분야



졸업식날 단체 사진



신약개발 시 경진대회 장관상 수상



2023 AIMECS 학회 참여

discovery 과정 중 구조-활성 관계를 분석, 데이터를 해석하고 시각화 하는 데 중점을 둡니다. 특히, 컴퓨터 기술을 활용하여 생물학적으로 중요한 핫스팟 잔기를 식별하고, 이를 약물 설계에 활용하는 방법을 연구합니다. 이 부분은 약물이 어떻게 단백질과 상호작용하고, 어떤 효과를 나타내는지 이해하는 데 매우 중요합니다.

이러한 구조 생물정보학과 화학정보학이 우리 연구실의 핵심 방법론입니다. 여기에는 단백질 서열 분석, 단백질 구조 모델링, 리간드 결합에 따른 단백질의 구조적 변화나 도메인 운동을 분석하는 Molecular dynamics simulation(MD simulation) 등이 포함됩니다. 화학정보학에서는 구조 기반 및 리간드 기반 약물 설계, 단백질 표적에 대한 활성 리간드의 virtual screening 등의 연구를 수행합니다. 이러한 연구 활동은 multidimensional chemical, proteomics, 그리고 genomics data set의 대규모 데이터 마이닝과 기계 학습을 통해 in silico 기반으로 이루어 집니다. 우리 연구실에서 진행 중인 흥미롭고 재미있는 연구들이 학회 발표와 논문을 통해 곧 소개될 수 있기를 기대합니다.

함께 성장하는 연구실

우리 연구실은 자상하고 따뜻한 이윤지 교수님의 지도 아래, 생동감 넘치는 연구 활동을 펼치고 있습니다. 교수님께서 깊은 전문 지식과 다년간의 경험을 바탕으로 학생의 연구가 더 나은 방향으로 나아갈 수 있도록 지도해줍니다.

최근에는 제1회 신약 개발 경진대회에서 '과학기술정보통신

부 장관상'을 수상하였고, 아시아의약화학연맹 학회(AIMECS 2023)에서 '우수포스터상'을 수상하였습니다. 이러한 성과는 교수님의 지도와 연구실 구성원들의 노력이 결합된 결과입니다.

교수님께서서는 소속 학생들을 단순히 지도하는 대상으로 생각하지 않고, 동료 연구자로 대하시며 존중해줍니다. 그리고 그 때문인지 연구실의 분위기 또한 서로 존중하고 협력하는 수평적 문화에 기반을 두고 있습니다. 정기적으로 열리는 랩미팅에서는 각자의 연구 주제에 대한 아이디어를 자유롭게 공유하며, 깊이 있는 토론을 통해 새로운 시각과 접근 방식을 탐구합니다. 이러한 소통과 교류는 팀원들 사이의 유대를 강화하고, 창의적인 해결책을 찾는 데 크게 기여합니다. 이러한 협력적인 환경은 구성원 개개인의 성장만이 아니라, 전체적인 연구의 질적 향상에도 중요한 역할을 합니다.

마치며

저는 매일 새로운 발견과 지식을 향한 기대감과 설레는 마음으로 연구실 문을 엽니다. 연구 생활은 단순히 과학적 탐구를 넘어, 큰 즐거움과 재미를 선사합니다. 연구실에서는 지적 호기심을 충족시키고 미지의 세계를 탐험하는 탐험가가 되는 듯한 느낌도 받습니다. 앞으로도 큰 꿈과 목표를 향해 함께 걸어갈 여정에서, 우리 연구실이 더욱 의미 있는 발전을 이루고 구성원 모두의 미래가 찬란하게 빛날 것을 기대합니다. 마지막으로 꿈 없이 저희를 응원해주시고, 사려 깊게 지도해주시는 이윤지 교수님께 감사의 마음을 전하며 글을 마칩니다.

故 장세희(張世熹) 서울대학교 교수 (1927~1997)



장세희 교수

서울대학교 문리과대학 화학과

1997년 10월 24일 대구 계명대학교 성서캠퍼스 강당에서 개최된 제80회 대한화학회 총회에 투병 중이던 장세희 교수님께서 별세하셨다는 소식이 전해졌다. 총회는 회의를 잠시 중단하고 모두 일어나 고인의 명복을 비는 묵념을 올렸다. 장세희 교수님은 그만큼 존경받는 스승이자 선배였으며 또한 학회 일에도 깊숙이 참여한 진정한 화학인이셨다.

이당(怡堂) 장세희(張世熹, Sae Hee Chang) 교수님은 1927년 7월 14일 서울에서 태어나 1950년 서울대학교 문리과대학 화학과를 졸업한 후 국방부 과학기술연구소에서 연구관으로 잠깐 계시다가 학교로 돌아와 조교와 전임강사로 재직하며 1955년 석사학위를 받았고 조교수로 재직하던 중 도미하여 1960년 Louisville 대학교에서 박사학위를 취득하였다. 1953년 6월부터 화학과에서

전임강사를 시작으로 조교수와 부교수를 거쳐 1967년 정교수가 되신 후 1992년 정년 퇴임하기까지 40년 동안 서울대학교 화학과에서 후학을 가르치고 연구 토대를 마련하며 유기화학 분야의 연구에 시동을 건 우리나라 유기화학 분야의 선구자이다. 장세희 교수님은 재직 중 문리과대학 교무과장과 이학부장을 역임하였으며 1983년에는 자연과학대학(1975년 문리과대학에서 자연과학대학으로 학제 변경됨) 학장을 맡아 2년 동안 대학 발전에도 크게 공헌하였다. 또한, 1970년부터 1984년까지 문교부 학술진흥위원회와 대학시설조사위원회의 위원으로 활동하며 기초과학의 진흥과 시설 확충에 크게 기여하였다.

장세희 교수님이 연구를 시작한 1960년대는 연구 환경이 너무나 척박한 시절이었다. 실험실도 없었고 연구 시설과 장비는 물론 분석기기 하나 없는 그런 시절이었다. 시약을 신청하면 최소한 반년 이상 걸렸고 분석 기기라고는 화학과에 자외선 분광기 한 대밖에 없던 시절이었다. 장세희 교수님이 국내에서 발표한 첫 논문이 1965년 『대한화학회지』에 게재된 것만 보아도 실험하기가 얼마나 힘들었는지 짐작할 수 있다. 장세희 교수님은 이와 같이 어려운 연구 환경 속에서도 5-아미노유라실의 Sandmeyer 반응과 같은 여러 가지 합성방법을 개발하였으며, 인삼과 토연교, 지오오갈피와 같은 천연물에서 생리활성 물질을 분리하여 구조를 확인하고 그 생리학적 성질을 고찰하는 연구와 무당개구리의 복피에 들어있는 카로테노이드 색소에 관한 연구 등 전통적인 천연물 연구에 주력하면서 40여명의 석·박사 제자를 배출하였다. 그 제자들이

1970년대부터 우리나라 유기화학 분야의 연구를 이끌어 왔고 이제 3세대와 4세대가 그 꽃을 피우고 있으니 장세희 교수님의 제자들이(여러분이 타계하였고 대부분은 은퇴하였다) 이 글을 읽으면 아마 감회가 새로우리라 생각한다.

장세희 교수님은 대한화학회 활동에도 적극적으로 참여하였다. 1963년 편집 간사로 학회에 발을 들여놓은 후 별세하실 때의 화학 올림피아드 위원회 위원장까지 35년을 한결 같이 학회에 봉사하였다. 편집 간사 2년에 이어 화학술어제정위원회 위원장(1969.1~1972.12), 화학교육위원회 위원장(1976.1~1982.7), 제16대 간사장(1976), 유기화학분과회 초대 회장(1982.2~1984.2), 화학 올림피아드 위원회 초대 위원장(1991.4~1997) 뿐만이 아니라 여러 위원회에서 위원으로 활발하게 봉사하였다. 특히, 화학술어제정에 관심이 많아 처음부터 적극적으로 회의에 참여하여 화학술어집을 발간하기까지 크게 기여하였고, 중고등학교의 과학교육을 정상화하고 선진화시키기 위하여 백방으로 노력하였으며, 우리나라가 국제화학 올림피아드에 참가할 수 있도록 과학재단과 협의하여 지원을 이끌어 내고 여름학교와 겨울학교를 개설하여 참가 학생을 교육시키고 직접 대회에 인솔하는 등 오늘날의 국제 및 국내 화학 올림피아드의 기틀을 마련하였다.

장세희 교수님은 1965년부터 사범대학의 이태녕 교수님과 고려대학교의 김태린 교수님 등과 함께 서울대학교에서 부정기적으로 만나 연구 토론회를 가졌다고 한다. 이와 같은 연구 모임이 모태가 되었는지는 모르지만 1977년 2월故 심상철 교수님의 주도하에 유기화학자들이 의

견을 모아 전국적인 규모의 '유기화학 세미나'를 탄생시켰고 이 세미나는 지금까지도 지속되고 있다. 또한, 이 모임을 확장시켜 1982년 2월에는 대한화학회에 '유기화학분과회'를 창립하고 유기화학 심포지엄을 시작하였으며 이 창립총회에서 장세희 교수님을 초대 회장으로 추대하였다. 그리고 별세하실 때까지 학계에서 원로이자 스승으로서 존경을 받으셨다.

한 마디로 장세희 교수님은 우리나라 유기화학 분야의 개척자 중 한 분이다. 서울대학교에 재직하셨기 때문에 동료들보다 더욱 돋보였을 수도 있으나 책임감 또한 더욱 컸으리라 생각된다. 장세희 교수님은 매우 박식하고 분석적이고 논리적이셨다. 항상 웃음을 보이시고 부드러우시고 온화하셨지만 일에는 빈틈이 없으셨고 열정적이셨다. 장세희 교수님은 진정한 우리의 사표이다.

글 고려대학교 화학과 명예교수 정봉영

[출처 대한화학회 유기분과회 뉴스레터]

故 심상철(沈相哲) KAIST 교수 (1937~2002)



심상철 교수
KAIST 화학과

한국 유기화학분야의 선구적 역할을 하신 故 심상철(沈相哲) 교수님에 대한 간단한 소개글입니다.

심상철 교수는 1962년 서울대학교 화학과를 졸업한 뒤 미국유학을 떠나 1967년 캘리포니아공과대학(Caltech)에서 이학박사 학위를 받았다. 1969년부터 미국 뉴욕의 브루클린공과대학(Polytechnic Institute of Brooklyn)에서 교수로 재직하던 중, 정부 주도하에 한국과학기술연구소(KIST)가 설립되고 해외 우수 과학기술인력을 유치하는 정책이 시행되자 이에 호응하여 1971년 한국과학기술원(현재의 한국과학기술원, KAIST) 화학과 교수로 부임했다.

심상철 교수는 박사학위 취득 후 31년 동안 꾸준한 연구를 통해, 『미국화학회지(Journal of American Chemical Society)』, 『미국유기화학회지(Journal of Organic Chemistry)』, 『Tetrahedron Letters』, 『Photochemistry

and Photobiology』, 『Organometallics』, 『Macromolecules』를 비롯한 유수의 국제 저명 학술지에 330여편의 논문을 게재했다. 또한 영국 왕립화학회에서 발행하는 세계적 권위의 학술지 『Chemical Communications』에 1996년 한국 화학자로서는 처음으로 기획 논문(invited featured article)을 요청받아 “Photochemistry of Conjugated Poliynes”를 게재하기도 했다. 1980년대에는 소랄렌계 화합물이 자외선과 반응하여 광독성을 나타내는 현상에 대해 일련의 연구를 수행했는데, 이 연구는 미국 국립보건원(NIH) 산하 국립암연구소(NCI)로부터 독창성을 인정받아 7년 동안 연구비를 지원받기도 했다. 유기광화학은 유기화합물과 빛이라는 여러 요소가 복합적으로 상호작용하는 과정을 설명할 수 있으므로 생물독성 시험, 신약 개발, 촉매 개발 등 다양한 응용 가치가 있으며, 돌연변이와 암 연구 등 기초연구로의 활용 가능성도 무궁무진하다. 심상철 교수는 유기광화학이라는 유망한 연구분야를 국내에서 새롭게 개척하고 역량있는 연구자집단을 형성하여 뿌리내리게 함으로써, 짧은 기간에 한국 화학계의 저변을 넓히고 연구수준을 국제적 수준으로 끌어올렸다.

이렇게 왕성한 연구활동을 통해 그는 한국 화학계의 학문적 수준을 높였음은 물론 국내에서도 세계적 수준에 손색없는 연구성과를 낼 수 있음을 국제학계에 알릴 수 있었다. 그는 KAIST에서 30년 가까이 교편을 잡으면서 한국 화학계의 국제적 수준을 크게 향상시켰다. 특히 국내에서 미개척 분야였던 유기광화학 분야의 연구를 주도하여

세계적으로 인정받는 연구성과를 다수 발표했는데, 이는 국내에서 독자적으로 수행한 연구였으므로 그 의미가 더욱 크다. 1971년 부임한 이래 정년을 맞은 1997년까지 심상철 교수가 KAIST에서 배출한 석사는 69명, 박사는 36명에 이르렀다. 백여 명의 제자들은 세계 수준의 연구에 참여한 경험을 바탕으로 국내외 학교, 연구소, 산업체 등에서 활발히 연구 활동을 하여 한국 화학계의 저변을 넓혔다. 제자 가운데에서는 충북대 강한영 교수님, 경북대 김홍석 교수님이 대한화학회 회장을 역임하셨고, 레고캠 바이오사이언스의 김용주 대표, POSTECH의 박준원 부총장님, 한미약품의 이관순 부회장, 바이오니아의 박한오 대표이사 등을 들 수 있다.

그는 이와 같은 학문적 업적을 인정받아 국민훈장모란장(1981), 한국과학상(1990), 세종문화상 (1991), 대한민국 학술원상(1999) 등을 수상했으며, 한국과학기술한림원의 종신회원으로 활동했다. 또한 개인적인 연구 뿐 아니라 한국 화학계 전체의 발전을 위한 활동도 활발히 벌여 나갔다. KAIST에 재직 중인 1976년부터 '월례 유기화학 세미나'를 조직하고 운영했는데, 이것은 대한화학회 분과회 활동의 효시가 되었고 현재 대한화학회 대표 분과회로 유기화학분과회가 자리매김을 하는데 중추적인 역할을 하였다. 또한 '한-일 유기화학 심포지엄'을 조직하여 화학계의 국제교류 활성화에도 크게 기여했다. 이와 같은 기여를 바탕으로 1996년에는 제30대 대한화학회 회장으로 선출되었다. KAIST에서도 대학원장과 원장(1994~1995) 등의 보직을 맡아 그 발전을 이끌었다. 그동안 국가과학

기술 발전에 기여한바를 인정받아 2019년 '대한민국 과학 기술유공자'로 선정되었다.

(더 자세한 내용은 한국과학기술한림원 회상록에서 볼 수 있다.)

글 인하대학교 화학과 명예교수 **고훈영**

[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	중견 고분자화학 연구자 심포지엄	김경택(서울대학교)	ktkim72@snu.ac.kr
	3	고분자 합성 연구의 최신 동향	강범구(숭실대학교)	bkang@ssu.ac.kr
무기화학	1	초분자화학의 현재와 미래	윤호재(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	유기화학의 최신 연구동향	주정민(경희대학교)	jmjoo@khu.ac.kr
	2	화학센서의 최신 연구동향	한민수(GIST)	happyhan@gist.ac.kr
	3	유기화학 선도연구 심포지엄	김정곤(전북대학교)	jeunggonkim@jbnu.ac.kr

분과회		주제	조직책임자	이메일
의약화학	1	최신 의약화학 동향	임춘영(KMEDHub)	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	페플라스틱 완전순환 기술	한요셉(한국지질자원연구원)	yosep@kigam.re.kr

구두발표

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

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 분석과학자 구두발표 I	김연호(건국대학교)	yeonho@kku.ac.kr
	2	젊은 분석과학자 구두발표 II	김홍기(공주대학교)	hongkikim@kongju.ac.kr
생명화학	1	젊은 생명과학자를 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 다각적인 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.

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 2 |

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.

| 심포지엄 3 |

유기화학 선도연구 심포지엄

최근 유기화학은 매우 다양한 연구분야로 확장되고 있습니다. 본 심포지엄은 국내외에서 유기화학 선도하는 연구자들을 초청하여 진행할 예정이며, 새로운 합성법의 개발, 새로운 반응성의 발굴, 그리고 선택성의 탁월한 증가를 비롯하며 전문가들의 최근 연구 결과를 공유하고 활발한 토론의 장을 제공할 것입니다. 이를 통해 향후 유기화학의 발전 방향을 예측하고 미래 연구 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.

유기화학분과회

| 심포지엄 1 |

유기화학의 최신 연구동향

현대 유기화학은 유기화합물의 효율적인 합성과 다양한 응용 분야의

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.

재미있고 쓸모있는 화학 이야기

이광렬 지음 | 코리아닷컴 2023.12.25 출간 | ISBN 9791190488495



목차

프롤로그 복잡하고 어지러운 세상, 화학 창문으로 바라보기

1장. 내 몸 안에서 일어나는 화학 반응

화가 잔뜩 난 활성산소 다루기 / 몸이 산성화된다는 건 무슨 뜻일까?...**(생략)**

2장. 뇌가 만드는 감정과 심리의 화학 작용

뇌 속의 행복 호르몬을 깨우는 돈 안 드는 방법 / 말싸움 지기 싫어하는 상대와도 원만하게 지내는 방법...**(생략)**

3장. 모르면 독, 약과 식품 속의 화학 이야기

땀에서 나는 피 비트즙, 모두를 위한 음식은 아니다 / 칼슘 섭취를 위해 계란 껍질을 먹어도 된다?...**(생략)**

4장. 생활의 달인 만드는 살림 속 실용 화학

친환경 세제 삼총사: 베이킹소다, 구연산, 과탄산소다 / 구연산으로 물때 탈출...**(생략)**

5장. 뷰티와 다이어트에 쓸모 있는 화학의 능력

언제 배가 부르고 언제 배가 고픈까? 그렐린과 렙틴 / 약으로 하는 다이어트가 대부분 실패인 이유...**(생략)**

책 소개

『재미있고 쓸모있는 화학 이야기』는 ‘모두를 위한 화학’에 연재된 다양한 콘텐츠를 주제별로 나누어 찾아 읽기 쉽게 구성하였으며, 화학이 우리의 일상에서 얼마나 쓸모있는지 알려준다.

“믹서기로 과일을 갈아서 먹으면 비타민 C가 다 파괴된대.”

“선풍기가 돌면서 산소 분자를 파괴하기 때문에 선풍기를 틀고 자면 죽어.”

“GMO 식품은 다 독이야. GMO 콩으로 만든 두부를 먹으면 암에 걸려.”

요즘은 인스타그램이나 틱톡, 유튜브 쇼츠, 트위터와 같은 다양한 소셜미디어를 통해 많은 정보를 얻는다. 궁금한 정보를 쉽고 빠르게 찾아볼 수 있는 반면, 검증되지 않은 잘못된 정보들도 빠른 속도로 사람들 사이에 퍼져나간다.

특히 ‘이런 음식은 먹으면 안 되고’, ‘이런 화장품은 쓰면 안 되고’ 등 먹는 것과 몸에 바르는 것에 대한 이야기가 잘 퍼진다. 대체 왜 그럴까? 그 이유를 이 책의 저자는 우리가 전적으로 화학적인 존재이기 때문이라고 설명한다. 우리의 몸을 구성하는 모든 것은 화합물이고, 먹고 마시고 바르는 모든 것들이 화합물이기 때문에 우리는 매 순간 세상과 화학적으로 소통하고 있다는 것이다. 그 속에 들어 있는 과학적인 팩트를 알진 모르진 간에 우리는 화학적 세계에 살고 있다. 그런데 세상에 이야기는 너무나 많고, 무엇이 진짜이고 가짜인지 헷갈린다.

‘이거 아이에게 먹여도 될까?’ ‘집에 넘치는 세균, 어떻게 다 없애지?’ 점점 더 어지럽고 복잡해져 가는 세상에서 이 책은 우리에게 화학이라는 창문을 제공한다. 화학 창문을 통해 물질 세상과 인간사를 화학적인 현상으로 바라보면, 어느 순간 괴담에 흔들리지 않고 지식과 화학 원리로 무장하여 복잡하고 어지러운 세상을 잘 헤쳐나갈 힘을 얻게 될 것이다.

저자 소개

이광렬 : 네이버 프리미엄 콘텐츠에 ‘모두를 위한 화학’을 연재하면서 지식과 유머가 합쳐진 필력으로 구독자 순위 1위를 기록하며 열렬한 팬층을 형성하고 있다. 독자들의 다양한 질문을 유쾌하게 풀어주는 매콤한 맛의 ‘안암동 광팔도사’라는 제2의 인격을 만들어 구독자들 사이에서 큰 인기를 얻고 있다. KAIST에서 화학과 학사학위, 일리노이대학교(University of Illinois at Urbana-Champaign)에서 화학과 박사학위를 취득하였다. 2003년부터 고려대 화학과 교수로 임용되어 연구와 강의를 이어 오고 있다. 화학과 학과장, 이과대학 부학장, BK 사업단장, 대한화학회 부회장 등을 역임하였다. 2023년 6월부터 ‘다성분 나노입자 구조론 연구’라는 주제로 한국연구재단의 리더연구사업을 수행하며 나노입자의 형성 원리와 응용에 대해 활발히 연구하고 있다. 지금까지 240편이 넘는 SCI 논문을 발표하였으며, 대학원 교재로 저술한 『나노소재화학』은 2023년 세종도서 학술부문 추천도서로 선정되었다.

>>> 운영위원회

12월 운영위원회

2024~2025년도 대한화학회 운영위원회는 2023년 5월부터 차기 운영위를 구성하여 대한화학회 발전을 위한 준비를 진행하였다. 전체 운영위원이 참석한 11월 14일 비대면 zoom회의를 비롯한 2~3차례 회의를 통해 대한화학회 운영 목표를 새롭게 정립하고, “미래를 꿈꾸는 모두를 위한 화학! 다 함께 만들어가는 영광의 100년”이라는 기치 아래 화학의 미래와 발전 방향에 대응할 수 있는 다양한 정책 및 프로그램을 기획하고 추진하기로 하였다. 먼저 제133회 춘계 학술발표회는 2024년 4월 24일(수)~26일(금)에 수원컨벤션센터(SCC)에서, 제134회 추계 학술발표회는 10월 16일(수)~18일(금)에 대구 EXCO 컨벤션센터에서 진행하는 것으로 결정되었다. 전국 화학과의 학과장들과의 연락망을 구축하고 이를 통해서 각 학과의 정년퇴임 교수, 신규 임용 교수들에 대한 정보를 화학 세계에 제공하기로 하였다. 다양성에 기반한 회원을 확충하고 회원들의 참여 확대를 위해 노력하며, ACS Summit 개최 등 학술대회의 국제화를 추진하기로 하였다. 산학연 네트워크 활성화를 위한 산학협력 심포지엄을 강화하는 한편, 산업체가 필요로 하는 요소 기술과 관련 학계 전문가 그룹을 연계하는 심포지엄을 추진하기로 하였다. 정부의 과학기술정책 추진에 대응하기 위해서 과학기술정책위원회를 신설하기로 하였다. 향후 정기적으로 운영위원회를 개최하여 단기적으로는 춘계 학술발표회 준비에 관한 사항을 논의하고, 회원들의 의견 반영 및 현안들을 지속적으로 논의할 예정이며, 신설되는 과학기술정책위원회, 학술지 간행위원회 및 기금위원회를 비롯한 모든 위원회, 분과 및 각 지부와 적극적으로 소통하고, 화학회 회원이 진심으로 소통할 수 있는 위원회가 되도록 노력하고자 한다.

>>> 지부 · 분과회

- 행사명: 고분자화학 분과회 동계 심포지엄
- 개최기간: 2024. 1. 24~1. 25
- 개최장소: 한국과학기술원(KAIST) 자연과학동(E6) 공동 강의실 1501
- 주최: 대한화학회 고분자화학분과회, 포스텍 2023 지방대학

- 후원: 대한화학회
- 담당자: 김정택(서울대학교 화학부, ktkim72@snu.ac.kr)
- 발표편수: 구두발표 8편, 포스터 발표
- 내용: 대한화학회 고분자화학 분과회에서 “미래 먹거리를 위한 고분자화학”을 주제로 동계 심포지엄을 개최합니다. 이번 심포지엄에서는 미래 먹거리를 위한 고분자화학 분야의 최신 연구동향, 기초/응용연구 결과 및 향후 전망 등이 심도 깊게 논의될 예정입니다. 고분자화학 분야에 관심을 갖고 계신 연구자 여러분의 적극적인 관심과 참여를 기대하며, 관련 정보 공유 및 활발한 토론의 장이 펼쳐지기를 바랍니다.

세션 1. 스마트 소재

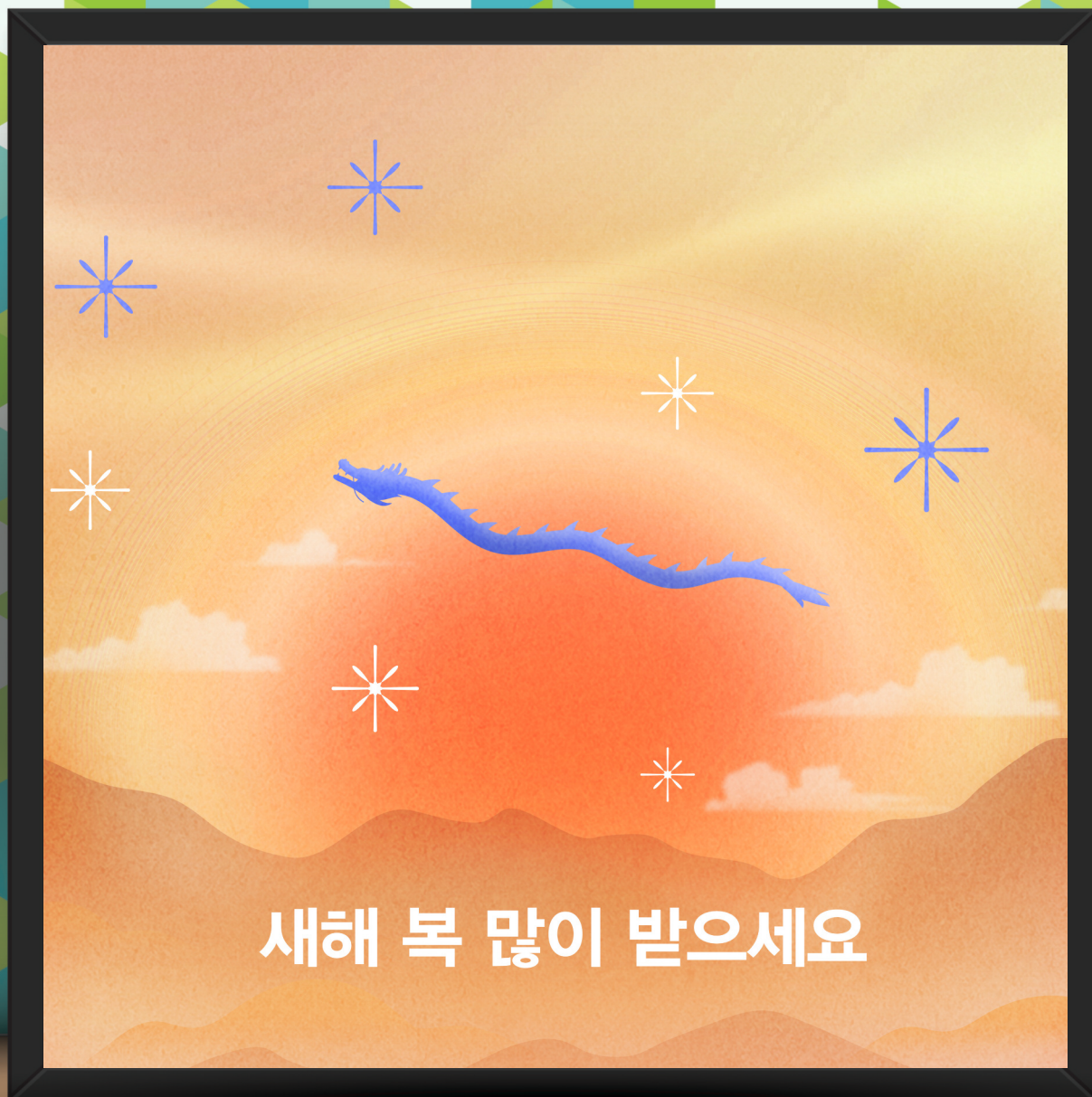
강성민(충북대), 이은지(GIST), 안석균(부산대), 임정애(KIST)

세션 2. 지속가능성 소재

김희중(인하대), 구분모(충남대), 신지훈(KRICT), 심지민(서울대)

>>> 부 고

2023.12.31	박성호(성균관대학교 화학과) 회원	빙부상
2023.12.31	조대원(IBS 첨단반응동역학연구단) 회원	모친상
2023.12.27	이효영(성균관대학교 화학과)회원	빙모상
2023.12.15	정시원(인하대학교 화학과)회원	부친상
2023.12.15	이용록(영남대학교 화학공학부)회원	모친상
2023.12.8	이용일(창원대학교 화학과 명예교수)회원	모친상
2023.12.2	김철희(인하대 명예교수, 한국고분자학회 35대 회장)회원	모친상



새해 복 많이 받으세요

2024년 대한화학회 임원명단

운영위원회

회장	이필호			강원대학교
고문	장영신			애경
부회장	총무부회장	오한빈		서강대학교
	기획부회장	홍창섭		고려대학교
	학술부회장	신승훈		한양대학교
	홍보부회장	조규봉		서강대학교
	국제협력부회장	박진균		부산대학교
	산학협력부회장	이혁		한국화학연구원
	교육부회장	박현주		조선대학교
이사	이필호	강원대학교	신석민	서울대학교
	김민	충북대학교	김성환	경북대학교
	김지만	성균관대학교	김경규	성균관대학교
	문봉진	서강대학교	강성호	경희대학교
	신은주	순천대학교	이재준	동국대학교
	구상호	명지대학교	정영미	강원대학교
	허정석	충남대학교	오한빈	서강대학교
	홍창섭	고려대학교	신승훈	한양대학교
	조규봉	서강대학교	이혁	한국화학연구원
	김형민	국민대학교		
감사	이희승	KAIST	임현석	POSTECH
실무이사	총무실무이사	김형민	국민대학교	
		박성진	인하대학교	
		김현우	KAIST	
	기획실무이사	정광섭	고려대학교	
		김두리	한양대학교	
		안현서	연세대학교	
	학술실무이사	송창식	성균관대학교	
		조은진	중앙대학교	
		김석희	서울대학교	
	홍보실무이사	이현수	서강대학교	
		문회리	이화여자대학교	
		이준석	한양대학교	
	국제협력실무이사	홍승우	KAIST	
		윤명한	GIST	
		조승환	POSTECH	
	산학협력실무이사	한수봉	한국화학연구원	
		임상민	KIST	
		남기엽	파로스아이바이오	
교육실무이사	이안나	전북대학교		
	김현우	POSTECH		

평의원(327명)

강경태 강대호 강명구 강석진 강성호 강신원 강영기 강영수 강재훈 강종민
 강한영 강한철 경영수 고문주 고석범 고재중 고희영 곽영우 곽현태 구인선
 권수한 권오천 권장혁 금교창 김 건 김 양 김 철 김강진 김관수 김광은
 김기문 김기섭 김기협 김낙중 김대황 김동규 김동한 김동희 김두영 김명수
 김명우 김병태 김병문 김봉곤 김봉수 김상곤 김상규 김상렬 김상하 김성각
 김성수 김성수 김성진 김승빈 김승준 김영만 김영상 김왕기 김용래 김용록
 김용애 김용준 김용태 김용해 김원섭 김원호 김유승 김유항 김윤수 김일광
 김자홍 김장환 김재상 김정희 김중승 김중혁 김만경 김충섭 김택제 김필호
 김하석 김하원 김형래 김홍래 김홍석 나명수 남계춘 노동성 노봉오 노영희
 노태희 도명기 도영규 도임자 도춘호 류준하 문명희 문석식 문탁진 민경세
 박국태 박규순 박균하 박노상 박병수 박병욱 박상언 박상윤 박성규 박수진
 박승민 박승언 박승철 박외숙 박용광 박용태 박유철 박윤창 박정학 박종률
 박종상 박종열 박종욱 박준우 박준택 박창식 박한우 박현주 박형련 박호근
 배선근 배영일 배준웅 백건호 백경수 백명현 백성혜 백우현 백운기 변중홍
 부봉현 서홍식 석원경 선호성 성대동 성익경 성재영 소현영 손용근 손정인
 송기동 송지용 송충의 신국조 신동명 신동수 신석민 신영국 신은주 심상철
 안교한 안병준 안정수 양갑석 양덕주 양세인 양은경 양일우 양정성 어용선
 엄재국 엄태섭 여수동 여인형 오대섭 오세철 오창연 오현승 옥강민 원종욱
 유 룡 유광식 유국현 유병수 유연규 유영재 유진녕 윤경병 윤구식 윤근성
 윤민중 윤병집 윤석승 윤세왕 윤세중 윤용찬 윤재숙 이 광 이 은 이 흥
 이강봉 이관순 이광렬 이국행 이규양 이기성 이기학 이남수 이남호 이덕형
 이덕환 이동현 이동환 이만길 이명의 이무상 이백규 이병민 이병춘 이분수
 이봉용 이상국 이상기 이상원 이상학 이상화 이서봉 이석근 이순기 이순길
 이순보 이억균 이연희 이영식 이영호 이왕근 이원용 이윤식 이익모 이재도
 이정호 이종명 이종목 이종울 이주연 이창규 이창희 이채호 이철범 이태오
 이필호 이학준 이해황 이호설 이화국 이효원 이흥락 임만호 장세현 장종환
 전병식 전승준 전일철 전종갑 전철호 정구순 정규성 정근호 정덕영 정명희
 정봉영 정봉철 정순량 정영태 정옥상 정용순 정인화 정종재 정진갑 정진순
 정택동 정학진 조광연 조병태 조성태 조양래 조원재 조은준 조정혁 조천규
 조현우 지기환 지대윤 진정일 차근식 차기원 차성규 차진순 채영복 천정균
 최규성 최동훈 최상준 최성락 최원희 최정도 최정훈 최중길 최진호
 최태택 최호섭 추현아 팽기정 하윤경 하현준 한옥희 한태희 함희석 허 황
 허영덕 홍종달 홍대기 황금소 황금숙 황성주 황인우

제위원회

과학기술정책위원회

위원장	신석민	서울대학교
-----	-----	-------

국제협력위원회

위원장	최철호	경북대학교
부위원장	이진용	성균관대학교
위원	이정규	경북대학교
	김주영	경상국립대학교
	신혜영	충남대학교
	김형준	KAIST
	*조승환	POSTECH

기금위원회

위원장	문봉진	서강대학교
부위원장	*오한빈	서강대학교
위원	민선준	한양대학교
	허정녕	한국화학연구원
	윤민영	경북대학교
	옥강민	서강대학교
	이선우	전남대학교
	김용애	한국외국어대학교
	곽경원	고려대학교
	양해식	부산대학교
	*김형민	국민대학교

선거관리위원회

위원장	이필호	강원대학교
위원	신석민	서울대학교
	윤승수	성균관대학교
	유태수	충북대학교
	박태호	POSTECH
	이철범	서울대학교
	김상규	KAIST
	임현석	POSTECH
	오한빈	서강대학교
	홍창섭	고려대학교
	신승훈	한양대학교
	이혁	한국화학연구원
	조규봉	서강대학교
	박현주	조선대학교
	김형민	국민대학교

여성위원회

위원장	정영미	강원대학교
부위원장	심은지	연세대학교
위원	변혜령	KAIST
	고혜란	중앙대학교
	이은지	GIST
	주정민	경희대학교
	유은정	경희대학교
	이혜미	한국화학연구원
	박선미	삼성전자종합기술원
	이윤희	DGIST
	*김현우	KAIST

연구실안전위원회

위원장	황승율	화학물질안전원
위원	김용애	한국외국어대학교
	배선영	서울여자대학교
	김종운	한국화학연구원
	서지영	과학기술정책연구원
	윤민영	경북대학교
	김종구	한국생명공학연구원
	류태인	화학물질안전원
	*문희리	이화여자대학교
	*정광섭	고려대학교

연구윤리위원회

위원장	구상호	명지대학교
부위원장	김학원	경희대학교
	*홍창섭	고려대학교
위원	이중우	서울시립대학교
	박노경	명지대학교

정보화사업위원회

위원장	송재규	경희대학교
상임위원	성봉준	서강대학교
	강혁	아주대학교
	김형민	국민대학교
	박진균	부산대학교
	김양래	광운대학교
	민선준	한양대학교
	임성열	경희대학교
	*송창식	성균관대학교

*당연직

출판위원회		
위원장	류도현	성균관대학교
부위원장	주정민	경희대학교
위원	이준승	전남대학교
	이원철	강원대학교
	황성필	고려대학교
	정 현	동국대학교
	최정모	부산대학교
	성봉준	서강대학교
	한순규	KAIST
	*박성진	인하대학교

학술위원회		
위원장	임만호	부산대학교
부위원장	심은지	연세대학교
위원	강석진	전주교육대학교
	고두현	성균관대학교
	김동은	건국대학교
	김영미	경희대학교
	김준수	이화여자대학교
	남좌민	서울대학교
	류도현	성균관대학교
	박명환	충북대학교
	박종민	강원대학교
	성봉준	서강대학교
	손성욱	성균관대학교
	송재규	경희대학교
	윤상운	중앙대학교
	유효재	고려대학교
	이선우	전남대학교
	이재준	동국대학교
	이혜진	경북대학교
	이효중	전북대학교
	임미희	KAIST
	장우동	연세대학교
	주상훈	서울대학교
	최명룡	경상국립대학교
	황도훈	부산대학교
	안현주	충남대학교
	*송창식	성균관대학교

학술지간행위원회		
위원장	이영호	POSTECH
부위원장	심은지	연세대학교

위원	김성환	경북대학교
	이민재	군산대학교
	민선준	한양대학교
	정용원	KAIST
	남원우	이화여자대학교
	이혜진	경북대학교
	*김석희	서울대학교
BKCS 편집장	남원우	이화여자대학교
Managing Editor	박명환	충북대학교
BKCS 상임위원	민선준	한양대학교
	곽경원	고려대학교
	김성환	경북대학교
	윤동기	KAIST
	이승재	전북대학교
	이선우	전남대학교
	정재훈	울산대학교
	정낙천	DGIST
	이은성	POSTECH
	박성진	인하대학교
JKCS 편집장	이혜진	경북대학교
	구상호	명지대학교
JKCS 부편집장	이민재	군산대학교
	구상호	명지대학교
	정용원	KAIST
	이영복	한양대학교
	하영근	경기대학교
	최애란	이화여자대학교
	김영독	성균관대학교
	홍창섭	고려대학교
	강한창	가톨릭대학교

한만정학술상위원회		
위원장	정옥상	부산대학교
부위원장	옥강민	서강대학교
위원	이창희	강원대학교
	최종길	연세대학교
	신석민	서울대학교
	김용애	한국외국어대학교
	김종승	고려대학교
	정영미	강원대학교
	금교창	KIST
	이상원	고려대학교
	최동훈	고려대학교

화학교육위원회		
위원장	박종석	경북대학교
부위원장	김현정	공주대학교
위원	박현주	조선대학교
	임희준	경인교육대학교
	윤희숙	강원대학교
	차정호	대구대학교
	최은영	한국과학영재학교
	최정모	부산대학교
	유은정	경희대학교
	권성중	건국대학교
	손미현	서울대학교
	*이안나	전북대학교

화학대중화위원회		
위원장	김태영	GIST
부위원장	장홍제	광운대학교
위원	이승현	한양대학교
	박종호	전북대학교
	이지연	성신여자대학교
	최정모	부산대학교
	정병혁	DGIST
	김정민	한국에너지공과대학교
	*이현수	서강대학교

화학세계편집위원회		
위원장	조규봉	서강대학교
부위원장	*이현수	서강대학교
	*문회리	이화여자대학교
	*이준석	한양대학교
상임위원	박준우	서강대학교
	동방선	서강대학교
	윤희석	한양대학교
	김양래	광운대학교
	이영주	부산대학교
	이호익	한국생산기술연구원
	최정모	부산대학교
	장홍제	광운대학교
	최은영	한국과학영재학교
	장지현	서강대학교
	김성지	POSTECH

화학술어위원회		
위원장	이동환	서울대학교
부위원장	곽경원	고려대학교
상임위원	이호원	충북대학교
	정병서	인천대학교
위원	김민	충북대학교
	김정곤	전북대학교
	주상훈	서울대학교
	이현우	서울대학교
	황승준	POSTECH
	윤효재	고려대학교
	*조은진	중앙대학교

화학올림피아드위원회		
위원장	양성익	경희대학교
부위원장	정 현	동국대학교
자문위원	이덕형	서강대학교
	하윤경	홍익대학교
	임상규	국민대학교
	문봉진	서강대학교
	류도현	성균관대학교
	손창윤	POSTECH
위원	박기영	KAIST
	황성필	고려대학교
	김정권	충남대학교
	김양래	광운대학교
	김학준	덕성여자대학교
	권성중	건국대학교
	성봉준	서강대학교
	강혁	아주대학교
	고혜란	중앙대학교
	민선준	한양대학교
	유은정	경희대학교
	최수혁	연세대학교
	정병혁	DGIST
	정시원	인하대학교
	박명환	충북대학교
	한진욱	한양대학교
	오제민	동국대학교
윤민영	경북대학교	
김인영	이화여자대학교	
*김두리	한양대학교	

화학전공학위인증위원회		
위원장	장우동	연세대학교
부위원장	윤성호	중앙대학교
	*홍창섭	고려대학교
위원	김정권	충남대학교
	성봉준	서강대학교
	김태규	연세대학교
	유은정	경희대학교

지부회

강원지부회		
지부장	이정태	한림대학교
간사장	이우람	한림대학교
감사	이은지	강릉원주대학교

경기지부회		
지부장	윤승수	성균관대학교
간사장	배한용	성균관대학교
감사	김성곤	경기대학교

경남지부회		
지부장	박종근	경상국립대학교
부지부장	임재민	창원대학교
간사장	김주영	경상국립대학교
간사	허도성	인제대학교
	김원준	창원대학교
감사	박동호	인제대학교

광주·전남지부회		
지부장	이용훈	목포대학교
간사장	김태우	목포대학교
감사	김지민	전남대학교

대구·경북지부회		
지부장	주태하	POSTECH
간사장	최철호	경북대학교
감사	심준호	대구대학교

대전·충남·세종지부회		
지부장	손영구	충남대학교
간사장	차지현	충남대학교
감사	김필호	한국화학연구원

부산지부회		
지부장	김효준	동아대학교
간사장	김종식	동아대학교
감사	남기민	부산대학교

울산지부회		
지부장	이민형	울산대학교
간사장	이근식	UNIST
간사	홍종욱	울산대학교
	나한아	한국화학연구원
감사	하지원	울산대학교

인천지부회		
지부장	김태현	인천대학교
간사장	김형준	인천대학교
감사	김명웅	인하대학교

전북지부회		
지부장	유동진	전북대학교
간사장	김정곤	전북대학교
감사	조경빈	전북대학교

충북지부회		
지부장	유태수	충북대학교
간사장	박준희	충북대학교
간사	최이삭	충북대학교
	손운용	충북대학교
감사	김철재	충북대학교

분과회

고분자화학분과회		
분과회장	박태호	POSTECH
총무간사	김경택	서울대학교

공업화학분과회		
분과회장	강길선	전북대학교
총무간사	이동원	전북대학교
감사	김천호	한국원자력연구원

무기화학분과회		
분과회장	이광렬	고려대학교
총무간사	이은성	POSTECH

물리화학분과회		
분과회장	김상규	KAIST
총무간사	김남준	충북대학교

분석화학분과회		
분과회장	정희일	한양대학교
분과부회장	황금숙	한국기초과학지원연구원
총무간사	최기환	한국표준과학연구원
감사	한상운	가천대학교
	차상원	동국대학교

생명화학분과회		
분과회장	장영태	POSTECH
총무간사	권영은	동국대학교
감사	송현규	고려대학교

유기화학분과회		
분과회장	이철범	서울대학교
총무간사	홍석원	GIST
감사	홍승우	KAIST

의약화학분과회		
분과회장	금교창	KIST
총무간사	김병선	경상국립대학교
감사	허정녕	한국화학연구원

재료화학분과회		
분과회장	홍승태	DGIST
총무간사	정인	서울대학교
감사	박종남	UNIST

전기화학분과회		
분과회장	박원철	서울대학교
총무간사	박준희	충북대학교
감사	남기민	부산대학교

화학교육분과회		
분과회장	박종석	경북대학교
총무간사	손미현	서울대학교
감사	박현주	조선대학교

환경에너지분과회		
분과회장	박현웅	경북대학교
총무간사	김은주	KIST
감사	김우열	한국에너지공과대학교

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.

회원확인 → ID 변경 → 회원 로그인 → 결제 및 영수증 출력

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.

지속적인 기술 혁신을 지향하는 **동우화인켐**은

대한민국 IT산업의 중심에 서 있습니다!

START

TOP PARTNER

CHALLENGE

 DONGWOO
FINE-CHEM

 SUMITOMO CHEMICAL

디스플레이 전자 재료 및 화학 분야의
GLOBAL COMPANY

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

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

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