

화학세계

CHEMWORLD



3PC*
Reaction conditions

Monomer → Polymer

Controlled radical polymerization

- O-ATRP
- ATRP with photoredox/Cu dual catalysis
- PET-RAFT

Free radical polymerization

- Photoinitiating system
- Visible-light-driven 3D printing
- Synthesis of acrylic adhesive

12
2023

<이달의 하이라이트> 들뜬 상태의 삼중항을 이용한 순수 유기물 광촉매 기반 가시광 매개 고분자 중합과 그 예시

읽기쉬운 총설

유전체 3차원 구조의 초고해상도 이미징

이달의 하이라이트

들뜬 상태의 삼중항을 이용한 순수 유기물 광촉매 기반 가시광 매개 고분자 중합과 연구 동향

화학교육

전기분석화학 연구 경험을 통해 본 '교육'과 '훈련'의 관계

우수선도연구기관

기초과학연구원(IBS) 첨단 반응동역학 연구단

경상국립대학교 항바이러스 Z-핵산 유도체 기초연구실

INTERVIEW

화학세계가 만난 화학자 Epilogue

“앞서가는 화학회, 공식후원사와 함께 합니다”

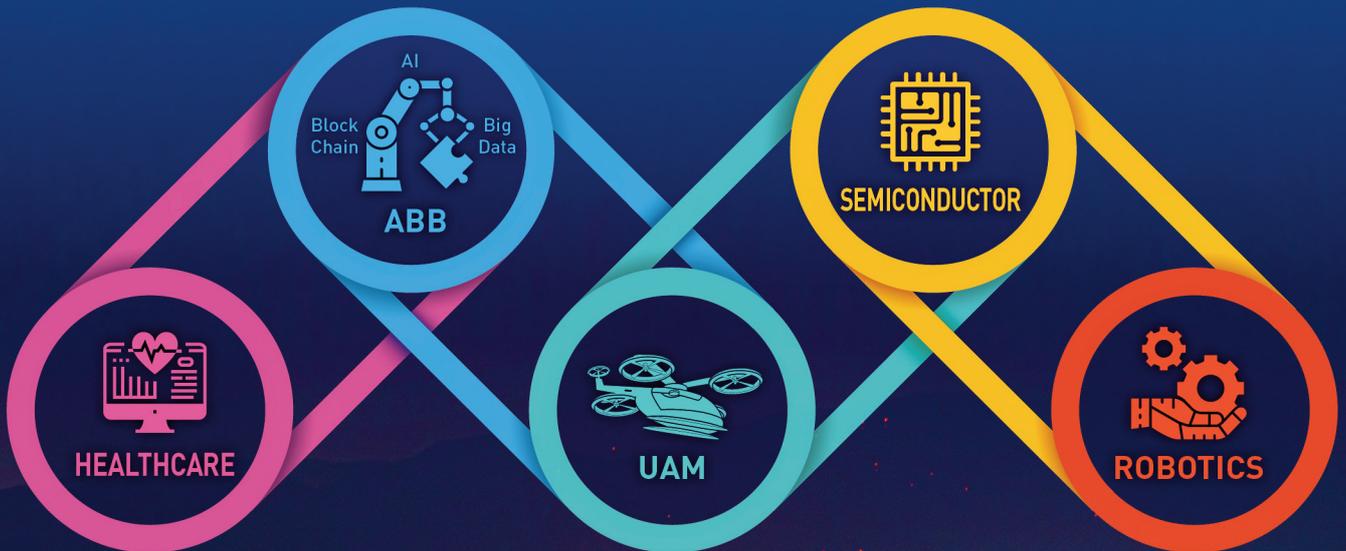




DAEGU

[국제회의로 미래 산업 혁신을 이끄는 도시]

국제회의 가치를 한 단계 높여줄 대구시 국제회의 유치 파트너,
대구컨벤션뷰로와 함께하십시오!



지속적인 기술 혁신을 지향하는 동우화인켐은

대한민국 IT산업의 중심에 서 있습니다!



디스플레이 전자 재료 및 화학 분야의
GLOBAL COMPANY

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

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

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

매 순간
자신있게



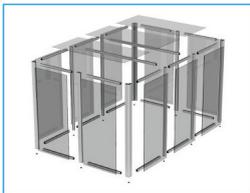
케어센스® 에어 연속혈당측정시스템

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.



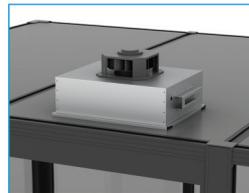
“공간구성을 위한 별도의 공사?”

조립과 해체가 가능한 다목적 맞춤형 공간 제작 솔루션 · 모듈 시스템 부스



[모듈 시스템]

기존 공간의 공사나 손상없이 이동·확장·변형·해체가 가능한 모듈형 조립설계 시스템



[음압·양압·FFU]

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



[패널]

외부·중간재 (방음/내열)·내부 패널의 선택이 가능하여 공간별 독립된 분위기 연출 가능



[패스박스]

사용자가 직접 부스에 출입하지 않고 패스박스를 통해 물품의 출입이 용이



[유틸리티]

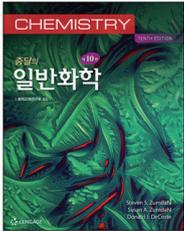
전기·통신·가스·워터 등 사용자의 편의에 따라 다양한 유틸리티 선택 가능



[LED 조명]

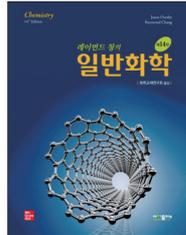
눈의 피로도가 적고 형광등 대비 1.5배 이상의 밝기와 에너지 효율성이 높은 LED 바 조명 적용

줌달의
일반화학 10판



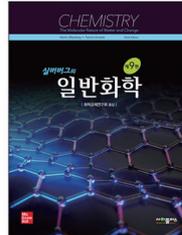
저 자 : Zumdahl
판 수 : 10
발 행 : 2019
페 이 지 : 1168
I S B N : 9788962184358

신간 레이먼드 창 의
일반화학 14판



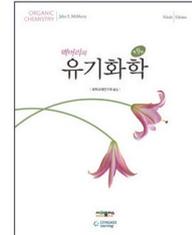
저 자 : Overby, Chang
판 수 : 14
발 행 : 2023
페 이 지 : 1080
I S B N : 9791188731343

신간 실버버그의
일반화학 9판



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

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

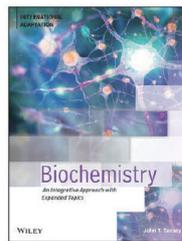
★ 대한민국학술원 우수학술도서

신간 화학자를 위한
결정학



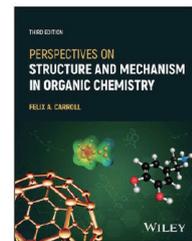
역 자 : 윤우진, 윤호섭
판 수 : 1
발 행 일 : 2022
페 이 지 : 236
I S B N : 9791188731329

Biochemistry



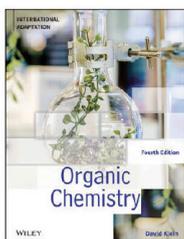
저 자 : John T. Tansey
판 수 : 1
발 행 : 2022
페 이 지 : 1008
I S B N : 9781119820802

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



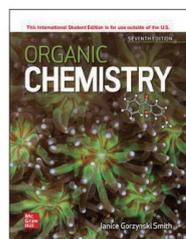
저 자 : Carroll
판 수 : 3
발 행 : 2023
페 이 지 : 864
I S B N : 9781119808619

신간 Organic Chemistry
4/e



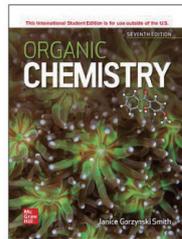
저 자 : David R. Klein
판 수 : 4
발 행 일 : 2022
페 이 지 : 1178
I S B N : 9781119820833

근간 스미스의
유기화학 7판



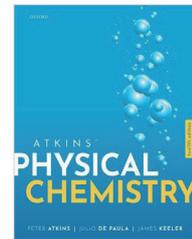
저 자 : Smith
판 수 : 7
발 행 일 : 2024

근간 Organic Chemistry
7/e



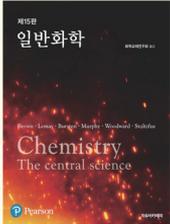
저 자 : Smith
판 수 : 7
발 행 일 : 2024
페 이 지 : 1400
I S B N : 9781266223938

근간 앳킨스의
물리화학 12판



저 자 : Atkins
판 수 : 12
발 행 일 : 2024

Brown 일반화학 제15판



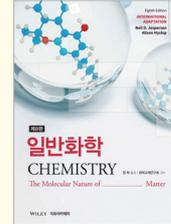
역 자: 화학교재연구회
출판년도: 2023년 쪽수: 1316쪽
ISBN: 9791158084196

원서 정보

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

출간 예정

Brady 일반화학 제8판



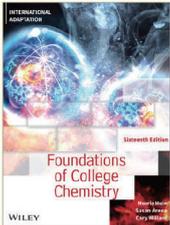
역 자: 정 혁
감 수: 화학교재연구회
출판년도: 2024년
ISBN: 9791158085674

원서 정보

Chemistry: The Molecular Nature of Matter 8/e
출판년도: 2022년 쪽수: 1232쪽
ISBN: 9781119820642

출간 예정

Hein 대학화학의 기초 제16판



역 자: 화학교재연구회
출판년도: 2024년
ISBN: 9791158085698

원서 정보

Foundation of College Chemistry 16/e
출판년도: 2023년 쪽수: 624쪽
ISBN: 9781119889243

출간 예정

Solomons 유기화학 제13판



역 자: 이창규, 한인숙
출판년도: 2024년
ISBN: 9791158085681

원서 정보

Organic Chemistry 13/e
출판년도: 2022년 쪽수: 1232쪽
ISBN: 9781119889441

전자책 출간

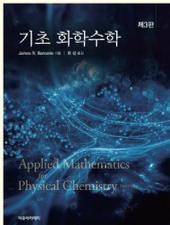
합성 유기화학



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

전자책 출간

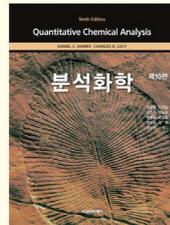
Barrante 기초 화학수학 제3판



역 자: 류 설
출판년도: 2023년
쪽 수: 360쪽
ISBN: 9791158084561

전자책 출간

Harris 분석화학 제10판



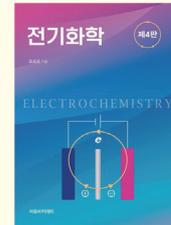
역 자: 이승호 외
출판년도: 2021년 쪽수: 1092쪽
ISBN: 9791158082932

원서 정보

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

전자책 출간

전기화학 제4판



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

관련 서적

Electrochemistry 4/e
출판년도: 2024년
ISBN: 9791158085667

전자책 출간

Silbey 물리화학 제5판



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

원서 정보

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

전자책 출간

재료화학



저 자: 정찬문
출판년도: 2023년
쪽 수: 244쪽
ISBN: 9791158084493

전자책 출간

약용식물을 이용한 천연화장품 이해

저 자: 이인아
쪽 수: 190쪽
출판년도: 2023년
ISBN: 9791158085261

전자책 출간

Selinger 장바구니에 담긴 화학 제6판

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

Starlet®

국내 LAB 시험기 선두 기업!!

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

상하 핀 타입



종이 호일 타입



자동 배출형 건조기 [코팅 경화기]

Mini Dryer (DL-2015)

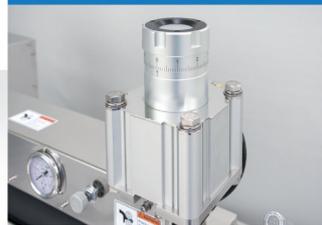
그라비아 코팅기

Gravure Coater (DL-2500GV)



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

롤러 간격 조절 장치



그라비아 패턴 (기본사양)



QR코드로 대림스타릿(주) 홈페이지에 접속하여 다양한 제품을 알아보세요!

DaeLim Starlet
DAELIM STARLET CO., LTD

경기도 시흥시 옥구천동로 34 (시화공단 2바 115호) | 34, Okguchenondong-ro, Siheung-si, Gyeonggi-do, Korea

+82-31-499-6446

www.daelimlab.com

dl1001@daelimlab.com

본 제품의 사양 및 외형치수 등은 제품의 개선을 위하여 예고없이 변경될 수 있습니다. The specifications are subject to alter or modify the appearance without notice.

CONTENTS

2023년 12월 광고 목차

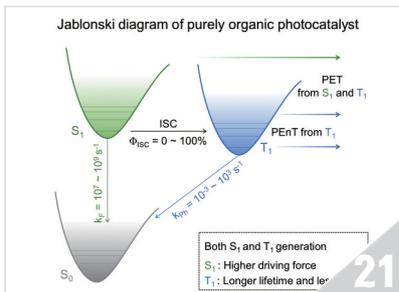
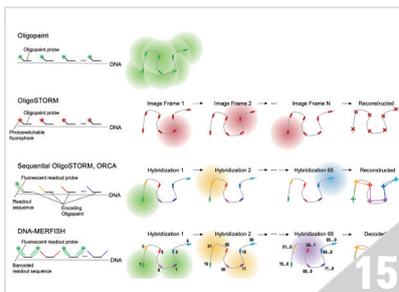
- 뒤표지 시마즈 사이언티픽 코리아
- 앞표지 안쪽 대구컨벤션뷰로
- 뒤표지 안쪽 바이오니아
- p.01 동우화인켐
- p.02 아이센스
- p.03 삼인씨이엔스
- p.04 사이플러스
- p.05 자유아카데미
- p.06 대림스타릿(주)

2023년 운영진

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

2023년 화학세계 편집위원회

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



NEWS

- 08 KCS 캘린더
- 09 이달의 학회
- 10 이임사 · 제53대 대한화학회 회장 신석민
- 12 Epilogue 『화학세계』 편집위원회를 마치며 · 윤재속, 김정욱, 성봉준, 한순규
- 49 신진연구자 소개 · 김지현
- 78 월간학회소식, 신년교류회

PAPER

- 15 읽기 쉬운 총설 | 유전체 3차원 구조의 초고해상도 이미징 · 심상희
- 21 이달의 하이라이트 | 들뜬 상태의 삼중항을 이용한 순수 유기물 광촉매 기반 가시광 매개 고분자 중합과 연구 동향 · 권용환, 전우진, 권민상*

SPECIAL

- 38 우수선도연구기관 | 기초과학연구원(IBS) 첨단 반응동역학 연구단 · 이효철
- 43 우수선도연구기관 | 경상국립대학교 항바이러스 Z-핵산 유도체 기초연구실 · 이준화
- 50 INTERVIEW | Epilogue: 2022-2023년 <화학세계가 만난 화학자> 코너를 진행하며 · 한순규
- 57 KCS 하이라이트 | Anti-tumor Agent 관련 연구 · 이원화

EDUCATION

- 32 화학 교육 | 전기분석화학 연구 경험을 통해 본 '교육'과 '훈련'의 관계 · 이종혁

COLUMN

- 68 화학칼럼 | 연구자 되기 ⑧: 연구자의 덕목: 목표(目標) 의식 · 김태영
- 71 화학칼럼 | CSI에서 화학이 하는 일, 법화학 ② · 민지숙

TREND

- 66 우리 실험실은요! | 화학생물학 및 치료학 연구실(Chemical Biology and Therapeutics Lab) · 박규빈
- 99 화학만평
- 76 Book & App

132nd GENERAL MEETING

- 79 결과보고 · 고두현
- 89 대한화학회장 수상자 프로필
- 92 우수포스터
- 98 시상내역
- 100 총회보고서

ADVERTISING & CAMPAIGN

- 07 클린 인터넷을 선언합니다
- 125 대한화학회장상, 외부단체협찬상
- 126 대한화학회 전체임원 명단
- 128 대한화학회 전체회원 명단
- 144 지면광고 안내/회비 및 구독료 안내

2023

KCS CALENDAR

DECEMBER

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						

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

January

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

February

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

March

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

April

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

May

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

June

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

July

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

August

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

September

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

October

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

November

CONFERENCE OF THE MONTH

2023년 12월 4일~8일

IEEE Global Communications Conference

장 소 | Kuala Lumpur, Malaysia

안 내 | <https://globecom2023.ieee-globecom.org/>

2023년 12월 20일

International Conference on Recent Developments in Social Science and Business Management (ICRDSSBM)

장 소 | Singapore

안 내 | <http://academicsconference.com/Conference/27534/ICRDSSBM/>

클린 인터넷을 선언합니다



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

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

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

'정보통신망 이용촉진 및 정보보호 등에 관한 법률' 제70조(벌칙)

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

형법 제309조(출판물에 의한 명예훼손)

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

회원 여러분의 지속적인 성원과 격려 부탁드립니다 도움을 주신 모든 분들께 감사드립니다



신석민

제53대 대한화학회 회장
서울대학교 화학부 교수

존경하는 대한화학회 회원 여러분, 안녕하십니까? 취임사에서 창립 100주년을 향하는 대한화학회의 새로운 미래를 열어 가는 엄중한 책임을 겸허히 받아들이며 신임 회장으로서 저의 생각을 말씀드린 것이 었 그제 같은데 벌써 2년의 시간이 지나고 마지막 인사를 드리게 되었습니다. 코로나 팬데믹이 끝나면서 불확실 속에서도 희망을 갖고 시작했던 학회 운영을 무사히 마칠 수 있었던 것은 회원 여러분의 적극적인 성원과 운영위원 및 사무국 직원 분들의 헌신적 노력 덕분이라 믿으며 가슴 깊은 곳에서부터 감사의 마음을 전합니다. 특별히, 제주, 경주, 수원과 광주에서 개최되었던 학술발표회가 전례 없을 정도로 많은 회원 분들의 참여로 모두 성황리에 잘 진행된 것은 포스트 코로나 시대에 대한화학회의 새로운 출발을 보여주는 뜻 깊은 자리였다고 생각합니다.

지난 2년간 대한화학회의 운영 목표를 “미래를 꿈꾸는 모두를 위한 화학(Chemistry for All, Dream for Future)”으로 설정하고 우리 앞에 놓여 있는 거대한 도전과 위기를 기회로 바꾸기 위한 변화를 추구하였습니다. “모두가 참여하고 주인이 되는 공동체”를 구현하기 위하여 대한화학회 총회와 평의원회 그리고 지부장 및 분과회장 간담회를 통해 여러 회원 분들께서 개진해 주신 의견들을 폭넓게 수렴하여 학회 운영에 반영하고자 노력해 왔습니다. 서로 다른 배경을 가진 모든 세대의 회원들이 경계를 넘어 다양성을 포용하며 소통할 수 있는 장을 마련하고자 하였습니다. 분과 중심이 아닌 주제 중심의 미래융합 심포지엄 기획을 통해 대학원생, 연구원, 기업인 회원들이 열린 주제로 토론할 수 있는 자리를 마련하였고, BKCS 심포지엄, 젊은 화학자 심포지엄 등 다양한 형식의 학술발표회를 시도하였습니다. 위생학회 지원을 통해 회원들의 국제심포지엄 개최 노력에 힘이 되어 드렸고, 분과행사 등록비를 학술행사 전에 효율적으로 사용할 수 있도록 하여 원활한 학술활동이 가능하도록 하였습니다. 또 회원들이 전해주시는 기부금을 그 뜻에 따라 자율적으로 사용될 수 있도록 재정 시스템을 정비하였습니다. 팬데믹 기간동안 중단될 수밖에 없었던 국제협력도 ACS 에디터 심포지엄을 시작으로 ACS 및 RSC 학회 간 협약을 통해 다양한 국제화를 위한 발판을 마련하였으며, FACS와 IUPAC 등 국제기구에서도 보다 적극적인 역할을 담당하기 위한 노력을 통해 국제적 위상을 강화하였습니다.

포스트-코로나 시대에 예상되는 어려움을 극복하고 새로운 소통에 기반한 학회 운영을 위해서 시스템을 개선하는 노력을 시작하였습니다. 화학세계에서 발간하는 학술 콘텐츠의 웹검색이 가능하게 하고, 과학 대중화에 발판이 되도록 화학세계 온라인 전환 사업을 진행하고 있습니다. 이와 더불어 대한화학회 홈페이지 개편을 추진하여 내년에 사업이 마무리되면 학술발표회의 프로그램북 온라인화도 가능해지며, 지속가능한 학술네트워크 형성에 큰 도움이 될 것으로 기대합니다. 오랫동안 필요성이 제기되어 왔던 대한화학회 회계 전산화 및 투명화를 실현하기 위한 온라인 결제 시스템을 구축하였으며, 연 2회 개최되는 학술대회를 체계적으로 준비하기 위한 업무 매뉴얼도 구축하였습니다. 문서 공유 시스템을 마련한 것도 앞으로 운영위원들이 안정적이고 효율적으로 학회 운영을 하고, 회원분들이 더욱 활발히 소통할 수 있도록 하기 위한 노력의 결과였습니다.

취임사에서 말씀드린 바와 같이 “대한화학회는 세계를 선도하는 창의적인 화학연구를 추구하고, 화학교육을 이끌어가는 대변자가 되어야 합니다.” 학령인구의 감소에 대처하고 고등화학교육의 정상화를 위해, 학술발표회에서 직접 찾아가는 중고등학생 대상 프로그램을 개발하였습니다. 화학전문가의 대중강연을 접할 기회가 상대적으로 낮은 제주도, 경주, 수원, 광주 지역 중·고등학생들에게 화학특별강연을 진행하였고, 매 회 100여 명의 학생들이 참석했을 정도로 뜨거운 관심과 함께 의미 있는 변화의 시작이었다고 생각합니다. 화학교육 혁신을 주도하고 기초과학교육 정책에 적극적으로 대응하고자 교육위원회를 설립하였으며, 교육과정 개편에 대한 포럼과 공청회에 참가



하여 의견을 전달하였습니다. 최근에 과학기술정보통신부가 발표한 정부 R&D 제도혁신 방안과 국가연구개발사업 예산 배분조정 결과는 과학기술계에 큰 충격과 우려를 던져 주었습니다. 기초과학협의체와 함께 “편견과 졸속으로 마련된 정부안으로는 미래를 건인할 수 없다”는 취지의 성명서 발표를 주도하고, 기초연구연합의 성명서에도 참여하는 등 사태를 수습하기 위한 대응을 하고 있지만 아직은 불확실성이 큰 상황입니다. 향후에 진행될 연구지원 정책의 개편에 적극적으로 학회의 의견을 반영하기 위해서 모든 회원들의 지혜와 동의를 모아 힘써야 할 것입니다.

처음 시작할 때 하고자 했던 계획들 중에서 이루어진 것보다는 부족한 부분이 더 많은 것 같아 아쉬운 마음입니다. 특히 화학대중화와 산학협력 분야에서 보다 적극적인 활동을 하지 못했습니다. 이필호 회장님과 오한빈 총무부회장님을 비롯한 내년 운영위원들께서 이러한 부분들을 풍성히 채워 주실 것으로 믿고 기대하겠습니다. 제가 특별한 문제 없이 학회장 직을 마무리할 수 있기까지 물심양면으로 도움을 주신 모든 분들께 고마움을 전하고자 합니다. 10년이 넘는 기간 동안 대한화학회를 후원해 온 (주)동우화인캠, 새롭게 대한화학회 후원사로 나서 주신 (주)바이오니아와 융합심포지엄을 지원해주신 (주)동진씨미캠을 비롯한 모든 후원 기관에 깊이 감사드립니다. 어려운 상황에서도 묵묵히 애써 주신 관현영 국장님과 사무국 직원분들께도 수고하셨다는 말씀을 드리고 싶습니다. 무엇보다도 2년 동안 긴 여정을 함께 해 주신 성재영, 정택동, 김지환, 이광렬, 윤재숙, 백성혜, 추현아, 황성주 부회장님과 장락우, 고두현, 강은주, 김태규, 이윤미, 윤희재, 이진석, 성봉준, 김정욱, 한순규, 김준수, 최원호, 남좌민, 정유성 실무이사들께는 고맙다는 말로는 부족하고 큰 마음의 빛을 진 심정입니다. 아무쪼록 새해에도 많은 분들이 대한화학회에 변함없는 관심을 가져 주시고 이필호 회장님과 함께 시작하는 새로운 운영 위원회에도 회원 여러분들의 지속적인 성원과 격려 부탁드립니다. 감사합니다.

제53대 대한화학회 회장 **신석민**



『화학세계』 편집위원회를 마치며



윤재숙 교수

- 성균관 대학교 화학과
- 대한화학회 홍보부회장
- 화학세계 위원장

대한화학회 제53대 신석민 회장님의 운영진으로 합류하여, 지난 2년간 김정욱, 성봉준, 한순규 실무이사님들과 편집위원회를 꾸려 화학세계 편집을 무사히 마치게 됨을 감사하게 생각합니다. 능력있고 책임감 있는 실무이사님들의 협조로 다양한 코너를 유지 운영할 수 있었으며, 또한 기획팀과의 협력으로 미흡하나마 『화학세계』 온라인버전을 시작할 수 있었습니다. 총설 및 화학세계 컬럼을 비롯한 여러 기획 코너에 협조를 아끼시지 않은 상임위원들께도 감사드립니다. 무엇보다도 선도연구기관 홍보 의뢰에 많은 어려움에도 불구하고 적극적으로 도와주신 여러 연구단장님, 센터장님, 운영위원님 그리고 동료연구자분들께 감사를 드리고, 기업소개를 해주신 인투스셀 박태고 대표님께 감사를 드립니다. 마지막으로 『화학세계』 원고 취합 및 편집에 힘써주신 사무국 오민영 선생님께 감사드립니다. 지난 2년 간은 홍보부회장으로서 미흡하나마 학회에 봉사할 수 있는 값진 기간이었으며, 환상의 호흡을 보여주시는 22~23 홍보팀 실무이사님들 수고 많으셨습니다!



김정욱 교수
 • GIST 화학과
 • 대한화학회 홍보실무이사
 • 화학세계 부위원장

『화학세계』 편집위원이라는 중책을 맡게 되어 처음에는 많이 당황스럽고 누를 끼치지 않을까 걱정이 많았었는데 그러다가 어느덧 2년이 훌쩍 지나가버린 것 같습니다. 많은 분들께 도움을 받아 좋은 원고들을 실을 수 있었습니다. '우리 실험실은요'에 투고를 해주신 모든 교수님들과 학생들에게 다시 한번 감사드리고 원고 섭외에 큰 도움주셨던 김낙균 박사님께도 특별히 감사를 전합니다. 이 코너는 특히 대학원 학생들의 이야기를 직접 생생하게 들을 수 있어 화학세계의 청량제 같은 역할을 한다는 생각이 들고 앞으로도 건승하기를 응원합니다! 그 외에 전기화학 주제의 '읽기 쉬운 총설'에 도움주셨던 정동영 교수님, '화학세계 칼럼'에 급작스러운 투고 요청에도 불구하고 흔쾌히 승락해주신 장흥제 교수님, 화학연합회 학회지에 대한화학회를 대표해서 좋은 글 보내주신 최정모, 김현우 교수님께도 심심한 감사의 말씀드립니다. 마지막으로 화학세계 발행에 지난 2년간 같이 힘썼던 홍보팀과 화학세계 독자분들께도 그동안 고마웠었다는 말씀 전하고 싶습니다.



한순규 교수
 • KAIST 화학과
 • 대한화학회 홍보실무이사
 • 화학세계 부위원장

윤재숙 홍보부회장의 전화를 받고 대한화학회 홍보부 실무이사로 조인한 것이 엇그제 같은데 어느덧 2년의 시간이 훌쩍 흘렀습니다. 그 동안 홍보부 실무이사로서 제가 한 것은 윤재숙 홍보부 부회장의 등 뒤에 바짝 붙어 따라온 것 밖에는 없는 것 같습니다. 물론 김정욱, 성봉준 홍보실무이사님과 함께여서 더욱 든든했습니다. 이 지면을 통해 『화학세계』의 출판에 도움을 주신 많은 분들에게 감사의 인사를 전합니다. 개인적으로는 <최정모의 화학사 돌아보기> 연재를 승낙해주시고 고생해주고 계신 최정모 교수님께 감사의 인사를 전합니다. <김태영의 연구자 되기>를 연재해주신 김태영 교수님께도 감사의 인사를 전합니다. <화학칼럼>을 연재해주신 장흥제 교수님께도 감사의 인사를 전합니다. 또한 <이달의 하이라이트> 코너에 기고해주신 24분의 우수한 중견 연구자분들께 감사의 인사를 전합니다. <읽기 쉬운 총설> 노벨상 화학상 특집의 기고를 해주신 최준원, 김은하, 배한용, 김성곤, 배상수 교수님께 감사의 인사를 전합니다. 마지막으로 <화학세계가 만난 화학자> 인터뷰 코너에서 바쁜 일정 중에도 인터뷰에 응해주신 21분의 화학자 및 화학교육자 모두에게도 감사의 인사를 전합니다. 대단하신 분들과 인터뷰를 진행하면서 저 또한 성장한 것 같아 매우 뜻깊었습니다.



성봉준 교수
 • 서강대학교 화학과
 • 대한화학회 홍보실무이사
 • 화학세계 부위원장

윤재숙 홍보부회장님, 김정욱, 한순규 홍보실무이사님들과 함께 『화학세계』 편집위원회를 꾸린 지가 엇그제 같은데, 벌써 2년이 지났습니다. 저는 여러 모로 많이 부족하지만, 편집위원회의 여러 위원님들 덕분에 『화학세계』가 큰 탈 없이 잘 발간되어왔던 것 같습니다. <우수선도연구기관>, <화학세계가 만난 화학자>, <화학칼럼>, <읽기 쉬운 총설>, <이달의 하이라이트>, <KCS 하이라이트>, <우리 실험실은요>, <화학 교육> 코너 등을 집필해 주시고 『화학세계』가 알차게 채워지는 데 노력해주신 모든 집필진 여러분들께 이자리를 빌어 감사의 말씀을 드리고 싶습니다. 집필진들 모두 고유의 업무가 있으시고 교육과 연구 등으로 바쁜 분들이지만, 시간을 내서 『화학세계』를 위해 헌신해 주신 점 잊지 않도록 하겠습니다. 요즘과 같이 읽을 거리와 볼거리가 범람하는 세상에서, 회원 여러분들께서 『화학세계』에 관심을 주시기가 어렵다는 것을 잘 이해하고 있습니다. 하지만, 『화학세계』는 화학에 관한 정보 뿐만 아니라 화학과 함께 살아가는 회원들의 생활과 활동이 녹아져 있는 공간입니다. 이러한 『화학세계』가 온라인화라는 큰 변화를 앞두고 있는 만큼, 앞으로도 『화학세계』에 많은 관심을 가져 주시기 바랍니다. 2년간 『화학세계』 편집위원회에 몸담을 수 있어서 개인적으로 큰 영광이었습니다.



PROJECT · VIII

생물 복잡계에 대한 물리화학 연구

PART

3

유전체 3차원 구조의 초고해상도 이미징

심상희 | 고려대학교 화학과
sangheeshim@korea.ac.kr

유전체 3차원 구조의 초고해상도 이미징

심상희 | 고려대학교 화학과, sangheeshim@korea.ac.kr

서론

게놈의 구조와 동력학은 유전학, 유전체학 및 세포 생물학에서 가장 큰 미스터리 중 하나이다. 2미터 길이의 인간 유전체가 직경 20마이크로미터의 세포핵 내부에 고도로 압축된 채로 복제, 전사, 분화와 같은 다양한 생물학적 과정을 거쳐야 하기 때문이다. 수십년동안 두 가지 극단적인 규모의 게놈 조직화가 잘 알려져 왔으나, 최근 그 두 규모를 아우르는 다양한 조직화 모델이 시퀀싱 결과를 토대로 제시되고 있다. 가장 작은 규모로는 DNA 가닥이 10나노미터 너비의 히스톤 단백질 복합체를 감싼다. 가장 큰 규모로는 각 염색체가 길이 수 마이크로미터의 염색체 영역(chromosome territory)으로 알려진 세포핵 내 특정 영역으로 분리된다[그림 1A]. 그러나 킬로베이스에서 메가베이스에 이르는 중간 규모의 조직은 최근까지 잘 알려져 있지 않았다.

최근 염색체 형태 포착 시퀀싱 기술과 초고해상도 형광 현미경의 발전으로 말미암아 인간 게놈의 상세한 3차원 공간 지도가 밝혀지고 있다. 이러한 혁신적인 기술들은 새로운 공간 게놈 도메인을 제시한다. 염색체 하위 수준에서 구획 A와 구획 B라고 하는 두 개의 구획은 각각 수십 메가베이스 길이의 DNA 가닥으로 구성된다[그림 1B]. 각 구획 내에는 TAD(topologically associated domain)가 안정적으로 존재함이 밝혀졌다[그림 1C]. 마지막으로 수백 킬로베이스에 걸친 루프 구조가 유전자 간 장거리 상호작용을 증대하는 것으로 밝혀졌다[그림 1D].

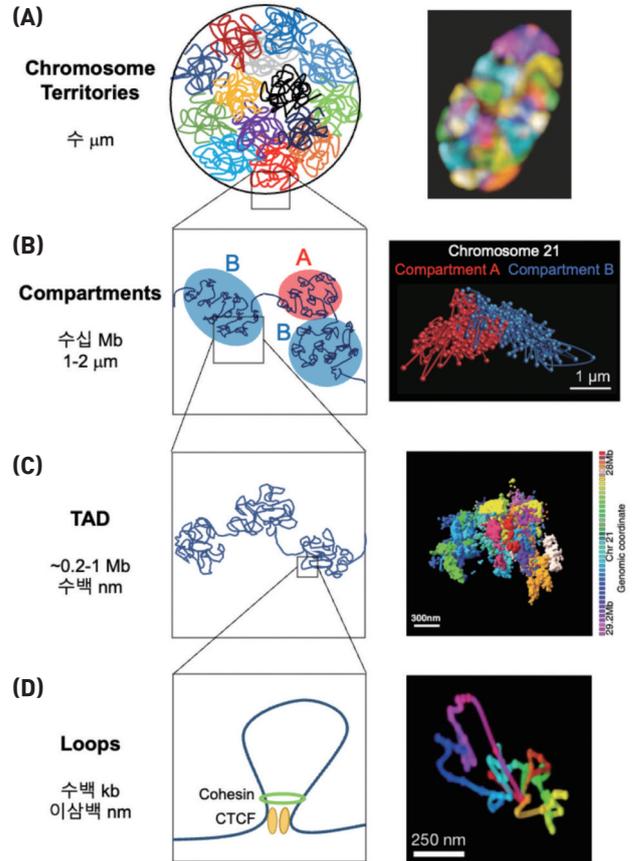


그림 1. (a) 유전체 3차원 구조의 계층적 조직화 (A) 염색체 영역 (B) 구획A/B (C) TAD(topologically associated domain) (D) 루프. (좌) 도식 (우) 이미징 결과.

본 총설은 유전체의 3차원 구조 규명에 활용되는 두 가지 주요 실험 도구인 시퀀싱과 이미징 기반 기술들을 소개한

다음, 일반 현미경법과 초고해상도 현미경법을 이용하여 유전자좌(genomic loci)를 가시화하는 기술들과 그 응용을 소개한다. 마지막으로 살아있는 세포 내에서 계놈 구조의 동역학을 연구하는 기술들을 소개한다.

본 론

1. 형태 포착 시퀀싱 기술(Conformation Capture Sequencing)

염색체 형태 포착(chromosome conformation capture sequencing, 3C) 기술과 결합된 시퀀싱 방법은 최근 수년 동안 새로운 염색질 도메인(chromatin domain) 발견의 주요 원동력이었다. 3C 방법은 화학적으로 교차연결(crosslinking)된 DNA 조각에서 생성된 계놈 전체의 접촉 행렬(contact matrix)를 제공한다. 화학적 가교결합 반응 시 공간상 가까이 위치하는 두 개의 DNA 조각은 근접 결찰(proximity ligation)에 의하여 연결될 수 있다. 전체 계놈의 결찰(ligation) 생성물은 차세대 DNA 시퀀싱(next-generation sequencing)으로 분석되어 계놈 전체의 유전자좌 쌍 사이의 공간 접촉 빈도 지도를 제공한다.

심층 시퀀싱(deep sequencing)과 결합된 고처리량 Hi-C 방법은 구획 A/B, TAD 및 루프와 같은 새로운 계놈 구성단위를 밝혀냈다[그림 1A-D]. 이러한 자기결합에 의한 구조적 도메인은 서열 상 멀리 위치한 유전체 영역을 공간 상에 접촉시키는 데 도움이 되며, 유전자 조절에 중요한 역할을 할 수 있다. 또한 Hi-C는 TAD와 루프의 경계가 코헤신(cohesin) 복합체와 CTCF(CCCTC-결합인자)로 표시되며, 코헤신 또는 CTCF의 고갈로 인해 모든 TAD와 루프가 손실됨을 밝혀냈다. 이러한 결과는 DNA 루프가 코헤신 고리를 통해 압출(extrusion)되고, DNA 가닥의 양쪽 끝에 결합된 두개의 CTCF 단백질에서 멈추는 “루프 압출 모델”(loop extrusion model)을 제시하였다[그림 1D].

3C 시퀀싱법이 삼차원 계놈 구성에 대한 이해에 혁명을 일으켰음에도 불구하고, 그 결과는 수백만개 세포의 평균 지도이기 때문에 세포 간 변이(cell-to-cell variation)를 관측할 수 없다. 최근 단일 세포 Hi-C 방법이 개발되었으나 시퀀싱을 기반으로 단일 세포의 유전체 삼차원 구조를 연구하는 방법이 여전히 매우 어려운 과제이다. 무엇보다

시퀀싱은 세포핵에서 DNA를 추출하여 분석하는 파괴적인 방법이므로 특정 시점의 고정된 스냅샷만을 제공하는 한계가 있다. 또한 접촉 주파수에서 유추된 삼차원 구조는 개별 유전자좌의 직접적인 공간 위치 정보를 제공하는 대신 근접한 두 DNA조각 쌍의 정보를 통해 재구성된다. 3C 방법은 상호작용하는 단백질, 세포핵 구조, DNA 변형을 찾기 위해 다른 분석법과 결합될 수 있다. 그러나, 염색질 구조와 개별 세포의 기능 및 활동을 연관시키는 시퀀싱 기술은 여전히 어려운 과제이다. 이미징은 본질적으로 단일 세포의 구조를 직접적으로 시각화하는데 적합하고, 광학 현미경은 살아있는 세포를 이미징할 수 있다. 따라서 이미징 기반 방법은 시퀀싱 기반 방법의 단점을 보완한다.

2. 광학 및 전자 현미경 기술을 응용한 유전체 구조 연구

개별 유전자는 킬로베이스 길이로, 그 공간차원은 빛의 회절에 의해 제한되는 광학 현미경의 공간분해능(200–500nm)과 동등하거나 작다. 따라서 최근까지 세포핵 내 유전체의 공간 구성은 마이크로미터 길이 규모의 염색체 영역(chromatin territory) 수준으로 제한되어 왔다[그림 1A].

전자현미경은 가시광선보다 수십만배 짧은 파장의 전자빔을 이용하여 분자 및 원자 분해능을 제공한다. 그러나 세포핵 내부의 핵산과 단백질의 조밀한 구성과 낮은 전자 투과율로 인해 전자현미경은 세포 내 염색체 구조를 시각화하는데 어려움을 가지고 있었다. 따라서 염색질 구조에 대한 많은 초기 전자현미경 연구는 강력한 뉴클레오솜 조립 조건 하에서 시험관 내에서 재구성된 염색질 섬유에 대해 수행되어 왔다. 이러한 초기 연구는 11nm 너비의 DNA-뉴클레오솜 중합체가 30nm로 접힌다음 120nm 및 300–700nm의 섬유로 접히는 염색질의 계층적 모델을 제시하였다. 그러나 세포핵 내 염색체의 전자현미경 이미지들은 계층적 접힘 모델에 의문을 제기했다. 최근 전자현미경과 호환되는 유기형광물질을 사용하여 세포 내 염색체에 대한 전자 단층 촬영 영상이 가능해 졌다. 이러한 ChromEMT 기술은 간기 및 유사분열에서 직경 5–25nm의 무질서한 곡선 사슬 구조를 밝혔다. 전자현미경이 염색질의 미세한 구조를 해독하는 주요 도구임에도 불구하고, 시료의 절편화와 현미경의 낮은 처리량으로 인해 다수의 세포에서 유전

체 전체의 이미징을 실현하는데 어려움이 있다. 무엇보다 ChromEMT는 서열 특이성이 결여되어 있고, 전자현미경 상에서 구분할 수 있는 표지의 수가 본질적으로 상당히 제한되어 있다는 한계가 있다. 따라서 전자현미경이 유전체 전체의 서열특이적 지도를 제공하는 것은 거의 불가능하다.

초고해상도 형광 현미경은 광학 현미경의 공간 분해능을 수-수십 나노미터로 열배 이상 향상시킨다. SIM(구조화조명), STED(유초방출고갈), 단일분자 중심측정법(SMLM, STORM, PALM 및 PAINT 포함) 등 다양한 화학적 물리적 방법을 통한 초고해상도 형광 현미경법들이 소개되었다. 이러한 기술 중에서 단일분자 중심측정법(SMLM)은 핵 내 뉴클레오솜의 전체적인 조직을 시각화하여 수십에서 수백 나노미터에 이르는 다양한 길이의 구조를 밝혀냈다. 히스톤 단백질의 SMLM 이미지는 기존에 교과서적으로 믿어졌던 30nm 너비의 염색질 섬유가 세포핵 내에는 존재하지 않음을 밝혔다. 또한, 뉴클레오솜의 이질적인 그룹화를 통

하여 30-50nm의 “뉴클레오솜 클러치”로 구성되고, 여러 개의 클러치는 근접하게 모여 수백 나노미터 크기의 더 큰 “클러치 도메인”을 형성함을 밝혔다. 살아있는 세포 내에서 H2B의 초고해상도 이미징에서도 클러치 도메인을 연상시키는 수백 나노미터 크기 범위의 도메인이 나타났다. 그러나 이러한 전역 표지 및 이미징은 게놈 구성의 서열별 지도를 제공하지 않으므로, 클러치 도메인을 Hi-C로 식별된 TAD 및 루프와 연관시키는 것이 불가능하다는 한계가 존재한다.

3. 특정 게놈 영역의 서열특이적 초고해상도 이미징

FISH(fluorescent in situ hybridization, 형광 현상 혼성화)는 세포핵 내부의 유전자좌의 공간적 위치를 시각화하는 대표적 기술로 오랫동안 사용되어 왔다. DNA-FISH 표지법은 유전자좌를 수십-수백개의 동일한 형광물질로

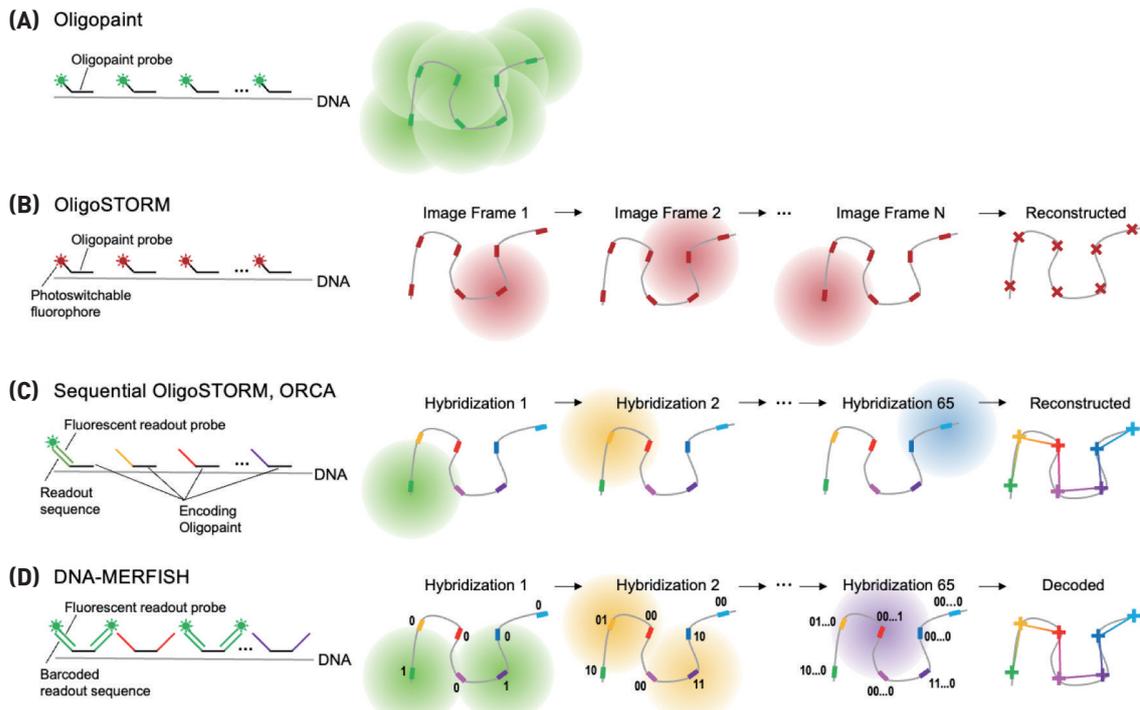


그림 2. FISH 기반의 서열특이적 게놈 이미징 기술 (A) Oligopaint는 32bp의 올리고뉴클레오티드를 생물정보학으로 디자인하여 합성한다. 세포핵 내 특정 유전자좌를 높은 밀도와 효율로 표지하나, 광학적 해상도 한계로 염색질 구조를 해독할 수 없다. (B) OligoSTORM은 STORM으로 개별 형광분자를 다른 카메라 프레임으로 분리하여 염색질 구조를 초고해상도로 재구성한다. (C) 순차적 혼성화/이미징을 결합하여 sequential OligoSTORM과 ORCA는 서열특이적으로 염색질 구조를 추적한다. (D) DNA-MERFISH는 바코딩 기술을 결합하여 처리량을 극대화한다.

표지된 짧은 DNA 올리고로 반복 표지한다. 형광 여기/방출의 스펙트럼은 그 선포이 넓어 구별할 수 있는 유전자좌의 수가 수 개로 제한된다. 최근에는 유전자좌의 공동 위치화(co-localization) 빈도의 지도를 작성하기 위하여, 수백 쌍의 유전자좌를 FISH 탐침 쌍으로 표지하기도 하였다. 이와 같은 대규모 연구는 단일 세포 수준에서 공간 계층 구조의 광범위한 이질성을 설명하였다.

올리고페인트(Oligopaint)는 FISH 탐침의 적용범위 한계를 메가베이스로 크게 확장하였다(그림 2A). Oligopaint는 계층 상동성을 지닌 32량체 올리고 뉴클레오티드이다. Oligopaint가 STORM(Stochastic Optical Reconstruction Microscopy)와 결합된 OligoSTORM은 다양한 후생 유전적 상태를 가지는 유전체 영역의 뚜렷한 접힘 구조를 밝혀냈다(그림 2B). OligoSTORM의 첫번째 버전은 서로 다른 히스톤 표시에 의해 선택된 활성, 억제 및 비활성 영역이라 불리는 세 가지 유형의 유전체 영역에 대한 탐침을 설계했다. 그런 다음, 각 영역을 STORM과 호환되는 형광체로 표지하고 삼차원 좌표를 수집하여 해당 영역의 3D 구조를 재구성하였다(그림 2B). 억제 및 비활성 영역에 비하여 활성 영역이 유의미하게 압축되어 있어 삼차원 유전체 접힘과 후생적 유전체 변형 사이에 상관관계를 밝혔다. OligoSTORM에 더 큰 단계 크기를 이용하여 시퀀스 적용 범위를 8메가베이스로 확장한 연구에서는 활성화된 구획 A와 비활성된 구획 B의 공간적 얽힘 또는 분리는 평균적으로 Hi-C 결과와 일치하였다. 그러나 구획 A/B의 단일세포 내 조직은 매우 이질적이었다.

Oligopaint 탐침의 다양한 서열을 구별하기 위하여 염색질 추적(chromatin tracing)이라는 순차적 접근 방식이 개발되었다. 염색질 추적 기술은 각 탐침에 대한 혼성화, 이미징 및 소멸로 이루어진 시퀀스를 반복한 다음 각 탐침은 시퀀스의 차례에 따라 구별된다(그림 2C). 이 순차 판독법은 여러 TAD를 포괄하기 위하여 큰 단계 크기를 이용하여 염색체 내의 연속적인 TAD를 표지하는데 처음 사용되었다. 추후 발전하여 30kb의 미세한 단계로 표지된 여러 TAD 및 하부 TAD를 포함하는 메가베이스 영역의 이미징에 성공하였으며, 단일 세포에서 TAD 유사 도메인의 구형 구조를 밝혀냈다(그림 1C). 수백 개의 세포 이미지에서 얻은 평균지도는 CTCF 및 코헤신 결합부위에서 강한 경계가

있는 TAD들에 대해서 Hi-C 지도와 일치하는 결과를 보였다. 그러나 단일 세포의 개별 지도에서는 코헤신 또는 CTCF 결합에 약한 편향만 있는 TAD 경계의 큰 변이가 나타났다. 특히 코헤신의 고갈에 따라 각 세포의 구형 TAD 구조를 파괴하지 않는 대신 경계부의 CTCF 결합부에 대한 선호경향만 사라졌다.

ORCA(Optical Reconstruction of Chromatin Architecture) 기술은 해상도를 2-10kb 단위로 향상시켰다(그림 1D). ORCA는 여러개의 탐침분자들로 회절한계점 내의 인접 영역을 표지함으로써 지점당 형광방출광자의 수를 증폭시킨다(그림 2C). ORCA는 DNA 이미징과 고도로 다중화된 RNA FISH를 결합하여 초파리 배아의 세포 유형에 따른 유전자 발현 프로파일과 계층 구조를 연관시켰다. 놀랍게도 프로모터와 그 인핸서의 공간적 근접성과 전사 활성 사이의 상관관계는 약했는데, 이는 프로모터-인핸서 상호작용의 동적 특성을 시사한다.

Oligopaint는 MERFISH(massively multiplexed FISH)의 바코드 전략과 결합하여 판독 처리량이 대폭 증가했다. 이 고처리량 이미징 플랫폼은 1천개 이상의 유전자좌의 염색질 추적이 가능해졌다(그림 2D). 동시에 다중 RNA 매핑 및 단백질 이미징도 수행할 수 있었으며, 이를 통해 초기 RNA, 핵소체, 핵반점과 같은 주요 핵내 구조의 컨텍스트 내에서 유전자 전사 활성까지 동시에 추적한 유전자좌의 염색질 추적이 가능하였다(그림 1C).

염색질 추적 기술의 남아있는 기술적 과제로는 표지 및 판독의 낮은 다중화 효율로 해상도와 처리량이 시퀀싱 기술보다 현저히 낮다는 것이다. 또한, 긴 데이터 수집 시간과 고도로 전문화된 장비로 인해 이러한 기술의 접근성이 떨어진다. 더욱이 DNA-FISH의 변성 반응 조건은 일부 단백질 표지법과 호환되지 않아 계층 구조와 세포 기능의 상관관계를 파악하기 어렵다. 무엇보다 FISH 기반 접근법은 고정된 세포에만 적용될 수 있으며, 살아있는 세포 내의 동역학을 밝힐 수 없다.

4. 살아있는 세포 내 유전자좌의 초고해상도 이미징

형광현미경은 높은 분자대비와 낮은 광독성으로 인해 살아있는 세포의 역학을 시각화하는 주력기술이다. 초고해상

도 형광 현미경법은 이러한 이점을 계승함으로써 살아있는 세포에도 적용되었지만, 더 높은 광 강도와 시간해상도의 제약을 가지고 있다. 유전자좌의 살아있는 세포 이미징을 실현하기 위한 주요과제는 변성을 일으키지 않고 살아있는 세포 내에서 특정 DNA 서열을 표지하면서 주변 배경과 구분되도록 형광분자를 다수 축적하는 것이다. 이를 위해 박테리아에서 빌린 유전자-단백질 파트너를 활용해왔다. 대장균의 lac 작동자와 lac 억제자(LacO/LacI) 시스템은 다수의 반복을 통해 형광단백질을 축적하여 염색질 동력학을 시각화되는데 활용되었다. 또한 Tet 연산자의 직렬 배열을 통해 프로모터-인핸서 상호작용을 추적하기도 하였다. 앵커(ParB/ParS) 시스템은 단백질 올리고머화를 활용하여 형광물질 축적을 달성하였다. 이러한 방법은 비원래 서열을 계놈에 도입하여 내인성 유전자좌를 시각화할 수 없다는 단점을 공유한다.

유전자 편집을 위해 설계된 DNA 결합 단백질을 내인성 유전자좌의 살아있는 세포 표지를 위한 새로운 도구로 등장하였다. 이러한 결합체에는 TALE(transcription-activator-like effector) 도메인 단백질과 효소적으로 비활성

화된 dCas9(CRISPR-associated protein 9)이 있다. 두 시스템 모두 텔로미어 및 센트로미어와 같은 고도로 반복적인 서열을 성공적으로 표지하였다. 새로운 서열에 대한 TALE의 개발에는 광범위한 단백질 공학이 필요하지만, dCas9은 guide RNA(gRNA)의 서열 조절을 통해 쉽게 탐색될 수 있다[그림 3].

처음 개발된 dCas9 표지법은 배경 신호를 극복하기에 충분한 형광 신호를 축적하기 위해 30여개의 gRNA가 필요했기 때문에, 여러 플라스미드를 사용한 형질감염을 통해 세포 내로 전달되어 표지 효율성이 저하되었다[그림 3A]. 이 문제는 다수의 gRNA를 전달하기 위한 단일 플라스미드를 설계하고 결합 부위에서 형광신호를 증폭함으로써 해결되었다. 반복적인 펩타이드로 구성된 SunTag와 결합된 dCas9은 유전자좌의 신호를 강화하여 고정된 세포에서 낮은 반복영역의 초고해상도 이미징을 가능케 하였다[그림 3B]. 또한, 반복적인 RNA 모티프를 gRNA에 도입하여 형광 신호를 증폭할 수도 있다[그림 3C]. CARGO(chimeric array of gRNA oligonucleotides)는 단일 플라스미드에 12개 이상의 gRNA를 전달하여, 유전자 프로모터 및 인핸서의 공동 동력학을 시각화하였다.

다중화된 계놈 이미징을 위한 dCas9 시스템의 개발도 진행 중에 있다. 다양한 계놈 유전자좌의 다색 이미징은 직교 dCas9 시스템 또는 RNA 모티프가 도입된 gRNA를 사용하여 개발되었다. 다중 라벨링의 경우 RNA 모티프 서열이 도입된 gRNA를 결합 파트너 단백질로 구별할 수 있다[그림 3C]. 다중 판독을 위해서는 살아있는 세포에 적용할 수 없는 순차 다중화 이외에 살아있는 세포에 적용할 수 있는 새로운 분광 기술을 개발할 필요가 있다. 스펙트럼 다중화는 2나노미터 이내의 좁은 대역폭을 갖는 진동 전이로 구별할 수 있는 형광물질을 사용하여 실현할 수 있을 것이다. dCas9 시스템은 gRNA가 계놈에 혼성화될 때 DNA 이중가닥을 파괴하기 때문에 dCas9 시스템이 여전히 유전자좌의 구조를 교란할 수 있다는 것을 언급할 필요가 있다. 잠재적 문제에도 불구하고 dCas9 시스템은 높은 표지 효율로 내인성 유전자좌 가시화가 가능한 기술로 진화하고 있다. 이를 통해 살아있는 세포에서 계놈 유전자좌의 초고해상도 이미징이 가능하고 계놈 구조 동력학이 밝혀질 것으로 기대된다.

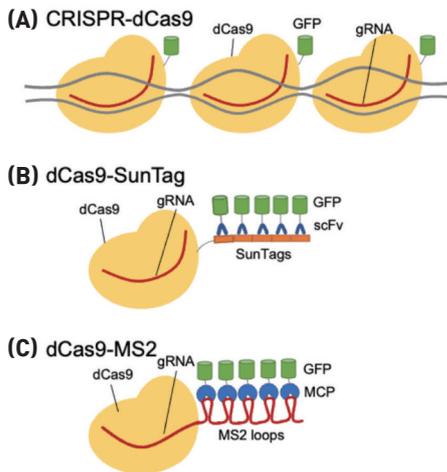


그림 3. 유전자가위를 이용한 살아있는 세포 내 특정 유전자좌 표지법 (A) CRISPR-dCas9 표지법. 효소 비활성화된 Cas9 (dCas9)을 형광단백질(FP)과 결합하여 guide RNA (gRNA) 서열로 특정 유전자좌에 결합한다. (B) SunTag 반복배열과 형광단백질에 결합된 항체 조각(scFv)으로 신호를 증폭한다. (C) gRNA에 MS2 루프를 도입하고 MCP 단백질에 형광단백질을 결합하여 신호를 증폭한다.

결론

새로운 이미징 및 시퀀싱 기술의 출현으로 계놈 조직에 대한 교과서적 내용이 완전히 새로 쓰여지는 과정을 목도하고 있다. 이미징은 개별 세포의 삼차원 좌표를 직접 획득하는데 매우 적합하나, 낮은 처리량으로 인해 소규모 세포 집단의 소수 계놈 영역을 다루고 있다. 이와 달리 Hi-C와 같은 시퀀싱 기술은 높은 서열 분해능으로 대규모 세포 집단에서 유전체 전체의 지도를 제공한다. 그러나 Hi-C 데이터는 접촉 주파수를 기반으로 한 모델을 제공할 뿐이다. 이미징과 시퀀싱은 TAD와 구획에 공통적인 모델을 제시하기도 하고 서로 모순되는 결과를 보고하기도 한다. 이러한 불일치는 단일세포의 결과를 축적하는 이미징과 다수세포의 데이터를 수집하는 시퀀싱의 본질적인 차이로 인해 발생할 수 있다. 또한 3C는 화학적 가교에서 접촉 빈도를 감지하는 반면, 이미징은 공간좌표를 직접 수집한 후 접촉을 정의하기 위해 현미경의 해상도에 해당하는 거리 임계값을 사

용한다. 이미징과 시퀀싱의 간극을 메우기 위해 두 기술 모두 진보가 필요하다. 실제로 수천 개의 세포에서 고해상도로 계놈 영역을 이미징했을 때 개별 세포의 TAD 변화가 Hi-C에서 관찰된 명확한 TAD로 수렴될 수 있었다. 마찬가지로 단일세포 Hi-C 기술은 이미징과 보다 직접적인 비교를 가능하게 할 수 있다.

계놈 동력학은 이미징/시퀀싱 불일치의 또다른 근원적 원인일 수 있다. 에르고딕 정리는 시스템의 평균 동작이 진행과정의 궤적에서 추론될 수 있다고 예측한다. 마찬가지로, 살아있는 세포의 동력학을 충분히 오랜 시간동안 관찰한 후 얻은 평균 행동은 시퀀싱 데이터의 모집단 평균과 일치할 것이다. 계놈 구조 역학 연구를 위해서는 살아있는 세포에서 계놈의 다중 라벨링에 대한 기술적 혁신이 필요하다. 또한 계놈 영역의 동역학을 추적할 수 있기에 충분한 시간 해상도를 갖춘 고속 다중화 초해상도 이미징이 필요하다. 살아있는 세포의 계놈 이미징이 구현되면 유전자좌 구조와 유전 활동 사이의 인과 관계를 명확하게 밝힐 수 있게 될 것이다. 



1. Bintu B, Mateo LJ, Su JH, Sinnott-Armstrong NA, Parker M, Kinrot S, Yamaya K, Boettiger AN, Zhuang XW "Super-resolution chromatin tracing reveals domains and cooperative interactions in single cells." *Science* **2018**, 362, 419.
2. Boettiger AN, Bintu B, Moffitt JR, Wang SY, Beliveau BJ, Fudenberg G, Imakaev M, Mirny LA, Wu CT, Zhuang XW "Super-resolution imaging reveals distinct chromatin folding for different epigenetic states." *Nature* **2016**, 529, 418.
3. Chen BH, Gilbert LA, Cimini BA, Schnitzbauer J, Zhang W, Li GW, Park J, Blackburn EH, Weissman JS, Qi LS *et al.* "Dynamic Imaging of Genomic Loci in Living Human Cells by an Optimized CRISPR/Cas System." *Cell* **2013**, 155, 1479-1491
4. Lakadamyali M, Cosma MP "Visualizing the genome in high resolution challenges our textbook understanding." *Nature Methods* **2020**, 17, 371-379.
5. Ma HH, Naseri A, Reyes-Gutierrez P, Wolfe SA, Zhang SJ, Pederson T "Multicolor CRISPR labeling of chromosomal loci in human cells." *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **2015**, 112, 3002-3007.
6. Mateo LJ, Murphy SE, Hafner A, Cinquini IS, Walker CA, Boettiger AN "Visualizing DNA folding and RNA in embryos at single-cell resolution." *Nature* **2019**, 568, 49.
7. Ou HD, Phan S, Deerinck TJ, Thor A, Ellisman MH, O'Shea CC "ChromEMT: Visualizing 3D chromatin structure and compaction in interphase and mitotic cells." *Science* **2017**, 357.
8. Rowley MJ, Corces VG "Organizational principles of 3D genome architecture." *Nature Reviews Genetics* **2018**, 19, 789-800.
9. Su JH, Zheng P, Kinrot SS, Bintu B, Zhuang XW "Genome-Scale Imaging of the 3D Organization and Transcriptional Activity of Chromatin." *Cell* **2020**, 182, 1641.
10. Wang SY, Su JH, Beliveau BJ, Bintu B, Moffitt JR, Wu CT, Zhuang XW "Spatial organization of chromatin domains and compartments in single chromosomes." *Science* **2016**, 353, 598-602.



심상희 Sang-Hee Shim

- 서울대학교 화학과, 학사(1995.3-1999.2)
- 서울대학교 화학과, 분석화학 석사(1999.3-2002.2, 지도교수 : 정두수)
- University of Wisconsin, Madison 화학과, 물리화학 박사(2003.8-2008.8, 지도교수 : Martin T. Zanni)
- Harvard 화학과, 박사 후 연구원(2008.9-2013.12, 지도교수 : Xiaowei Zhuang)
- 울산과학기술원 생명과학대학 조교수(2014.3-2016.2)
- 고려대학교 화학과 교수(2016.3-현재)

들뜬 상태의 삼중항을 이용한 순수 유기물 광촉매 기반 가시광 매개 고분자 중합과 연구 동향

권용환, 전우진, 권민상* | 서울대학교 재료공학과, minsang@snu.ac.kr

서론

자연에서의 합성, 광합성은 가시광을 주요 에너지원으로 사용하는 반면, 유기 화학에서 광반응은 높은 에너지의 자외선을 주요 에너지원으로 사용하였다. 하지만, 자외선이 가진 높은 에너지에 의해서 일어나는 부반응과 이에 의한 낮은 반응 선택성은 광반응의 활용 범위를 제한하였다.^{1,2} 2008년, MacMillan, Stephenson, Yoon 교수 연구팀의 '가시광 기반 촉매 반응' 연구는 광촉매 반응에서 가시광이 주요 에너지원으로 사용되도록 하였고,³⁻⁵ 그들은 가시광을 흡수하는 광촉매 존재 아래, 매우 온화한 조건에서 높은 선택성과 적은 부반응을 보여주었다. 그 이후, 가

시광 기반 광촉매 반응은 유기합성 및 고분자 중합 등 넓은 분야에서 널리 연구되었다.

광촉매는 빛을 흡수하여 들뜬 상태를 생성함으로써 기질 (substrate)과의 전자 또는 에너지 전달에 관여하고, 이를 통해, 기질에서의 반응성이 높은 라디칼 종을 생성한다 [그림 1]. 가시광을 흡수하여 원하는 반응을 효율적으로 진행하기 위해서는 원하는 적절한 성질을 가진 광촉매를 선택하는 것이 매우 중요하다. 사용자가 원하는 광촉매 발굴 과정 중, 무기 물질 기반 광촉매는 주로 전이 금속과 리간드 (ligand) 종 조합을 조합하여 원하는 물성을 달성하는 반면,⁶⁻⁸ 순수 유기 물질 기반 광촉매는 다양한 결합(C-X; X = C, O, N, S, and etc.)과 삼차원 토폴로지를 기반으로 높은

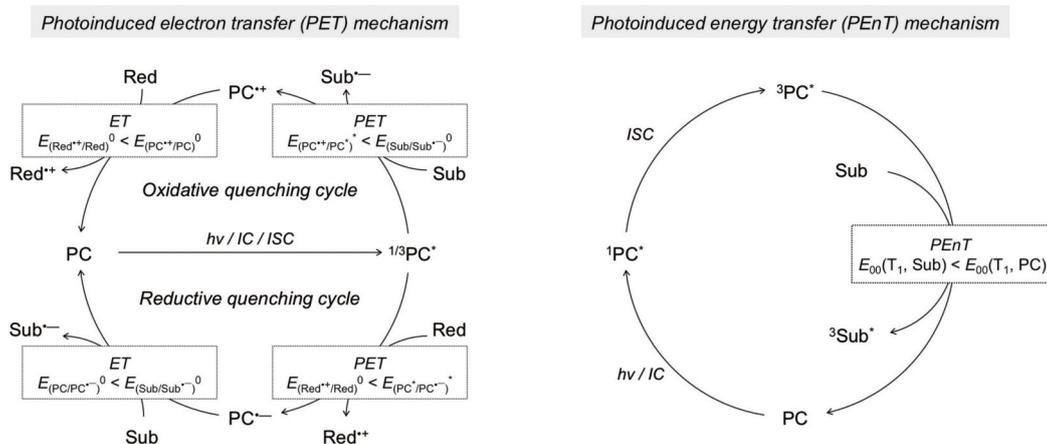


그림 1. 들뜬 상태를 이용한 광촉매 반응의 메커니즘(PET: photoinduced electron transfer, 광유도 전자 전달; PEnt: photoinduced energy transfer, 광유도 에너지 전달)

다양성을 가지며, 이를 토대로, 무기 물질 기반의 광촉매가 접근하기 힘든 물성을 구현할 수 있는 높은 잠재력을 가진다.

유기 광촉매는 들뜬 상태의 단일항과 삼중항을 동시에 가질 수 있으며[그림 2a], 두 들뜬 상태 각각의 반응에 대한 기여는 아직 논란 속에 있다.⁹⁻¹³ 그 중, 들뜬 상태의 단일항은 높은 들뜬 상태의 에너지($E(S_1)$)로 인해, 전자 전달 과정에서의 높은 추진력(driving force, $-\Delta G$)을 바탕으로, 빠른 전자 전달 속도 상수($M^{-1}\cdot s^{-1}$)를 가능케한다. 하지만, 단일항의 짧은 수명으로 인해, 수 나노 초($\sim 10^{-9}$ s)가 필요한 기질과의 이분자 충돌(bimolecular collision)을 위해, 더 높은 농도의 광촉매가 필요하게 된다.¹⁴ 이는 높은 광촉매의 흡광도(absorbance)으로 인해 반응 용기(reaction batch)의 심부까지 빛이 도달하지 않을 뿐더러,¹⁵ 반응의 비용을 늘리는 큰 요인이 된다.¹⁶ 반면, 광촉매의 삼중항은 전자전달 과정에서의 상대적으로 낮은 추진력을 가지지만, 높은 수명의 삼중항 상태로 인해, 광정지 상태(photostationary state)에서의 들뜬 상태의 광촉매의 농도를 높일 수 있으며, 이는 기질과의 전자 전달 속도($M\cdot s^{-1}$)를 빠르게 할 수 있다. 더불어, 전자 전달 후, 접촉 라디칼 이온쌍(contact radical ion pair)에서의 스핀-반전 과정(spin-flipping process)을 동반한 느린 후방 전자전달(back electron transfer, BET)를 가지므로 더욱 효율적인 전자 전달이 가능하다.¹⁷ 뿐만 아니라, 반응 이후의 촉매 정제 과정과 필요 촉매 양을 낮출 수 있어 가격단가¹⁶를 낮출

수 있다. 따라서 앞서 언급한 장점을 바탕으로 유기 합성 및 고분자 중합에서 들뜬 상태의 삼중항을 사용한 광촉매 반응이 활발히 연구되고 있다.¹⁸

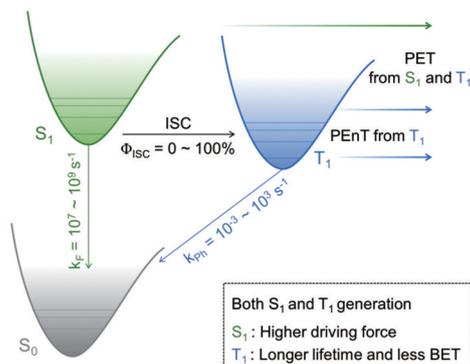
특히 고분자 중합에서 삼중항의 역할은 더욱 중요하다. 일반적 유기 합성과 다르게, 고분자 중합은 반응이 진행됨에 따라 반응물의 점성(viscosity)이 증가하여, 기질과 들뜬 상태의 광촉매 간의 이분자 충돌을 저해하게 된다[그림 2b].^{14,19} 따라서, 두 반응물 간의 효율적인 반응을 위해서는 들뜬 상태의 광촉매의 유효 농도를 높일 수 있는 긴 수명의 삼중항을 효율적으로 생성할 수 있는 광촉매가 더욱 필요하다. 본 ‘이달의 하이라이트’에서는 현재까지 활발히 연구되고 있는 들뜬 상태의 삼중항을 이용한 순수 유기물 광촉매 기반 가시광 매개 고분자 중합과 연구 동향을 몇 가지 예시를 이용하여 소개하고자 한다.

본 론

1. 효율적인 삼중항 생성 촉매 디자인 플랫폼: 강하게 뒤뜰린 전자주개-받개 구조

광촉매 반응은 전자 전달 반응과 에너지 전달 반응으로 나눌 수 있으며, 전자 전달 반응은 추가로 산화성 소광 반응(oxidative quenching)과 환원성 소광 반응(reductive quenching)으로 분류할 수 있다[그림 1].¹⁷ 전자 전달 반응의 경우, 광촉매와 기질 간의 표준 환원 전위 관계가 중요하

(a) Jablonski diagram of purely organic photocatalyst



(b) Evaluation of PET rate constant with solvent viscosity

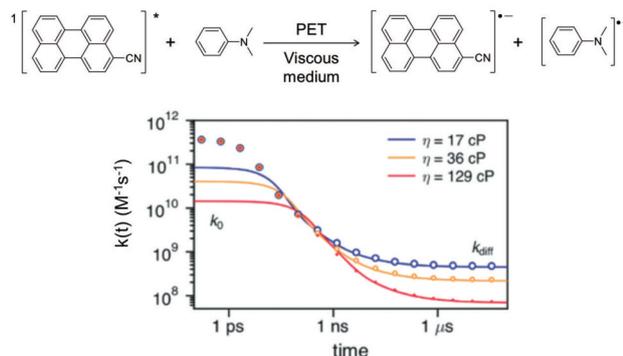


그림 2. (a) 순수 유기물 광촉매의 Jablonski diagram, (b) 매질의 점성과 이분자 간 전자 전달 속도 상수(k_{PET} , $M^{-1}\cdot s^{-1}$)의 상관관계¹⁹

다. 산화성 소광 반응을 예로 들자면, 광촉매의 들뜬 상태의 환원 전위는 기질의 바닥 상태 환원 전위보다 낮아야 하며, 광촉매의 바닥 상태 환원 전위는 기질의 바닥 상태 환원 전위보다 높아야 한다. 에너지 전달의 경우, 들뜬 상태의 광촉매와 기질의 전자 구조(electronic structure) 및 단일항/삼중항 에너지 준위의 관계가 중요하다. 이 두 가지 메커니즘 속, 광촉매와 기질과의 반응 선택성을 부여하기 위해서는 적절한 파장의 광 흡수, 들뜬 상태 수명시간, 산화/환원 전위, 들뜬 상태 단일항/삼중항 에너지를 적절히 조절하는 것이 핵심이다.²⁰ 하지만 전통적으로, 유기 광촉매는 acridiniums,^{21,22} arylamines,^{23,24} porphyrins,²⁵ xanthenes,^{26,27} 등을 기반으로 비편향 선별(unbiased screening)을 통해 원하는 반응을 위한 적절한 물성의 광촉매를 선별해왔다. 이는 많은 수고와 비용이 필요로 하기 때문에, 따라서 효율적인 촉매 발굴을 위해, 체계적인 촉매 발굴 시스템을 필요로 하고 있다.²⁸⁻³⁰

서울대학교 권민상 교수 연구팀은 지연형광(thermally activated delayed fluorescence, TADF) 물질로부터 영감을 받아, 강하게 뒤틀려있는 전자 주개-받개 시스템을 기반으로 하는 촉매 발굴 플랫폼을 제시하였다(그림 3).²⁹ 이 플랫폼의 전자주개-받개(D-A)의 구조는 HOMO(highest occupied molecular orbital)와 LUMO(lowest

unoccupied molecular orbital)의 공간적 겹침을 줄임으로써, (1) 각각의 전자 주개와 받개의 선별을 통해 광촉매의 HOMO와 LUMO 에너지를 독립적으로 조절을 가능하게 하며, (2) 매우 낮은 단일항과 삼중항의 에너지 차이($\Delta E_{ST} < 0.2$ eV)을 통해 단일항-삼중항 간의 빠른 계간전이(intersystem crossing)를 가능케한다. 이 플랫폼을 이용하여 권민상 교수 연구팀은 다양한 전자주개 및 받개를 선택하여 사용자가 원하는 광물리학적, 전기화학적 특성을 가진 광촉매를 설계하였고, 이 광촉매들을 토대로 매우 효율적인 유기 합성 및 고분자 중합을 구현하였다.³¹⁻³³ 하지만, 지연형광 물질은 단일항과 삼중항이 동시에 존재하기 때문에³⁴ 어느 들뜬 상태가 광촉매 반응이 주로 참여하는지는 정확히 밝히기 어려우며, 별도의 광촉매 반응에서의 메커니즘 연구가 요구된다. 2023년 권민상 교수 연구팀은 cyanoarene 계열 촉매군을 사용하여, 해당 촉매의 라디칼 음이온 생성 실험을 진행하였고, 들뜬 상태의 삼중항이 환원성 소광 전자 전달 반응에서 주요 역할을 수행함을 관찰하였다.³³ 이 외, 많은 연구팀이 유기 광촉매를 고분자 중합에 응용함에 있어서, 반응 주체에 관한 메커니즘 연구는 꾸준히 진행되고 있으며, 대표적인 예시로 Damrauer 교수,¹⁰ Orr-Ewing 교수 연구팀¹¹⁻¹³이 순간 흡수 분광학(transient absorption spectroscopy) 등의 정밀한 분광

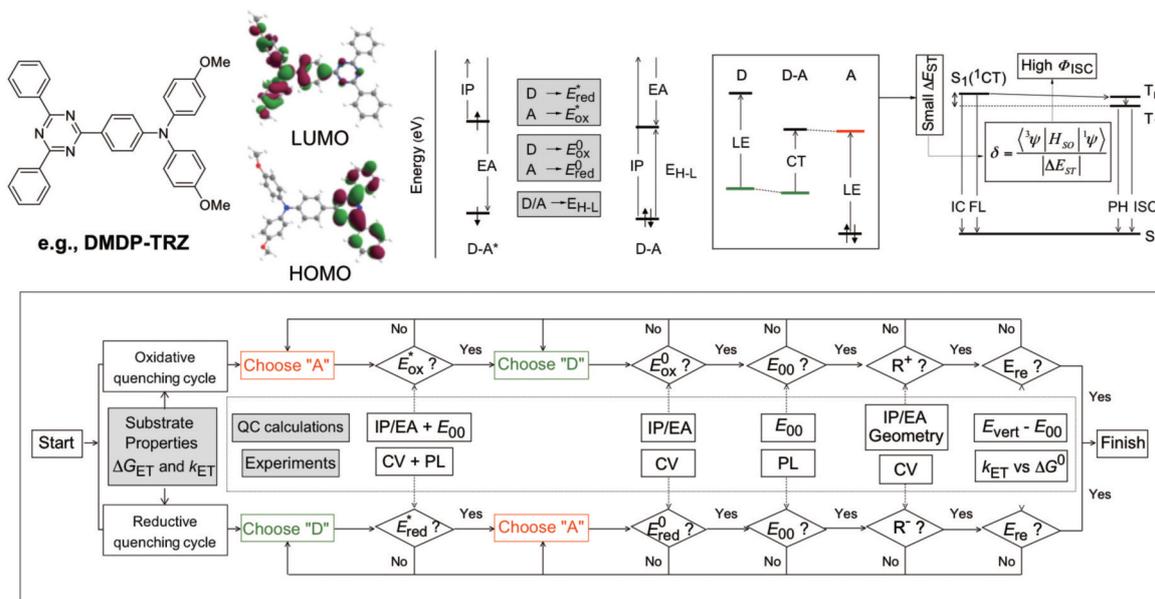


그림 3. 효율적인 삼중항 생성 유기물 광촉매 설계를 위한 강하게 뒤틀린 전자주개-받개 구조 기반 유기물 광촉매의 설계 플랫폼²⁹

학적 측정을 통해 광촉매 반응 메커니즘을 연구하고 있다.

2. 광촉매의 삼중항을 이용한 제어 라디칼 중합

2-1. 순수 유기물 기반 광촉매 기반 광매개 원자 이동 라디칼 중합(O-ATRP)

원자 이동 라디칼 중합(atom transfer radical polymerization, ATRP)은 1995년 Matyjaszewski 교수팀과 Sawamoto 교수팀에 의해 제안된 제어 라디칼 중합이다. ATRP는 전이 금속 촉매(e.g., Cu, Fe, and etc)를 이용해, 활성종(active species)과 비활성종(dormant species) 간의 농도의 비율을 낮게 조절하여, 비가역적인 라디칼 종결 반응을 억제하여 잘 제어된 고분자를 얻을 수 있다. 하지만, 전이 금속 촉매는 잠재적인 독성으로 인해 생체공학 및 전자공학과 같은 특수한 응용 분야에서 사용하기 어려울 수 있으며, 촉매 제거를 위해 추가적인 정제 과정과 비용이 필요하다[그림 4b].³⁵

이러한 단점을 극복하기 위해, 2014년 Hawker 교수 연구팀에 의해 최초로 순수 유기물 기반 광촉매 기반 광매개 원자 이동 라디칼 중합(organocatalyzed ATRP, O-ATRP)이 제안되었다[그림 4a].³⁶ Hawker 교수 연구팀은 자외선 조사 아래 phenothiazine 계열의 광촉매(PTH)를 단량체 대비 1000 ppm의 높은 당량의 촉매 당량을 사용하여, 성공적으로 PMMA를 합성하였다. 그에 대한 후속 연구로써, 2016년 Yagci 교수 연구팀은 phenothiazine 계열의 두 광촉매(PTH와 PTMe)와 개시제인 알킬 할라이드 사이의 전자 전달 메커니즘을 분석하였다.⁹ 그들은 전자 상자성 공명(electron paramagnetic resonance, EPR) 분광학과 순간 흡수 분광학 측정 등을 통해, PTH와 달리, PTMe의 경우, 삼중항의 긴 수명($\tau \sim 40 \mu\text{s}$)과 실제 O-ATRP 반응 조건 속 개시제 농도($\sim 1.0\text{--}5.0 \times 10^{-2} \text{ M}$)를 고려했을 때, 전자 전달 반응은 PTMe의 삼중항에서 일어난다고 주장하였다.

O-ATRP에 사용되는 촉매 당량을 줄이기 위해, Miyake 교수팀과 권민상 교수팀을 비롯한 많은 연구 그룹들이 들뜬 상태의 삼중항을 이용하는 노력을 진행해왔다. 2016년 Miyake 교수팀이 phenazine 계열 촉매군을 통해 성공적인 PMMA 합성 결과를 발표한 이래³⁷ 현재까지 phenazine,^{38,39}

phenoxazine,^{40,41} phenothiazine⁴² 계열의 광촉매를 이용하여, 광촉매 당량을 낮추거나 광촉매 후보군을 넓히며 가시광 기반 O-ATRP 연구를 선도하고 있다. 특히, 2019년 phenazine 촉매를 개질화하여, 높은 촉매 안정성을 확보하였고, 광촉매 당량을 5-50 ppm 수준까지 낮추어 성공적인 PMMA 합성을 선보였다.³⁹ 한편, 2018년 서울대 권민상 교수 연구팀은 해당 연구실의 뒤틀린 전자 주개-받개 구조 기반 촉매 발굴 플랫폼을 통해, 긴 수명($\tau \sim 100 \mu\text{s}$)의 삼중항을 가지는 cyanoarene 계열인 4DP-IPN을 개발하였고, 이로부터 광촉매 당량(단량체 대비 0.5 ppm)을 극적으로 낮춰 O-ATRP가 별도의 정제 과정이 필요 없는 매우 효율적인 중합 방법이 될 수 있음을 보고하였다[그림 4b].²⁹

이러한 O-ATRP 발전에도 불구하고, O-ATRP 메커니즘 및 광촉매의 안정성 등 기초 연구가 더욱 필요한 실정이다. 예를 들어, phenazine 계열 촉매의 경우, 아직 전자 전달 메커니즘의 주체가 불명확하다. Orr-Ewing 교수 연구

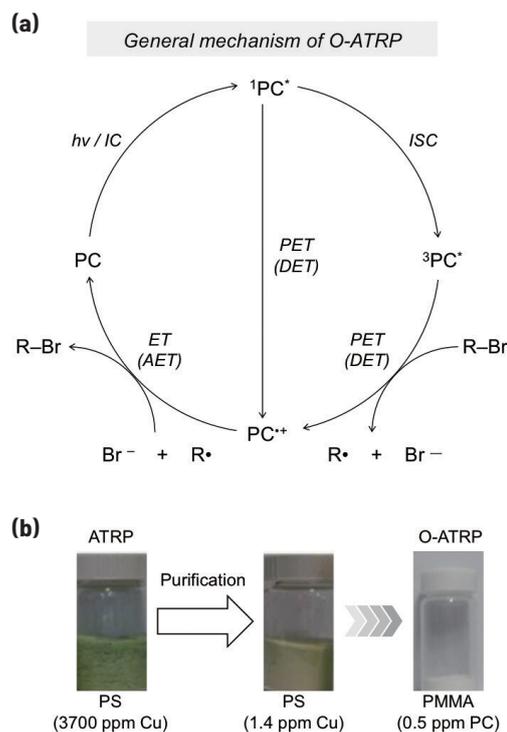


그림 4. (a) 순수 유기물 기반 광촉매 기반 광매개 원자 이동 라디칼 중합의 메커니즘(AET: associative electron transfer, 화학성 전자전달; DET: dissociative electron transfer, 해리성 전자 전달), (b) ATRP³⁵와 O-ATRP²⁹로 중합한 고분자 결과물 비교

팀의 순간 흡수 분광학을 통해 분석한 결과에 의하면,^{11,12} phenazine 계열 촉매는 삼중항 생성이 비효율적일 뿐만 아니라, 광촉매의 삼중항이 생성되기 전, 알킬 할라이드 개시제로부터 생성되는 알킬 라디칼이 관찰되었다. 이는 phenazine 촉매의 단일항이 전자 전달 반응에 주요 역할을 수행함을 시사하며, 이는 Miyake 교수 연구팀의 연구 결과와 충돌되는 부분이다.³⁷ 한편, 광촉매의 안정성 문제 또한 효율적인 O-ATRP 구현을 위해 해결해야 하는 부분이다. 특히, 산화성 소광 전자 전달 반응을 거친 후의 phenazine 계열 촉매의 라디칼 양이온은 알킬 라디칼과 부반응을 야기하여,³⁸ 고분자 중합 조절도를 낮출 뿐만 아니라, 더욱 높은 광촉매 당량을 필요로 하게 하는 요인이 된다. 뿐만 아니라, 엔트로피적으로 비효율적인 O-ATRP의 비활성화 반응(deactivation)으로 인해 Br₂ 생성 및 비교적 넓은 분자량 분포를 가지게 되는 한계를 갖고 있으며, 이를 해결하기 위해 지속적인 연구와 관심이 필요하다.

2-2. 광산화환원-구리 이중 촉매 매개 ATRP (ATRP with photoredox/Cu dual catalysis)

O-ATRP의 비효율적인 비활성화 문제를 해결하기 위해, 소량의 Cu(II)를 첨가하여, ATRP 평형을 통해 활성종과 비활성종 간의 농도의 비율을 낮게 조절하는 광산화환원-구리 이중 촉매 매개 ATRP가 제안되었다[그림 5].⁴³ 반응의 메커니즘은 들뜬 상태의 광촉매가 Cu(II)를 환원하여 Cu(I)을 생성하고, 그 후 Cu(I)이 알킬 할라이드와의 개시

에 참여하여 ATRP 평형을 이룬다. 일반적 Photoinduced reverse ATRP는 외부 라디칼을 필요로 하며 첨가된 라디칼이 소모되면 반응이 중단되는 반면에, 광산화환원-구리 이중 촉매 매개 ATRP는 환원제로써 사용되는 광촉매가 촉매 순환으로부터 재생됨으로써 훨씬 낮은 농도의 광촉매에서도 효과적으로 Cu(II) 환원 반응에 참여할 수 있다.

2018년 Strehmel 교수와 Yagci 교수 공동 연구팀은 790 nm 조사 아래, polymethine 계열 광촉매와 Cu(II)를 동시에 고분자 중합에 참여시켜 광산화환원-구리 이중 촉매 매개 ATRP를 처음으로 제안하였으며 성공적인 PMMA 합성을 보고하였다.⁴³ 하지만, 광촉매의 재생 메커니즘에도 불구하고, 짧은 수명을 가진 들뜬 상태의 단일항을 이용하기 때문에 단량체 대비 1000 ppm의 높은 당량의 광촉매와 100 ppm의 Cu(II) 촉매가 사용되었다. 그 이후, 2022년 Matyjaszewski 교수팀은 Zn(II) 계열 촉매를 사용하여, 630 nm 조사 아래, 산소 제거 과정 없이 성공적으로 PMA를 합성하였다.⁴⁴ 특히, 단량체 대비 10 ppm의 광촉매 당량과 200 ppm의 Cu(II) 촉매를 사용하였는데, 매우 효율적으로 삼중항을 생성할 수 있는 Zn(II) 광촉매 ($\Phi(T_1) \sim 0.90$)를 통해, 0.5 V만큼 더 낮은 전자 전달의 추진력에도 불구하고, 단일항보다 삼중항이 전자 전달 과정에 주요하다고 보고하였다. 같은 해, Matyjaszewski 교수 연구팀은 25 ppm의 Eosin Y와 1000 ppm의 Cu(II) 사용하여, 530 nm 조사 아래 산소에 노출된 환경 속에서 아크릴레이트 단량체를 성공적으로 중합하였다.⁴⁵ 그들은 고분자 중합 반응 내 산소는 Eosin Y, Cu(I), 성장 중인 라디칼 등에 의해 소모될 수 있지만, 특히 ATRP 평형상태에서는 Cu(I)의 농도가 훨씬 높기 때문에 산소는 라디칼보다 Cu(I)과 반응하기 쉽다고 주장하였고, PET-RAFT 중합과의 비교를 통해 더욱 강한 산소 내성을 갖고 있음을 증명하였다. 더불어, 광촉매와 Cu(II)의 당량을 낮추기 위한 연구도 진행되어왔다. 2023년 Chen 교수 연구팀은 phthalate 계열 광촉매를 활용하여 단량체 대비 1 ppm의 광촉매와 5 ppm의 Cu(II)를 사용하여 성공적으로 PMMA를 합성하였다.⁴⁶ 이러한 낮은 당량에서의 뛰어난 반응 효율은 phthalate 계열 광촉매의 충분히 높은 들뜬 상태 산화전위를 통한 추가적인 알킬 할라이드 개시 경로와 긴 수명의 들뜬 상태 삼중항의 영향이라고 주장하였다.

General mechanism of ATRP with photoredox/Cu dual catalysis

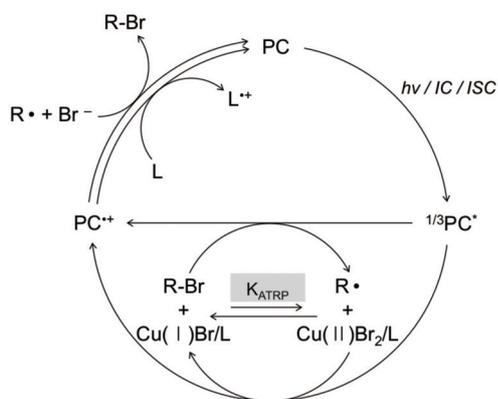


그림 5. 광산화환원-구리 이중 촉매 매개 ATRP 중합의 메커니즘

이러한 광산화환원-구리 이중 촉매 매개 ATRP는 낮은 에너지의 가시광 흡수, 낮은 광촉매 당량, 산소 내성, 넓은 단량체 범위 등의 다재다능함에도 불구하고, 개시 및 광촉매 재생 메커니즘과 광촉매 디자인 전략 등에 대한 폭 넓은 이해가 필요한 상황이다. 예를 들어, 광촉매가 재생되고 형성되는 리간드의 라디칼 양이온의 반응 경로가 정확하지 않다. 또한, 명확한 이해 없이, O-ATRP와 PET-RAFT 중합에서 효과적이었던 광촉매 균을 비편향 선별 방식으로 선택하여 사용하고 있어, 사용자가 원하는 광촉매 발굴을 위한 많은 시간과 노력이 요구된다. 따라서 이를 해결하기 위해 효율적인 촉매 발굴을 가능케하는 체계적인 촉매 디자인 전략에 대한 지속적인 연구와 관심이 필요하다.

2-3. 광매개 가역적 첨가-분절 연쇄이동(PET-RAFT) 중합

가역적 첨가-분절 연쇄이동(reverse addition-fragmentation chain transfer, RAFT) 중합은 1998년 호주 연방과학산업연구기구(CSIRO)의 Moad, Rizzardo, Thang 교수팀에 의해 제안되었으며, 분자량 조절이 용이하며, 균일한 분자량 분포, 말단기가 잘 보존된 고분자를 효과적으로 중합할 수 있는 방법으로 현재까지 활발히 연구되어 왔다.⁴⁷ 2014년, Boyer 교수 연구팀은 Ir(III) 기반 촉매를 사용하여, 최초로 RAFT 중합에 필요한 라디칼을 광촉매 반응을 활용하여 외부 라디칼 개시제 없이 연쇄 전달제(chain transfer agent, CTA) 및 광촉매만으로도 성공적인 PET-RAFT(photoinduced electron/energy transfer-RAFT) 중합을 구현하였다.⁴⁸ 그들이 제시한 PET-RAFT 중합은 강한 산소 내성(oxygen tolerance)을 토대로 온화하고 간단한 반응 조건을 가진다는 점에서 큰 장점을 갖고 있다. 그 이후, Boyer 교수팀은 Ru(II),⁴⁹ Zn(II),⁵⁰ 클로로필 a,⁵¹ 등의 전이 금속 기반 광촉매를 사용하여 PET-RAFT 중합을 성공하였다.

최근, 전이금속 기반 광촉매 사용의 잠재적 독성과 높은 비용 등의 한계로 인해, Boyer 교수팀,^{52,53} Miyake 교수팀,^{54,55} Johnson 교수팀,^{56,57} 그리고 권민상 교수팀^{31,32} 등을 비롯한 여러 연구팀에서, 순수 유기물 광촉매를 사용하거나 광촉매 양을 줄이는 PET-RAFT 중합 연구가 활발히 진행되고 있다. 예를 들어, 2019년 권민상 교수 연구팀은 cyanoarene 계열 촉매인 4DP-IPN의 들뜬 삼중항 상태

를 사용하여 Ir(III) 기반 광촉매와 유사한 수준의 광촉매 당량(단량체 대비 5 ppm)으로 성공적인 PET-RAFT 결과를 선보였다.³¹ 그 밖에, phenazine,⁵⁴ phenothiazine,^{56,57} xanthene,^{55,58,59} 계열 물질 등이 들뜬 상태의 삼중항을 기반으로 새로운 순수 유기물 광촉매로써 제시되었고, 자세한 내용은 Boyer 교수팀,⁶⁰ Johnson 교수팀,⁶¹ 권민상 교수팀⁶²에서 작성한 리뷰 논문에서 찾아볼 수 있다.

그 중, PET-RAFT 중합은 매우 온화한 조건, 높은 산소 내성과 들뜬 상태의 삼중항을 기반의 매우 낮은 농도의 광촉매를 토대로, 살아있는 세포 또는 생체 내에서의 반응 등의 생명 관련 분야에서의 연구가 활발히 진행되고 있다. 2017년 Hawker 교수 연구팀은 Eosin Y를 사용하여 최초로 가시광 조사(465 nm)아래 살아있는 효모 세포 표면을 기능화 하였다.⁶³ 비교적 높은 광촉매 당량(단량체 대비 8000 ppm)를 사용했으나, 높은 생체 적합성을 보였으며, 짧은 반응 시간(5분) 동안 성공적인 조절 고분자 중합을 구현하였다. 최근, 2022년 권민상 교수 연구팀은 cyanoarene 계열 촉매를 사용하여 515 nm 조사 아래에서 단백질-고분자 접합체(protein-polymer conjugates, PPCs)를 성공하였다(그림 6). 특히, 긴 수명의 삼중항을 가지는 4DP-IPN 촉매를 개질화하여, 광촉매의 광화학적, 전기화학적 물성은 유지한 채, 물에서의 용해도를 크게 향상시킨 수용

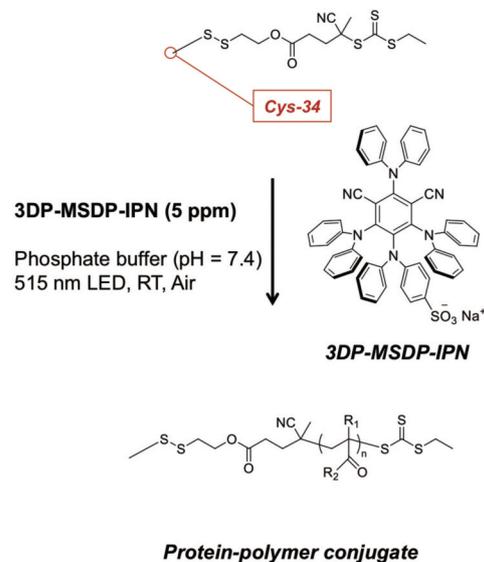


그림 6. PET-RAFT 중합을 활용한 단백질-고분자 접합체(protein-polymer conjugates, PPCs) 합성³²

성 광촉매 3DP-MSDP-IPN을 개발하였다. 결과적으로, 매우 낮은 광촉매 함량(단량체 대비 5 ppm)과 산소 가속화(oxygen acceleration) 현상을 통해 차세대 수중 PET-RAFT 중합으로써의 가능성을 선보였다. 바이오 응용분야 뿐만 아니라, PET-RAFT 중합은 3D/4D 프린팅,⁶⁴ 광개시 중합 유도 자기 조립(photoinitiated polymerization-induced self-assembly, photo-PISA)^{65,66}등에도 활발히 응용되고 있으며, 자세한 내용은 권민상 교수팀⁶²에서 작성한 리뷰 논문에서 찾아볼 수 있다.

PET-RAFT 중합에서 광촉매의 삼중항은 전자 전달 외에도, 연쇄 전달제와의 에너지 전달로도 광촉매 반응을 유도할 수 있으며, 주로 전자 교환을 포함한 Dexter 에너지 전달 반응을 통해 삼중항-삼중항 에너지 전달 반응이 일어난다[그림 1]. 따라서, 전자 전달과 에너지 전달 메커니즘의 명확한 구분은 대단히 어렵고, 정교한 실험 설계와 정밀한 분광학 측정이 필요하다. 2019년, Allonas 교수와 Boyer 교수 공동연구팀은 Ru(II)와 Ir(III) 기반 광촉매의 순간 흡광 분광학 분석을 통해, 전자 전달의 경우에 비해, 에너지 전달의 추진력이 연쇄 전달제의 활성화도에 더욱 밀접한 연관성이 있다는 직접적인 증거를 제시하였다.⁶⁷ 또한, 2020년, Konkolewicz 교수팀은 Ir(III) 기반 PET-RAFT 중합의 동역학 모델링을 통해, 에너지 전달 메커니즘의 주장을 뒷받침하였다.⁶⁸ 반면, 전자 전달 메커니즘의 경우, 2023년 권민상 교수 연구팀은 Ag₂S 나노 크리스탈을 광촉매로써 사용하여 PMMA를 합성하였으며, PET-RAFT 중합의 메커니즘 속의 개별적인 전자 전달 메커니즘만을 성공적으로 구현하였다.⁶⁹ Ag₂S 나노 크리스탈의 작은 밴드갭과 적절한 산화환원 전위로 인해 PET-RAFT 중합은 전자 전달을 통해서만 연쇄 전달제와 반응하게 하였으며, 이를 통해 전자 전달이 PET-RAFT 중합에서 쉽게 발생한다는 것을 확인하였다.

3. 광촉매의 삼중항을 이용한 자유 라디칼 중합

광촉매 반응은 제어 라디칼 중합 뿐만 아니라 자유 라디칼 중합에서도 라디칼 생성을 위한 수단으로 사용된다. 그 중, 유기 염료 감응형 광개시 시스템(organic dye-sensitized photoinitiating system)은 1940년대 후반에 건염 염료

(vat dyes)를 사용하여 수은 램프 조사 아래의 폴리스타이렌(polystyrene) 합성부터 시작하여,⁷⁰⁻⁷² 최근 Fouassier 교수와 Lalevée 교수 연구팀에 의해 가시광 광개시 시스템이 크게 발전하였다.⁷³⁻⁷⁵ 이러한 가시광 기반 광개시 시스템은 3D/4D 프린팅 재료,⁷⁵⁻⁷⁷ 치과 레진,^{78,79} 및 접착제⁸⁰⁻⁸²와 같은 다양한 응용 분야에서 체계적으로 연구되어 왔다. 광개시 시스템 속 광촉매는 일반적인 광개시제(i.e., Norrish Type 1 or 2)와는 달리, 소모되지 않고 산화-환원 반응을 통해 촉매 순환(catalytic cycle)에 계속 참여하기 때문에, 광촉매 당량을 낮출 수 있으며, 이에 관해 광촉매의 삼중항이 더욱 큰 주목을 받고 있다.

2010년, Fouassier 교수 연구팀은 Ru(II) 기반 광촉매를 사용하여 532 nm 조사 아래에서 광개시 시스템을 통해 성공적인 양이온 에폭시 경화 시스템을 구현하였다.⁸³ 그들은 아이오도늄 염(iodonium salt)과 실레인(silane)를 조촉매(co-initiator)로써 사용하여, 빠른 경화 속도와 산소 내성을 부여하였다. 이후, 2017년, Lalevée 교수팀은 405 nm 또는 477 nm 조사 아래에서, carbazole 유도체, 아이오도늄과 아닐린(aniline) 유도체의 조합을 사용하여 빠른 시간 내의 에폭시 및 (메타)아크릴레이트 경화를 구현하였다.⁸⁴ 또한 같은 해, cyanoarene 계열 촉매를 사용하여, 동일 조건 아래 잘 알려진 가시광 광개시제인 Irgacure 819($\epsilon_{405\text{nm}} \sim 500 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$)보다 뛰어난 가시광 흡수($\epsilon_{405\text{nm}} \sim 1350\text{--}7800 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$)를 바탕으로, 매우 빠른 라디칼/양이온 중합을 선보였다.⁸⁴ 공통적으로 아이오도늄 염을 조촉매로 사용하여, 수십 초 내 단량체 전환율이 포화상태까지 매우 빠르게 상승하지만, 0.5 wt% 수준의 높은 광촉매 함량을 사용했다는 한계가 있다.

2020년 Page 교수팀은 BODIPY 계열 광촉매를 사용하여 매우 빠른 가시광 경화를 통해 성공적인 3D 프린팅을 선보였다.¹⁶ 그들은 아이오도늄과 붕산 염(borate salt)를 조촉매로써 사용하여, 광개시 시스템을 구축하였다. 특히, 할로젠 원소를 치환하여 중원자 효과(heavy atom effect)를 BODIPY 유도체에 도입시킴으로써, 광촉매의 광물리학적 물성을 조절하여, 동일 조건 아래 광촉매의 삼중항 생성과 고분자 경화 속도의 상관관계를 체계적으로 증명하였다. 뿐만 아니라, 이를 토대로, 매우 효율적인 삼중항 생성($\Phi(T_1) \sim 0.89$)을 가능한 BODIPY 유도체를 사용하여, 매

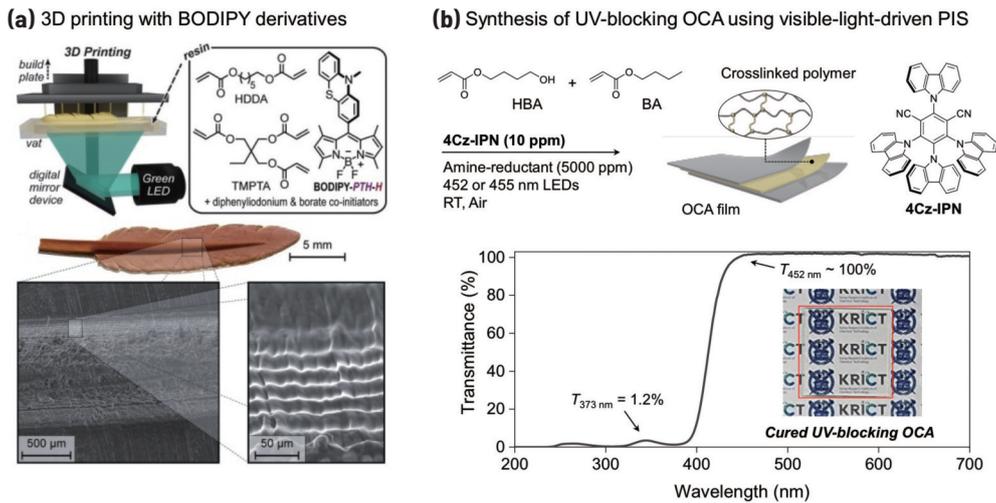


그림 7. 유기 염료 감응형 광개시 시스템을 활용한 (a) 3D 프린팅 예시⁸⁵와 (b) 자외선 차단 광학용 투명 접착제(optically clear adhesive, OCA) 합성⁸⁰

우 낮은 광축매 당량(단량체 대비 10–40 ppm)과 적은 조사량(530 nm, 16 mW/cm²)으로도 60초 내에 포화상태의 단량체 전환율을 달성하였다. 뿐만 아니라, 2023년 Page 교수팀은 효과적인 삼중항 생성을 위해 BODIPY 유도체에 할로젠 원소 대신 뒤틀린 아로마틱(aromatic) 그룹을 도입하여 분자 내 전하 이동(intramolecular charge transfer) 성질을 부여하였다(그림 7a).⁸⁵ 이 BODIPY 유도체 광축매들은 단량체의 극성에 따라 광물리학적 성질이 바뀌며, 이를 통해 단량체의 극성에 따른 삼중항 생성과 고분자 경화 속도를 체계적으로 비교하여, 상대적으로 적은 당량의 광축매(500 ppm)와 적은 조사량(12 mW/cm²)으로, 5초 내에 70%의 전환율을 달성하는 매우 빠른 광개시 시스템을 선보였다.

일반적인 가시광 광개시제로부터 생산되는 고분자 제품은 반응 후에 잔존하는 가시광 광개시제 자체의 색을 띠게 됨으로써, 광학 분야를 비롯한 응용분야에 제약이 있다. 따라서, 이 문제를 극복하기 위해, 2022년 권민상 교수 연구팀에서 cyanoarene 계열 촉매를 사용한 가시광 기반 광개시 시스템을 통해 가시광 영역에서 매우 투명한 자외선 차단 광학용 투명 접착제(optically clear adhesive, OCA)를 성공적으로 합성하여, 실제 폴더블 디스플레이로의 응용 가능성을 보여줬다(그림 7b).⁸⁰ 그들은 광축매 당량(단량체 대비 10 ppm)을 극단적으로 낮춤에도, 긴 수명의 삼중

항을 이용하여 들뜬 상태의 유효 농도를 높여, 조촉매와의 빠른 전자 전달이 가능케 하였다. 특히, 아민 계열 조촉매와의 환원성 소광 전자 전달 메커니즘 기반으로, 개시종(i.e., α -amino radical) 생성을 통해 별도의 개시제 함량을 최소화하였으며, 양자 계산을 도입하여 개시종 생성 반응과 산소 내성의 원인을 제시하였다.

결론

지금까지 들뜬 상태의 삼중항을 사용한 성공적인 가시광 매개 고분자 중합을 몇 가지 예시와 함께 소개하였다. 광축매의 삼중항은 고분자 중합에서의 광축매의 유효 농도를 높여 기질(개시제 또는 연쇄 전달제)과의 반응성을 향상시킴으로써 광축매 당량을 낮출 뿐만 아니라, 고분자 중합 속도를 높이는 데 주요한 역할을 하였다. 더불어, 낮은 에너지의 가시광 조사 및 산소 내성을 포함한 온건한 반응 조건 등으로 인해 생체 반응, 3D/4D 프린팅, 접착제 등의 폭 넓은 분야에서 적용하여 친환경적, 경제적으로 고분자를 합성할 수 있게 하였다. 하지만 유기 광축매의 특성 상, 단일항과 삼중항으로부터의 반응성 기여를 구분하는 정밀한 분광학적 측정을 포함한 메커니즘 분석이 필요하며, 중합 조건을 위한 최적화 및 대량 생산 공정 개발 등 실제 산업에 적용하기까지는 해결해야 할 부분이 많다. 광축매 반응에 사용

되던 에너지를 자외선으로부터 근적외선까지 낮추는 노력을 진행되었던 만큼, 기존 광촉매 반응의 한계를 극복한 새

로운 고분자 중합 반응이 제시되길 기대한다. 



1. Narayanam, J. M. R. & Stephenson, C. R. J. "Visible light photoredox catalysis: applications in organic synthesis." *Chem. Soc. Rev.* **2011**, *40*, 102–113.
2. Chatterjee, T. *et al.* "Controlled fluoroalkylation reactions by visible-light photoredox catalysis." *Acc. Chem. Res.* **2016**, *49*, 2284–2294.
3. Nicewicz, D. A. & MacMillan, D. W. C. "Merging photoredox catalysis with organocatalysis: the direct asymmetric alkylation of aldehydes." *Science* **2008**, *322*, 77–80.
4. Ischay, M. A. *et al.* "Efficient visible light photocatalysis of [2+2] enone cycloadditions." *J. Am. Chem. Soc.* **2008**, *130*, 12886–12887.
5. Narayanam, J. M. R., Tucker, J. W. & Stephenson, C. R. J. "Electron-transfer photoredox catalysis: development of a tin-free reductive dehalogenation reaction." *J. Am. Chem. Soc.* **2009**, *131*, 8756–8757.
6. Mdluli, V. *et al.* "High-throughput synthesis and screening of iridium(III) photocatalysts for the fast and chemoselective dehalogenation of aryl bromides." *ACS Catal.* **2020**, *10*, 6977–6987.
7. Zhang, J. *et al.* "Iron complexes in visible-light-sensitive photoredox catalysis: effect of ligands on their photoinitiation efficiencies." *ChemCatChem.* **2016**, *8*, 2227–2233.
8. Glaser, F. & Wenger, O. S. "Recent progress in the development of transition-metal based photoredox catalysts." *Coord. Chem. Rev.* **2020**, *405*, 213129.
9. Jockusch, S. & Yagci, Y. "The active role of excited states of phenothiazines in photoinduced metal free atom transfer radical polymerization: singlet or triplet excited states?" *Polym. Chem.* **2016**, *7*, 6039–6043.
10. Lattke, Y. M. *et al.* "Interrogation of O-ATRP activation conducted by singlet and triplet excited states of phenoxazine photocatalysts." *J. Phys. Chem. A* **2021**, *125*, 3109–3121.
11. Koyama, D., Dale, H. J. A. & Orr-Ewing, A. J. "Ultrafast observation of a photoredox reaction mechanism: photoinitiation in organocatalyzed atom-transfer radical polymerization." *J. Am. Chem. Soc.* **2018**, *140*, 1285–1293.
12. Lewis-Borrell, L. *et al.* "Mapping the multi-step mechanism of a photoredox catalyzed atom-transfer radical polymerization reaction by direct observation of the reactive intermediates." *Chem. Sci.* **2020**, *11*, 4475–4481.
13. Bhattacharjee, A. *et al.* "Singlet and triplet contributions to the excited-state activities of dihydrophenazine, phenoxazine, and phenothiazine organocatalysts used in atom transfer radical polymerization." *J. Am. Chem. Soc.* **2021**, *143*, 3613–3627.
14. Corbin, D. A. & Miyake, G. M. "Photoinduced organocatalyzed atom transfer radical polymerization (O-ATRP): precision polymer synthesis using organic photoredox catalysis." *Chem. Rev.* **2022**, *122*, 1830–1874.
15. Plutschack, M. B. *et al.* "The hitchhiker's guide to flow chemistry II." *Chem. Rev.* **2017**, *117*, 11796–11893.
16. Stafford, A. *et al.* "Catalyst halogenation enables rapid and efficient polymerizations with visible to far-red light." *J. Am. Chem. Soc.* **2020**, *142*, 14733–14742.
17. Romero, N. A. & Nicewicz, D. A. "Organic photoredox catalysis." *Chem. Rev.* **2016**, *116*, 10075–10166.
18. Lee, Y. & Kwon, M. S. "Emerging organic photoredox catalysts for organic transformations." *European J. Org. Chem.* **2020**, *2020*, 6028–6043.
19. Koch, M. *et al.* "Bimolecular photoinduced electron transfer in imidazolium-based room-temperature ionic liquids is not faster than in conventional solvents." *J. Am. Chem. Soc.* **2012**, *134*, 3729–3736.
20. Pitre, S. P. & Overman, L. E. "Strategic use of visible-light photoredox catalysis in natural product synthesis." *Chem. Rev.* **2022**, *122*, 1717–1751.
21. Tlili, A. & Lakhdar, S. "Acridinium salts and cyanoarenes as powerful photocatalysts: opportunitie in organic synthesis." *Angew. Chem. Int. Ed.* **2021**, *133*, 19678–19701.
22. Ravelli, D., Fagnoni, M. & Albini, A. "Photoorganocatalysis. What for?" *Chem. Soc. Rev.* **2013**, *42*, 97–113.
23. Discekici, E. H. *et al.* "A highly reducing metal-free photoredox catalyst: design and application in radical dehalogenations." *Chem. Commun.* **2015**, *51*, 11705–11708.
24. Noto, N. & Saito, S. "Arylamines as more strongly reducing organic photoredox catalysts than *fac*-[Ir(ppy)₃]." *ACS Catal.* **2022**, *12*, 15400–15415.
25. Rybicka-Jasińska, K. *et al.* "Porphyrins as photoredox catalysts: experimental and theoretical studies." *J. Am. Chem. Soc.* **2016**, *138*, 15451–15458.
26. Srivastava, V. & Singh, P. P. "Eosin Y catalysed photoredox synthesis: a review." *RSC Adv.* **2017**, *7*, 31377–31392.
27. Yu, Z. Y. *et al.* "Rose bengal as photocatalyst: visible light-mediated friedelcrafts alkylation of indoles with nitroalkenes in water." *RSC Adv.* **2020**, *10*, 4825–4831.
28. Speckmeier, E., Fischer, T. G. & Zeitler, K. "A toolbox approach to construct broadly applicable metal-free catalysts for photoredox chemistry: deliberate tuning of redox potentials and Importance of halogens in donor-acceptor cyanoarenes." *J. Am. Chem. Soc.* **2018**, *140*, 15353–15365.
29. Singh, V. K. *et al.* "Highly efficient organic photocatalysts discovered via a computer-aided-design strategy for visible-light-driven atom transfer radical polymerization." *Nat. Catal.* **2018**, *1*, 794–804.
30. Wu, C. *et al.* "Rational design of photocatalysts for controlled polymerization: effect of structures on photocatalytic activities." *Chem. Rev.* **2021**, *122*, 5476–5519.
31. Song, Y. *et al.* "Organic photocatalyst for ppm-level visible-light-driven reversible addition-fragmentation chain-transfer (RAFT) polymerization with excellent oxygen tolerance." *Macromolecules* **2019**, *52*, 5538–5545.
32. Lee, Y. *et al.* "A water-soluble organic photocatalyst discovered for highly effi-

- cient additive-free visible-light-driven grafting of polymers from proteins at ambient and aqueous environments." *Adv. Mater.* **2022**, *34*, 2108446.
33. Kwon, Y. et al. "Formation and degradation of strongly reducing cyanoarene-based radical anions towards efficient radical anion-mediated photoredox catalysis." *Nat. Commun.* **2023**, *14*, 1–15.
 34. Bryden, M. A. & Zysman-Colman, E. "Organic thermally activated delayed fluorescence (TADF) compounds used in photocatalysis." *Chem. Soc. Rev.* **2021**, *50*, 7587–7680.
 35. Ding, M. et al. "Recent progress on transition metal catalyst separation and recycling in ATRP." *Macromol. Rapid Commun.* **2015**, *36*, 1702–1721.
 36. Treat, N. J. et al. "Metal-free atom transfer radical polymerization." *J. Am. Chem. Soc.* **2014**, *136*, 16096–16101.
 37. Theriot, J. C. et al. "Organocatalyzed atom transfer radical polymerization driven by visible light." *Science* **2016**, *352*, 1082–1086.
 38. Corbin, D. A. et al. "Radical addition to N,N-diaryl dihydrophenazine photoredox catalysts and implications in photoinduced organocatalyzed atom transfer radical polymerization." *Macromolecules* **2021**, *54*, 4507–4516.
 39. Cole, J. P. et al. "Photoinduced organocatalyzed atom transfer radical polymerization using low ppm catalyst loading." *Macromolecules* **2019**, *52*, 747–754.
 40. Sartor, S. M. et al. "Exploiting charge-transfer states for maximizing intersystem crossing yields in organic photoredox catalysts." *J. Am. Chem. Soc.* **2018**, *140*, 4778–4781.
 41. McCarthy, B. G. et al. "Structure-property relationships for tailoring phenoxazines as reducing photoredox catalysts." *J. Am. Chem. Soc.* **2018**, *140*, 5088–5101.
 42. Sartor, S. M. et al. "Designing high-triplet-yield phenothiazine donor-acceptor complexes for photoredox catalysis." *J. Phys. Chem. A* **2020**, *124*, 817–823.
 43. Kütahya, C. et al. "Near-infrared sensitized photoinduced atom-transfer radical polymerization (ATRP) with a copper(II) catalyst concentration in the ppm range." *Angew. Chem. Int. Ed.* **2018**, *57*, 7898–7902.
 44. Dadashi-Silab, S. et al. "Red-light-induced, copper-catalyzed atom transfer radical polymerization." *ACS Macro Lett.* **2022**, *11*, 376–381.
 45. Szczepaniak, G. et al. "Open-air green-light-driven ATRP enabled by dual photoredox/copper catalysis." *Chem. Sci.* **2022**, *13*, 11540–11550.
 46. Ti, Q. et al. "Hybrid of organophotoredox- and Cu-mediated pathways enables atom transfer radical polymerization with extremely low catalyst loading." *Macromolecules* **2023**, *56*, 4181–4189.
 47. Chiefari, J. et al. "Living free-radical polymerization by reversible addition-fragmentation chain transfer: the RAFT process." *Macromolecules* **1998**, *31*, 5559–5562.
 48. Xu, J. et al. "A robust and versatile photoinduced living polymerization of conjugated and unconjugated monomers and its oxygen tolerance." *J. Am. Chem. Soc.* **2014**, *136*, 5508–5519.
 49. Xu, J., Jung, K. & Boyer, C. "Oxygen tolerance study of photoinduced electron transfer-reversible addition-fragmentation chain transfer (PET-RAFT) polymerization mediated by Ru(bpy)₃Cl₂." *Macromolecules* **2014**, *47*, 4217–4229.
 50. Gormley, A. J. et al. "An oxygen-tolerant PET-RAFT polymerization for screening structure-activity relationships." *Angew. Chem. Int. Ed.* **2018**, *57*, 1557–1562.
 51. Wu, C. et al. "Chlorophyll a crude extract: efficient photo-degradable photocatalyst for PET-RAFT polymerization." *Chem. Commun.* **2017**, *53*, 12560–12563.
 52. Xu, J. et al. "Organo-photocatalysts for photoinduced electron transfer-reversible addition-fragmentation chain transfer (PET-RAFT) polymerization." *Polym. Chem.* **2015**, *6*, 5615–5624.
 53. Shanmugam, S., Xu, J. & Boyer, C. "Exploiting metalloporphyrins for selective living radical polymerization tunable over visible wavelengths." *J. Am. Chem. Soc.* **2015**, *137*, 9174–9185.
 54. Theriot, J. C., Miyake, G. M. & Boyer, C. A. N, N-diaryl dihydrophenazines as photoredox catalysts for PET-RAFT and sequential PET-RAFT/O-ATRP." *ACS Macro Lett.* **2018**, *7*, 662–666.
 55. Wu, C. et al. "Guiding the design of organic photocatalyst for PET-RAFT Polymerization: halogenated xanthene dyes." *Macromolecules* **2019**, *52*, 236–248.
 56. Chen, M. et al. "Logic-controlled radical polymerization with heat and light: multiple-stimuli switching of polymer chain growth via a recyclable, thermally responsive gel photoredox catalyst." *J. Am. Chem. Soc.* **2017**, *139*, 2257–2266.
 57. Chen, M. et al. "Living additive manufacturing: transformation of parent gels into diversely functionalized daughter gels made possible by visible light photoredox catalysis." *ACS Cent. Sci.* **2017**, *3*, 124–134.
 58. Tucker, B. S. et al. "Grafting-from proteins using metal-free PET-RAFT polymerizations under mild visible-light irradiation." *ACS Macro Lett.* **2017**, *6*, 452–457.
 59. Wu, C. et al. "Computer-guided discovery of a pH-responsive organic photocatalyst and application for pH and light dual-gated polymerization." *J. Am. Chem. Soc.* **2020**, *141*, 8207–8220.
 60. Corrigan, N. et al. "Seeing the light: advancing materials chemistry through photopolymerization." *Angew. Chem. Int. Ed.* **2019**, *58*, 5170–5189.
 61. Chen, M., Zhong, M. & Johnson, J. A. "Light-controlled radical polymerization: mechanisms, methods, and applications." *Chem. Rev.* **2016**, *116*, 10167–10211.
 62. Lee, Y., Boyer, C. & Kwon, M. S. "Photocontrolled RAFT polymerization: past, present, and future." *Chem. Soc. Rev.* **2023**, *52*, 3035–3097.
 63. Niu, J. et al. "Engineering live cell surfaces with functional polymers via cyto-compatible controlled radical polymerization." *Nat. Chem.* **2017**, *9*, 537–545.
 64. Jung, K. et al. "Designing with light: advanced 2D, 3D, and 4D materials." *Adv. Mater.* **2020**, *32*, 1–21.
 65. Figg, C. A. et al. "Polymerization-induced thermal self-assembly (PITSA)." *Chem. Sci.* **2015**, *6*, 1230–1236.
 66. Penfold, N. J. W. et al. "Emerging trends in polymerization-induced self-assembly." *ACS Macro Lett.* **2019**, *8*, 1029–1054.
 67. Corrigan, N. et al. "Exploration of the PET-RAFT initiation mechanism for two commonly used photocatalysts." *ChemPhotoChem* **2019**, *3*, 1193–1199.
 68. Kuhn, L. R. et al. "Using kinetic modeling and experimental data to evaluate mechanisms in PET-RAFT." *J. Polym. Sci.* **2020**, *58*, 139–144.

69. Yu, C. et al. Silver sulfide nanocrystals as a biocompatible and full-spectrum photocatalyst for efficient light-driven polymerization under aqueous and ambient conditions." *ACS Catal.* **2023**, *13*, 665–680.
70. Bamford, C. H., Dewar, M. J. S. "Photosensitization by vat dyes." *Nature* **1949**, *163*, 214.
71. Bamford, C. H., Dewar, M. J. S. "Photosensitisation and tendering by vat dyes." *J. Soc. Dye. Colour.* **1949**, *65*, 674–681.
72. Oster, B. G. "Dye-sensitized photopolymerization." *Nature* **1954**, *17*, 300–301.
73. Lalevée, J. et al. "Metal and metal-free photocatalysts: mechanistic approach and application as photoinitiators of photopolymerization." *Beilstein J. Org. Chem.* **2014**, *10*, 863–876.
74. Dietlin, C. et al. "Photopolymerization upon LEDs: new photoinitiating systems and strategies." *Polym. Chem.* **2015**, *6*, 3895–3912.
75. Chen, H. et al. "Novel D- π -A and A- π -D- π -A three-component photoinitiating systems based on carbazole/triphenylamino based chalcones and application in 3D and 4D printing." *Polym. Chem.* **2020**, *11*, 6512–6528.
76. Ferracane, J. L. "Resin composite - state of the art." *Dent. Mater.* **2011**, *27*, 29–38.
77. Sprick, E. et al. "New hydrogen donors for amine-free photoinitiating systems in dental materials." *Dent. Mater.* **2021**, *37*, 382–390.
78. Ligon, S. C. et al. "Polymers for 3D printing and customized additive manufacturing." *Chem. Rev.* **2017**, *117*, 10212–10290.
79. Ahn, D. et al. "Rapid high-resolution visible light 3D printing." *ACS Cent. Sci.* **2020**, *6*, 1555–1563.
80. Back, J. et al. "Visible light curable acrylic resins toward UV-light blocking adhesives for foldable displays." *Adv. Mater.* **2022**, *2022*, 2204776.
81. Back, J. H. et al. "Synthesis of solvent-free acrylic pressure-sensitive adhesives: via visible-light-driven photocatalytic radical polymerization without additives." *Green Chem.* **2020**, *22*, 8289–8297.
82. Back, J. et al. "Adhesives via photoredox-mediated radical polymerization." *Molecules* **2021**, *26*, 385–396.
83. Lalevée, J. et al. "Green bulb light source induced epoxy cationic polymerization under air using tris(2,2'-bipyridine)ruthenium(II) and silyl radicals." *Macromolecules* **2010**, *43*, 10191–10195.
84. Al Mousawi, A. et al. "Carbazole derivatives with thermally activated delayed fluorescence property as photoinitiators/photoredox catalysts for LED 3D printing Technology." *Macromolecules* **2017**, *50*, 4913–4926.
85. Uddin, A. et al. "Do the twist: efficient heavy-atom-free visible light polymerization facilitated by spin-orbit charge transfer inter-system crossing." *Angew. Chem. Int. Ed.* **2023**, *62*, 1–8.



권용환 Yonghwan Kwon

- 울산과학기술원 화학과, 학사(2014.3–2018.2)
- 울산과학기술원 신소재공학부, 박사(2018.3–2023.2, 지도교수 : 권민상)
- 서울대학교 신소재공동연구소, 박사 후 연구원 (2023.3–현재, 지도교수 : 권민상)



전우진 Woojin Jeon

- 부산대학교 고분자공학과, 학사 (2017.3–2023.2)
- 서울대학교 재료공학과, 석·박통합과정 (2023.3–현재, 지도교수 : 권민상)



권민상 Min Sang Kwon

- 서울대학교 화학과, 재료공학과 학사(2002.3–2006.8)
- 서울대학교 화학과, 박사(2006.9–2011.2, 지도교수 : 이 은)
- 서울대학교 신소재공동연구소, 박사 후 연구원(2011.3–2013.2, 지도교수 : 박수영)
- University of Michigan, Ann Arbor 재료공학과, 박사 후 연구원(2013.3–2016.1, 지도교수 : 김진상)
- 울산과학기술원 신소재공학부, 조교수(2016.2–2020.2)
- 서울대학교 재료공학부, 조교수(2020.3–2022.2)
- 서울대학교 재료공학부, 부교수(2022.3–현재)

전기분석화학 연구 경험을 통해 본 ‘교육’과 ‘훈련’의 관계*

이종혁 | 서울대학교 교육종합연구원, huak123@gmail.com

서론

‘교육(education)’이라는 이름의 행위를 수행하고 연구하는 사람이라면 누구든 ‘더 나은 교육’에 대해 고민하며, 마땅히 그래야 한다. 그리고 이에 대한 나름의 답을 찾아보면 자연스럽게 더 근본적인 질문을 던지게 된다. 도대체 ‘교육이란 무엇인가?’

『교육학용어사전』[서울대학교 교육연구소, 1995]은 ‘교육’이란 용어를 “인간의 정신적·신체적 성장과 발달을 어떤 이상(理想)이나 목적, 혹은 가치기준에 의하여 통제하거나 조력(助力)하는 일련의 인위적 과정”이라고 정의한다. 이러한 정의에 따르면, 대학 교수, 학교 교사, 학원 강사 등 우리가 일반적으로 ‘교육’ 직종에 종사한다고 말하는 사람들 이외에도, 선수들을 관리하고 지도하는 스포츠팀 감독과 코치, 기업 인사팀의 인재개발(Human Resource Development; HRD) 직종 종사자도 일종의 교육 행위를 수행하고 있다. 비단 특정 직종에 종사하는 사람뿐만 아니라 부모가 자식을 기를 때, 직장 동료나 또래 친구들과 협업할 때 등 일상적인 상황에서도 우리는 교육으로 해석할 수 있는 상호작용을 수시로 주고받는다.

또한, 사람과 사람이 같은 시간, 같은 공간에서 직접 마주할 때만 교육이 성립하는 것만도 아니다. 우리는 책이나, 온라인 강의 영상 등의 형식을 통해서도 시공간을 뛰어넘는 교육을 말한다. 더 나아가, 명시적인 가르침이나 능동적

인 개입을 최소화하며 교수자가 학습자를 묵묵히 지켜보는 행위나, 스승의 가르침이 시간이 한참 지나서야 비로소 제자에게 와닿는 모습도 교육으로 해석할 수 있다. 『교육학용어사전』[서울대학교 교육연구소, 1995]은 교육의 이러한 폭넓은 양상을 다음과 같이 정리한다.

교육은 적어도 그것을 계획하고 주도하는 사람이나 사회의 의도를 내포하고 있다. 그 의도는 직접적이고 명시적인 것일 수도 있지만, 간접적이고 암시적일 수도 있다. 그것은 매우 단기적이고 미시적(微視的)일 수도 있으며, 장기적이고 거시적(巨視的)일 수도 있다.

이렇듯 교육이 실제 우리의 삶에 나타나는 양상은 매우 다채로우면서도 모호한 측면이 있다. 이 때문에 교육학자들은 ‘교육인 것’을 더 명료하게 개념화하고자 ‘교육이 아닌 것’과 대비해보는 방식의 접근을 취하곤 한다. 예컨대 교육을 ‘사회화(socialization)’와 대비하여, 사회화가 사회체제의 재생산에 중점을 두는 목표지향적 특징을 갖는데 반해, 교육은 더 나은 인간의 형성과 사회의 창조에 관심을 두는 과정지향적 특징을 갖는다고 분석하며 교육의 본질을 탐색한 사례[조용환, 1997]가 대표적이다.

‘교육이란 무엇인가?’라는 질문의 기나긴 역사 속에서 교육과 가장 흔히 대비되는 개념 중 하나는 ‘훈련(training)’일 것이다. 교육철학자 Peters(1966)는 훈련이 제한된 범

* 본 원고는 이종혁, “기초군사훈련의 ‘교육’과 ‘훈련’에 관한 선편 내러티브 : ‘훈련’ 개념 재고를 통한 화학 실험 경험의 재해석”, *교육문화연구*, 2021. 27(6), 715-737.의 일부 내용을 바탕으로 작성됨.

위의 사고방식이나 실천 기준에 맞게 사용되는 상황을 전제하여 특정 기술이나 능력을 습득시키는 것임에 반해, 교육은 더 포괄적인 신념 체계를 다루기 때문에 이 둘은 구별되어야 한다고 주장했다. 그는 교사 교육이 실현해야 할 일반적인 목적은 '훈련받은 교사(trained teacher)'가 아닌 '교육받은 교사(educated teacher)'를 양성하는 일이라고 강조하며 훈련의 속성으로 인해 교육의 본질이 흐려지는 것을 경계했다. Robinson & Aronica(2015)는 교육과 훈련의 차이를 분명하게 드러내는 사례로 "대다수 학부모는 십대 자녀들이 학교에서 성교육을 받는다고 하면 만족스러워할 테지만, 성훈련을 받는다고 하면 꺼려할 것"이라고 소개하며, 교육은 체계적 학습 프로그램으로, 훈련은 특정한 기술의 습득에 초점을 맞춘 교육의 한 종류로 구분하기도 했다. 우리나라 선행연구의 경우 조용환(2021)의 사례가 대표적인데, 그는 "강인한 단련이 필요한 경우에 때로는 훈련이 교육 장면에 섞여들 수"도 있다는 전제하에, 훈련이란 주로 스포츠, 무예 기술, 사무 등을 익히는 상황과 같이 일정한 목표와 성과를 겨냥하는 '단련' 과정이므로, 열려 있고 열여가는 과정인 교육의 개념과 구분할 필요성을 역설했다.

교육과 훈련을 대비하는 접근을 정리하면, 전반적으로 교육은 자유로운 학습자를 중심에 두고 개인의 창조성을 장기적으로 증진하는 측면을 강조하는 반면, 훈련은 권위적인 교수자가 중심이 되어 특정 기준에 맞는 기능, 기술 등의 습득을 목표로 하는 측면을 주로 강조한다. 이와 같은 교육과 훈련의 대비는 교육의 본질을 탐구하는 데 있어 유용한 접근이 될 수 있으나, 간혹 비교 대상이 되는 훈련을 행동주의 심리학의 '조건화(conditioning)' 개념과 연결하여 그 교육적 가치를 폄하한다는 비판도 존재한다. 이러한 이유로 Winch(1995)는 인간이 초기 도덕을 학습하는 경우를 포함하여 다양한 형태의 학습을 훈련으로 볼 수 있음에도 불구하고, 대다수 교육자는 훈련의 역할을 과소평가하는 경향이 있다고 지적했다.

우리가 '더 나은 교육'을 탐색하기 위해 '교육'과 '훈련'을 비교하고자 한다면, 이 둘에 대한 개념적인 고찰을 넘어

'교육'과 '훈련'의 경계가 모호한 현실의 상황을 면밀하게 살펴볼 필요가 있다. 이와 같은 맥락에서 본고는 내**가 과거 석사과정 재학 당시 전기분석화학 연구 과정에서 유리탄소전극(glassy carbon electrode)의 연마(polishing) 경험을 회상해 보고 이를 바탕으로 과학교육 맥락의 시사점을 탐색하고자 한다.

본론

1. 유리탄소전극 연마 방법에 대한 고민과 해결

2012년, 대학원 석사과정에 진학한 나는 유리탄소전극 표면을 개질하여 전기분석화학 기법으로 원하는 물질의 농도를 측정하는 센서 개발 연구를 시작했다. 전기분석화학 분야의 연구는 처음 해보는 것이라 아주 기초적인 실험 과정부터 하나씩 익혀야 했는데, 그 중 첫 단계는 [그림 1] [Elgrishi, *et al.*, 2018: Box 4]과 같이 실험에 사용할 전극을 갈아서 전극 표면 상태를 새것처럼 만드는 연마 작업이었다.

나는 십 수년간 연구실 선배들이 대대로 수행해 온 연마

Box 4. How to polish glassy carbon electrodes?

A simple way to polish electrodes is with figure-eight motions on a cloth polishing pad in a water-alumina slurry. When using circular motions, the polishing is often uneven, and the surface can become slanted.

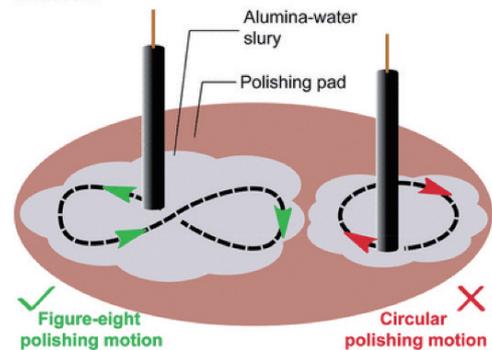


그림 1. 유리탄소전극의 연마 방법

** 본고는 개인의 경험을 객관적인 관점으로 일반화한 결과가 아닌, 상호주관성(inter-subjectivity)에 근거하여 해석한 과정임을 강조하는 질적 연구의 전통에 따라 1인칭 대명사를 사용한다.

절차를 직속 선배로부터 ‘교육’ 받았고 실험을 수행할 때마다 ‘교육’ 받은 바에 따라 그 과정을 충실히 따라 전극을 준비했다. 당시 배운 연마 절차를 간단히 소개하면 다음과 같다. 우선 연마 패드(polishing pad) 위에 0.3 μm 알루미나(alumina) 가루를 뿌리고 물에 잘 개어 현탁액(slurry) 상태를 만든다. 그리고 원통형 전극이 패드 표면과 수평을 유지하며 고르게 갈릴 수 있도록 8자 모양을 그리며 연마를 진행한다. 8자 모양을 100회 정도 그린 뒤에는 전극 표면에 묻은 알루미나 가루를 물로 씻어내고 0.05 μm 알루미나(alumina) 가루를 이용하여 위의 과정을 반복한다. 연마 과정이 끝나면 전극을 에탄올, 물 등의 용매에 차례로 넣어 초음파세척을 각각 10분가량 진행하여 미세한 알루미나 가루를 제거한다. 처음에는 골고루 알루미나 현탁액을 만드는 것도, 전극이 수직을 유지한 채 8자를 빠르게 그리는 것도 익숙하지 않았으나, 실험을 거듭할수록 점차 연마 과정이 손에 익는 것을 감각적으로 느낄 수 있었다.

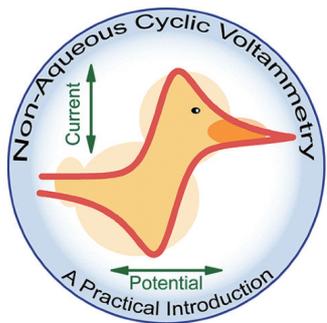


그림 2. 오리모양으로 표현한 CV 그래프 개형

전극 표면에 별다른 불순물이 없고, 표면의 원자가 균일하게 자리를 잡은 상태인지 알아보는 간단한 방법은 전극을 사용하여 순환전압전류법(cyclic voltammetry; CV)으로 $K_3[Fe(CN)_6]$ 와 같은 물질이 산화-환원 반응을 일으킬 때 발생하는 전류를 측정해 보는 것이다. 이때 산화 전류와 환원 전류가 각각 깔끔한 봉우리(peak)의 형태를 나타내면서 CV 그래프가 [그림 2] [Elgrishi, *et al.*, 2018: Graphical abstract]와 같이 오리(duck) 모양으로 그려지면, 일차적으로 전극의 표면이 깨끗하다고 판단할 수 있다.

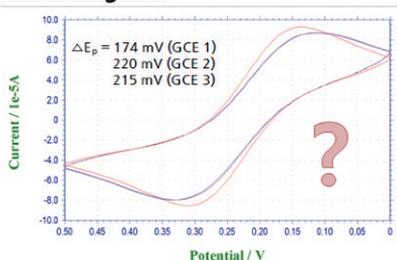
하지만 내가 신경을 써서 연마한 전극의 그래프는 만족스러울 정도로 또렷한 오리 모양을 나타내지는 않았으며, 같은 종류의 전극이라도 CV 그래프 모양에 조금씩 편차가 있었다. 나는 이것이 연마 숙련도 부족 때문이라 생각하고 연마를 할 때마다 선배들이 행해온 절차에서 내가 놓친 부분이 없었는지, 어느 단계를 주의해야 하는지 고민했다.

하지만 1년 가량이 지나도 원하는 만큼 깔끔하고 일관된 CV 그래프 모양을 얻지 못했고, 비로소 나는 선배들이 가르쳐 준 연마 절차에 의문을 제기하게 되었다. 절차의 문제점을 찾기 위해 알루미나 가루나 연마 패드의 제조 업체를 바꿔보기도 하고 초음파세척을 할 때 사용하는 용매의 종류를 바꿔보기도 하며 더 나은 방법을 찾기 위해 모색했다. 그러다가 CV 그래프 모양에 결정적인 영향을 미치는 요인으로 발견한 것이 ‘초음파세척 시간’이었다. 나는 기존과 같이 에탄올과 물에 각각 10분씩 초음파세척을 한 방법과, 아예 초음파세척을 생략한 방법, 두 가지 서로 다른 방법으로 유리탄소전극을 연마한 뒤 얻은 CV 그래프를 [그림 3]과

3. Results



✓ Voltammogram



3. Results



✓ Voltammogram (No Sonication)

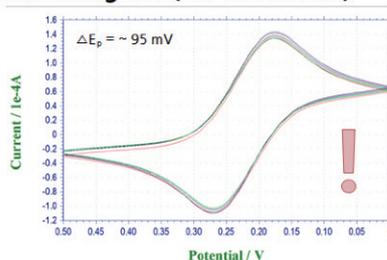


그림 3. (좌) 기존 연마 방법, (우) 초음파세척을 생략한 연마 방법의 CV 그래프

같이 비교하여 2013년 9월 14일 연구실 세미나 자리에서 보고했다.

[그림 3]에서 왼쪽과 비교하여 오른쪽 CV의 그래프는 산화, 환원 전류의 봉우리가 더 뚜렷할 뿐만 아니라 두 봉우리 사이의 간격도 줄어들었으며, 여러 전극의 CV 그래프를 겹쳐서 그려도 거의 일치하게 나오는 것을 확인할 수 있다. 다시 말해, 전극 연마 과정에서 초음파세척 단계를 생략함으로써 여러 유리탄소전극의 초기 상태를 더 안정적이고 균일하게 만들 수 있게 된 것이다. 일단 표면에 아무 처리를 하지 않은 전극 상태가 일관되기 때문에 그 이후에 전극 표면을 다양한 물질로 개질하더라도 더 균일한 실험 결과를 얻을 수 있었다. 이처럼 기초적인 수준에서 안정화된 실험 결과 덕분에 이어지는 더 복잡한 현상과 실험 결과를 원활하게 해석할 수 있었고, 최종적으로는 국제학술지에 논문을 게재하는 학술적인 성과를 거둘 수 있었다.

실제로 주요 유리탄소전극 제조 및 유통 업체에서는 연마 과정에서 전극이 과열되어 손상되는 것을 막기 위해 초음파세척 시간을 5분 이내로 할 것을 권장한다든가(BASi, n.d.), 연마 과정에 초음파세척을 언급하지 않거나(ALS, n.d.), 심지어는 전극의 손상을 막기 위해 초음파세척을 하지 말라고 안내하기도 한다(CH Instruments, n.d.). 하지만 2023년 현재까지도 여러 전기화학 논문에서 유리탄소전극의 연마를 위해 10분 이상 초음파세척을 하는 경우를 쉽게 찾을 수 있다[예: Hashemi, *et al.*; 2023; Uzun & Tabanlıgil, 2023].

2. 유리탄소전극 연마 과정을 통해 본 '교육'과 '훈련'의 관계

내가 연구실 선배들로부터 '교육' 받고 기존의 문헌자료로부터 배운 전통적 전극 연마 방법에 대해 다른 접근에도 전할 수 있었던 이유에 대해 고찰해 보면, 가장 먼저 수많은 연마 '훈련'을 통해 그 기능에 대한 자기 신뢰를 형성했다는 점이 주효했다. 하지만 '훈련'이라고 다 똑같은 훈련이 아니다. 기존의 '모범(exemplar)'을 익히는 정도로 그치지 않고 학습자가 처음에는 기대 또는 생각하지 못했던

기술, 능력, 사고 등 삶에 새로운 가능성을 열어가는 방향으로 나아갈 필요가 있으며, 이때 그들이 장기적으로 나름의 의미를 생성하고 변화를 만들어 내게끔 돕는 과정을 우리는 '교육'이라 해석해 볼 수 있다. 여기서 주목할 점은 자신만의 의미를 생성하는 단계에 도달하기 위해서는 기존에 존재하던 모범을 어느 정도 체화하는 '훈련'이 선행되어야 한다는 점이다. 이는 '훈련'***이 인간의 자기실현에 있어서 핵심적인 역할을 한다는 교육철학자 Bollnow(1978)의 주장과도 맞닿아 있다.

훈련에 전적으로 몰두하면 인간 자신 속에서—어느 정도는 외적 행동의 배후에서—어떤 변화가 일어난다. 즉, 거기서 그는 마치 스스로의 힘에 의한 듯이 올바른 삶의 상태로 이행한다. 이 올바른 삶의 상태는 아마도 어떤 다른 방식으로는 달성되기 어려웠을 것이다[Bollnow, 1978: 57f.; 정창호, 2012: 114에서 재인용].

연구실의 '모범'으로 전수되어 온 전극 연마 방법은 일정 부분 그 한계가 드러났지만, 오랜 기간 성공적으로 전극 표면의 초기 상태를 깨끗하고 균일하게 만드는 실험의 첫 단계로 충실하게 역할하고 있었다. 전기분석화학 분야의 실험을 처음 도전한 나에게는 기존의 전극 연마 방법을 통해 얻은 전극의 CV 그래프만으로도 충분히 안정적인 전극의 초기 상태로 인식됐다.

하지만 기존의 전통적인 전극 연마 방법에 점차 숙달되고 처음과 비교하여 점차 안정적인 CV 그래프를 얻어낼수록, 현재 수준 이상의 균일성과 이상적인 '오리 모양의 CV 그래프'를 얻기 위한 도전이 시작되었다. 즉 지속적인 전극 연마 훈련을 통해 나 스스로가 기존 방식을 충분히 체화했다는 믿음이 있었으며, 현재보다 더 좋은 CV 그래프를 얻기 위해서는 기존의 방식을 수정할 필요가 있음을 인식한 것이다. 이러한 점진적 발전은 역사적으로 과학이 진보해 온 동력으로서 Chang(2004)이 제안한 '인식적 반복(epistemic iteration)' 개념과도 궤를 같이한다.

*** 원문은 '훈련' 대신 '연습(Übung)'이라는 용어를 사용했으나, 연습과 훈련을 '개념적' 차원에서 구분하기 힘들다는 점에서 양자를 같은 것으로 보고(정창호, 2019), 본고에서는 '훈련'으로 통일함.

인식적 반복은 우리가 처음에 기존의 지식 체계를 어느 정도 존중하면서도 다 옳다고 굳게 믿지는 않은 채 그것을 채용하는 데에서 시작한다. 우리는 처음에는 확증된 체계에 기초하면서도 초기의 체계를 다듬거나 심지어 교정하는 결과로 이어지는 탐구에 나선다. 과학에서 성공적인 발전 과정을 소급적용해 정당화하는 것은 바로 이런 자기 교정의 과정이지 의심을 품을 수 없는 어떤 기초에 의거한 확신은 아니다[Chang, 2004: 32].

나의 전기분석화학 실험 경험에 따르면, 성공적인 ‘인식적 반복’에는 세 가지 조건이 필요하다. 첫째, 과학자 또는 학습자가 그 가치를 인정할 수 있는 초기의 지식, 개념, 기술 등과 관련된 체계가 존재해야 한다. 나의 경우에는 초음파세척을 사용한 연구실의 전통적 전극 연마 방법이 이에 해당한다. 과거에 해당 방식으로 선배 연구자들은 성공적인 연구 성과를 거두었으며, 이론적으로 초음파세척은 전극 표면에 붙어 있는 미세한 입자를 제거하는 방법이므로 각 단계의 필요성도 충분히 받아들일 수 있었다.

둘째, 과학자 또는 학습자가 초기의 체계를 활용할 때 일어나는 세계의 변화를 감지할 수 있어야 한다. 예를 들어, 아무리 이상적인 전극 연마 방법이 존재한다 해도 정말로 연마가 잘 되었는지 확인할 방법이 없다면, 우리는 더 나은 방향이 어디인지 알 길이 없으며, 결과적으로 성공적인 ‘인식적 반복’도 달성할 수 없다. 이는 인간과 주위 환경이 상호작용함으로써 물리적 세계를 변화시키고 동시에 인간 스스로 의미를 생성해 나가는 과정의 중요성을 보여준다.

마지막으로, 과학자 또는 학습자가 초기의 체계에 충분히 숙달되어야 한다. 현대의 교육관은 연습, 반복, 숙달과 같은 훈련의 양상을 행동주의 관점과 연결하여 그 가치를 평가절하해 온 측면이 있다. 하지만 성공적인 ‘인식적 반복’이 이루어지기 위해서는 훈련의 과정을 통해 우리가 어느 정도 존중할 만한 초기의 체계를 충분히 체화하는 과정이 선행되어야 하며, 이에 기반해야만 초기의 체계가 갖는 한계를 명확히 인식하고 더 나은 방향을 탐색할 수 있다.

결론

이번 고찰을 통해 내가 잠정적으로 정리한 ‘교육’과 ‘훈련’의 관계는 Winch(1995)의 주장과 맥을 같이 한다. 즉,

“교육에는 훈련이 필요하다(Education Needs Training).” 비록 훈련이 일정한 목표와 성과를 겨냥하는 ‘달린’ 과정[조용환, 2021]이라 할지라도, 훈련은 새로운 가능성을 창조하고 열린 과정으로 나아가는 데 필요한 신체적, 정신적 기반을 형성하는 핵심적인 행위이다. 과학교육의 상황을 상정해 본다면, 과학 고유의 언어와 체계화된 지식을 학습하는 것, 물질의 관점으로 세계를 바라보고 해석하는 관점을 받아들이는 것, 특히 과학을 다른 학문과 차별화하는 ‘실험’의 측면에서 낯선 도구 사용법이나 연구 절차를 체화하는 것 모두 훈련의 과정이다. 훈련을 통해 구축한 기반을 바탕으로 우리는 그전까지는 할 수 없었던 것, 알 수 없었던 것을 조금씩 해낼 수 있고, 그럼으로써 우리의 삶에 새로운 가능성과 의미가 점차 다가오게 된다.

물론 교육에는 훈련이 필요하다고 해서 모든 훈련은 교육이라고 할 수 없다. 따라서 교육과 훈련을 대비하여 교육의 본질을 탐색해 온 시도는 여전히 우리에게 중요한 시사점을 제공한다. 하지만 그에 못지않게, 또는 보다 중요한 접근은 교육과 훈련의 상생을 모색하는 것이며, 특히 성공적인 교육을 위한 훈련은 어떠한지 고민하는 것이다.

Tatsuru(2005)는 우리가 운전학원 강사와 F1 드라이버에게 각각 운전 강습을 받는 상황을 가정하며 교육의 본질적 속성을 논의한다. 그는 두 사람이 우리에게 자동차 운전이라는 똑같은 기술을 가르쳤음에도 우리가 다른 것을 배운다는 점을 지적한다. 운전학원 강사에게는 ‘정량적인 기술’을 배우고 ‘다른 사람과 같은 수준에 도달했는가?’를 평가받는 것에 반해, F1 드라이버에게는 ‘기술은 정량적인 것이 아니라’는 것을 배우고 ‘다른 사람과 어떻게 다른가?’를 평가받는다는 것이다. 요컨대 같은 기술을 익히더라도 ‘이걸 할 수 있으면 된거야’라는 것과 ‘배움에는 끝이 없다’라는 것 사이에는 어마어마한 간극이 있다. 이러한 관점을 받아들인다면 학습자가 훈련을 통해 익히는 지식, 관점, 기술 그 너머에 아직 도달하지 못한 단계가 있음을 지속적으로 재인식하는 과정은 교육이 이루어지기 위한 필수요소라고 할 수 있다.

우리에게 ‘교육’은 주로 강의실에 앉아 교수자가 준비한 강의자료를 읽으며 강의를 듣는 방식으로 인식되며, ‘훈련’은 몸을 움직여 특정 기술과 동작을 체화시키는 형태로 인식되곤 한다. 즉 교육은 ‘정신’을, 훈련은 ‘육체’를 변화시키는 행위로 개념화된다.

이와 같은 교육/훈련의 이원적 개념은 정신/육체를 분리

해서 생각해 온 오래된 통념에 기반을 두었다고 볼 수 있다. 고대 그리스까지 거슬러 올라가 보면 철학자 Plato는 세계를 이데아(eidos)의 세계와 현상의 세계로 구분했는데, 이데아의 세계는 이성으로만 인식 가능한 완전하고 불변하는 절대적 참의 세계로, 현상의 세계는 감각으로 지각되는 잠정적이고 불완전한 이데아의 그림자로 묘사했다. 이러한 Plato의 이원론이 중세 기독교와 결합하게 되면서 육체는 소멸하여 사라지는 불완전한 것으로, 영혼은 영원불멸하는 것으로 묘사되었으며, 시간이 지나 인간은 육체로 말미암은 원죄를 극복하고 영혼의 불멸성을 추구해야 한다는 사상으로까지 발전하였다.

그간 '고결한 정신'에서 비롯된 '비판적 사고'나 '과학적 추론' 역량을 함양하는 '교육'을 강조해 온 과학 교과는 '불결한 육체'와 연결된 '기술'이나 '훈련'이라는 개념과 용어를 상대적으로 터부시해 온 측면이 없지 않다. 만약 정신/육체의 이분법에서 벗어나, '존중할 가치가 있으나 절대적이지는 않은 전통적 모범을 체화하는 과정'으로 훈련을

바라본다면, 우리는 훈련의 진정한 교육적 가치를 재발견할 수 있지 않을까? 과학교육 현장에서 홀대받는 신체에 관해 재고하는 다양한 시도를 기대하며, '몸(body)'의 중요성을 강조한 Lakoff & Johnson[1999: 13]의 글로 본고를 마무리 짓고자 한다. ☺

지난 20여 년 동안 인지과학에서의 탐구는 철학에 심오한 함의를 갖는, 마음과 사고, 언어에 관해 흥미로운 새로운 것들을 발견했다. ... 가장 주목할 만한 두 가지 발견은, 먼저 인간의 의미와 개념화 사유 작용이 신체적 경험, 특히 감각운동 경험에 근거한다는 것이며, 둘째, 이성의 이러한 신체화된 양식이 개념적 은유의 상상적 기제를 통해 추상적 사고에 이르는 것이다. 마음과 사고에 관한 이러한 경험적 탐구에 관해 알게 되면서 우리는 그것이 우리의 서구적인 철학적·종교적 전통으로부터 물려받은 마음과 언어에 관한 거의 대부분의 주된 철학적 가정들에 대해 의문을 제기한다는 것을 깨닫게 되었다.



1. 서울대학교 교육연구소(1995). **교육학용어사전**. 서울: 하우동설.
2. 정창호(2012). 연습의 교육적 의미에 대한 고찰: Bollnow의 견해를 중심으로. **교육의 이론과 실천**, 17(3), 99-124.
3. 정창호(2019). 훈련과 교육의 재고찰. **교육연구논총**, 40(3), 17-38.
4. 조용환(1997). **사회화와 교육: 부족사회 문화전승 과정의 교육학적 재검토**. 서울: 교육과학사.
5. 조용환(2021). **교육다운 교육**. 서울: 바른북스.
6. ALS. (n.d.). Polishing of General Working Electrode, <https://www.als-japan.com/1735.html>에서 2023. 12. 4. 인출
7. BASI. (n.d.). POLISHING GLASSY CARBON, SILVER, AND NICKEL, https://www.basinc.com/manuals/LC_epsilon/Maintenance/Working/working에서 2023. 12. 4. 인출
8. Bollnow, O. (1978). Vom Geist des *Übens*. *Eine Rückbesinnung auf elementare didaktische Erfahrung*. Freiburg: Herderbücherei.
9. CH Instruments. (n.d.). CHI 104 Glassy Carbon Disk Working Electrode, <https://www.electrochemistry.co.kr/ctlg/CHI104.pdf>에서 2023. 12. 4. 인출
10. Chang, H. (2004). *Inventing temperature: Measurement and scientific progress*. 오철우(역)(2013). **온도계의 철학**. 서울: 동아시아.
11. Elgrishi, N., Rountree, K. J., McCarthy, B. D., Rountree, E. S., Eisenhart, T. T., & Dempsey, J. L. (2018). A practical beginner's guide to cyclic voltammetry. *Journal of Chemical Education*, 95(2), 197-206.
12. Hashemi, S., Afkhami, A., Kamalabadi, M., Madrakian, T., Ghoorchian, A., & Ghasemzadeh-Mohammadi, V. (2023). Electrochemical determination of cyanuric acid using the signal suppression of melamine on an overoxidized Poly-(para-aminophenol) coated glassy carbon electrode. *Journal of Applied Electrochemistry*, 53, 2483-2493.
13. Lakoff, G. & Johnson, M. (1999). *Philosophy in the flesh: The embodied mind and its challenge to western thought*. 임지룡 외(역)(2002). **몸의 철학**. 서울: 박이정.
14. Peters, R. S. (1966). *Ethics and education*. London : George Allen & Unwin.
15. Robinson, K. & Aronica, L. (2015). *Creative schools: Revolutionizing education from the ground up*. 정미나(역)(2015). **학교혁명**. 경기: 21세기북스.
16. Tatsuru, U. (2005). *先生はえらい*. 박동섭(역)(2012). **스승은 있다**. 서울: 민들레.
17. Uzun, D. & Tabanlıgil Calam, T. (2023). Electrochemical Behavior and Ultrasensitive, Simple and Effective Voltammetric Determination of Acetaminophen Using Modified Glassy Carbon Electrode Based on 4-Hydroxyquinoline-3-carboxylic Acid. *Electroanalysis*, 35(4), e202200182.
18. Winch, C. (1995). Education needs training. *Oxford Review of Education*, 21(3), 315-325.



이종혁 Lee, Jong-Hyeok

- 한국과학기술원(KAIST) 화학과, 학사(2006.3-2010.8.)
- 서울대학교 대학원 과학교육과(화학전공), 석사(2012.3-2014.8. 지도교수 : 홍훈기)
- 서울대학교 대학원 과학교육과(화학전공), 박사(2014.9-2020.8. 지도교수 : 홍훈기)
- 서울대학교 교육종합연구원 객원연구원(2020.9-현재)

첨단 반응동역학 연구단

Center for Advanced Reaction Dynamics
(CARD)

“화학 및 생물학적 반응의
시작에서 끝까지 그 모든 과정을 포착”

촉매 반응이나 생물학적 반응과 같은 화학 반응을 이해하기 위하여 연구자들은 지금까지 주로 실험을 통한 직접적인 반응 경로의 관찰보다는 이론 계산이나 생성물 분석 등의 간접적인 방법에 의존하여 왔다. 첨단 반응동역학 연구단(Center for Advanced Reaction Dynamics)은 정확한 실험적인 관찰을 통해 화학 반응의 메커니즘을 직접적으로 이해할 수 있는 기법을 정립하여, 화학 반응의 조건을 합리적으로 개선할 뿐만 아니라 화학 반응을 원하는 대로 제어할 수 있는 근본 원리를 제공하고자 한다.

우리 연구단은 물리화학 분야에서 주로 연구되어 온 가역적인 광반응 뿐만 아니라 일반적인 화학 및 생물학적 반응에 적용할 수 있는 실험적인 기법을 확립하여 반응 메커니즘을 이해하기 위한 강력한 기반을 제공할 것이다. 극초단 엑스선 펄스 및 전자 펄스를 활용한 시간분해 실험 및 시간분해 분광학 실험, 그리고 이론계산 및 전산모사와 같은 다양한 첨단 기법을 다방면으로 활용하여 반응 동역학, 특히 반응의 초고속 구조동역학을 이해하고자 하며 이를 위한 새로운 시간분해 실험기법과 데이터 분석기법 개발에도 매진하고 있다.

Project 1 초고속 엑스선 용액산란을 이용한 구조 동역학 연구

우리 연구단은 엑스선 산란이나 전자 회절 등을 이용하여 펨토초 단위의 구조 및 파동 다발의 움직임을 직접 관찰할 수 있는 도구를 개발해왔다. 대표적으로 초고속 엑스선 액체구조학(time-resolved X-ray liquidography, TRXL)을 기반으로 금 시안화물([Au(CN)₂]³⁻)의 금 원자들 사이에 화학 결합이 만들어질 때 금 원자의 변위를 수십 펨토초 간격으로 추적하여 다차원 포텐셜 에너지 표면에서 파동 다발(wavepacket)의 동역학을 관찰[Nature 2020, 582, 520]하였다[그림 1]. 또한 용액 상에서 삼아이오딘화 이온(I₃⁻)이 광여기할 때 일어나는 구조 변화와 이온 내의 전하 분포 변화를 관찰하고, 나아가 두 변화의 상관관계까지 밝혀냈으며, 분자의 배향을 명확히 관찰할 수 있는 새로운 분석 기법을 제시[Nat. Commun. 2022, 13, 522]하였다는 점에서 큰 주목을 받았다[그림 2].

나아가 파동 다발의 다차원 공간상에서의 위치와 궤적뿐만 아니라, 시간에 따른 섬세한 모양의 변화까지도 포착하는 것이 다음 목표이다. 이를 위해서는 이방성 신호의 분리 및 분석을 통하여 화학 반응 중에 일어나는 원자의 위치 및 배향의 변화를 관찰하여 파동 다발의 위치 동역학, 파동 다발의 모양 정보, 그리고 궁극적으로 파동 다발의 경로를 결정짓는 포텐셜 에너지 표면의 모양 정보까지 실험적, 정량적으로 규명하는 것이 필요하다. 또한 산란 단면적이 작지만 많은 화학 반응에 관여하는 가벼운 원자의 반응 동역학을 관찰하기 위하여 신호대 잡음비를 개선하고, 측정 결과에서 실제 분자의 반응 동역학 관련 신호만 추출하는 대수학적 분석 기법을 개발하는 등 시간분해 엑스선 산란의 측정 및 분석 기법을 발전시켜서 더욱 다양한 분자의 화학 반응을 관찰할 계획이다.

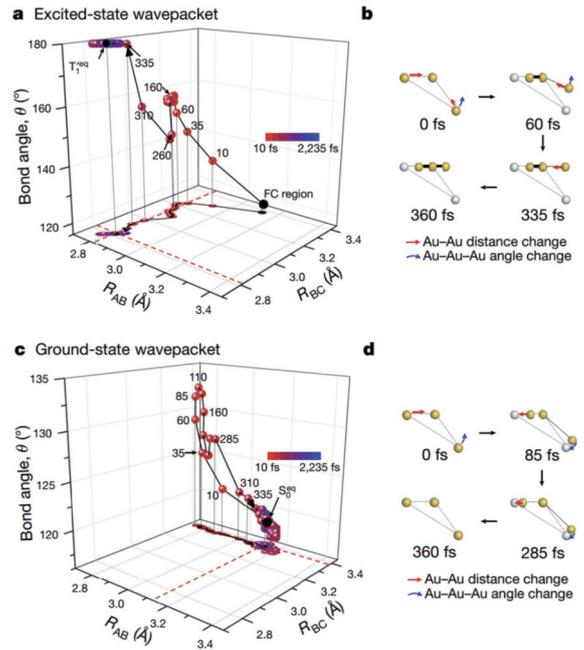


그림 1. 여기 상태와 바닥 상태의 파동 다발 경로. (a) 여기 상태의 파동 다발의 움직임. (b) 시간별 여기 상태의 구조 변화. (c) 바닥 상태의 파동 다발의 움직임. (d) 시간별 바닥 상태의 구조 변화[Nature 2020, 582, 520]

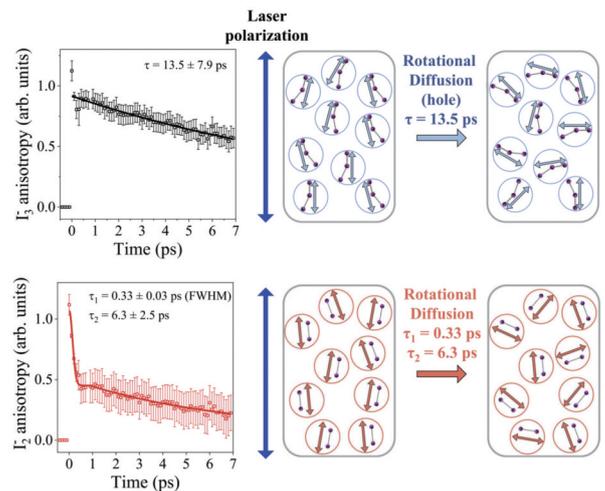


그림 2. 비등방 성분 기반의 구조 동역학 분석. I₃⁻(위)와 I₂⁻(아래)의 회전 확산[Nat. Commun. 2022, 13, 522]

Project 2 생체고분자의 구조 동역학 연구

거대 분자를 대상으로 하는 구조 동역학 연구의 대표적인 성과로 TRXL을 이용하여 파이토크롬이 광여기 될 때 중앙 나선의 구조가 변화하고, 파이토크롬의 종에 따라 단백질의 구조 변화가 달라진다는 관찰하여 단백질의 구조 동역학을 규명[*Sci. Adv.* **2022**, *8*, eabm6278]한 연구가 있다[그림 3]. 또한 금 나노입자를 표지하여 작은 단백질의 형태 변화를 직접 정량화할 수 있는 새로운 방법을 개발하고, 이를 통해 칼슘 이온이 결합하는 단백질인 칼모듈린(calmodulin)에 신경독성 단백질인 아밀로이드베타(amyloid beta)25-35가 부착되었을 때의 구조 변화를 관찰[*Nano Lett.* **2023**, *23*, 3334]하였다.

단백질과 같은 대부분의 생체분자 반응은 비가역적 특성을 가지거나, 반응을 개시하는 레이저에 의해 활성화되지 않는 경우가 빈번한데, 이 때는 시료의 재사용이 어렵다. 이와 같이 TRXL에서 다량의 시료가 필요한 점을 극복하기 위하여 효율적인 시료 전달 시스템인 시간분해 연속 결정법(time-resolved serial femtosecond X-ray crystallography, TR-SFX) 방법이 사용되고 있다. 또한 실제 반응이 일어나는 정확한 메커니즘을 원자 수준의 해상도로 규명하기 위하여 목표단백질에 이형단백질을 결합시켜 결정 상태에서 목표단백질의 분자 배치를 용액상과 같이 자유롭게 움직일 수 있는 방법론을 개발 중이다. 이 방법론을 TR-SFX와 접목시켜 수백 마이크로그램 정도의 적은 양의 시료에서 다양한 생체분자의 반응 메커니즘을 규명하고자 한다.

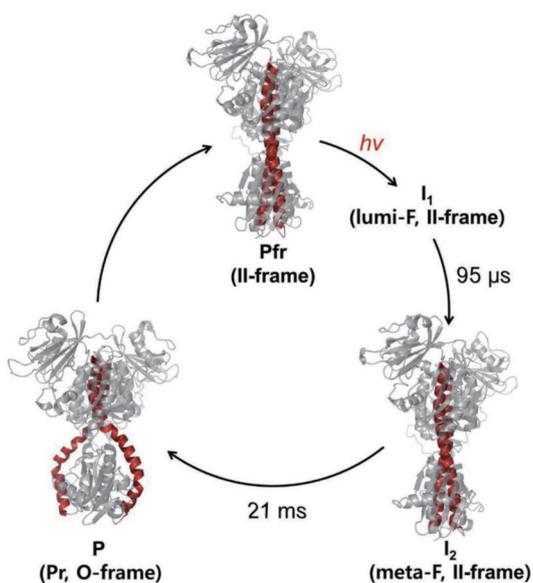


그림 3. 박테리오파이토크롬 PaBphP의 광주기 구조 동역학 [*Sci. Adv.* **2022**, *8*, eabm6278]

Project 3 시간분해 연속 결정법을 통한 분자 구조동역학 연구

앞서 기술한대로 시간분해 연속 결정법(TR-SFX)은 단백질의 구조 동역학을 시각화하는 데 강력한 도구로 잘 알려져 있다. 우리 연구단은 Fe-포르피린과 Zr₆노드로 구성된 금속-유기 프레임워크(metal-organic framework, MOF)에 TR-SFX 기술을 접목시켜 구조 역학을 규명[*Nat. Chem.*, *accepted*]하였다[그림 4]. 시간 경과에 따른 전자 밀도의 변화로부터 1) Zr과 Fe 원자의 일관된 진동 운동, 2) Fe-포르피린과 Zr₆노드가 각각 도밍(doming) 및 무질서 운동을 겪는 과도 구조, 3) 높은 진동 에너지의 등방성 구조 변화 등 세 가지 구조 경로가 존재함을 밝혔다. 이 연구를 통해 TR-SFX 측정법이 화학 시스템에까지 적용 가능성을 실증하였다.

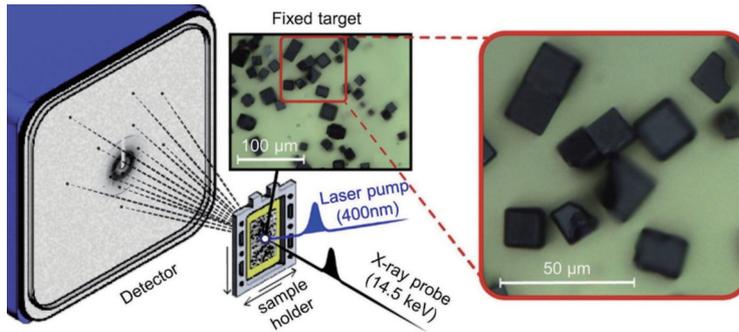


그림 4. TR-SFX 측정의 개략도[Nat. Chem., accepted]

Project 4 기체상 시간분해 전자회절을 통한 분자 구조동역학 연구

초고속 전자 회절(ultrafast electron diffraction, UED)은 물질을 구성하는 원자나 분자의 운동을 극초단 전자빔의 회절 패턴을 측정하여 분석하는 도구이다. 우리 연구단에서는 MeV-UED을 이용하여 할로늄 이온의 하나인 1,3-다이브로모프로판(dibromopropane, DBP)에서 파생된 양이온의 형성과 구조 동역학을 면밀히 모니터링[Nature, accepted]하였다[그림 5]. 공명 강화 다중 광자 이온화를 통해 생성된 DBP⁺ 양이온은 바닥 상태와 구조적으로 구별할 수 없는 상태, 즉 “암흑 상태(dark state)”로 상당한 시간(3.6 피코초)동안 유지되는 흥미로운 현상을 발견하였다. 이후 DBP⁺ 양이온은 붕괴되어 브롬 원자가 느슨하게 결합된 중간체인 *iso*-DBP⁺를 형성한 뒤, 브롬 원자는 해리되어 브로모늄 이온을 생성함을 확인하였다. 이 연구는 시간 분해 산란에 적합한 이온을 생성하고 이온화된 종의 산란 패턴을 분석하는 프로토콜을 도입함으로써, 기체상에서 이온 종의 초고속 구조 동역학을 이해하는데 중요한 진전을 이루었다는 데 그 의미가 있다.

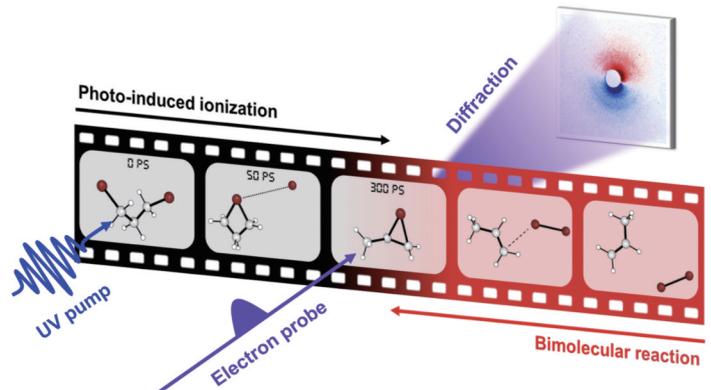


그림 5. 1,3-dibromopropane (DBP) 분자에서 파생된 양이온의 형성과 구조 변화 모니터링 개략도[Nature, accepted]

Project 5 시간분해 분광학 기반의 반응 동역학 연구

시간분해 분광학(time-resolved spectroscopy) 기법을 사용하여 이리듐 화합물에서 일어나는 양성자 결합 전자 전달(proton-coupled electron transfer, PCET) 과정에서 비양성자성(aprotic) 용매에서는 분자 내

양성자의 전달(excited-state intramolecular proton transfer, ESIPT)이 전자의 이동(charge transfer, CT)보다 먼저 일어나는 반면, 양성자성(protic) 용매에서는 이와 다르게 CT가 ESIPT보다 먼저 일어난다는 것을 규명하였고, 양성자성 용매보다 비양성자성 용매에서 금속으로부터 리간드로의 전하 전달이 더 빠르게 일어나는 현상의 원인을 밝혀[*Chem. Sci.* 2022, 13, 3809]내었다[그림 6]. 또한 공유결합으로 연결된 이합체 분자의 시간분해 분광 분석을 통해 이러한 이합체의 분자 구성이 단일항 분열(singlet fission)의 동역학에서 중요한 역할을 한다는 것을 밝혔다[*Commun. Chem.* 2023, 6, 16]. 이처럼 화합물의 양성자 및 전자 전달 과정의 근원적인 이해를 통해, 광촉매 등의 개발에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

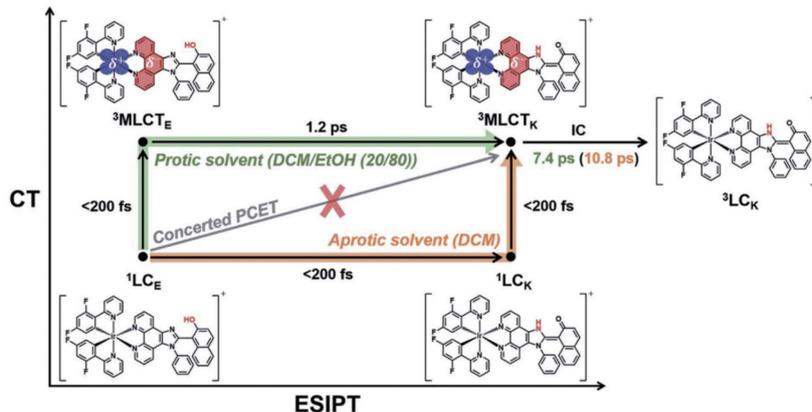


그림 6. 양성자성 및 비양성자성 용매 내에서 이리돔 화합물의 PCET 과정에서 여기 상태 이완 동역학[*Chem. Sci.* 2022, 13, 3809]

About

ibs 기초과학연구원(IBS) 첨단 반응동역학 연구단(Center for Advanced Reaction Dynamics, CARD)



이효철 단장
KAIST 화학과 교수

이효철 KAIST 교수는 한국과학기술원(KAIST)에서 학사(1994)를 졸업하고, 캘리포니아 공과대학교(California Institute of Technology)에서 박사(2001) 학위를 취득하였다. 캘리포니아 공과대학교와 시카고대학교에서 박사 후 연구를 거쳐, KAIST 화학과 임용(2003) 후, 창의적연구진흥사업(National Creative Research Initiatives by MOST/KOSEF)의 연구단장(2007-2012)을 역임하였다. 이후 기초과학연구원(Institute for Basic Science)에서 그룹 리더(2012-2015), 부단장(2015-2021)을 역임하였으며, 2021년부터 현재까지 기초과학연구원(IBS) 첨단 반응동역학 연구단의 단장으로 재직 중이다.

KAIST 부임 이후 작은 유기 분자부터 큰 생체분자까지 다양한 분자에 대한 구조와 동역학을 탐구하며 화학 반응의 기본 원리를 밝혀내고 있다. 2005년에는 “용액상 엑스선 구조 동역학(TRXL)” 분야를 개척하여 기존 한계를 극복하였으며, 2015년에는 “화학결합 형성 과정”을 실시간으로 관측하는 연구로 국제적 주목을 받았다. 2020년에는 반응의 경과에 따른 분자 내 모든 원자들의 시간공간적 궤적을 실험적으로 완벽하게 측정하는데 성공하는 연구 성과를 발표하며 화학 분야의 숙원 과제를 하나씩 해결하였다. 이러한 연구 성과를 인정 받아 ‘동아일보 한국을 빛낼 100인’에 선정되었으며, ‘3.1 문화상’, ‘경암 학술상’ 등을 수상하였다.



항바이러스 Z-핵산 유도체 기초연구실

“인플루엔자바이러스 특이적 결합 Z-DNA
유도체 개발 및 이를 활용한 연구...
감염병 제어를 위한 기초기술 확립”



경상남도 진주시 진주대로 501, 경상국립대학교 자연
과학대학 2호관 생체분자자기공명연구실 (352동 431호)

☎ 055) 772-1490

✉ joonhwa@gnu.ac.kr

🔍 <http://nmrlab.gnu.ac.kr/>

경상국립대학교의 항바이러스 Z-핵산 유도체 기초연구실(연구책임자: 이준화 교수)에서 진행되는 연구는 생화학, 바이러스, 전기화학 전문가가 참여하여 인플루엔자 바이러스와 선택적으로 결합하는 Z-DNA를 이용해 바이러스를 검출하고 제어하는 시스템 개발을 목표로 한다.

연구팀은 세 가지 핵심 목표에 집중하고 있다. 첫 번째는 염기서열 의존성이 없는 Z-DNA 유도체의 개발이다. 이를 통해 바이러스 프로모터 RNA와의 상호작용 및 면역 단백질 ZBP-1과의 결합을 연구하여, Z-DNA 기반의 항바이러스 면역기작을 탐구하고자 한다. 두 번째 목표는 개발된 Z-DNA 유도체를 사용하여 바이러스 증식을 억제하는 방법 모색을 통해 바이러스 감염에 대한 새로운 항바이러스 치료제 개발의 기반 연구를 수행하고자 한다. 세 번째는 바이러스 프로모터의 선택성을 활용하여 세포 내 바이러스 감염 유무를 진단할 수 있는, 우수한 감도와 신뢰성이 확보된 Z-DNA 전기화학 센서 개발을 목표로 한다. 이 연구는 Z-DNA를 중심으로 바이오센서 및 신약 후보 물질에 관한 기초 연구를 통해 감염병 연구에 새로운 접근법을 제시하며, 바이오헬스 산업에 혁신적인 패러다임을 제공할 것으로 전망된다. 또한, 이 프로젝트를 통해 우수한 연구자를 양성하여 미래의 바이오헬스 분야를 선도하는 인재들을 배출하는 것을 목표로 하고 있다.

바이러스 프로모터-선택적 Z-DNA 개발

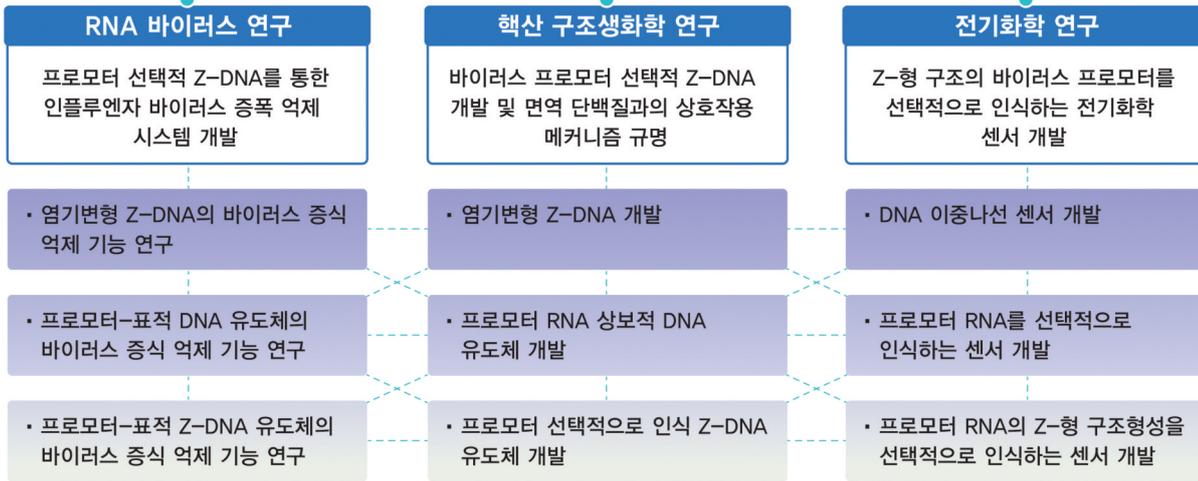


표 1. 연구단 연구 내용

1. 구체적인 연구 현황

20세기 초 스페인독감 팬데믹을 시작으로, 최근까지 이어진 신종플루, SARS-CoV-2 팬데믹, 그리고 SARS, MERS, Nipah, 중증열성혈소판감소증후군 바이러스 등의 신변종 바이러스가 발생하면서 WHO에서는 21세기를 “신종전염병의 시대”라고 규정하고 있다. 또한 기후변화와 환경파괴로 인한 야생동물과의 접촉 증가, 그리고 특히 항공 교통수단의 발달은 신·변종 바이러스의 글로벌 확산 가능성을 높여 공중보건뿐만 아니라 전세계 경제에도 심각한 위협으로 작용하고 있다.

지난 100년간의 주요 전염병 대부분은 RNA 바이러스에 의해 발생했다. RNA 바이러스는 DNA 바이러스나 세균에 비해 돌연변이가 쉽게 발생할 수 있어, 진단법 개발, 백신 변화, 약제 내성 문제가 지속적으로 제기되고 있다. 이러한 배경에서 새로운 진단법 및 치료제, 백신 개발의 필요성이 대두되고 있다. 특히 인플루엔자 바이러스는 대변이와 소변이를 통한 항원성 변화로 다음 대유행 가능성이 높은 바이러스로 지목되어 지속적인 연구가 요구된다. 이에 경상국립대학교 연구단은 “인플루엔자 바이러스의 프로모터 RNA를 선택적으로 검출하고 바이러스 증식을 억제하는 Z-DNA 유도체 개발”을 목표로 바이러스-구조생화학-전기화학 분야 전문가가 모여 융합 연구를 수행하고 있다.

Project 1 염기서열 의존성이 없는 Z-핵산 유도체 개발

먼저 연구단은 다양한 염기 변형을 지닌 구아닌을 활용해 Z-DNA 및 Z-DNA 유도체 개발에 주력하고 있다. 1972년에 처음 발견되고 1979년 X-ray 결정구조로 확인된 Z-DNA는 CG 염기서열이 반복되는 DNA

영역에서 생성되며, 특정 조건에서만 유도된다. 이 구조는 생체 내에서 자발적으로 형성되지 않고, negative supercoiling 구조나 특정 단백질과의 결합을 통해 유도된다. Z-DNA 결합 단백질은 여러 면역 단백질에서 발견되며, 이들은 B-DNA에 결합하여 DNA의 나선 구조를 Z-형으로 전환시킨다. 연구단은 바이러스 프로모터 RNA와 높은 선택성을 가진 최적화된 염기서열의 Z-DNA 유도체 개발에 집중하고 있다[그림 1].

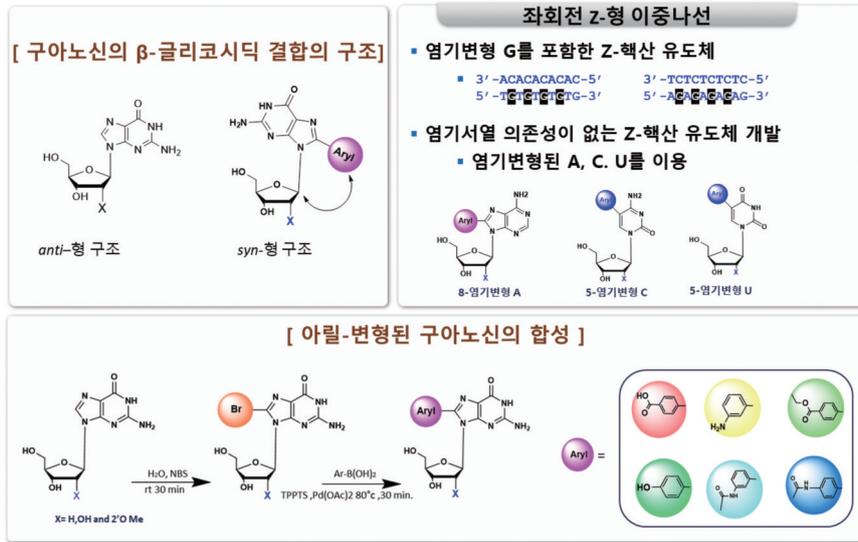


그림 1. 염기서열 의존성이 없는 Z-핵산 유도체 개발

Project 2 RNA-Z-핵산 유도체 하이브리드의 구조 및 ZBP1과 상호작용 연구

또한 연구단은 프로모터와 하이브리드 구조를 Z-형으로 변환시키는 DNA 유도체에 대한 3차원 구조 연구도 병행하고 있다. 이는 바이러스 프로모터 RNA와의 상호작용에 초점을 맞추고 있으며, Z-DNA 구조를

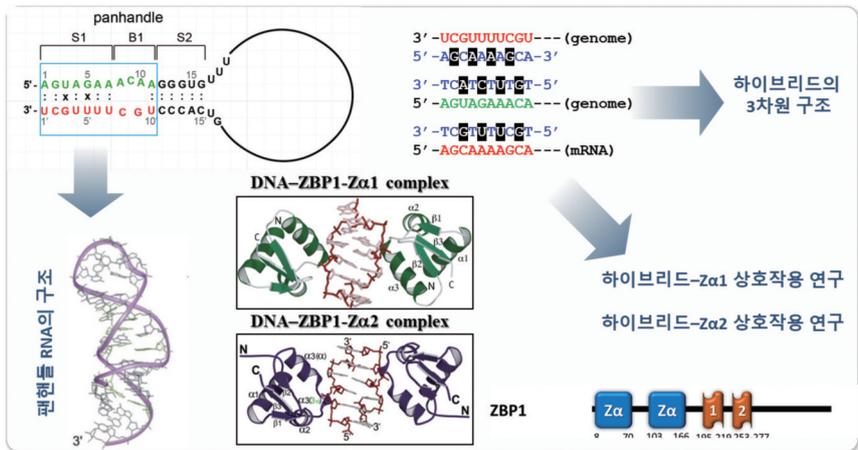


그림 2. RNA-Z-핵산 유도체 하이브리드의 구조 및 ZBP1과 상호작용 연구

통한 바이러스 유전자의 괴사 유도 메커니즘도 탐구하고 있다. NMR을 이용한 단백질-RNA/DNA 복합체 구조 연구를 통해, Z-DNA 구조가 유도되는 바이러스 유전자의 위치와 ZBP1과 Z-RNA의 상호작용을 밝혀내려는 연구를 진행하고 있다[그림 2]. 이러한 연구는 ZBP1 단백질이 Z-핵산을 인식하여 시작되는 바이러스 감염세포의 괴사기작을 규명하는 중요한 연구자료가 될 것이다.

Project 3 프로모터 RNA 표적 Z-핵산 유도체에 의한 바이러스 증식 억제 연구

인플루엔자 바이러스 치료에는 뉴라미니데이즈(NA) 억제제인 오셀타미비르, 자나미비르, 페라미비르와 같은 당단백질 활성 억제제들이 널리 사용되고 있다. 그러나 이 약제들에 대한 내성이 나타나고 있는데, 특히 NA 아미노산의 H274Y, E119G/A/D/V, R292K와 같은 돌연변이가 관찰되고 있다. 또한, PA 활성을 억제하는 발록사비르는 2018년 FDA 승인을 받고 전세계적으로 사용되고 있으나, 돌연변이에 의한 약제 내성 바이러스의 출현으로 바이러스의 병원성 및 전파력이 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 상황은 지속적인 항바이러스제 개발의 필요성을 강조한다. 그렇기에 본 연구에서는 바이러스의 보존적인 부위를 타겟하는 Z-DNA의 바이러스 증식 억제 가능성을 연구함으로써 항바이러스제로서의 활용 가능성을 모색하고자 한다[그림 3].

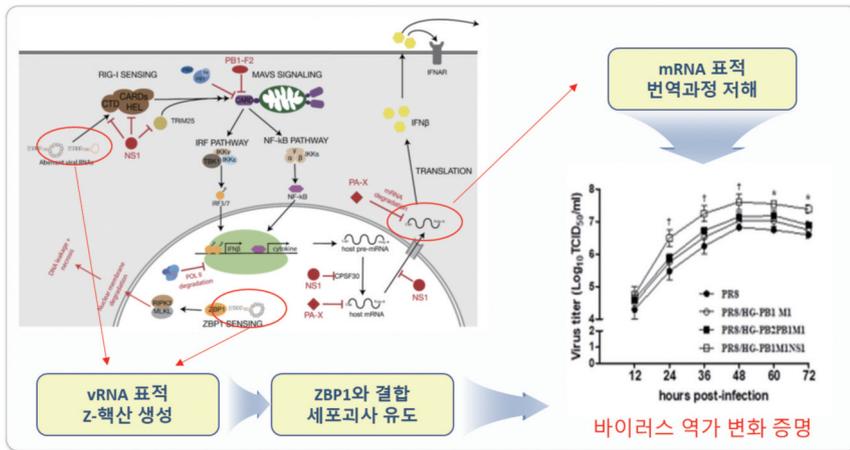


그림 3. 프로모터 RNA 표적 Z-핵산 유도체에 의한 바이러스 증식 억제 연구

Project 4 프로모터 RNA 선택성을 가진 전기화학 센서 개발

바이러스 진단은 현재 분자진단법과 면역진단법을 통해 이루어지고 있다. 분자진단법은 바이러스 유전자를 활용해 정확도가 높으나, 변이 바이러스의 등장은 새로운 진단법 개발의 필요성을 제기하며, 면역학적 진단법은 항원 단백질을 검출하는 방법으로 변이 바이러스에 대응하기 위한 추가적인 분자진단법이 요구된다.

다. 그 중 PCR 기반 진단법은 정확도가 높지만, 결과를 얻는 데 시간이 걸리는 단점 존재함에 따라, PCR 진단법과 비슷한 수준의 정확도를 제공하면서도 빠른 감염 여부 판단을 가능하게 하는 새로운 센서 개발 연구가 많은 연구진들 사이에서 진행 중이다. 본 연구팀은 인플루엔자 바이러스의 보존적 부위를 활용하여 더 효율적인 바이러스 검출 및 진단 방법을 연구하고 있다. 이를 위해, 금-싸이올(gold-thiol) 화학 반응을 통해 프로브(probe) DNA를 전극 표면에 고정하는데, 이 과정에서 다양한 전기화학 활성종(electro-active species)을 프로브 DNA에 함께 고정하여 표적(target) DNA의 결합 여부를 전류나 전압과 같은 전기화학적 변화로 감지한다. 특히, 바이러스 프로모터와 특이적으로 결합하는 DNA를 사용하여 전기화학적 신호의 측정 및 비교 분석을 통해 전기화학 센서를 개발하여, 낮은 바이러스 역가에서 바이러스를 진단하고자 한다[그림 4].

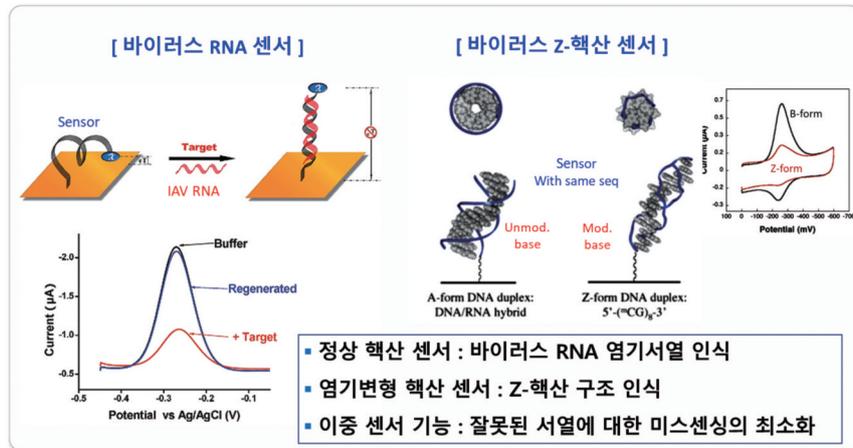


그림 4. 프로모터 RNA 선택성을 가진 전기화학 센서 개발

2. 본 과제를 통한 기대효과

본 연구는 바이러스 프로모터 RNA를 타깃으로 하여 유전자 복제를 억제하고, 선천 면역을 활성화하며, 세포 괴사를 통해 바이러스 증식을 억제하는 것을 목표로 한다. 이와 함께 바이러스 RNA를 신속하고 정확하게 검출할 수 있는 진단법 개발도 추진하고 있다. 본 연구에서 중요한 Z-DNA 및 Z-RNA는 생체 내 존재하는 오른쪽으로 회전하는 B-DNA나 A-RNA와 비교해 구조적 및 기능적 측면에서 중요한 역할을 하지만, Z-형 구조의 유도는 특정 조건과 특정 염기서열에서만 가능하여 응용성이 제한적이다. 이에 본 연구팀은 생체 조건에서 염기서열 제한 없이 Z-DNA를 개발하는 것을 목표로 하고 있으며, 이는 바이오센서 및 신약 후보 물질 개발, 그리고 생명과학 연구에 폭넓게 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

또한, 본 연구팀은 Z-핵산과 ZBP1의 상호작용에 대한 연구를 통해 숙주세포가 바이러스에 대응하는 새로운 방어기작인 세포 괴사 과정을 분자 수준에서 이해할 수 있는 중요한 결과를 제공하고자 한다. 바이러스의 보존된 유전자를 타깃으로 하는 연구는 바이러스 유전자 복제 억제, 선천 면역 유도, 감염 세포의 선

택적 과사를 통한 바이러스 증식 억제를 목표로 하며, 이는 다기능 바이러스 치료를 위한 신약 개발에 새로운 플랫폼을 제공할 것으로 예측한다. 마지막으로, 바이러스 RNA의 염기서열과 3차원 구조를 모두 인식할 수 있는 전기화학 센서 개발은 바이러스 및 박테리아와 같은 다양한 병원균을 신속하고 정확하게 진단할 수 있는 바이오센서 개발에 기여할 뿐만 아니라 바이오헬스 산업 발전에도 주요한 역할을 할 것으로 기대한다.



경상국립대학교
항바이러스 Z-핵산 유도체 기초연구실

경상국립대학교 화학과 항바이러스 Z-핵산 유도체 기초연구실을 이끌고 있는 이준화 경상국립대학교 화학과 교수는 한국과학기술원을 졸업하고, 동대학에서 ‘돌연변이 유발에 관계된 광손상 DNA의 3차원 구조’ 연구로 박사학위를 취득하였다. 그 후, 한국과학기술원, University of Colorado에서 박사후연구원으로 근무 후 경상국립대학교 화학과 교수로 독립적인 연구 활동을 시작하였다. 이후 Kyoto University, 한국기초과학지원연구원에서 방문교수/연구원으로서 연구 교류도 활발하게 진행하고 있으며, 현재 경상국립대 자연과학대학 학장 업무를 수행하고 있다.

본 연구단에는 세 연구실에서 참여하고 있으며 연구책임자인 화학과 이준화 교수 연구실에는 학술연구교수 2명, 석사연구원 2명, 박사과정 1명, 석·박사 통합과정 1명, 석사과정 2명, 학부연구생 2명 등 11명이 소속되어 있다. 공동연구원 화학과 권승용 교수 연구실에는 박사후 연구원 1명, 석사과정 2명, 학부연구생 5명 등 9명이 소속되어 있으며, 생명과학부 박수진 교수 연구실에는 박사 후 연구원 1명, 석·박사 통합과정 2명, 석사 과정 2명, 학부 연구생 1명 등 7명이 포함되어 본 기초연구실에는 총 27명이 연구에 매진하고 있다. 연구단은 국내 최고 수준의 700MHz 고자장 핵자기공명분광기 등 우수한 연구환경과 인프라를 바탕으로 우수한 인재를 해외 및 국내에서 지속적으로 유치 및 양성하고 있으며, 연구단에서 배출한 신진연구자들은 국내외 정부출연연구소, 기업체, 학계 등 다양한 곳에서 활약하고 있다.



| 항바이러스 Z-핵산 유도체 기초연구실 |

RNA 바이러스학



박수진
경상국립대학교 생명과학부 교수

구조생화학/NMR 분광학



이준화
연구책임자
경상국립대학교 화학과 교수

전기화학



권승용
경상국립대학교 화학과 교수



김지현 Jihyun Kim

경북대학교 화학교육과, 조교수
jkim23@knu.ac.kr

소개글

김지현 교수는 핵자기공명분광법(NMR)을 이용하여 단백질, RNA 등의 생체고분자의 구조와 구조변화 메커니즘을 분석하는 연구를 수행해왔다. 특히, NMR에 초분극(Hyperpolarization) 기술을 접목시켜 기존 NMR의 낮은 시그널 감도 한계를 극복하였으며, 이 기술을 이용하여 단백질의 구조변화를 모니터링 할 수 있는 분석 기술을 개발하였다. 최근에는 코로나바이러스의 RNA의 구조 분석을 위해 고감도/고분해능을 가지는 새로운 NMR 실험법을 개발하였으며, 개발 기술을 이용하여 RNA의 이차 및 삼차 구조를 규명하는 연구를 수행하였다. 현재는 다양한 NMR 실험법의 시간분해능을 높이기 위해 고속기반 NMR 측정기술을 개발하고, 이를 이용한 생체고분자 구조분석 연구를 수행하고 있다.

주요연구분야

- 물리화학(Physical Chemistry)
- 화학생물학(Chemical Biology)
- 분석화학(Analytical Chemistry)
- 분광학 및 역학(Spectroscopy & Dynamics)
- 핵자기공명분광학(Nuclear magnetic resonance spectroscopy)

대표논문

1. **J. Kim**, J. T. Grün, M. Novakovic, Ě. Kupče, R. Rosenzweig, and L. Frydman, "Cross-Polarization Schemes for Improved Heteronuclear Transfers Involving Labile Protons in Biomolecular Solution NMR." *Angew. Chem.* **2023**, *135*, e202304900.
2. J. T. Grün, **J. Kim**, S. Jayanthi, A. Lupulescu, E. Kupče, H. Schwalbe, and L. Frydman, "Identifying and Overcoming Artifacts in ¹H-Based Saturation Transfer NOE NMR Experiments." *J. Am. Chem. Soc.* **2023**, *145*, 6289-6298.
3. J. Hu, **J. Kim**, and C. Hilty, "Detection of Protein-Ligand Interactions by ¹⁹F Nuclear Magnetic Resonance Using Hyperpolarized Water." *J. Phys. Chem. Lett.* **2022**, *13*, 3819-3823.
4. **J. Kim**, M. Novakovic, S. Jayanthi, A. Lupulescu, Ě. Kupče, J. T. Grün, K. Mertinkus, A. Oxenfarth, H. Schwalbe, and L. Frydman, "The Extended Hadamard Transform: Sensitivity-Enhanced NMR Experiments Among Labile and Non-Labile ¹Hs of SARS-CoV-2-derived RNAs." *ChemPhysChem*, **2022**, *23*, e202200048.
5. M. J. Jaroszewicz, M. Liu, **J. Kim**, G. Zhang, Y. Kim, C. Hilty, and L. Frydman, "Time- and site-resolved kinetic NMR for real-time monitoring of off-equilibrium reactions by 2D spectrotemporal correlations." *Nat. Commun.* **2022**, *13*, 833.
6. **J. Kim**, M. Novakovic, S. Jayanthi, A. Lupulescu, Ě. Kupče, J. T. Grün, K. Mertinkus, A. Oxenfarth, C. Richter, R. Schnieders, J. Wirmer-Bartoschek, H. Schwalbe, and L. Frydman, "3D Heteronuclear Magnetization Transfers for the Establishment of Secondary Structures in SARS-CoV-2-Derived RNAs." *J. Am. Chem. Soc.* **2021**, *143*, 4942-4948.
7. **J. Kim**, R. Mandal, and C. Hilty, "2D NMR spectroscopy of refolding RNase Sa using polarization transfer from hyperpolarized water." *J. Magn. Reson.* **2021**, *326*, 106942.
8. **J. Kim**, R. Mandal, and C. Hilty, "Characterization of Membrane Protein-Lipid Interactions in Unfolded OmpX with Enhanced Time Resolution by Hyperpolarized NMR." *ChemBioChem*, **2020**, *21*, 2861-2867.
9. Y. Wang, **J. Kim**, and C. Hilty, "Determination of protein-ligand binding modes using fast multi-dimensional NMR with hyperpolarization." *Chem. Sci.* **2020**, *11*, 5935-5943.
10. **J. Kim**, R. Mandal, and C. Hilty, "Observation of Fast Two-Dimensional NMR Spectra during Protein Folding Using Polarization Transfer from Hyperpolarized Water." *J. Phys. Chem. Lett.* **2019**, 5463-5467.

- 숙명여자대학교 화학과, 학사(2006.3-2010.2)
- 숙명여자대학교 화학과, 석사 (2010.3-2012.2, 지도교수 : 오정진)
- Texas A&M University 화학과, 박사 (2013.9-2020.8, 지도교수 : Christian Hilty)
- Weizmann institute of science, 박사 후 연구원(2020.9-2023.8, 지도교수 : Lucio Frydman)
- 경북대학교 화학교육과, 조교수(2023.9-현재)



화학세계가 만난 화학자 *Epilogue*

2022-2023년

〈화학세계가 만난 화학자〉코너를 진행하며...

한순규 (KAIST 화학과/대한화학회 홍보실무이사)

2021년도 가을 코로나-19가 성행하던 시기 윤재숙 대한화학회 홍보부 부회장님, 성봉준 홍보부 실무이사님, 김정욱 홍보부 실무이사님과 함께 처음으로 zoom회의를 통해 차년도 화학세계를 어떻게 꾸밀 것인가에 대한 회의를 하던 때가 아직도 선명합니다. 그 때 화학세계에 들어갈 다양한 코너에 대한 논의를 하였는데, 그 자리에서 호기롭게 “화학세계에 인터뷰 코너를 신설했으면 좋겠습니다.”라고 의견을 냈고, 그것이 〈화학세계가 만난 화학자〉코너로 이어지게 되었습니다. 사실 그러한 의견을 낼 수 있었던 것은 제가 이전에 하윤경 교수님이 홍보부를 이끄실 때 성봉준 교수님께서 진행하신 화학세계의 〈고견을 듣다〉라는 인터뷰 코너의 팬이었기 때문입니다. 마침 성봉준 교수님이 실무이사로 함께 계시니 그 바통을 이어받는다는 명분이 있다고 나름대로 생각을 했습니다. 그렇게 2022년 1월호 화학세계에 김동호 연세대학교 교수님의 인터뷰 기사를 시작으로 2023년 11월호의 최철호 경북대학교 교수님까지 21분의 화학자 및 화학교육자를 인터뷰할 수 있었습니다.

처음에 〈화학세계가 만난 화학자〉코너를 기획했을 때에는 서면으로만 인터뷰를 진행할 계획이었습니다. 2021년 말 당시만 하더라도 아직 코로나-19가 만연한 사회적 분위기에서 대면으로 인터뷰를 진행해야 하는 부담도 있었고, 또 매달 인터뷰를 진행해야 하는 상황에서 일의 진행을 수월하게 하려는 의도도 있었습니다. 그런데 2022년 4월호에서 마침 대전에 위치한 레고켄 바이오사이언스의 김용주 대표님을 대면 인터뷰한 후에는 실시간 인터뷰를 통해서만 얻을 수 있는 정보의 생동감이라는게 있다는 것을 알게 되었고, 그 후에는 인터뷰하시는 분의 일정과 선택에 따라 서면 인터뷰, zoom회의를 통한 인터뷰, 혹은 대면 인터뷰를 진행하였습니다.



<화학세계가 만난 화학자> 코너를 진행하면서 몇몇 에피소드도 있었습니다. 인터뷰 섹션을 진행하면서 가장 중요하면서도 어려운 것은 인터뷰를 해주실 수 있는 분을 섭외하는 것이었습니다. 코너 초창기에는 인터뷰를 부탁드리면 대부분 긍정적으로 답변을 주시고 인터뷰에 응해주셨습니다. 하지만 시간이 흐를수록 인터뷰 해주실 분의 섭외가 어려워지기 시작하였습니다. 연락을 드린 분들께서 이전에 진행된 인터뷰 기사의 주인공들의 명성(!)에 부담을 느끼시기 시작하셨습니다. 인터뷰를 수락해주신 분이 인터뷰 질문지를 받고는 부담스러워 마지막 순간에 고사한 경우도 있었고, 그 후로 네 분 정도 더 순차적으로 요청을 드렸는데 인터뷰 해주실 분을 섭외하지 못한 아찔한 경험도 있습니다. 2022년 화학세계 10월호에 <화학세계가 만난 화학자>가 실리지 못한 이유이기도 합니다. 그런데 지금 생각해봐도 인터뷰를 고사하신 모든 분들께서는 정말 대단하신 분들이라(연구, 산학, 교육 등 다양한 분야에서) 우리 나라 화학계에 전해줄 소중한 메시지가 있다고 생각이 듭니다. 이필호 차기 대한화학회 회장님과 조규봉 차기 홍보부회장님께서 2024년도와 2025년도에도 화학세계의 인터뷰 코너는 이어간다고 하셔서 기쁘고 제가 섭외에 성공하지 못했던 그 분들의 리스트를 전달드리겠습니다!

인터뷰를 진행해주신 21분 모두 너무나 기억에 남지만, 개인적으로는 2023년 화학세계 5월호에 실린 강원대학교 이창규 명예교수님과의 인터뷰가 특히 기억에 남습니다. <화학세계가 만난 화학자> 코너에서 커리어의 다양한 위치에 계신 화학자를 만나보고 싶은 생각이 항상 있었는데 마침 강원대 이필호 교수님께서 은사님이신 이창규 명예교수님을 소개시켜주셨습니다. 이창규 명예교수님은 강원대학교 화학과 정년 후 지금은 고향인 강원도 부론에서 지역의 어린이들을 위한 과학교실을 운영하고 계셨습니다. 이창규 교수님의 섭외가 확정되고 정년 후의 삶을 어떻게 살지에 대한 메시지를 화학세계 독자에게 전달해줄 수 있을 것이라 생각하여 기대가 되었는데 인터뷰를 진행하고 나서는 처음에 생각했던 것보다 더 큰 울림을 받았습니다. 한편의 영화로 제작한다고 해도 부족할 것이 없는 드라마 같은 삶을 사신 이창규 교수님의 스토리를 직접 듣고 화학세계에 소개할 수 있음에 큰 기쁨을 느꼈습니다. 내가 교수가 되었음에, 대한화학회 홍보부 실무이사로 임명되었음에, 그리하여 이렇게 인터뷰를 할 수 있음에 감사함을 느꼈습니다.

마지막으로 21분의 인터뷰에서 주신 메시지 중 기억에 남는 것들을 적어봄으로써 지난 2년간 진행한 <화학세계가 만난 화학자>의 1막을 마칩니다. 그리고 2024년 화학세계 1월호부터는 <화학세계가 만난 화학자> 코너를 비롯하여 화학세계의 다양한 기사의 열렬한 독자로 돌아가고자 합니다. 그 동안 큰 도움 주신 모든 분들과 격려해 주신 독자분들께 감사드립니다.



김동호 교수 (연세대)

논문을 쓰기 위한 연구보다는 좀 더 임팩트가 있는 연구 결과를 도출하는 것에 의미를 두고 늘 what, why, how의 자문하는 자세를 가지고 새로운 분야를 개척하는 마음을 가지는 것이 중요하다고 생각합니다. 대략 5-7년의 주기로 본인의 연구를 되돌아보면서 새로운 연구 주제나 분야를 개척하고, 긴 연구의 여정에서 본인이 어느 위치에 있고 어떤 상태에 있고 앞으로 어떻게 해야 관련 분야에서 breakthrough가 되는 연구 결과를 낼까를 주기적으로 고민해야 합니다.

[화학세계 2022년 1월호 인터뷰 기사 중]



나명수 교수 (UNIST)

화학은 노력을 보상해주는 학문이라고 생각합니다. 많은 시간을 투자 하여야만 얻을 수 있는 실험으로부터의 지식은 노력 없이는 쉽게 얻을 수 없기 때문에 이러한 지식을 갖는 것은 그렇지 않은 사람에 비교하여 상당한 경쟁력을 갖게 되는 것 같습니다. 노력으로 똑똑한 사람과도 경쟁할 수 있으며 노력을 통해 얻은 결과에 보상을 받을 수 있으며, 또한 그 결과가 사회에도 기여할 수 있다는 점이 가장 매력적인 것 같습니다.

[화학세계 2022년 2월호 인터뷰 기사 중]



황금숙 부원장
(한국기초과학지원연구원)

화학을 포함한 과학 분야의 모든 연구자들은 학문적 열정을 갖고 있지만, 연구자마다 각기 성향이 다르고 연구 과정에서 부딪히는 문제도 다릅니다. 그렇기에, 다른 사람들과 비교하지 말고 본인만의 목표를 세우고 도달하기 위하여 최선의 노력을 다해야 한다고 생각합니다. 연구에서 지름길은 없다는 것을 모두 잘 알고 있으므로, 인내심과 꾸준한 노력만이 본인이 세운 목표에 도달하게 할 것입니다.

[화학세계 2022년 3월호 인터뷰 기사 중]



김용주 대표
(레고켐 바이오사이언스)

우리나라가 진정한 선진국 대열에 들어가기 위해서는 현재의 제조업/서비스업 기반 산업으로는 한계가 있다고 생각합니다. 결국에는 기술(Technology)을 넘어 과학(Science)에서의 압도적 우위를 바탕으로 국가의 청사진을 그려 나가야 한다고 생각합니다. 결국에는 실력입니다. 그리고 실력을 쌓기 위해서는 끊임없는 공부 필요합니다.

[화학세계 2022년 4월호 인터뷰 기사 중]



장석복 교수 (KAIST)

제가 생각하는 이상적인 PI는 우물과 같은 모습입니다. 연구실 소속 구성원에게 언제나 영감의 원천이 되는 물이 넉넉히 고여 있는 존재 말입니다. 그런데 저의 영감의 우물에 물이 부족해 학생들에게 충분한 지적 자극을 주지 못한다고 생각될 때가 학자로서 괴롭고 자괴감이 듭니다. 이에 대한 해결책은 당연한 말이지만, 저의 영감의 우물에 물이 항상 찰랑찰랑하도록 하는 것입니다. 이를 위해 제가 실천하고자 하는 습관이 있습니다. 저는 오전 9시부터 오후 12시정도까지는 온전히 논문만 읽습니다. 오후 시간에는 강의준비를 하고, 필요한 회의를 하고, 학생과 디스커션도 이 때 하려고 합니다. 저녁을 먹은 후에는 논문작성 작업을 합니다. 이 섹션의 활동을 철저히 “배타적으로” 지키려고 합니다.

[화학세계 2022년 5월호 인터뷰 기사 중]



박정희 교수 (고려대)

우연히 알게 된 빅토르 프랑클이라는 심리학자가 위기 극복 방법으로 제시한 “When we are no longer able to change a situation, we're challenged to change ourselves” 즉, “상황을 바꿀 수 없을 땐 자신을 바꾸어야 한다”는 것인데요. 그 당시에는 취업하는 것도 남자들 보다 어려웠고, 연구를 제대로 하고 싶어도 연구비, 연구원이 충분치 않은 어려움이 있습니다. 하지만 힘들 때, 또 실패할 때 마다 부족한 부분을 돌아보고 바꾸려고 노력하다 보면 시간은 걸리겠지만 목표에 한 걸음씩 다가갈 수 있을 거라 생각합니다.

[화학세계 2022년 6월호 인터뷰 기사 중]



유혁 명예교수 (University of Wisconsin, Madison)

화학, 물리, 생물 등으로 학문의 경계를 분류하는 시대는 벌써 지났습니다. 화학 전공을 택했어도 얼마든지 날개를 펴고, 접근성이 있는 다른 분야를 유심히 관찰하십시오. Whatever you choose to do, pour in all your passion. Be sure that you must reach to the level of the best of your ability. If not, it's not worth it!

[화학세계 2022년 7월호 인터뷰 기사 중]



백성혜 교수 (한국고원대학교)

저는 최고의 교사는 촉진자라고 생각합니다. 촉진자인 교사는 안내자와 달리 가장 중요한 대상이 학생이에요. 안내자인 교사도 학생을 중요시하지만, 안내자인 교사는 교육과정도 중요시합니다. 하지만 촉진자 교사에게 교육과정은 학생에게 맞추어 늘 새롭게 만들어야 하는 하나의 예시일 뿐이지, 교육과정이 절대적인 힘을 가진 것으로 생각하지 않아요.

[화학세계 2022년 8월호 인터뷰 기사 중]



남원우 교수 (이화여대)

가까운 나라의 자국 대표 학술지 인용지수를 비교해보면 우리나라 전통 화학 학술지인 『BKCS』의 인용지 수는 1.2, 일본 5.5, 중국 10인 것을(2021년 기준) 보면 모두 안타까우실 것입니다. 현재 우리 화학 학술지의 자존심을 회복할 수 있도록 회원분들께서 『BKCS』 발전을 위해 많은 협조를 부탁드립니다. 특히 『BKCS』의 논문을 많이 인용해주시기를 간곡히 부탁드립니다.

[화학세계 2022년 9월호 인터뷰 기사 중]



김기문 교수 (POSTECH)

남의 연구를 뒤따라하거나, 작은 성취에 만족하거나, 시련에 좌절하지 마십시오. 초심을 잃지 말고 높은 봉우리를 향해 한 걸음 한 걸음 나아가시기 바랍니다. 이렇게 하면 어떻게 제안합니다. 연구의 1/3은 반드시 될 확실한 아이টে็ม으로 연구를 하는 겁니다. 그리고 1/3은 안 될 위험성이 어느 정도 있는 도전적인 연구를 진행하는 것입니다. 그리고 남은 1/3 될지 안될 지 모르는 아주 독창적이고 창의적인 일을 시도해보는 것이 어떻게 합니다. 프로 바둑기사 이창호 9단의 목소리로 제 말씀을 마치고자 합니다. “노력 이기는 재주 없고, 노력 외면하는 결과 없다.”

[화학세계 2022년 11월호 인터뷰 기사 중]



석차옥 교수 (서울대)

저는 화학을 잘하려면 화학을 버려야 한다고 생각을 합니다. 어떤 문제가 “화학 문제”로 태어난 것은 아닐테니깐요. 자연의 문제가 화학의 문제인지, 수학의 문제인지, 물리 혹은 생물의 문제인지 나누고 특정 방식에 집중하기 보다는 문제 자체에 집중하고 그 문제를 해결하기 위해서 스스로를 제한하지 말고 개방적 사고로 탐구해야 하지 않을까 싶습니다.

[화학세계 2022년 12월호 인터뷰 기사 중]



신석민 교수 (서울대)

제가 특별한 리더십이 있다고 믿지는 않지만, 나름대로 제가 가지게 된 신념이 두 가지 있습니다. 첫째는, 제가 봉사하는 자리가 저 자신을 위한 것이 아니고 훨씬 더 큰 존재인 학부, 학교, 또는 학회를 위한 자리임을 잊지 않으려 했습니다. 둘째는, 제가 어느 위치에 가더라도 그 자리에 있을 당연한 자격이 있다고 생각하기 보다는 그 자리에 걸맞은 역할을 충실히 하기 위하여 노력하고자 했습니다. 제가 들었던 말 중에 항상 되새겨보는 문구가 있습니다. “진정한 리더는 자리에 있을 때보다 자리를 떠났을 때 더 기억나는 사람이어야 한다.”

[화학세계 2023년 1월호 인터뷰 기사 중]



최은영 교수
(한국과학영재학교)

교육을 하는데 있어서 가장 중요한 것은 일단 학생을 진심으로 사랑하는 것 그 이상이 없는 것 같습니다. 사랑하기에 더 나은 교육을 위해 깊이 고민할 수 있는 것 같습니다.

[화학세계 2023년 2월호 인터뷰 기사 중]



정종화 교수 (경상대)

일본 국내 학회 발표 자료는 모두 일본어로 작성하고, 영어는 절대 사용하지 않으며, 철저히 대학원생 자신이 준비를 합니다. 반면에 우리의 경우는 학회발표 초록 또는 발표자료를 국제어라는 영어로 사용하기 때문에 대학원생이 화학을 배우기 보다는 영어 공부하는 시간으로 바뀌어 있는 것 같습니다. 이런 점은 우리도 한번쯤 대학원생 교육을 위해서 어떤 것이 옳은 것인지 생각하는 것이 좋을 것 같습니다.

[화학세계 2023년 3월호 인터뷰 기사 중]



박한오 대표 (바이오니아)

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

[화학세계 2023년 4월호 인터뷰 기사 중]



이창규 교수
(강원대 명예교수)

대학 교육이란 천재를 뽑아서 조금 더 나은 천재로 만드는 것이 아니라 그저 보통이거나 그보다도 못한 수준의 학생들을 잘 가르쳐서 사회의 일원으로서 가슴을 펴고 당당하게 살면서 사회에 기여하는 인재를 만드는 것이라고 늘 생각했고 그러기 위해 저의 모든 것을 쏟아 붓겠다고 다짐하면서 강의와 연구를 했습니다. 정년을 앞두고 모든 교수님 박사님들께서는 20대 초반에 대학에 입학하여 화학을 공부해서 평생 연구하고 가르친 결과는 머리 속에 엄청난 지식과 지혜로 남아있을 것입니다. 그것을 어떤 방법으로든 사회에 또 다른 형태로 환원하는 활동을 계획하고 실천하시면 필경 우리 사회는 보다 건강하고 밝은 모습으로 조금씩 발전해 갈 거라고 믿습니다.

[화학세계 2023년 5월호 인터뷰 기사 중]



조민행 교수 (고려대)

자신의 연구 역량을 작은 분야에 국한하지 말고, 나는 자연과학자라는 마음으로, 내가 추진하는 화학 관련 연구를 위해 어떤 새로운 연구방법을 물리학, 생물학에서 찾을 수 있을까라는 생각을 가지고, 내가 잘 알고 능숙히 다룰 수 있는 연구 방법이 다른 분야의 연구에 어떻게 사용될 수 있을지를 되뇌면서 즐겁게 연구하시기를 바랍니다. 너무 잘하려고 하지 마시고...

[화학세계 2023년 6월호 인터뷰 기사 중]



홍창섭 교수 (고려대)

연구목표가 인류의 삶과 관련된 산업/사회/과학 문제와 밀접하면 가시성이 높을 것으로 생각합니다. 이를 위해 화학이라는 울타리에만 머물지 말고 그 경계를 넘어 초융합적 연구를 지향하면 좋을 것 같습니다. 다양한 분야 전문가 그룹과 협력 연구를 적극적으로 추진하길 추천 드립니다.

[화학세계 2023년 7월호 인터뷰 기사 중]



윤경병 교수 (서강대)

현재 우리 인류가 환경과 지구온난화에 해를 끼치지 않고 당장 사용할 수 있는 에너지원은 없습니다. 그러므로 근본적인 해결책을 찾아야 합니다. 즉, 친환경적이고 저렴한 무공무진한 에너지 원을 찾아야 합니다. 이것은 지구에서 인간을 비롯한 다양한 생명체들의 지속가능성을 높여주기 위해 반드시 해야 될 일입니다.

[화학세계 2023년 8월호 인터뷰 기사 중]



김명자 이사장 (KAIST)

다양한 분야에 지적 호기심을 갖고 참여하는 것이 세분화된 전문 분야에서의 훌륭한 결실을 내는데 장애가 된다고 볼 수도 있습니다. 그러나 정도의 차이는 있겠지만, 반드시 그런 것 같지는 않습니다. 지난 세월을 돌아보면, 직접 연관되는 것 같지 않았던 점들이 서로 연결되면서 긴 안목으로 보면 새로운 길을 열었다는 사실을 깨닫게 됩니다. 학생들을 가르치면서 궁극적으로는 그들이 행복한 삶을 살 수 있도록 해야 할 것입니다. 과학만이 세상의 전부는 아님을 인식하고 학생들을 지도하고 활동해야 할 것입니다.

[화학세계 2023년 10월호 인터뷰 기사 중]



최철호 교수 (경북대)

경북대에서 교수로 지내면서 어느 날 문득 그동안 “연구를 위한 연구”를 진행한 것이 아닌가 하는 반성을 하였습니다. 많은 사람에게 혜택이 돌아갈 수 있는 연구를 해야겠다는 생각이 들었습니다. 그러한 고민을 통해서 2017년과 2018년에 개발한 것이 MRSF-TDDFT입니다. 여건이 힘들수록 조금 여유를 가지시길 권유합니다. 그를 통해 현실과의 타협보다는 힘들지만 이상적인 연구에 대한 구상을 하시길 바랍니다.

[화학세계 2023년 11월호 인터뷰 기사 중]

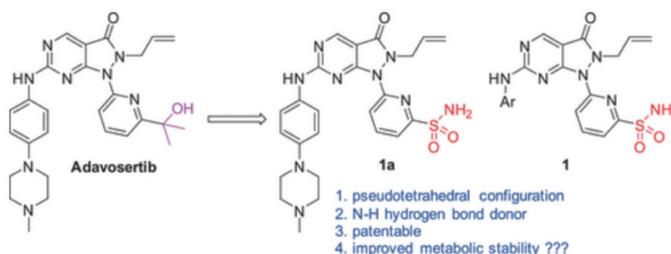
이번 호에서는 『BKCS』에 보고된 Anti-tumor Agent 관련 연구 논문을 소개합니다. 통계청에서 발표한 2022년 사망 원인 통계 결과에 따르면 암이 대한민국 전체 사망 원인 1위로 인구 10만 명당 162.7명의 사망자를 기록했습니다. 현재까지 다양한 치료법과 항암제가 개발되었지만, 암 치료 저항과 재발암 등의 난치암 완치제 부재 등의 이유로 암 치료제 관련 연구가 계속되고 있습니다. 『BKCS』에서는 자연에서 추출한 천연물 또는 합성한 화합물의 암세포 사멸 평가를 통한 후보 물질 스크리닝 및 항암 기전 검증에 관한 다양한 논문이 발표되었습니다. 관련 연구를 하시는 대한화학회 회원분들의 많은 관심 부탁드립니다.

글 이원화(성균관대학교 화학과, wonhwalee@skku.edu)

한국화학연구원 전문국 박사팀에서는 세포 주기에서 G2/M기를 조절하며, p53이 부족한 암세포에서세포자멸(apoptosis)을 유도하는 Wee1 단백질의 억제제인 아다보서티브(adavosertib) 유도체에 기반한 새로운 구조의 Wee1 단백질 억제제를 디자인하였습니다. 아다보서티브의 구조에 기반한 화합물 1과 그 유사체인 1a, 1e, 1j, 1k, 1n, 1r, 1s, 1v 중 1a에서 높은 효능 및 아다보서티브 대비 높은 대사 안정성을 밝혔습니다. 신규 개발한 Wee1 단백질 억제제는 유방암세포의 일종인 MDA-MB-231 세포주에서 유의미한 세포 성장 억제 및 세포 사멸 유도 능력을 보였으나, CDK-1의 인산화 억제에는 유의미한 차이는 보이지 않음을 확인하였습니다. [Early view, DOI: 10.1002/bkcs.12791]

Synthesis and biological evaluation of (2-aminosulfonylpyridin-6-yl)pyrazolopyrimidinone derivatives as Wee1 inhibitors for cancer treatment

For an analog-based design of novel Wee1 inhibitors, we profiled in vitro ADMET and in vivo PK properties of adavosertib. Based on the properties of adavosertib, we aimed to improve its metabolic stability by designing a novel target compound **1a** with an aminosulfonyl group instead of the 2-hydroxypropan-2-yl moiety in adavosertib. Derivatives of target compound **1a** were synthesized and evaluated for Wee1 enzyme inhibition and liver microsomal phase I stability. We identified compound **1a** as a sub-nanomolar Wee1 inhibitor and 10 additional compounds with one-digit nanomolar Wee1 inhibitory activity, among which seven compounds including **1a** exhibited improved metabolic stabilities compared with adavosertib. However, MDA-MB-231 cell growth inhibitory activities of all synthesized compounds and Wee1 substrate phosphorylation inhibitory activities of selected compounds were inferior to adavosertib overall. Moreover, the representative compound **1a** exhibited low permeability, which may be the reason for the low cellular activities of compound **1a**.



한국과학기술연구원 천연물 연구소 이재욱 박사팀에서는 한약재의 일종인 카다모닌(cardamomin) 유사체 20종을 신규 합성하고, 암 세포주인 HT-29, DLD-1, MDA-MB-231, HepG2에서 그 암 분열 억제 능력을 확인했습니다. 유사체 중 SWA2에서 가장 높은 효능을 확인했으며, 이는 세포사멸(apoptosis)을 유도함으로써 발생함을 밝혔습니다. 또한 western blot 데이터를 통해 SWA2는 PARP의 분리를 유도하여 세포 사멸을 유도함을 검증했으며, 이를 통해 SWA2의 항암 치료제로서의 높은 잠재력을 확인했습니다. [2023년 3월호, DOI: 10.1002/bkcs.12658]

Synthesis and evaluation of cardamomin derivatives as antiproliferative agents to human cancer cells

Twenty novel cardamomin derivatives were synthesized and evaluated for antiproliferative activity against four cancer cell lines (HT-29, DLD-1, MDA-MB-231, and HepG2). Among the derivatives,

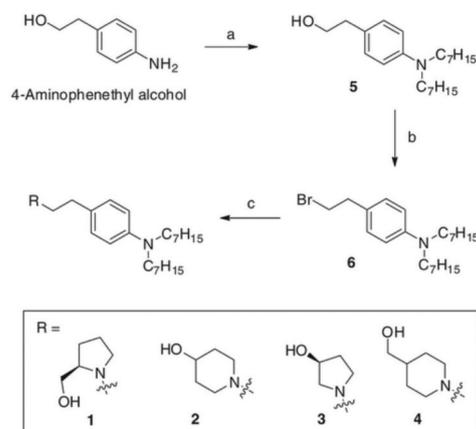


SWA2 showed the most potent effects with an IC_{50} value of 4.43–11.0 μ M against three cancer cell lines except for HepG2. Further investigation showed that SWA2 induced cancer cell death by apoptosis. Flow cytometry analysis showed that SWA2 treatment increased the ratio of apoptotic and dead cells. Further western blot analysis revealed that SWA2 treatment increased cleaved PARP. In summary, SWA2 can be utilized as a lead structure for anticancer therapy.

목포대학교 백동재 교수팀에서는 PP2A의 활성화를 통해 SK1을 억제하는 기전으로 항암제로 작동하는 핀골리모드(Fingolimod, FTY720)의 일종인 PF-543의 이합체 꼬리 구조를 가진 4종의 유사체를 합성하고, SK1 억제 능력을 확인했습니다. 비소세포성폐암(NSCLC: non-small cell lung cancer) 세포주인 A549에서 항암 능력 및 세포 독성을 확인했으며, 화합물 1-4중 화합물 2와 화합물 4에서 핀골리모드와 비슷한 수준의 세포 독성과 PP2A 활성화 능력을 확인했습니다. 또한 화합물 4의 헤드 기가 PP2A에 결합할 때, 이합체 꼬리 구조를 가지고 있음에도 핀골리모드와 비슷한 형태로 결합함을 밝혔습니다. [2023년 4월호, DOI: 10.1002/bkcs.12661]

Synthesis and biological investigation of protein phosphatase 2A-activating compounds with dimeric tail as non-small cell lung cancer cell death agents

FTY720 exerts an anticancer effect through the activation of protein phosphatase 2A (PP2A), which acts as a tumor suppressor, and inhibits SK1 activity. However, FTY720 taken into the body is phosphorylated by endogenous SK2. The structure of FTY720 is well-studied as a basis for developing SK inhibitors and PP2A activators. We synthesized analogs of PF-543 with a dimeric tail structure and reported the efficacy of SK1 inhibition. The compounds with this structure had improved anticancer activity and stability compared with PF-543. To confirm whether the dimeric tail structure could be applied as a PP2A-active material, we synthesized



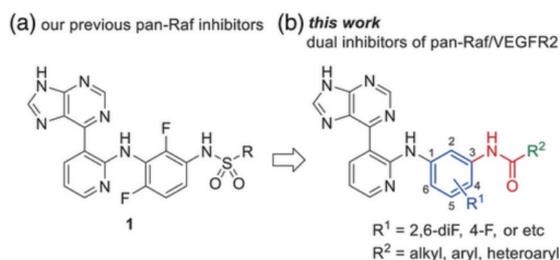
four types of compounds with a dimeric tail structure and confirmed the anticancer activity and PP2A activation in A549 non-small cell lung cancer cells. Compounds **2** and **4** were more cytotoxic to A549 cells than RB005, and induced similar levels of cytotoxic and PP2A activation as FTY720.

인천대학교 안순길 교수팀에서는 VEGF2를 타겟하여 K-ras의 변이가 일어난 대장암 치료 능력을 가진 94 N-(phenyl)-3-(9H-purin-6-yl)pyridine-2-amine 유도체를 신규 디자인 및 합성하였습니다. 이 약물은 pan-RAF 및 VEGF2를 억제하는 기전을 가지며, 연구팀에서 기존 개발한 pan-RAF 억제제에서 중앙 페닐 구조의 링커 및 치환기들을 수정하여 신규 유사체들을 합성하였습니다. 합성한 유사체들 중 N-(5-(3-(9H-purin-6-yl)pyridin-2-ylamino)-2-fluorophenyl)-3-(trifluoromethyl)benzamide(15h), 3-(2-cyanopropan-2-yl)benzamide derivative(16h), 3,5-bis(trifluoromethyl) benzamide derivative(17ab)에서 높은 효능을 보임을 밝혔습니다. [2023년 10월호, DOI: 10.1002/bkcs.12721]

Discovery of dual inhibitors of pan-RAF and VEGFR2

Colorectal cancer is among the most common and lethal malignancies globally, with K-Ras mutations found in about 45% of colorectal cancer patients. Early-stage BRAF-specific inhibitors have been developed to prevent aberrant activation of RAS/RAF/MEK/ERK signaling caused by K-Ras mutation, however, these BRAF-specific inhibitors lead to RAF

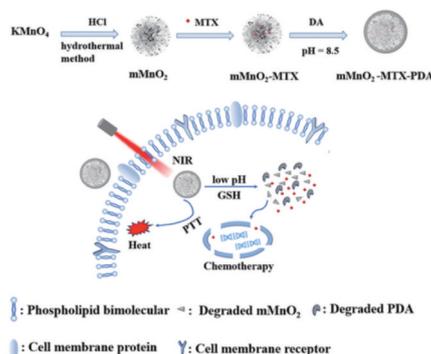
dimer formation and paradoxical CRAF activation. Consequently, there is a need to develop pan-RAF inhibitors. In addition, it was reported that the inhibition of vascular endothelial growth factor receptor 2 (VEGFR2) is crucial for the treatment of colorectal cancer. In this study, we designed and synthesized 94 N-(phenyl)-3-(9H-purin-6-yl)pyridine-2-amine derivatives, and discovered that N-(5-(3-(9H-purin-6-yl)pyridin-2-ylamino)-2-fluorophenyl)-3-(trifluoromethyl)benzamide (**15h**), 3-(2-cyanopropan-2-yl)benzamide derivative **16h**, and 3,5-bis(trifluoromethyl) benzamide derivative **17ab** are the most potent dual inhibitors against LS513 (GI_{50} =0.08, 0.2, and 0.3 μ M, respectively) and VEGFR2 (IC_{50} =0.01, 0.004, and 0.01 μ M, respectively). These compounds are excellent preclinical candidates for the treatment of K-Ras mutated colorectal cancer.



창저우대학교 Yong Kong 교수팀에서는 Mesoporous manganese dioxide($mMnO_2$)를 활용한 Near-infrared(NIR) 빛, pH 및 글루타치온(GSH:Glutathione) 감응성 메토트렉세이트(MTX; methotrexate) 전달체를 개발하였습니다. 약물 전달체로 사용된 $mMnO_2$ 및 전달체 표면에 합성된 폴리도파민(PDA; poly(dopamine))이 NIR파장대의 빛, 낮은 pH 및 낮은 농도의 글루타치온에 감응하여 분해되면 내부에 담지된 메토트렉세이트가 방출되는 원리를 활용하였습니다. 본 연구에서는 $mMnO_2$ 의 높은 생체분해성 및 감응 정도를 확인하였으며, 유방암 세포주인 4T1에서 높은 세포 독성을 확인하였습니다. [Early View, DOI: 10.1002/bkcs.12788]

A biodegradable drug-controlled delivery system based on mesoporous manganese dioxide and poly(dopamine)

Mesoporous manganese dioxide ($mMnO_2$) was first synthesized for the loading of methotrexate (MTX), and then dopamine was in situ polymerized on the surface of the MTX-loaded $mMnO_2$ ($mMnO_2$ -MTX) in an alkaline solution to encapsulate the drug in the mesopores of $mMnO_2$. Both low pH and glutathione (GSH) can result in the degradation of $mMnO_2$ and poly(dopamine) (PDA), and thus the delivery of MTX from the $mMnO_2$ -MTX-PDA can be triggered by low pH and GSH. Near-infrared (NIR) light-responsive delivery of MTX can be achieved owing to the outstanding photothermal conversion capability of PDA; on the other hand, the $mMnO_2$ -MTX-PDA can be utilized for photothermal therapy under the irradiation of NIR light due to the elevated temperature. The results of cytotoxicity test demonstrate that the pH, GSH, and NIR light tri-responsive drug-controlled delivery system has excellent biocompatibility, while exhibits pronounced growth inhibition against murine breast tumor cell line 4T1.

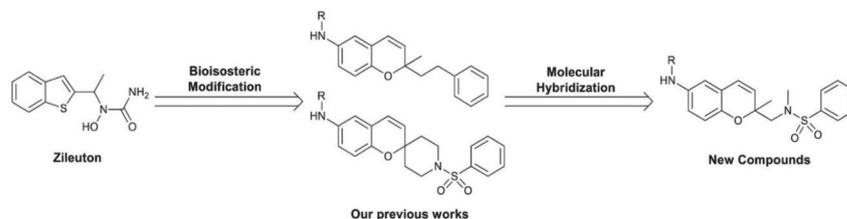


동국대학교 공영대 교수팀과 가천대학교 천혜경 교수팀에서는 5-lipoxygenase (5-LO)의 억제제가 될 수 있는 *N*-((6-(substituted-amino)-2-methyl-2*H*-chromen-2-yl)methyl)-*N*-methylbenzenesulfonamide 유도체를 합성하고 in vitro 및 in vivo에서 합성물의 활성을 검증했습니다. 5-LO는 암세포에서 높은 발현을 보이며 암 증식을 촉진하는 leukotriene 경로와 연관이 있는 것으로 알려져 있습니다. 이전 연구를 통해 합성한 chromene core skeleton 구조 기반 5-LO 억제제의 효능을 높이기 위해 구조적 유연성을 바탕으로 최적화를 진행하였고 세포 및 동물 모델에서 타겟 효소의 활성 억제를 확인했습니다. 또한, molecular docking을 통해 합성한 화합물과 5-LO의 결합 부위를 예측하여 항암 치료 후보 물질로서의 가능성을 제시했습니다. [2023년 11월호, DOI: 10.1002/bkcs.12772]

Development for a new 5-lipoxygenase inhibitors of *N*-((6-(substituted-amino)-2-methyl-2*H*-chromen-2-yl)methyl)-*N*-methyl benzenesulfonamide derivatives

5-Lipoxygenase (5-LO) is one of the significant drug targets for the development of various anti-inflammatory drugs. Herein, we designed, optimized, and synthesized a novel *N*-((6-(substituted-amino)-2-methyl-2*H*-chromen-2-yl)methyl)-*N*-methylbenzenesulfonamide derivatives as potential 5-LO inhibitors. Among the synthesized compounds, **10a**, **10b**, and **10g** exhibited inhibitory activity toward 5-LO according to the in vitro

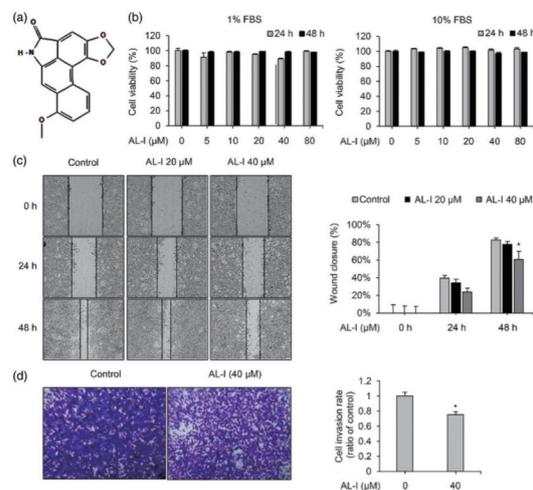
studies including enzyme activity assay ($\geq 78\%$ inhibition rate at $1 \mu\text{M}$) and cell-based assay ($\geq 72\%$ inhibition rate at $1 \mu\text{M}$). **10b** was selected for further in vivo efficiency using an ear edema mouse model, which was induced by arachidonic acid. Oral administration of **10b** successfully suppressed ear edema and myeloperoxidase activity (MPO activity). Molecular docking studies showed alkyl and pi-alkyl interactions of compound **10b** with Ile126 and Val110 of 5-LO as well as a hydrogen bonding with Arg138 as key protein-ligand interactions.



중앙대학교 조사연 교수팀에서는 genus *Aristolochia*에서 추출한 천연물인 Aristolactam I(AL-I)의 항암 기전 및 생물학적 활성을 새롭게 밝혔습니다. Twist1은 암세포의 상피간엽이행(epithelial-mesenchymal transition, EMT)을 유도하는 주요 전사인자로 이 단백질의 발현 증가는 암 침윤 및 전이를 촉진합니다. 우선 세포 생존도 분석(cell viability assay)를 통해 AL-I이 세포 독성이 없음을 확인하였습니다. 또한, 상처 치유 분석(wound healing assay)를 통해 AL-I이 유방암세포(MDA-MB-231) 이동을 억제하는 것과, *Twist1* mRNA의 발현을 감소시키는 것을 검증했습니다. 따라서, AL-I이 Twist1 발현 억제를 통한 E-cadherin과 같은 세포 간 상호작용 관련 단백질 발현 증가를 통해 암세포의 침습을 억제함으로써 항암 효과를 보인다고 제시했습니다. [2022년 9월호, DOI: 10.1002/bkcs.12598]

Aristolactam I inhibits cell migration and invasion through regulation of Twist1 in MDA-MB-231 breast cancer cells

Triple-negative breast cancer (TNBC) is one of the most difficult cancer types to treat. Because three key receptors are absent in these cancer cells, the cells bypass the human immune system and chemotherapy does not work well. Aristolactam I (AL-I) is a natural compound in the plant genus *Aristolochia*. Previous studies have shown that aristolactam variants exhibit an inhibitory effect on several bioactive cancer developments. However, the regulatory mechanism and biological activity of AL-I in TNBC cell lines have not been identified. In this study, AL-I affected an increase in E-cadherin expression in MDA-MB-231 cancer cells. AL-I increased E-cadherin mRNA expression by down-regulating Twist1 protein expression. The novel anticancer effect of AL-I was confirmed to be inhibition of the development of breast cancer cells through reduced cell mobility.

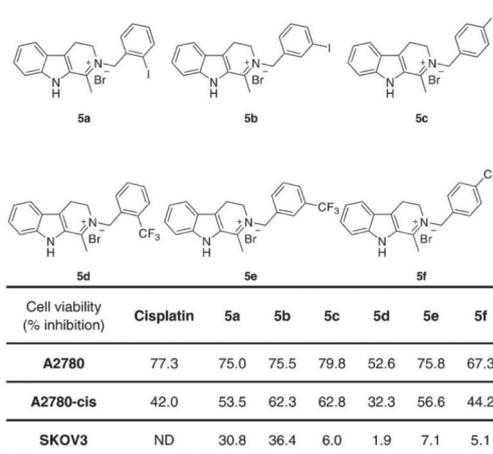


한국화학연구원 김필호 박사와 김성환 박사 연구팀은 *in vitro* 스크리닝을 통해 합성한 harmalanium halide에서 항암 치료 후보 물질을 선별하였습니다. 이전 연구에서 개발한 methopholine, (±)-homolaudanisine 및 (±)-dysoxylane 합성법을 활용하여 화합물을 합성하였고, 난소암 세포의 세포 생존도 분석을 통해 후보 물질의 항암 효능을 비교하였습니다. 또한, caspase-3/7 분석 및 단백질 분석을 통해 물질이 caspase 기반 세포 사멸을 통한 AKT 신호 경로 억제로 항암 효과를 보인다고 검증하였습니다.

[2022년 4월호, DOI: 10.1002/bkcs.12498]

Discovery of harmalanium halides as anti-ovarian cancer agents

Harmala alkaloid (HA) derivatives having 4,9-dihydro-3H-pyrido[3,4-b]indolium core structure were prepared and their anti-ovarian cancer activities were explored. In the first screening of 14 compounds, dibenzylated **4e** and **4f** were found to be active against A2780 ovarian cancer cell line. Further preparation of active analogs led to discover **4f₁** as active as **4f** in three ovarian cancer cell lines including cisplatin-resistant A2780 and SKOV3. Three compounds in **4f** series showed single-digit micromolar GI₅₀ values against A2780 and cisplatin-resistant A2780 cells. While the mechanism of action for the active compounds turned out to be involved in caspase-dependent apoptotic cell death, anti-ovarian cancer activities could be induced by inhibition of AKT Serine/Threonine Kinase 1 (AKT) signaling. This unprecedented scaffold **4** may be optimized further to find out clinically useful compounds for the treatment of ovarian cancers.

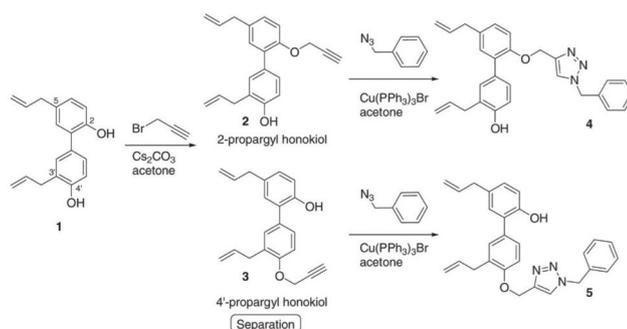


한밭대학교 박정호 교수팀과 경희대학교 최정혜 교수팀에서는 click reaction을 통해 다양한 생물학적 활성을 보인다고 알려진 *Magnolia* 추출물 Honokiol의 유도체를 합성하고 난소암의 항암 효능을 검증하였습니다. 세포 생존도 분석을 통해 합성한 2-, 4'-honokiol 유도체가 A2780 및 OVCAR3과 같은 난소암 세포의 사멸을 유도하는 것을 확인하였고, 특히 compound 5가 세포 내 활성화산소(reactive oxygen species, ROS)의 농도를 조절하여 caspase 기반 세포 사멸 유도를 통해 항암 효과를 보이는 것을 확인하였습니다. 결론적으로, 이 화합물이 난소암 치료제로서의 가능성을 제시했습니다. [2019년 4월호, DOI: 10.1002/bkcs.11691]

The Cytotoxic Activity of Honokiol-Triazole Derivatives in Ovarian Cancer Cells

Honokiol-triazole derivatives (**4–17**) were synthesized *via* click reactions between 2- or 4'-propargylated honokiol and azide compounds. Their anticancer activities were evaluated by using two ovarian cancer cells (A2780 and OVCAR3). Among the 14 compounds, compound 5 coupled with 4'-propargylated honokiol and benzyl azide exhibited relatively potent cytotoxic activity (IC₅₀=5.5±0.5 μM for A2780 and IC₅₀=3.97±0.6 μM for OVCAR3) but was less toxic to normal cells (IC₅₀=18.90±0.9 μM for IOSE80PC). The cytotoxic effect of com-

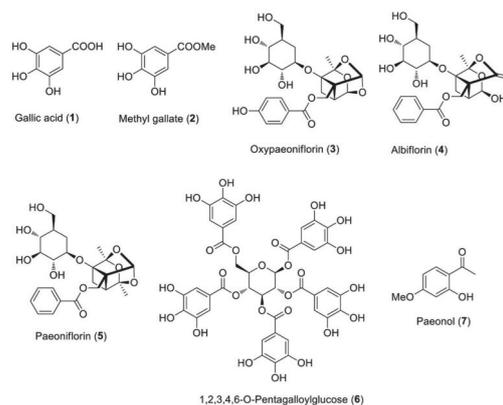
pound **5** is associated with caspase-dependent apoptotic cell death via induction of intracellular reactive oxygen species.



조선대학교 김은애 교수 연구팀은 HPLC를 활용하여 *Paeonia lactiflora*에서 추출한 천연물의 항암 효능을 검증하였습니다. HPLC(High-performance liquid chromatography)를 활용하여 확보한 5개의 물질 중 pentagalloylglucose가 유방암세포(MCF-7, MDA-MB-231) 사멸을 유도하는 것을 확인하였습니다. ($IC_{50} = 20.1 \mu\text{M}$, $14.4 \mu\text{M}$) 구조-활성 연관성(Structure-activity relationship) 분석을 통해 hydroxy group이 항암에 주요 역할을 하는 것을 밝혔고, ester 유도체의 합성을 통한 지질 친화도 증가로 삼중음성 유방암에서 항암 효능을 보인다고 제시했습니다. [2023년 3월호, DOI: 10.1002/bkcs.12657]

Structure-activity relationship of gallic acid from *Paeonia lactiflora* and its synthetic analogs against human breast cancer cells

High-performance liquid chromatography analysis of the ethyl acetate fraction of *Paeonia lactiflora* roots led to the detection of five compounds: gallic acid (GA) (**1**), methyl gallate (**2**), albiflorin (**4**), paeoniflorin (**5**), and pentagalloylglucose (**6**). Among them, pentagalloylglucose (**6**) showed cytotoxicity against human breast cancer cells MCF-7 and MDA-MB-231 in vitro with IC_{50} values of 20.1 and 14.4 μM , respectively. Through the structure-activity relationship of GA, which is an important backbone of pentagalloylglucose, we found that its three hydroxy groups were important for its cytotoxicity, and that the 3-*O*-methylgallic acid structure was only effective against a triple-negative breast cancer cell line. Furthermore, drug efficacy was confirmed by increasing its lipid affinity through the synthesis of various ester derivatives of gallic acid.



「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

ISSN(Print) 0253-2964
ISSN(Online) 1229-5949
Vol. 42, No. 11

Bulletin of the Korean Chemical Society

2021
11

KCS Singlet Oxygen-Responsive Photorelease of Tyramine
by You, Youngmin (odds2@ewha.ac.kr)

WILEY-VCH

A

B

C

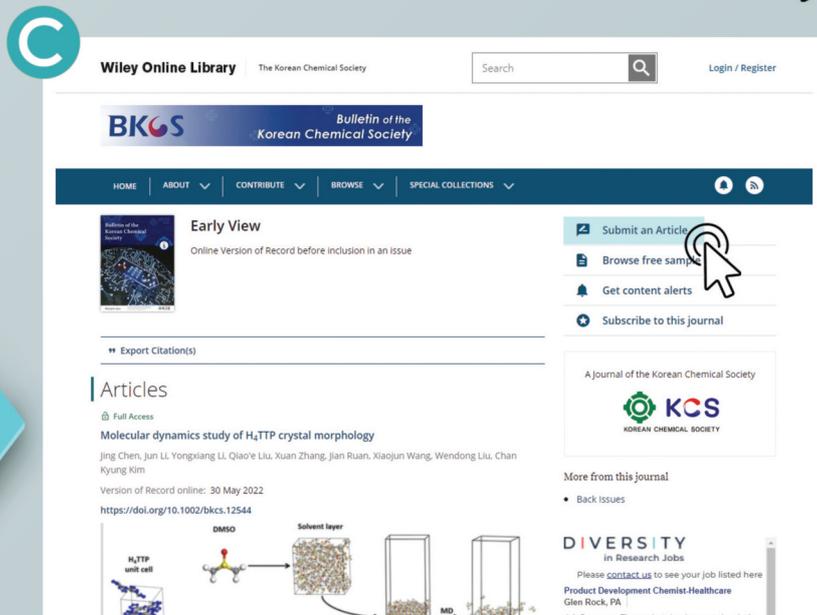
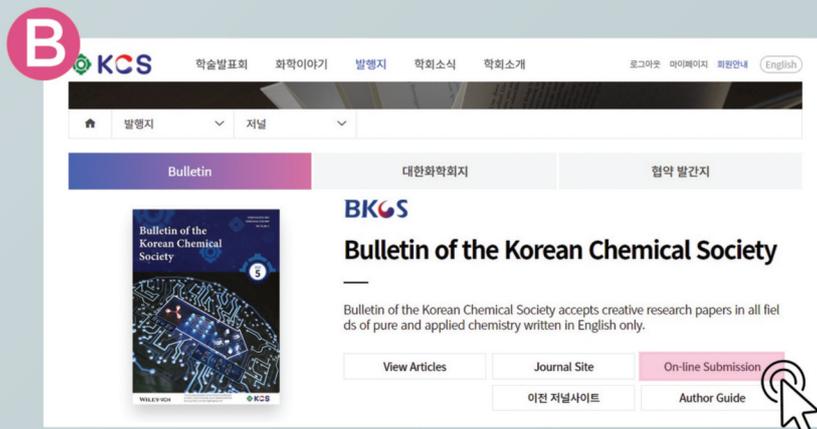
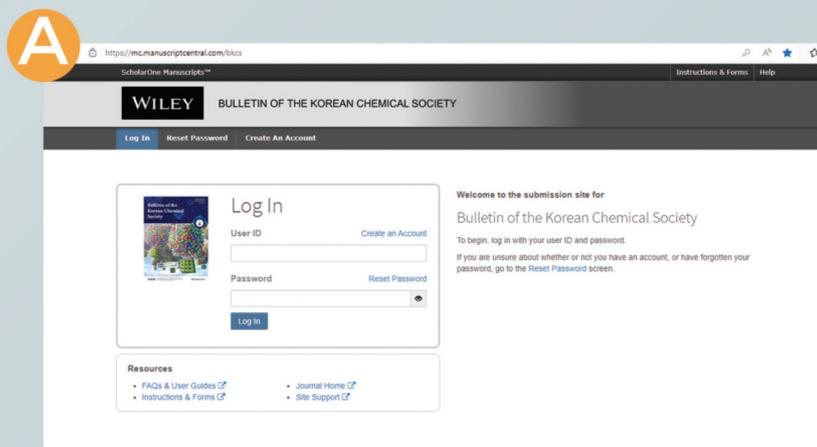
2. 계정 개설 후 로그인

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

* 외국인 심사위원은 점차적으로 늘릴 예정입니다.

* 논문 투고에 어려움이 있으실 경우 아래로 문의하여 주십시오.

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



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

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

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

우리 실험실은요!



우리 실험실은요!

아주대학교 분자과학기술학과 화학생물학 및 치료학 연구실

글 | 박규빈(아주대학교 분자과학기술학과
pgb0110@ajou.ac.kr)



Innovative and Practical Tools: Harnessing Light and Molecules!

우리 실험실은요? 2015년, 저희 실험실은 “생물학 및 생화학 도구를 개발하여 생물학과 인류 건강의 근본적인 문제를 해결하겠습니다.”라는 비장한 각오와 함께 아주대학교 분자과학기술학과에 뿌리를 내렸습니다.

저희 실험실에서는, 초기에는 ‘화학생물학 및 분자영상이미징 연구실’이라는 이름과 함께 ‘형광’, ‘바이오 이미징’, ‘분자진단’을 주제로 한 연구를 주로 진행하였고, 이를 통해 ‘빛’의 역할을 이해하고, 빛을 살아있는 생물학적 시스템을 이해하기 위한 도구로 사용하고자 하였습니다.

이후에는 형광과 이미징 기술의 발전으로 세포 내부의 복잡한 프로세스를 정밀하게 시각화할 수 있게 됨에 따라, 질병의 발병 과정을 더욱 정확히 이해할 수 있게 되면서, 저희 연구실은 점차 연구 분야를 넓혀 화학, 생물학, 의학을 통합하는 학제적인 접근을 시도하였습니다.

따라서, 현재는 빛뿐만 아니라 특정 수용체의 작용을 조절하여 약물로서 기능할 수 있는 ‘작용제’, ‘저해제’, ‘길항제’ 등과, 이를 몸속에서 더 효과적으로 운반할 수 있는 ‘나노 입자’, ‘항체-약물 복합체’ 등과 관련된 연구 또한 진행하고 있고, 이에 따라 저희 연구실은 ‘화학생물학 및 치료학 연구실’ (지도교수: 김은하 교수)로 이름을 바꿔 혁신적이고 효과적인 치료제 개발을 위해 힘쓰고 있습니다.

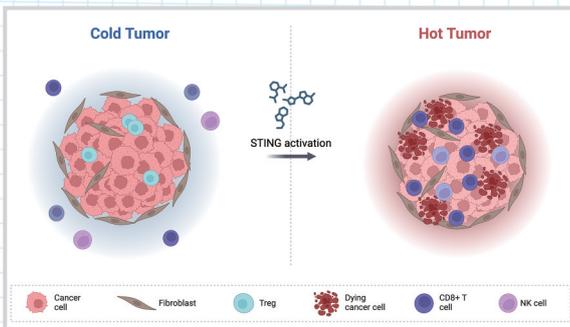


그림 1. STING 작용제 처리를 통한 hot tumor로의 전환

Approaches to Efficient Interdisciplinarity

일례로, 저희 연구실에서는 면역관문억제제에 반응이 적은 환자들의 치료 효과를 극대화하기 위하여 STING 단백질을 활성화할 수 있는 작용제(agonist) 개발을 위한 연구를 진행하고 있습니다. STING 단백질 작용제를 활용하면, ‘cold tumor’라 불리는 면역 반응이 약한 종양을 ‘hot tumor’로 변화시켜 면역관문억제제에 의한 치료 효과를 높일 수 있습니다.

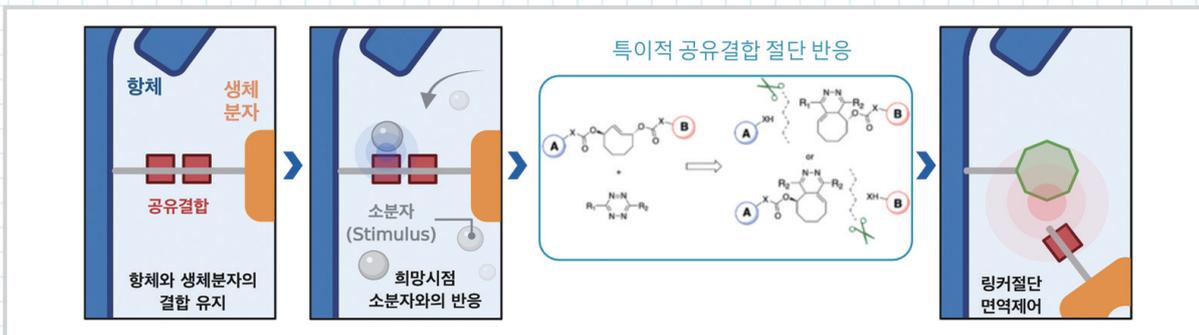


그림 2. 클릭반응을 이용한 링커 기술의 개발



졸업식 기념 학생 단체 사진 (2023년)



융합 워크숍 단체 사진 (2023년)



선배님들 사진 (2017, 2018년)

이외에도, 저희 연구실에서는 노벨 화학상을 받은 클릭화학을 이용해 높은 반응 속도와 수율로 항체에 위치 특이적으로 약물을 도입할 수 있는 링커 기술을 개발하거나, 부작용이 적은 말초조직 특이적 건선 치료제 개발을 위한 CB1 수용체 단백질 저해제(antagonist)를 개발하는 등 다양한 질병에 대한 효과적인 치료제 개발을 위해 노력하고 있습니다.

저희 연구실은 다양한 분야의 연구를 진행하고 있는 만큼, 교수님께서도 각 연구팀의 진행 상황을 꼼꼼히 살피며 학생들과 끊임없이 소통하고 계십니다. 이러한 교수님의 지도는 개인의 연구가 지속적으로 발전할 수 있을 뿐만 아니라 연구실 전체의 연구 수준을 높이는 힘으로 작용하고 있습니다.

Harmonious Collaboration: Cultivating Autonomous Research

저희 연구실은 학생 중심의 자율성과 협력을 중시하는 연구 환경을 지향하고 있습니다. 저희는 매주 금요일마다 '학생 미팅'이라는 특별한 제도로 진행되는 모임을 개최하여 연구실 구성원들끼리 더욱 끈끈한 관계를 형성하고, 자율적인 학습과 협력을 증진하고 있습니다.

'학생 미팅'은 모든 학생이 참여하는 것을 원칙으로 하며, 이는 학생들이 모여 각자가 읽은 논문에 대해 발표하고, 토의하는 시간입니다. 학생들은 이 시간을 통해 서로의 아이디어를 공유할 수 있고, 연구와 관련된 다양하고 새로운 시각을 얻을 수 있습니다.

또한, 저희 연구실의 가장 큰 장점은 연구 주제를 선택하는 것부터 실험을 계획하고 분석하는 것에 이르기까지 학생들에게 최대한의 자율성을 부여한다는 점입니다. 이를 통해 학생들은

자신의 연구 방향을 스스로 개척하고 독립적으로 문제를 해결하는 능력을 기를 수 있고, 자율적인 연구 활동을 통해 창의성을 증진할 수 있습니다.

그리고 학생들은 각자의 연구 결과를 '학생 미팅' 시간에 '프로그레스 미팅'이라는 주제로 발표하는 시간을 갖는데, 이를 통해 연구실 구성원들의 다양한 의견을 수용하고 연구에 필요한 지식과 노하우를 얻을 수 있습니다. 이는 연구를 더 나은 방향으로 발전할 수 있게 하는 중요한 원동력이 될 것입니다.

마지막으로, 저희 연구실의 또 다른 장점 중 하나는 '독특한 연구 환경'입니다. 저희 연구실은 김욱 교수님께서 지도교수님으로 계신 '분자의생명과학 실험실'과 유태현 교수님께서 지도교수님으로 계신 '합성단백질공학 실험실'과 학습 공간과 심지어는 실험 공간을 공유하며 상호 보완적인 협업을 촉진하고 있습니다.

공간을 공유한다는 것은 하루 중 많은 시간을 함께 보낸다는 것을 의미하며, 저희는 이러한 시간을 모아 다른 연구실 구성원들과 돈독한 관계를 유지하고 있습니다. 그뿐만 아니라 정기적으로 회식하거나 워크숍을 열어 최신 연구 결과를 공유하는 시간을 갖기도 합니다. 이는 각 연구실의 강점을 최대한 활용하여, 새로운 아이디어를 만들고 높은 수준의 연구를 수행할 수 있게 한다는 점에서 중요합니다.

실험 공간을 공유한다는 것은 학생으로서의 실험에 필요한 장비와 시설을 효과적으로 활용할 수 있어 매우 매력적이지만, 개인적으로 교수님들께는 다소 꺼려질 수도 있는 일이라고 생각합니다. 그럼에도 자유롭게 토론하고, 창의적인 아이디어를 만들어 나갈 수 있는 자리를 만들어 주신 모든 교수님께 감사を 표하며 이 글을 마칩니다!

연구자 되기 ⑧

연구자의 덕목 : 목표(目標) 의식

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

시작과 마무리의 어려움: 열역학적 관점

시작의 중요성을 나타내는 말로서 “시작이 반이다.”라는 속담이 있다. 또한 이 속담은 새로운 일을 시작하기가 어렵다는 의미로도 쓰인다. 무언가 새로운 일을 시작하기가 어려운 이유는 이미 해 오던 방식과는 다르게 일을 하려면 적지 않은 에너지가 필요하기 때문이다. 한편 “마지막 고개를 넘기기가 가장 힘들다.”라는 속담도 있다. 어떤 일이든 지 끝까지 마무리하기가 어렵다는 뜻이다. 일을 시작하면서 벌여 놓은 것들을 정리해서 하나의 결과물로 만들어 내기 위해서도 상당한 에너지가 필요하기 때문이다. 결국 어떤 일을 새롭게 시작하는 것도, 잘 마무리하는 것도 모두 쉽게 처리하기 어려운 임무이다.

일을 시작하고 마무리하기가 어려운 이유를 열역학적 관점에서 생각해 볼 수 있다. 화학 반응의 자발성을 따지는 깁스 자유 에너지(Gibbs free energy) 변화, ΔG 는 일정한 온도에서 다음과 같이 정의된다:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

{ ΔH : 엔탈피(Enthalpy) 변화, T : 절대 온도, ΔS : 엔트로피(Entropy) 변화}

어떤 새로운 화학 반응이 일어나려면 원래 있던 결합을 끊기 위한 활성화 에너지가 필요한 것처럼, 새로운 일을 시작하려면 기존의 상황과 다른 배치와 조합을 만들어내기 위한 에너지가 필요하다. 즉 새로운 시작은 에너지가 투입되어야 하는 양의 엔탈피 변화($\Delta H > 0$)가 일어나는 과정으로, 이는 자유 에너지를 증가하는 요인($\Delta G > 0$)이 되기 때문에 자발적으로 일어나기 힘들다. 반면에 진행하던 일을 마무리 짓는 것은 일어날 수 있는 가능한 경우의 수를 줄여가는 과정이기 때문에 음의 엔트로피 변화($\Delta S < 0$)가 일어나게 된다. 그런데 음의 엔트로피 변화 또한 자유 에너지를 증가시켜서($\Delta G > 0$) 자발적으로 발생하기 어렵다. 결론적으로 열역학적 관점으로 살펴보면 새로운 일의 시작은 양의 엔탈피 변화로 인해서, 하던 일의 마무리는 음의 엔트로피 변화 때문에 자발적으로 일어나기 어려운 일임을 알 수 있다. 그러므로 새로운 일을 시작하거나 최종적으로 일을 마무리 짓기 위해서는 시작과 마무리의 비자발성을 극복할 수 있을 정도의 많은 에너지를 쏟아야 한다.

마무리의 중요성

영어에서도 “Well begun is half done.” 혹은 “A good

beginning is half the battle.”와 같이 시작의 중요성을 강조하는 격언들이 있다. 그런데 이 영어 문장들은 우리 속담인 “시작이 반이다.”와는 조금 다른 의미를 가지고 있다. 영어 표현에서는 무언가를 무작정 시작하는 것만으로는 부족하고, ‘좋은’ 시작을 해야 일의 절반을 한 것이다. 그럼 어떻게 시작해야 좋은 시작이 될까? 우리가 무슨 일을 시작하는 이유는 보통 어떤 특정한 목적을 달성하거나 결과를 만들어내기 위함이다. 이런 맥락에서 좋은 시작이란 일의 성공 확률을 높일 수 있는 출발이다. 즉 좋은 시작이 중요한 이유는 좋은 결과를 내는데 유리하기 때문이다.

좋은 시작이 일의 성패를 결정하는 절반의 요인이라면, 나머지 절반의 요인은 좋은 마무리이다. 좋은 시작은 원하는 결과를 얻기에 적절한 출발을 의미하기 때문에, 좋은 시작이라는 말에는 이미 좋은 끝마무리에 대한 의미가 내포되어 있다. 이렇게 따지면 좋은 시작이 중요하다고 이야기하는 것은 사실 제대로 된 마무리를 강조하는 것으로 해석할 수 있다. 아무리 시작이 좋았더라도 마무리가 제대로 되지 않으면 일의 성과를 얻기는 매우 어렵기 때문이다.

목표 의식

연구자가 연구를 수행하는데 있어서도 좋은 끝마무리를 짓는 게 중요하다. 연구의 시작은 여러가지 새로운 아이디어에서 출발한다. 하지만 연구의 시작 단계에서 처음 만들어지는 계획과 구상들은 이전에 아무도 시도해 보지 않았던 일들이 대부분이기 때문에 아무래도 구체성과 실현 가능성이 낮을 수밖에 없다. 그래서 연구를 진행하다 보면 적지 않은 실패를 겪기도 하고, 처음 예상과는 다른 결과에 좌절하기도 한다. 연구를 하는 중에 맞닥뜨리는 실패와 좌절을 이겨내어 원하는 성과를 내고 연구를 잘 마무리하기 위해서는 연구자가 뚜렷한 목표(目標) 의식을 가져야 한다.

목표 의식은 어떤 목표를 향해 뜻을 세우고 이를 이루려고 하는 적극적인 신념이다. 목표 의식은 어떤 일을 하는 이유에 대한 확실한 대답을 제공하고, 일이 어디로 향해 나아가야 할지에 대한 명확한 방향을 제시해준다. 분명한 목표 의식은 일을 진행하면서 겪게 되는 시련에 쉽게 절망하지 않고, 중도의 포기 없이 끝까지 최종 목적지까지 다다를

수 있게 해주는 큰 원동력을 제공해 준다. 반복되는 실패와 좌절에 노출되기 쉬운 연구자가 도전을 멈추지 않고 꾸준히 연구에 매진하여 연구를 성공적으로 마무리하기 위해서는 목표 의식이 꼭 필요하다.

목표 설정 및 관리

목표 의식이 연구를 수행하는 ‘이유나 목적’에 대한 설명이라고 할 때, 그 목표를 ‘어떻게’ 설정하고 관리하는 지도 원하는 연구 성과를 만들어 내는데 영향을 미치는 중요한 요소가 된다. 성공적인 결과를 얻기 위한 목표 설정 및 관리 방법으로서 1981년에 George T. Doran이 제시한 SMART 기법이 있다.¹ SMART 기법의 알파벳 각각은 Specific, Measurable, Assignable, Realistic, Time-related의 첫 글자를 나타낸다. 이 다섯 개의 단어가 효과적인 목표 설정 및 관리와 어떻게 연관되는지 생각해보자.

가장 먼저 목표 설정은 구체적(specific)이어야 한다. 가령 어떤 화학 분석법의 정확도를 향상시키는 연구를 진행한다고 할 때, 분석법과 관계되는 여러 분석 단계 중에서 구체적으로 어느 단계를 개선시킬 지를 명확히 해야 한다. 목표가 구체적이고 명확할수록 문제가 생겼을 때 대책을 마련하고 해결 방안을 찾는 데 유리하다. 다음으로 목표는 측정 가능하도록(measurable) 설정되어야 한다. 측정할 수 있는 지표나 기준이 제시된 목표에 대해서는 일의 진행 정도를 파악하고 목표 달성 여부를 평가하는 분명한 규칙을 정할 수 있어서, 좀 더 객관적인 방법으로 일의 진척 상황을 측정하고 성과를 평가할 수 있다. 세 번째로 목표의 어떤 부분을 누구에게 할당할 수(assignable) 있을지 정해야 한다. 현대의 과학 연구에서 단독 연구는 거의 찾아보기 어렵다. 공동 연구를 진행할 때는 최종 목표를 구체적으로 세분화한 후, 각 세부 목표를 누가 담당할 지를 명확히 정해야 한다. 이렇게 공동 연구원 각자의 임무가 분명히 나누어지면 일의 진행 상황과 여부를 파악하기가 훨씬 수월해진다. 네 번째로 목표는 달성 가능할 정도로 현실적(realistic)이어야 한다. 너무 성취하기 어려운 목표를 세우면 반복되는 실패로 인해 좌절하는 시간이 많아져서, 목표를 향한 지속적인 동기 부여를 유지하기가 어려워진다. 그렇다

1. Doran, G. T. (1981). "There's S.M.A.R.T. way to write management's goals and objectives." *Management Review*, 70 (11): 35-36.

고 너무 쉽게 달성할 수 있는 목표를 정하게 되면, 비록 목표한 것을 얻더라도 만족할만한 성취감을 얻기는 어렵다. 따라서 현실적인 목표는 연구자의 능력과 의욕 등의 내적 요소와 연구 환경 및 지원 수준 등을 포함하는 외적 요소를 종합적으로 고려할 때, 쉽게 이룰 수는 없지만 가용 자원을 이용하여 충분히 달성할 수 있는 목표이다. 현실적인 목표 설정에 기반한 연구 성과의 달성과 그로부터 얻게 되는 성취감은 연구자가 지속적으로 연구 활동을 이어가는 데 큰 밑거름이 된다. 마지막으로 연구 목표 달성에 대한 기한이 정해져(time-related) 있어야 한다. 학점 또는 학기에 따라 시간이 정확히 정해져 있는 수업과는 달리, 연구에서는 일반적으로 정해진 마감 시간이 없다. 만약 연구의 목표 달성 기간이 제시되지 않았으면 연구의 진척 상황을 파악하기가 어렵고 일의 진행이 지연되기 쉽다. 반면에 최종 목표 완료 기한이 정해지면, 이 시각을 기준으로 매달 혹은 분기별로 단계별 세부 목표를 수립해서 그 목표들의 완수 여부를 판단할 수 있다. 또한 목표 달성 기한을 정해 놓으면 마감 시각에 대한 내적 압박감을 지렛대 삼아 연구의 진행이 늦춰지는 것을 방지할 수 있다.

목표 의식 유지에 필요한 태도

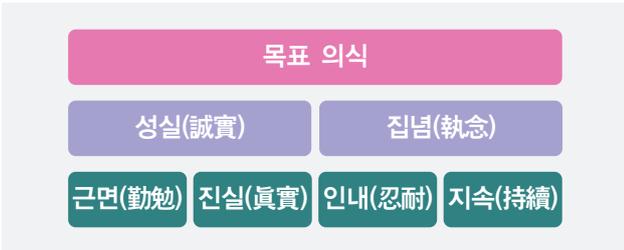


그림 1. 목표 의식의 핵심 요소

연구자가 연구를 수행하는 동안 성과 달성을 위한 목표 의식을 끝까지 유지하기 위해서는 몇 가지 핵심적인 태도가 뒷받침되어야 한다. 첫 번째로 목표 의식에는 성실(誠實)함이 필요하다. 여기서 성실하다는 말은 ‘열심히 진심을 다해야 한다’는 의미로서, 연구자가 근면(勤勉)하고 진실(眞實)되어야 한다는 뜻이다. ‘勤勉’에서 ‘勤(부지런할 근)’은 소리를 나타내는 ‘董(진흙 근)’과 뜻을 나타내는 ‘力(힘력)’이 합쳐진 형성자로서, 진흙 밭에서 힘써서 일하는 것을 의미한다. 그리고 ‘勉(힘쓸 면)’ 역시 소리를 나타내는

‘免(면할 면)’과 뜻을 나타내는 ‘力(힘력)’이 합쳐진 형성자로서, 무엇으로부터 벗어나기 위해서 힘쓰는 것을 나타낸다. 즉 ‘근면’은 어려운 상황을 극복하기 위해서 있는 힘껏 노력하는 것을 표현한다. 또한 ‘眞實’은 ‘참된(眞) 열매(實)’를 의미하는데, 은폐나 왜곡을 제거하고 드러나는 꾸밈없는 사실을 나타내는 단어이다.

두 번째로 목표 의식을 유지하기 위해서는 목표를 향한 집념(執念)을 가져야 한다. 집념은 ‘한 가지 생각이 머리 속에서 맴돌며 떠나지 않는 것’을 뜻하는데, 연구자가 인내(忍耐)하고 지속(持續)적으로 노력해야 한다는 말이다. ‘忍耐’에서 ‘忍(참을 인)’은 ‘刃(칼날 인)’과 ‘心(마음 심)’이 어우러진 형성자로서, 심장을 칼로 도려내는 듯한 고통을 견뎌내는 것을 의미한다. 그리고 ‘耐(견딜 내)’는 수염을 본떠 만든 ‘而(말이을 이)’와 손가락을 뜻하는 ‘寸(마디 촌)’이 합쳐져, 손으로 수염을 뽑는 고통을 참아내는 것을 나타낸다. 따라서 무언가를 ‘인내’한다는 말은 단순한 참음을 넘어 극심한 고통을 이겨내는 것을 의미한다. 그리고 ‘持續’은 ‘어떤 상태를 계속해서(續) 유지하는(持) 것’을 의미해서, 시간이 흘러도 변하지 않는 꾸준함을 표현한다.

정리하자면, 연구자가 연구 과정 중에 목표 달성에 대한 의식을 꾸준히 유지하기 위해서는 성실함과 집념을 지니고 있어야 한다. 연구 목표를 달성하기 위해서 성실해야 된다는 말은 목표를 향해 최선을 다해 노력하고, 거짓 없이 연구에 임해야 한다는 의미이다. 그리고 연구 목표를 향한 집념을 지녀야 한다는 것은 연구 과정 중에 겪게 되는 쓰라린 실패의 고통을 견뎌내고, 목표 달성에 대한 의지를 끝까지 이어가야 한다는 뜻이다. ⚙



김태영 Tae-Young Kim

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

CSI에서 화학이 하는 일, 법화학 2

민지숙 | 전 국립과학수사연구원
minjisook@naver.com

Abstract

법과학은 범죄와 관련된 증거물을 과학적인 방법으로 조사하여 수사의 단서를 제공하고 범행을 입증하는 학문이다. 감정 결과는 법정에서 판단의 근거로 사용되며 화학을 비롯하여, 의학, 약학, 공학, 생물학 등의 다양한 자연과학 분야로 이루어져 있다. 이때 사용되는 화학적 지식을 토대로 범죄와 관련된 증거물을 화학적인 방법으로 조사하여 수사의 단서를 제공하고 범행을 입증하는 학문을 법화학(forensic chemistry)이라 한다. 법화학의 분야는 분석업무를 기반으로 하며 다양한 화학적 지식이 요구된다. 최근 범죄수사관련 드라마 등이 소개되면서 법과학에 대한 관심이 대중화됨에 따라 현장에서 담당자들은 신속과 정확이라는 압박을 더욱 강하게 느끼고 있으나, 보람 또한 크다고 생각한다. 이에 정확한 정보를 소개하고 화학을 하는 많은 후배들이 법화학 분야에 좀 더 많은 관심을 갖고 발전시켜 주길 바라는 마음에서 법화학 분야의 전반을 소개하고자 한다.

〈CSI에서 화학이 하는 일, 법화학〉의 기술 목차는 다음과 같으며, 지난번에 이어 목차 3부터 시작한다.

1. 법화학 증거물의 소개 및 화학적 지문(다원소 동위원소) 활용
2. 미지시료 및 유해화학물질(가스, 산알칼리, 인화성 및 폭발물질 등) 분석
3. 미세증거물(섬유, 페인트, 토양 등)의 분석

4. 음주 및 화학물질 사고 관련 생체시료 분석
5. 원산지 추적

3. 미세증거물(섬유, 페인트, 토양 등)의 분석

미세증거물이란 육안으로 보이지 않을 정도로 작은 증거물(생체시료 제외)로서 모발, 섬유, 페인트, 토양, 유리 등 다양한 시료가 포함된다. 사건 현장에서 범인은 자신의

DNA나 지문이 현장에 남겨지지 않도록 주의하므로 사건에 따라서는 이와 같은 증거물들이 현장에 유류 되지 않는 경우들이 종종 있으며 이런 경우, 자신도 모르는 사이 현장에 유류되고 범인이 은폐하지 못한 미세증거물을 채취, 분석함으로써 사건 해결에 기여 할 수 있다. 에드몽 로카드는 “모든 접촉에는 흔적이 남는다”라고 했다. 즉 접촉을 통해 작은 미세시료들은 전이(transfer)와 교환(exchange)이 일어나고 이를 이용 사건의 재구성 및 해결에 기여 할 수 있게 된다. 뺑소니 자동차 하단에서 검출되는 피해자 의복 섬유, 교통사고 피해자 의복에서 검출되는 기름 또는 페인트 조각, 폭행사고 관련 사망자와 용의자의 의복에서 섬유의 전이, 신발이나 자동차에 남겨진 사건 현장의 토양, 유리를 깨고 침입한 강도 관련자의 의복 및 신발에서 유리조각 검출 등을 확인하므로써 사건 관련성을 입증할 수 있다. 미세증거물 감정 역시 현미경으로 검사 후 분석을 실시하는데 매우 작은 또는 적은 량의 시료이므로 현미경 하에서 채취 또는 성분 확인을 위해 IR, Raman, SEM 및 micro-XRF 등이 사용된다. 또한 피해자와 가해자의 시료의 동일성 입증을 위하여 LA-ICP-MS를 사용하기도 하고 시료의 양이 되는 경우 동위원소비 분석(IRMS)도 실시한다. 토양의 경우는 시료의 상태나 양 등에 따라 XRF, XRD도 사용하게 되고 GCMS, IC 등도 사용하게 된다.

모발은 외관 검사, 염색이나 파마 유무 확인 및 사건에 따라 약물검사, 동위원소 및 다원소 분석 등을 진행 할 수 있다.

섬유는 폭행, 절도, 뺑소니, 강간 사건 등에서 남게 되는데 범행의 종류에 따라 어디에서 섬유를 채취해야 하는지가 조금씩 다르다. 폭행 사건에는 무기(범구)나 손톱에서 채취해야하고 절도 사건은 침입구나 도주 경로에서 찾아 봐야한다. 섬유 증거물은 군집증거물이기 때문에 개별화를 해서 증거의 가치를 올려주어야 한다. 여러가지 섬유가 전이 되었음을 입증하거나, 섬유가 상호전이 되었음을 입증해야 한다. 섬유는 전이가 매우 잘되는 시료로 실험시 처리하는 각 사건 사이사이에 실험실 청소를 깨끗하게 해야 하며 피해자와 피의자의 범죠헌장 물품은 서로 오염되지 않도록 주의하여야 한다. 실험실내에서 테이프리프팅(tape-lifting)에 의해 시료를 채취 할 경우에는 오염 방지를 위하여 가급적 피해자와 피의자의 옷을 각각 다른 실험실에서 처리해야 한다. 공여자 의류에서 시험을 위한 적합한 섬유를 확인하고, 현장 증거물중에서 가장 유력한 부위부터 검사를 시작한다. 섬유 비교 시험에는 다양한 현미경을 사용하며 편광현미경은 그 중 많이 사용되는 현미경이고 MSP에 의한 색상의 비교도 실시하게 되고 IR, Raman, SEM-EDS 등을 사용 성분비교 확인 시험을 한다.

페인트 증거물은 보통 뺑소니 교통사고에서 자주 수거되며 절도 사건에서 범구를 사용하여 출입문을 부신 경우, 페인트 증거물을 수거하게 되고 그 외 선박 충돌 사고 등의 경우 페인트를 채취하게 된다. 교통사고 관련해서 피의차량의 접촉부위에 피해자 의복 섬유를 등이 유류되고 피해자의 의

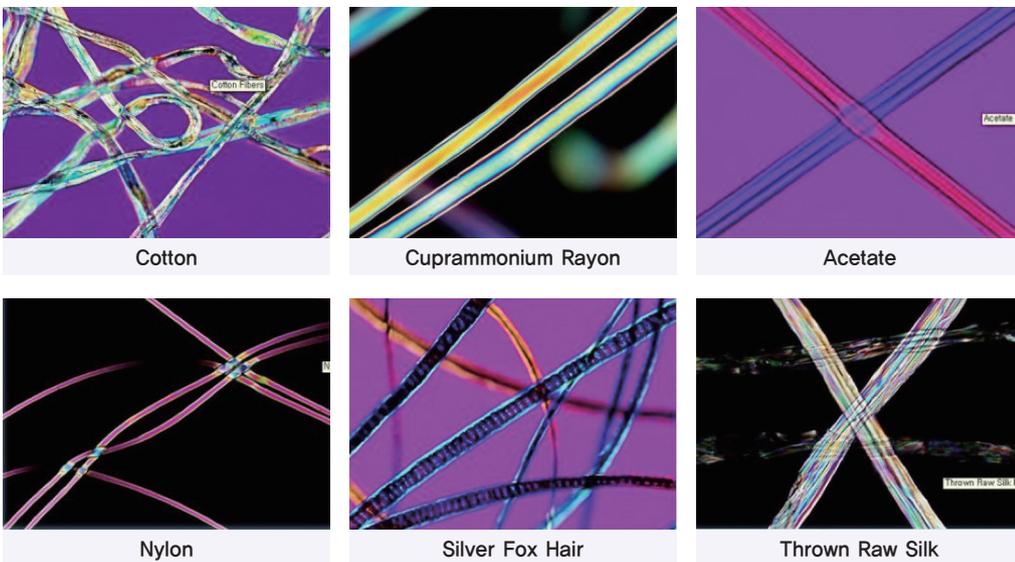


그림 1. 다양한 섬유 및 털의 편광 현미경 관찰 사진 [http://micro.magnet.fsu.edu/primer/techniques/polarized/gallery/index.html]

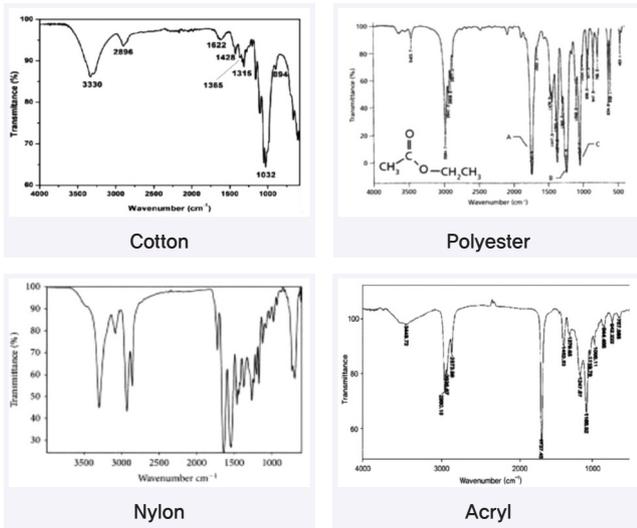


그림 2. 섬유 의 적외선 스펙트럼의 예시

류가 자동차로 전이가 일어나 의류의 표면에 자동차 페인트가 묻게 된다. 여기서 차의 색상을 알 수 있고 피해자의 어느 부분이 차와 접촉했는지 알 수 있다. 때론 차종 등을 추정할 수 있는 경우가 있으나. 요즘에는 CCTV를 많이 활용해서, 차종을 추정해야 하는 경우가 거의 없으며 시료의 크기가 작은 경우가 대부분이고 smear나 flake 형식으로 수거되고 있으며 시료가 좀 큰 경우는 전 층이 포함되는 chip 상태로 수거가 가능하지만, 이는 주로 선박사고나 재도색한 경우에 해당된다. 전 층 분석을 하면 증거능력이 올라가게 된다. 절도 등의 사고 현장의 tool mark에서는 페인트를 모두 수거해야 한다. 작은 아이템의 경우에는 통째로 의뢰해야 하고 증거물이 큰 경우에는 페인트를 채취, 종이로 포장하여 보내는 방법도 있다. 포스트잇에 부착해서

보내거나 종이를 접어서 포장하는 방법은 모든 미세증거물에 사용 가능한 방법이다.

4. 음주 및 화학물질 사고 관련 생체시료 분석

음주 여부의 확인, 즉 혈중알코올의 분석은 음주운전의 심자 및 변사체에 대한 검사 시 필수적으로 진행된다. 섭취한 알코올의 대사정도는 여러 요소에 의해서 달라진다. 섭취한 음식, 섭취한 술의 종류, 개인의 질병 여부 및 대사 능력 등의 영향을 받는다. 여성이 남성보다 음주 후 높은 알코올 농도를 보여주는 경향이 있으며, 이것은 여성이 남성보다 인체 내에 물을 적게 함유하고 있기 때문으로 추정된다. 경우에 따라 혈액 외 다양한 시료에서 알코올을 분석해야 한다.

혈중알코올의 농도가 0.35~0.50 % 코마상태가 되며 0.45 이상이 되면 사망에 이르게 되나 개인차가 크며 0.40 %가 안되도 사망하는 경우도 있고, 0.50 %가 넘어도 사망하지 않는 경우도 있다. 알코올 분석을 하는 데에는 여러 시료가 사용될 수 있는데 혈액, 소변, 눈유리체액, 담즙 및 각종 장기 등이 있으며 변사체의 경우 눈유리체액이 좋은 시료로 알려져 있다. 혈액을 채취할 때에는 보존제(미생물이 성장을 하지 못하게 함), 항응고제를 포함한 튜브에 가득 채우는 것이 좋고 섭씨 4도에 보관하는 것을 추천하나 가급적 채취 후 빠른 시간내에 실험을 실시한다. 혈중알코올 농도 분석에는 GC-FID를 사용하며, 에타올인지를 확인하기 위해서는 GC-MS 등을 사용한다. 요즘에는 음주 사고 직후 현장을 벗어난 후 다음 날 짬 자수를 하는 경우가 있다. 이 경우 음주여부를 확인하는 방법으로 EtS와

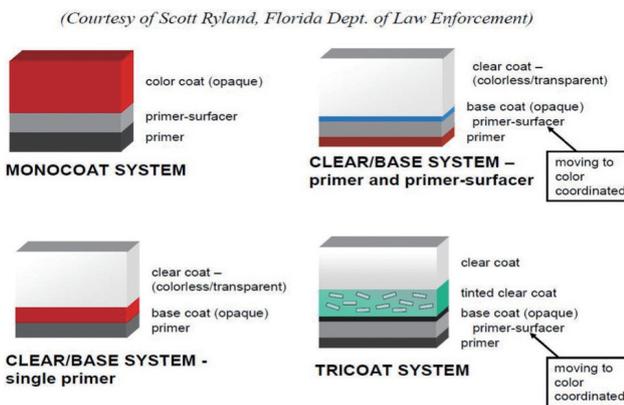
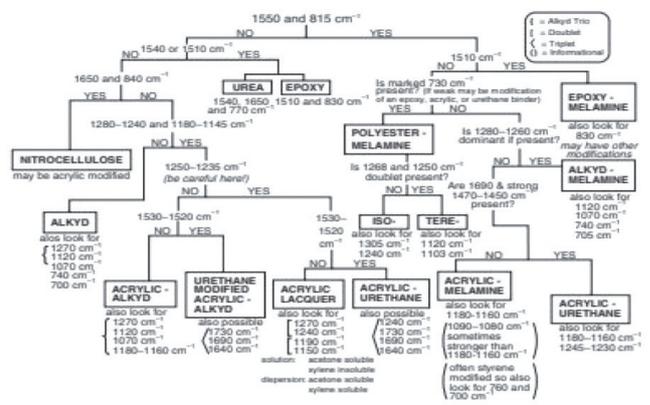


그림 3. 자동차 페인트 도막의 구성 예시(좌)와 적외선 스펙트럼의 특성피크에 따른 페인트 바인더의 분류 1



EtG 등의 대사체를 사용하기도 한다. 에탄올과 EtG의 비를 비교하여 음주 후 알코올 대사(흡수)의 상승기인지 하강기인지 추정할 수도 있다.

알코올과 함께 아세트론 등의 휘발성 물질들을 분석을 하여 아세트론 등이 높게 나오면 당뇨(diabetes)여부 혹은 굶주림(fasting) 등의 판단을 위한 부차적인 실험을 실시하게 된다. 그 외 휘발성 물질을 스크린 함으로서 이들 물질에 의한 중독 사망인지 여부를 확인하게 된다. 예를 들어 메탄올의 경우 술(에탄올)에 대한 오용으로 복용 사망하는 경우가 있으며 용매들을 다루는 작업 환경에서 잘못된 작업 또는 사고로 이들 화학물질에 의해 사망하는 경우가 있다. 또한 경우에 따라서는 대사물의 확인이 요구되기도 한다.

그외 앞서 기술한 바 있는 유해화학물질(산, 알칼리 및 각종 용제류 등), 가스(황화수소, 메탄, 암모니아, 헬륨, 아르곤, LPG 등), 오폐수, 방화(가솔린, 석유, 각종 용제, 식용유 등) 등의 사건 및 사고와 관련 사망자가 있는 경우 관련 물질 및 대사물질을 생체 시료에서 분석하여 사인을 규명하는데 일조하게 된다.

5. 원산지 추적

법과학에서 주된 작업은 가짜 상품의 진위여부, 원산지 및 오염유출원 규명 및 범죄현장에서 물리적 증거를 비교 분석하여 사건과의 관련성 및 특성 등을 찾아내는 것이다. 이미 만들어진 어떤 제품이 동물과 사람이 가지고 있는 “유전자”처럼 그 자신의 고유한 코드를 가지고 있다면 법과학적으로 매우 유용할 것이다. 법과학에서 이것은 이상적인 것으로 가능만 하다면 차량 폭발물, 총알, 테이프, 유리 파편과 같은 모든 품목, 모든 물건을 확인할 수도 있고 매우 적은 흔적량 일지라도 구별이 가능할 것이다.

그러나 제품 생산의 품질관리 측면에서 제조자는 모든 특징이 동일한 제품을 생산하려고 노력할 것이며 원하는 성질을 갖도록 하기 위하여 어떤 화학 성분은 필수적이다. 그럼에도 불구하고 법과학자에게 다행인 것은 화학적인 주성분이 특정 제품의 성질을 결정하게 되며, 생산과정이나 운반과정의 오염물질이나 원료물질에서 화학적 부성분의 작은 흔적량이 법과학자들이 찾고자 원하는 “유전적” 추적자가 될 수 있다는 점이다.[NITECRIME WORKSHOP Natural Isotopes in Criminalistics and Environmental Forensics, 3rd European Academy

of Forensic Science Conference, Istanbul, Turkey. 2003. 에서 논의
 흔적 원소와 자연적 안정 동위원소 양상이 화학적 지문으로서 이런 과정에서 도움이 될 수 있다. 측정기기의 새로운 발전으로 작고 값진 물건에 대한 덜파괴적인 방법으로 동위원소와 흔적원소 분석을 반복적으로 가능하게 되었다. 한 시료를 화학적으로 묘사하기 위하여 주(major), 부(minor), 흔적(trace) 원소로 서로 다른 분석기법에 의해서 특성화할 수 있는데, 시료의 동위원소적인 조성은 같은 흔적원소로 법과학자들은 다른 출처의 시료들을 구별하는 것이 가능하다. 최근 몇 년 동안 수 많은 기법들이 확립되어 법과학 실험실에서 사용되고 있다. 주로 사용되는 분석 방법은 안정동위원소비 질량분석법(Stable Isotope Ratio Mass Spectrometry, IRMS)과 유도결합플라즈마 질량분석법(inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS) 등이 있다. IRMS의 분석기술은 이런 논쟁들에 대해 검토되었으며 잠재력 있는 해답을 제공하고 있다. 초기연구는 이런 분석에 의해 제공되는 데이터의 증거력을 확인하는데 초점이 맞추어졌다. 물질의 일부분인 원소의 안정한 동위원소 조성은 그 물질의 유출지(source)와 역사(history)의 작용이다. 유출지나 역사가 다르다면 화학적으로 같은 두 물질이라도 안정동위원소의 조성은 다를 것이다. 이는 다른 유출지로부터 온, 화학적으로 같은 물질들에 대해 변론 할 필요성이 없음을 의미한다. 그러므로 이 분석법은 법과학에서 매우 유용하며, 실제 이와 같은 동위원소 분석법은 마약, 폭발물, 섬유류, 유리, 도료, 종이, 잉크, 플라스틱, 접착제 및 유전적 물질이 아닌 일반적인 물질들의 분석 결과에 대한 증거력을 상당히 증가 시킬 수 있다는 논문들이 많이 발표되었다. [Wattling, R., *J. Anal. At. Spectrom.* 1998, 13, 917-926; Zurhaar, A.; Mullings, L., *J. Anal. At. Spectrom.* 1990, 5, 611-617 등이 발표 시작으로 현재 다양한 책이 출판되어 있으며 논문들도 지속적으로 발표되고 있다.]

IRMS는 안정동위원소비를 분석하는 질량분석으로 C, N, O, S, H의 안정동위원소비를 측정하는 장비이다. 이와 같은 동위원소비를 확인하므로써 물질의 동일성여부를 확인하는데 도움을 줄수 있으며 또한 이들 원소로 구성된 유기체들(예: 농산물, 축산물 등)의 원산지를 추적 할 수 있다.

수소가 갖는 의미를 살펴보면, 수소의 근원은 water sphere로 바다가 가장 큰 부분을 차지한다. 그래서 바닷물을 수소동위원소비의 기준으로 잡고 있다. 마시는 물의 경

우, 각 지역에 내리는 비의 영향을 받으며 바다 근처나 적도 근처의 경우 동위원소비가 좀 더 무거워(heavier)지며 고위도, 고도가 높거나 대륙 안쪽으로 들어오는(바다로부터 멀어지는) 경우에 동위원소비는 가벼운 쪽(lighter)의 값을 갖게 된다. 그러므로 수소 동위원소비값으로 바닷가 근처, 고도가 높은지, 고위도인지, 대륙 안쪽에 있는지 등의 정보를 얻을 수 있다. 이 수소를 통해서 사람이나 동물도 지역적으로 이동한 것에 대해서 알 수 있다. 손톱이나 머리카락에는 거의 모든 정보가 들어 있기 때문에 기원지 또는 이동을 추적할 수 있다. 이처럼 수소는 지역적 정보를 준다.

산소의 근원은 물과 공기이다. 식물의 경우, 산소의 공급처가 물, CO₂, 공기가 된다. 산소만을 비교했을 때는 물 자체를 비교한 것과는 조금 다를 수 있으나 수소와 산소 모두 지역적 정보를 줄 수 있으며, 수소에서 보기가 좀 더 편하다. 산소는 빠에도 있다. 빠 속의 산소가 물과 연관이 깊다. 사람을 포함한 동물의 빠 속에 포함되는 산소는 그 지역의 물과 매우 연관이 깊으므로 빠 속의 산소는 과거의 지리적 이동, 출생지역(또는 살던 곳) 등을 알 수 있는 단서가 될 수 있다. 법과학에 있어서 유해(빠만 남은 사체)를 이용해서 그 사람의 출신지(주 주거지역)를 알 수 있는 경우, 사건 해결에 큰 도움이 된다. 빠의 산소를 분석해서 오리진(출생지 또는 살던 곳)에 대한 정보를, 머리카락을 분석해서 최근의 이동경로에 대한 정보를 찾기도 한다. 그 외 와인, 위스키나 치즈 등 많은 농·축산물 및 유제품의 원산지를 확인하는데 수소와 산소 동위원소비를 사용하기도 한다

탄소를 보면, 분포범위가 비교적 넓다. 그 이유는 식물에 의해서 이루어지는 탄소동화와 고정에 관여하는 서로 다른 광합성 과정과 관련된다. C3식물은 -27% 부근을 가지고 있고 C4식물은 -13% 부근의 값을 가집니다. C4식물에는 옥수수나 수수 등이 포함되며 C3식물의 경우에는 쌀과 같은 것이 포함된다. C4식물을 주로 섭취하는 미국이나 남아프리카의 경우 유럽인들보다 머리카락의 탄소동위원소비를 보면 좀 더 무거운 경향을 가지고 있다. 가짜꿀을 구별하기 위해서도 사용되는데 가짜꿀에는 옥수수 시럽이 포함되는 경우가 많다. 진짜 꿀의 경우는 가벼운 값을 가지고 있는 반면, 가짜꿀은 무거운 값을 가지고 있다. 얼만큼 섞

느냐에 따라 탄소동위원소비값이 달라지기 때문에 섞인 양의 확인이 가능하다.

질소의 가장 큰 근원지는 대기이다. 토양에서의 질소 작용은 매우 복잡하다. 일반적으로 -6~6%의 값을 갖고 있으며 넓지 않은 범위이다. 질소에서 중요한 것은 먹이사슬이다. 먹이사슬에서 한 단계위로 올라갈 때마다 질소동위원소비가 3~4% 정도 증가한다. 사람이 얼마나 토양에 영향을 주는지에 따라 토양의 질소동위원소비값에 영향을 많이 준다. 토양에 비료를 어떤 것을 사용하느냐가 가장 중요하다. 토양에 동물의 배설물을 줄 때에는 질소동위원소비값이 비교적 높고 합성비료를 줄 때에는 질소동위원소비값이 감소된다.

해양생태계의 경우에는 육상생태계보다 긴 먹이사슬을 가지고 있으며 이누이트족은 굉장히 높은 질소값을 가지고 있다. 일반적으로 인간의 질소값은 구조단백질과 영향이 있기 때문에 이 사람의 식습관(채식주의, 잡식 등)에 따라 달라집니다. 인간의 머리카락의 질소값을 보면, 채식주의자의 머리카락의 질소동위원소비값은 작고 얼마나 많이 육류를 먹느냐에 따라 질소동위원소비값이 달라진다. 많이 먹을 수록 질소동위원소비값이 높다. 초식동물부터 잡식동물로 감에 따라 질소동위원소비값이 올라가는 것을 볼 수 있다. 해양생물의 경우 굉장히 높은 질소동위원소비값을 가지고 있다. 단계가 올라갈수록 질소동위원소비값이 올라간다.

황의 경우, 바닷물이 근원지이다. 바닷물이 10~33% 정도 됩니다. 황은 특별히 내륙인지 바다 근처인지 구별하는데 많이 사용된다. 우크라이나는 내륙으로 우크라이나에서 온 사람의 빠의 황동위원소비값을 살펴보면 5.2~7.9%인데, 해안지방에서 온 사람들은 15~22%인 것을 알 수 있다. 황동위원소비값을 해석할 때에는 탄소나 질소의 동위원소비값들도 함께 고려해야한다. 이와 같은 안정동위원소들과 미량의 흔적 원소들, 앞에서 언급한바 있는 화학적 지문은 원산지 규명, 진위 여부, 동일성 등의 확인 및 유해시료의 지리적 기원 추적 등에 사용된다. 이상으로 법화학에 대한 많이 부족한 소개를 마치고자 한다. ☺



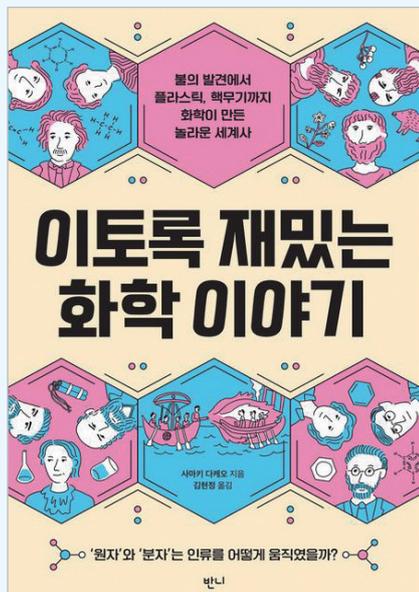
민지숙 Min, Ji Sook

- 이화여자대학교 화학과, 학사(1981-1985)
- 이화여자대학교 대학원 화학과, 석사(1987-1989)
- 이화여자대학교 대학원 화학과, 박사(1991-1996)
- 국립과학수사연구원 화학과(1985-2023)

1. FORENSIC CHEMISTRY HANDBOOK Edited by Lawrence Kobilinsky Wiley, 2011
2. STABLE ISOTOPE FORENSICS 2nd Edition Wolfram Meier-Augenstein Wiley, 2018

이토록 재밌는 화학 이야기

사마키 다케오 지음 | 김현정 옮김 | 종이책
2022.12.1 출간 | ISBN 9791167961242



목차

- 제1장 물질은 무엇으로 이루어졌을까?
- 제2장 데모크리토스도 아인슈타인도 원자에 주목했다
- 제3장 만물을 만들어내는 원소와 주기율표
- 제4장 불의 발견과 에너지 혁명
- 제5장 세상에서 가장 무서운 화학물질
- 제6장 카레라이스로 보는 음식의 역사
- 제7장 역사를 바꾼 맥주, 와인, 증류주
- 제8장 토기에서 '세라믹스'로
- 제9장 유리가 바뀌놓은 도시 풍경
- 제10장 금속이 낳은 철기 문명
- 제11장 금에 대한 욕망이 세계화를 이끌다
- 제12장 아름답게 물들이다
- 제13장 의학혁명과 합성염료
- 제14장 마약과 각성제와 담배
- 제15장 석유 문명
- 제16장 꿈의 물질의 반전
- 제17장 인류가 화학을 원하다
- 제18장 화학무기와 핵무기

책 소개

‘화학’이라 부를 만한 인류 최초의 경험은 무엇이었을까? 바로 불의 발견이다. 불은 ‘연소’라는 화학반응에 따르는 격렬한 현상이다. 불은 조리와 난방뿐만 아니라, 점차 벽돌을 굽거나 광석에서 금속을 뽑아내는 정련, 금속 가공에도 사용되었다. 특히 제련 기술의 발전은, 철이라는 새로운 금속을 사용할 수 있게 해주었다. 이는 지금도 철기 문명의 연장선에 있다고 볼 수 있을 정도로 인류의 문명을 유지하는 가장 중요한 물질이자 재료다. 인류는 화학적 지식을 발판삼아 도구, 불(에너지), 옷, 집, 건물, 도로, 다리, 철도, 배, 자전거 등을 만들고, 농업과 공업의 힘을 빌려 전 세계로 뻗어나갔다. ‘화학’이라는 학문의 진보와 성과가 가져다준 물질과 재료는 인류 문명의 토대가 되었다. 더 나아가 인류는 자연에 존재하지 않는 물질마저도 화학지식과 기술로 창조해냈다. 『이토록 재밌는 화학 이야기』는 화학과 세계사의 만남이라 할 수 있는 책으로, ‘화학’이라는 학문의 진보와 화학의 성과가 인간의 역사에 얼마나 영향을 미쳐왔는지, 그 빛과 어둠을 모두 소개한다. 장 별로 살펴보면 제1장부터 제3장까지는 예술, 사상, 학문이 눈부시게 꽃을 피운 고대 그리스 시대에 자연과학과 화학이 어떻게 등장했는지 소개하며, 화학의 기본 개념과 원자론, 원소, 주기율표 등이 등장한 배경을 여러 천재 화학자들의 이야기와 함께 엮어 설명한다. 제4장부터 제18장까지는 불, 음식, 알코올, 세라믹스, 유리, 금속, 금과 은, 염료, 신약 개발, 마약, 폭약, 화학무기, 핵무기에 이르기까지, 화학이 만들어낸 놀라운 세계사 속으로 우리를 안내한다.

저자 소개

사마키 다케오 : 과학을 쉽고 흥미롭게 전달하는 과학 강연자이자 작가. 1949년 출생, 지바대학교 교육학부를 졸업하고 도쿄학예대학교 대학원 물리화학·과학 교육 석사 과정을 수료했다. 이후 중·고등학교 교사로 26년간 교편을 잡았고, 중학교 과학교과서 편집위원이자 집필자로 참여했다. 전 호세이대학교 생명과학부 환경응용화학학과 교수를 역임했다. 현재 도쿄대학교 비상근강사로 근무하고 있다. 과학교실과 강연회에서 흥미진진한 과학수업을 하는 것으로 유명하다. 두 달에 한 번 발간되는 과학잡지 『이과 탐험(Rica Tan)』의 편집장으로도 활동 중이다. 주요 저서로는 『재밌어서 밤새 읽는 화학 이야기』, 『3일 만에 읽는 화학』, 『물리와 친해지는 1분 실험』, 『세상을 놀라게 한 미생물과 감염병 이야기』, 『처음부터 화학이 이렇게 쉬웠다』 등이 있다.

역자 소개

김현정 : 이화여자대학교에서 법학을 전공하고 동 대학교 통변역대학원에서 한일 통역학 석사 학위를 받았다. 동북아연합(NEAR)에서 일본 전문위원으로 근무하다가 과감히 사표를 던지고 현재 바른번역 소속 번역가로 활동 중이다. 좋은 책을 한 권이라도 더 소개하고 싶은 마음으로 출판기획 및 번역을 진행하고 있다. 옮긴 책으로 『불멸의 과학책』, 『정의중독』, 『선생님, 저 우울증인가요?』, 『팬베이스』, 『문질러서 빠지지 않는 삶은 없다』 등이 있다.

이달의 추천 플랫폼

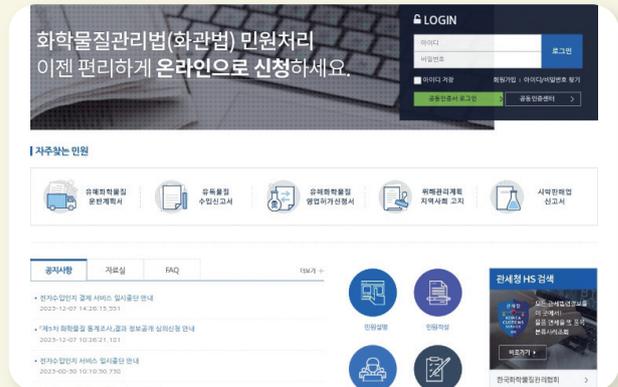
화학물질안전원 화학물질종합정보시스템

(<https://icis.me.go.kr/main.do>)



플랫폼 소개

이번 12월호에는 화학물질안전원에서 운영하는 화학물질 종합정보시스템(<https://icis.me.go.kr>)을 소개하고자 합니다. 화학물질종합정보시스템은 화학물질관리법(화관법) 제 48 조에 따라 화학물질 안전관리정보, 화학사고 발생 이력 및 화학사고 대비 대응 등과 관련된 정보를 제공하는 종합 포털입니다. 화학물질을 자주 다루는 대한화학회 회원 여러분 들뿐만 아니라, 화학사고 대응 기관 및 일반 시민들이 관련 된 정보를 편리하고 신속하게 얻을 수 있습니다. 다양한 화학물질의 기본정보, 제조 방법, 사고 위험성, 인체 유해성, 응급 의학 정보 등이 체계적이고 알기 쉽게 담겨져 있어서, 화학 물질에 대한 훌륭한 데이터베이스 역할을 합니다. 뿐만 아니라, 화학물질 사고현황 및 사례 등도 지역별, 사고사 례별 등으로 잘 분류가 되어 있어서, 기관이나 사업체에서 필요한 정보를 얻어 신속하게 대응할 수 있게 도와줍니다. 정보마당에는 다양한 자료가 축적되어 있어, 회원 여러분들 께서 필요한 정보도 쉽게 얻을 수 있을 것으로 기대합니다.



>>> 부 고

2023.11.30 강은주(경희대학교 응용화학과)회원 시부상
 2023.11.26 양민오(충북대학교 화학과)회원 모친상
 2023.11.25 노동윤(서울여자대학교 화학과) 회원 빙부상
 2023.11.24 김성훈(건국대학교 화학과) 회원 모친상
 2023.11.23 김종호(전 애경유화) 회원 별세

2023.11.20 임종국(조선대학교 화학과) 회원 빙모상
 2023.11.15 임희준(경인교육대학교 과학교육과) 회원 부친상
 2023.11.14 진미선(GIST 생명과학부) 회원 부친상
 2023.11.9 한영규(동국대 융합에너지신소재공학과) 회원 부친상
 2023.11.7 김동진(전 KIST 책임연구원) 회원 빙모상
 2023.11.4 이한주(한국기초과학지원연구원 서울센터) 회원 부친상
 2023.11.1 김종승(고려대학교 화학과)회원 부친상

2024
 신년교류회

일시 : 2024년 1월 10일(수요일) 오후 3시
 장소 : SC컨벤션 강남점 아나이스홀
 (한국과학기술회관 12층) 2호선 강남역 12번 출구

오시는 길

한국화학관련학회연합회 회장 김병국
 대한화학회 회장 이필호
 한국고분자학회 회장 김윤희
 한국공업화학회 회장 이동훈
 한국세라믹학회 회장 조우석
 한국화학공학회 회장 이진원
 한국전기화학회 회장 이재준



서울시 성북구 안암로 119 한국화학회관 3층

Tel: 02-925-5271 / Fax: 02-925-5272 http://www.kucst.org E-mail: kucst@kucst.org



결과보고

제132회 대한화학회 학술발표회, 총회 및 기기전시회

일시 : 2023년 10월 25일(수)~27일(금)

장소 : 광주 김대중컨벤션센터

초록통계 : 1,231편

등록인원 : 2,384명

글 고두현 총무실무이사(성균관대학교 화학과)

개관

10월 25일(수)~27일(금) 광주 김대중컨벤션센터에서 제 132회 대한화학회 학술발표회, 총회 및 기기전시회가 개최되었다. 통계적 측면에서 살펴본 학술발표회에는 기조강연 1편, 이태규학술상수상기념강연 1편, 분과별 수상기념강연 14편, 분과별 심포지엄 189편, 분과별 구두발표 110편, 포스터 발표 916편을 포함해 총 1,231편의 학술발표회가 진행되었다. 또한 화학 관련 산업체에서 자사의 홍보를 위해 기기전시회에 참여하였다.

25일(수)에 진행된 특별 심포지엄에서는 ACS와 공동 개최된 Applied Bio Materials Research Publications Summit을 비롯하여 탄소 및 탄소 관련 재료를 주제로 IBS 심포지엄이 진행되었고, 젊은 화학자 특별 심포지엄이 개최되었다. 또한 동진썬미캠의 후원으로 미래혁신 화학심포지엄이 주제 별로 5개의 심포지엄으로 개최되었다. 심포지엄 주제는 다음과 같다. 'BKCS 심포지엄: 화학이 만드는 우리 인생의 이야기', '4차 산업혁명 시대 화학교육의 선진화를 위한 최신 화학 소개', 'Sub-nm 급 반도체용 소재 혁신 위한 화학의 역할', '엔트로피 접근법을 통한 고성능 다성분계 거대분자 소재', '상 전이 거동에 대한 융합적 이해'이다.

26일(목)~27일(금)에는 각 분과회별 심포지엄과 구두발표를 시작으로 장석복 회원(KAIST/IBS)의 기조 강연과 대한화학회 총회가 열렸다. 다음날 오전부터 '에너지 과학의 다학제적 접근'이라는 주제로 KCS-RSC Joint 심포지엄이 진행되었다. 오후에는 이태규학술상을 수상한 경북대학교 최철호 회원의 수상 기념 강연이 많은 회원들의 축하 속에 진행되었다. 이틀간 전시홀에서는 포스터 발표와 기기 전시회가 회원들의 활발한 참여 가운데 개최되었다.

첫째 날[10월 25일(수)]

KCS-ACS Applied Bio Materials Research Publications Summit

13:30~17:40, 208+209+210호에서 KCS-ACS Applied Bio Materials Research Publications Summit이 개최

되었다. "나노바이오 화학 분야 주요 연구 트렌드와 도전"이라는 주제로 진행되었다. 나노바이오 기술과 소재과학기술 분야를 주로 리딩하고 있는 ACS Applied Materials Interfaces, ACS Applied Bio Materials 등에서 활동하고 있는 미국화학회 에디터 및 국내 대한화학회의 리더들을 초청하여 화학 각 분야의 학문적 맥락, 발전 과정, 해결해야 할 난제, 최근 연구 동향 및 미래의 연구 방향에 대한 정보를 국내 화학자들과 공유하는 기회를 마련하였다. 신석민 회장의 개회사 후 Kirk Schanze(ACS AMI, Editor-in-Chief, University of Texas)의 "Conjugated Polyelectrolytes in Biosensing and Disinfection"에 대한 강연을 시작으로, Shikha Nangia(ACS ABM Asso Editor, Syracuse University), 윤주영(이화여대), Ashutosh Sharma(ACS ABM Associate Editor, IIT Kanpur), 임미희(KAIST), Elisabeth Engel(ACS ABM Associate Editor, The Barcelona Institute of Science and Technology), 김종승(고려대), Deeksha Gupta(ACS Publications)의 발표와 연구 결과 소개가 이어졌다.

IBS 심포지엄

13:30~18:00, 211+212+213호에서 개최된 IBS 심포지엄은 "탄소 및 탄소 관련 재료"라는 주제로 IBS 다차원 탄소소재 연구단(Center for Multidimensional Carbon Materials, CMCM)의 연구 결과를 중심으로 진행되었다. 본 심포지엄에서는 액체 금속 사용과 같은 새로운 합성 방법을 포함하여 탄소 및 질화붕소 재료의 최근 발전 내용을 소개하는 자리를 마련 마련하였다. Rodney S. Ruoff(기초과학연구원/UNIST)의 개회사 후 서영덕(UNIST) 회원의 "MINE-based (Molecular Integration Nanoscope-based) Closer Look into Materials and Beyond."에 대한 발표를 시작으로 신현석(UNIST), 민승규(UNIST), 이근식(UNIST), 성원경(기초과학연구원), Da Luo(기초과학연구원), Benjamin V. Cunning(기초과학연구원), Meihui Wang(기초과학연구원), Rodney S. Ruoff(기초과학연구원/UNIST)의 발표와 연구 결과 소개가 이어졌다.



KCS-ACS Applied Bio Materials Research Publications Summit. (왼쪽 부터) Kirk Schanze(ACS AMI, Editor-in-Chief, University of Texas), Shikha Nangia(ACS ABM Asso Editor, Syracuse University), 윤주영(이화여대), Ashutosh Sharma (ACS ABM Associate Editor, IIT Kanpur), 임미희(KAIST), Elisabeth Engel(ACS ABM Associate Editor, The Barcelona Institute of Science and Technology), 김종승(고려대), Deeksha Gupta(ACS Publications).



IBS 심포지엄. (왼쪽 부터) 서영덕(UNIST), 신현석(UNIST), 민승규(UNIST), 이근식(UNIST), 성원경(기초과학연구원), Rodney S. Ruoff(기초과학연구원/UNIST).



젊은 화학자 특별 심포지엄. (왼쪽 부터) 손창윤(POSTECH), 김병선(경상대).



[미래혁신 화학심포지엄 및 BKCS 심포지엄] 화학이 만드는 우리 인생의 이야기. (왼쪽 부터) 이인수(POSTECH), 임미희(KAIST), Kara Bren(University of Rochester), Abhishek Dey(Indian Association for the Cultivation of Science).



[미래혁신 화학심포지엄 및 BKCS 심포지엄] 4차 산업혁명 시대 화학교육의 선진화를 위한 최신 화학 소개. (왼쪽 부터) 이승재(전북대), 김선희(한국기초과학지원연구원), 박기영(KAIST), 이혁진(공주대).



[미래혁신 화학심포지엄] Sub-nm 급 반도체 용 소재 혁신 위한 화학의 역할. (왼쪽 부터) 최상준(㈜켄폴), 김정형(한국표준과학연구원), 황찬국(포항공속기연구소), 정현담(전남대).



[미래혁신 화학심포지엄] 엔트로피 접근법을 통한 고성능 다성분계 거대분자 소재. (왼쪽 부터) 팽기욱(성균관대), 김성수(KIST), 성봉준(서강대), 강영종(한양대).



[미래혁신 화학심포지엄] 상 전이 거동에 대한 융합적 이해. (왼쪽 부터) 신용대(서울대), 이재규(서울대), 김경규(성균관대), 정용원(한국과학기술원).

젊은 화학자 특별 심포지엄

13:00~17:55, 302+303호에서 개최된 젊은 화학자 특별 심포지엄은 미래 한국의 화학연구를 이끌어갈 각 분과의 가장 젊은 화학자들을 모셔 발 빠르게 변화하고 있는 연구의 주요 화두, 연구환경 및 연구 범위에 대해 다양한 세부 분과의 젊은 화학자들 간의 토론과 인적교류를 유도할 수 있는 장을 기대하며 개최되었다. 손창운 회원(POSTECH)의 “Controlling Charged Interfaces for Energy/Bio Applications: Insights from Predictive Molecular Simulations.”에 대한 발표를 시작으로, 유성주(아주대), 임종우(서울대), 채문석(부경대), 김춘수(공주대), 김병선(경상대), 오현철(UNIST), 전용웅(KAIST), 김용주(고려대), 배한용(성균관대), 김혜진(한국화학연구원)의 발표와 연구 결과 소개가 이어졌다.

[미래혁신 화학심포지엄 및 BKCS 심포지엄] 화학이 만드는 우리 인생의 이야기

13:00~17:55, 201+202+203호에서 “화학이 만드는 우리 인생의 이야기”라는 주제로 개최된 미래혁신 화학심포지엄은 화학이 인간 생활에 미치는 영향에 대한 실제적인 연구 내용 발표를 통해 토론의 장을 마련하였다. 옥강민(서강대) 회원, 금교창(KIST)회원의 개회사 후 첫 번째 강연자인 이인수 회원(POSTECH)의 “Crafting Designer Nanoreactors for Bio-orthogonal Catalysis in Living Systems”에 대한 강연을 시작으로, 임미희(KAIST), 조재홍(UNIST), 한수봉(KRICT), 박기덕(KIST), 김승현(대구 경북첨단의료산업진흥재단), Kara Bren(University of Rochester), Todd Harrop(University of Georgia), Abhishek Dey(Indian Association for the Cultivation of Science), 남원우(이화여대) 회원의 연구 결과 소개가 이어졌다.

[미래혁신 화학심포지엄] 4차 산업혁명 시대 화학교육의 선진화를 위한 최신 화학 소개

14:30~17:10, 206+207에서 “4차 산업혁명 시대 화학교육의 선진화를 위한 최신 화학 소개”라는 주제로 개최된

미래혁신 화학심포지엄은 화학의 최신 연구를 바탕으로, 4차 산업혁명 시대에서 요구하는 화학 관련 직업군의 다변화에 대응하고, 화학분야 전문성을 강화할 수 있는 교육 방향과 방법을 찾아내어 화학 교육의 최신화와 선진화를 위한 발전 방향에 대해 논의하였다.

이승재(전북대) 회원의 “A multi-disciplinary approach to the elucidation of protein activities”에 대한 발표를 시작으로 김선희(한국기초과학지원연구원), 박기영(KAIST), 이혁진(공주대), 김진영(서울대), 김현경(전북대) 회원의 연구 결과 소개가 이어졌다.

[미래혁신 화학심포지엄] Sub-nm 급 반도체 용 소재 혁신 위한 화학의 역할

13:00~15:40, 214에서 “Sub-nm 급 반도체 용 소재 혁신 위한 화학의 역할”라는 주제로 개최된 미래혁신 화학심포지엄은 산학연 연구자들의 최신 반도체 용 소재 연구 및 개발 현황을 소개함으로써 여러 화학 분야 연구자들의 창의성과 기초 과학 연구 역량 및 지식을 바탕으로 sub-nm 급 반도체 용 소재 기술의 난제 해결을 모색할 수 있는 논의의 장을 마련하였다.

최상준(㈜켄폴) 회원의 “Advancements and State-of-the-Art Trends in Semiconductor Photoresist Materials”에 대한 발표를 시작으로 김정형(한국표준과학연구원), 윤효재(고려대), 황찬국(포항가속기연구소), 정현담(전남대) 회원의 연구 결과 소개가 이어졌다.

[미래혁신 화학심포지엄] 엔트로피 접근법을 통한 고성능 다성분계 거대분자 소재

14:00~17:50, 301호에서 “엔트로피 접근법을 통한 고성능 다성분계 거대분자 소재”라는 주제로 개최된 미래혁신 화학심포지엄은 다성분계 열역학적 엔트로피 접근법을 통한 소재의 성능 향상을 논의하고자 하며, 특별히 다성분계 거대분자 시스템에 대한 이해와 블렌드 morphology 분석, 상분리 제어를 통한 소재의 성능 향상을 다학제간 측면에서 논의하였다.

팽기욱(성균관대) 회원의 “Segmental dynamics of a

component polymer in multicomponent polymer mixtures”에 대한 발표를 시작으로 김성수(KIST), 성봉준(서강대), 강영중(한양대), 고두현(성균관대), 류두열(연세대), 손창윤(POSTECH) 회원의 연구 결과 소개가 이어졌다.

[미래혁신 화학심포지엄] 상 전이 거동에 대한 융합적 이해

14:00~17:50, 304+305+306호에서 “상 전이 거동에 대한 융합적 이해”라는 주제로 개최된 미래혁신 화학심포지엄은 분야를 막론하고 상 전이라는 개념으로 묶일 수 있는 여러 주제를 연구하는 연구자들을 모아 각 분야의 독창적인 관점을 공유하고 이를 통해 혁신적인 연구 아이디어를 창출하고자 하였다.

성재영(중앙대) 회원의 “Statistical Thermodynamics and Chemical Dynamics of Nucleus Seed Formation and Ensuing Phase Transitions in Complex Biological and Material Systems”에 대한 발표를 시작으로 신용대(서울대), 최정모(부산대), 이재규(서울대), Tuomas Knowles (University of Cambridge), 김경규(성균관대), 장준경(부산대), 정용원(한국과학기술원) 회원의 연구 결과 소개가 이어졌다.

둘째 날 [10월 26일(목)]

기조강연

13:30~14:20, 다목적홀에서 장석복 회원(KAIST/IBS)의 기조강연이 진행되었다. “Catalytic C-H Amination Reactions: Scope and Intermediacy of Metal Nitrenoids”라는 제목으로 많은 회원의 관심 속에 흥미로운 강연이 이루어졌다

총회

14:30~15:30, 다목적홀에서 대한화학회 총회가 개최되었다. 운영위원을 비롯한 회원들이 참석한 가운데 신석민 회장(서울대)의 개회사로 시작되었다. 이태규학술상에 최

철호 회원(경북대학교), 화학경영자상에 이준혁 대표(동진씨미켄), 기술진보상에 황규영(삼성전자 SAIT), 초중등학교화학교사상에 박지훈 교사(부산과학고등학교), 우수박사학위논문상에 김태희 회원(연세대학교/ETH Zurich), 이경진 회원(서울대학교), 전소연 회원(고려대), 최지수 회원(대구경북과학기술원), 우수지부상에 최원영 회원(UNIST) 울산지부, 화학경영자상에 이준혁 대표(동진씨미켄), Sigma-Aldrich 화학자상에 고두현 회원(성균관대), 김병수 회원(연세대), 아이센스 여성화학자상에 윤재숙 회원(성균관대), KCS-Wiley 젊은화학자상에 임종우 회원(서울대), 이윤미 회원(연세대)이 수상의 영예를 안았다. 총회 현장에 참석하지 못한 수상자 분들께는 상패 및 부상을 따로 전달드렸다. 지면을 빌어 수상자분들께 축하의 인사를 전한다. 시상식을 마치고 성재영 총무부회장의 2023년 9월 말까지의 회무, 회원 현황, 및 2023년도 일반·특별 회계 예산 집행 현황을 보고하였다. 이어서 규정·세칙 제정 및 개정 현황, 지부 및 분과 2024년도 일반·특별 회계 수입 지출 예산안 보고가 진행되었다. 보고사항에 대한 질의 및 토의가 이루어졌다. 폐회사로 총회를 종료하였다.

분과별 심포지엄 및 구두발표

대한화학회 제132회 총회 및 학술발표회에서는 화학의 각 분야에서 수행되고 있는 뛰어난 연구 결과들이 활발하게 발표되었고 열띤 토론이 있었다. 분과별 심포지엄은 아래의 다양한 주제로 구성되었다.

[고분자화학] 고분자 합성 연구의 최신 동향 / 중견 고분자화학 연구자 심포지엄 / 지속가능형 고분자 소재의 최신 연구동향; [무기화학] 무기재료화학의 최신 연구동향 / 배위화학 및 유기금속화학의 최신 연구동향 / 나노화학의 최신 연구동향; [물리화학] 광전기화학 연구의 최근 동향 / 컴퓨터와 화학: 최신 연구 동향 / 에너지 과학을 위한 물리화학의 최신 연구동향; [분석화학] 산업 문제 해결을 위한 분석화학 최신 연구 동향 / 첨단 분석화학 최신 연구 동향; [생명화학] 생체분자 응집현상 연구의 최신 동향 / 바이오 시스템 엔지니어링 연구의 최신 동향; [유기화학] 국외 유기화학자 심포지엄 / 유기화학의 최신 연구 동향 / 촉매유기화학의 최신 연구 동향; [의약화학] 의약화학인상 수상

132nd General Meeting of the Korean Chemical Society

October 25-27, 2023
Pyeongtaek Convention Center, Gyeonggi-do



기조강연 모습.
장석복 회원(KAIST/IBS).



이태규학술상 수상기념강연 모습.
최철호 회원(경북대).



총회에서 신석민 회장의 개회사 및 시상식 모습: 기조강연 기념패에 장석복 회원(KAIST/IBS), 이태규학술상에 최철호 회원(경북대), 감사장에 박한오 대표 (바이오니아), 기술진보상에 황규영(삼성전자 SAIT), 초중등학교화학교사상에 박지훈 교사(부산과학고등학교), 우수지부상에 울산지부 최원영 회원(UNIST), Sigma-Aldrich 화학자상에 고두현 회원(성균관대), 김병수 회원(연세대), 아이센스 여성화학자상에 윤재숙 회원(성균관대), KCS-Wiley 젊은화학자상에 임종우 회원(서울대), 이윤미 회원(연세대), 우수박사학위논문상에 최지수 회원(대구경북과학기술원), 전소연 회원(고려대), 공로패에 강은주 회원(경희대).



포스터 발표회, 기기전시회 모습.

제132회 대한화학회 학술발표회, 총회 및 기기전시회



분과회 학술상 수상자 강연 모습. (왼쪽 부터)김명수학술상: 윤상운 회원(중앙대), 영인과학분석화학학술상: 이재범 회원(충남대).



포스터상 시상 및 경품추첨 모습.



광주 중고등학생 특강 모습. 석차옥 회원(서울대).



운영위원회 단체사진 (왼쪽 부터) 김태규(학술실무이사), 김정욱(홍보실무이사), 이윤미(학술실무이사), 한순규(홍보실무이사), 윤재숙(홍보부회장), 김지환(학술부회장), 추현아(산학협력부회장), 황성주(국제협력부회장), 신석민(대한화학회 회장), 성재영(총무부회장), 이광렬(기획부회장), 이진석(기획실무이사), 장락우(총무실무이사), 강은주(총무실무이사), 성봉준(홍보실무이사), 윤희재(기획실무이사), 정유성(국제협력실무이사).



[KCS-RSC Joint 심포지엄] 에너지 과학의 다학제적 접근 (왼쪽 부터) James K. McCusker (Michigan State University), Martyn McLachlan (Imperial College London), Natalie Stingelin(Georgia Institute of Technology), Michaela Muehlberg(Royal Society of Chemistry).

강연 / 최신 유전자 암호화 라이브러리 기술 동향: [재료화학] 2023 BKCS의 선택-재료화학 / 배터리 응용을 위한 재료화학의 최근 동향 / 양자특성을 갖는 나노소재의 합성부터 응용까지; [전기화학] 전기유기합성: 전기화학 그리고 유기화학 / 탄소중립을 위한 전기촉매 화학 반응 / 기초전기화학의 최신 연구 동향; [화학교육] 화학교육의 최근 이슈와 연구 동향 / 과학영재를 위한 화학교육; [환경에너지] (초)미세플라스틱 검출 및 인체/환경영향 / 이산화탄소 포집·활용 알키미스트 기술: 탄소부터 액체연료까지

특히 분과별 학술상 수상자의 기념 강연이 다양하게 진행되었고, 지속적이고 훌륭한 연구 및 학문 발전에 대한 기여로 수상의 영광을 안은 수상자 명단은 다음과 같다.

[전기화학] 아이센스 젊은 전기화학자상: 장진호 회원(한양대) / 최규원학술상: 이해진 회원(경북대); [무기화학] 김시중학술상: 정옥상 회원(부산대) / 젊은무기화학자상: 서대하 회원(DGIST), 김민 회원(충북대); [생명화학] 이대실학술상: 김영수 회원(연세대); [재료화학] 최진호학술상: 허남희 회원(서강대) / 젊은재료화학자상: 이재승 회원(고려대); [물리화학] 김명수학술상: 윤상운 회원(중앙대) / 젊은물리화학자상: 이상학(부산대), 이정호 회원(서울대); [분석화학] 영인과학분석화학학술상: 이재범 회원(충남대); [유기화학] 장세희학술상: 유자형 회원(UNIST); [고분자화학] 학술진보상: 김봉수 회원(UNIST)

포스터발표

포스터발표는 1층 전시홀에서 20일(목)과 21일(금) 11:00부터 13:00까지 이틀에 걸쳐 요일별로 발표 분과를 나누어 분산 개최하였다. 포스터 등록 번호의 홀·짝수로 발표 시간을 1시간씩 구분해 자유롭게 발표자 간에 연구 교류가 이루어질 수 있도록 진행되었다. 총916편의 포스터가 등록되어 포스터 발표장을 찾은 회원들과 발표자들로 발표장을 가득 메웠다. 본인의 연구 성과에 대한 정보 교류와 흥미로운 연구 결과에 관심을 갖는 회원들의 활발한 토론이 있었다. 각 분과에서 위촉된 심사위원들이 신중하게 심사를 하여 총 62편의 우수 포스터를 선정하였다. 이들 우수 포스터들은 133회 학술발표회 포스터 발표장에 전시될 예정이다. 1차 선정된 우수 포스터는 2차 심사를 통해 바이오니아

포스터상 5편, 동우화인켐(주) 포스터상 5편, BKCS 포스터상 10편, ACS포스터상 24편, 대한화학회 포스터상 14편을 선정하였다. 별도로 학생들의 스티커 투표로 선정되는 대학원생 선정 포스터상 4편도 선정되었다.

기기전시회

기기전시회는 26일(목)과 27일(금) 09:00-16:30, 2일 동안 1층 전시홀에서 개최하였다. 이번 기기전시회는 총 27개의 업체(32개 부스)가 참여하여 데모 장비와 최신 제품들을 전시하며 자사의 제품과 비전이 부각될 수 있도록 열띤 홍보를 진행하였다. 회원들은 기기전시회를 관람하며 화학 관련 최신 제품들의 동향과 장점에 대한 유용한 정보들을 습득할 수 있는 기회를 가졌다. 이 지면을 빌어 기기 전시회에 참여한 모든 업체들에 진심으로 감사드린다. 부스를 설치하여 기기전시회에 참여한 업체들은 다음과 같다: (주)경인양행, (주)수림교역 Fine Vacuum, (주)이지캠텍, 주식회사와이엠씨코리아, (주)세진씨아이, 시마즈 사이언티픽 코리아, 덕산약품공업, 포항공속기연구소, (주)바이오니아, (주)원우시스템즈, 맥그로힐 에듀케이션 코리아 유한회사, 주식회사 어벤션, (주)사이플러스, (주)비케이인스트루먼트, 안톤파코리아, 주식회사 버추얼랩, 주식회사 엔트, (주)엘립스진단, (주)티에스씨어런스, 스마트잭, (주)선일아이라, (주)아이넥서스, (주)이우과학교역, 케이랩 주식회사, (주)바이텍켐스, 주식회사 나노베이스, (주)디엑스지

셋째 날 [10월 27일(금)]

이태규학술상 수상 기념 강연

오후 13:30~14:20, 다목적홀에서 이태규학술상 수상 기념 강연이 개최되었다. 2023년도 대한화학회 이태규학술상은 최철호 회원(경북대)이 수상하였으며, “MR-SF-TDDFT: A Breakthrough in the Study of Strongly Correlated Systems” 제목으로 강연장에 참석한 회원들의 관심과 축하를 받으며 진행되었다.

광주 중고등학생 특강

16:30~18:00, 305+306호에서 개최된 광주 중고등학생 특강은 석차옥 회원(서울대)이 강연하였다. 중고등학생들에게 화학의 유용함과 중요성을 알려 미래의 화학 발전에 한 걸음 다가가는 기회를 제공하였다. 다음 세대 주역이 될 학생들의 순수한 열정과 호기심이 강연장을 가득 채웠다.

[KCS-RSC Joint 심포지엄] 에너지 과학의 다학제적 접근

10:10~12:15/14:30~16:45, 다목적홀에서 개최된 KCS-RSC Joint 심포지엄은 “에너지 과학의 다학제적 접근”이라는 주제로 개최되었다. 국내 화학계의 국제적 위상의 재도약을 위해, RSC의 Chemical Science 및 Journal of Materials Chemistry 에디터들을 초청하여, 기후 변화에 따른 지속 가능한 에너지의 필요성이 매우 중요한 상황에서 에너지 과학을 주제로 소재화학, 물리화학, 인공지능 등 다학제간 관점에서 해결해야 할 난제와 최근 연구동향, 그리고 미래의 연구방향에 대해 토의하고자 자리를 마련하였다. 신석민 회장의 개회사 후 James K. McCusker (Chemical Science, Associate Editor, Michigan State University)의 “Tailoring the Photophysics of First-row Transition Metal-based Chromophores for Applications in Light-to-Chemical Energy Conversion: Challenges and Opportunities”에 대한 강연을 시작으로, 정유성(Chemical Science, Editorial Advisory Board, 서울대), Lin X. Chen(Chemical Science, Associate Editor, Northwestern University), Martyn McLachlan(Journal of Materials Chemistry C, Associate Editor, Imperial College London), Natalie Stingelin(Journal of Materials Chemistry C, Editor-in-Chief, Georgia Institute of Technology), 황윤정(Journal of Materials Chemistry A, Associate Editor, 서울대), Michaela Muehlberg (Royal Society of Chemistry)의 강연이 이어졌다.

경품추첨 및 물품 제공

26일(목), 27일(금) 2일 동안 경품 추첨이 진행되었다. 운영위원회 윤효재 이사과 이진석 이사의 진행과 학생 회원

들의 기대감 속에서 추첨을 통해 경품 쿠폰을 증정하였다. 경품은 요일별 1등 아이패드 에어 1개, 2등 갤럭시 워치 3개, 3등 웨스턴 조선 아리아 2인 식사권 4장, 스타벅스 기프트 카드 5만원 15장이 준비되었고 당첨자들에게 현장에서 지급되었다.

마무리

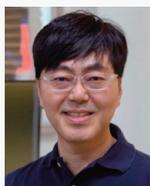
제132회 대한화학회 추계 학술발표회의 총회, 학술발표회 및 기기전시회는 총 2,384명의 회원들이 참석한 가운데 광주김대중컨벤션 센터에서 장석복 회원(KAIST / IBS)의 기조 강연, 경북대학교 최철호 회원의 이태규학술상 수상 기념 강연을 비롯하여 ACS와 공동 개최된 Applied Bio Materials Research Publications Summit, RSC와 협력으로 진행된 KCS-RSC symposium 등 315개의 학술강연, 그리고 916편의 포스터 발표가 회원들의 관심과 참여로 성공적으로 이루어졌다. 특별히 본 학술발표회에서는 분과간 융합 학술 활동을 활성화하고, 이를 바탕으로 향후 우수 융합 과제를 개발할 수 있는 기회를 제공하고자 미래 과학 기술 등에 관한 구체적인 융합 연구 주제를 회원들이 직접 제시하고 관련 연사를 구성하는 ‘미래혁신 화학심포지엄’이 동진세미켄의 후원으로 회원들의 뜨거운 관심과 참여로 성황리에 이루어 졌다. 뿐만 아니라 기기전시회에는 27개 업체가 참여하며 다양한 장비와 새로운 기술력을 공유하여 많은 회원들의 호평을 받았다.

이상에서와 같이 추계 대한화학회 학술발표회 및 총회는 학회 회원들의 적극적인 참여와 성원으로 성공적으로 치러 줄 수 있었을 뿐만 아니라, 미국화학회, 영국왕립학회와의 활발한 교류로 이루어진 공동 심포지엄 개최는 대한화학회의 국제적인 위상을 살펴볼 수 있는 계기가 되기도 하였다. 특별히 새롭게 구성된 ‘미래혁신 화학심포지엄’의 성공적인 개최는 대한화학회 회원들에게 미래 현안에 대한 깊은 고찰 및 연구 방향을 제시하는 계기가 될 수 있었다. 본 학회의 성공적인 개최를 위한 회원들의 뜨거운 성원과

다양한 지원과 후원을 아끼지 않으신 각 분과 운영진 및 지부 운영진에게 진심으로 감사를 표한다. 또한 이번 학술발표회를 준비하고 학술발표회 기간 내내 최선을 대해 수고해 준 운영위원들과 사무국 직원들께 깊은 감사의 말씀을 전한다. 🌟

대한화학회상 수상자 프로필

이태규 학술상



최철호
경북대학교 화학과

최철호 교수는 서울대학교 화학과에서 학사학위(1990)와 석사학위(1992, 지도교수: 김 관)를 취득한 후 도미하여 조지타운대학교에서 물리화학으로 박사학위(1998)를 취득하였다. 이후 아이오와 주립대에서 양자화학 이론개발 분야의 박사 후 연구원으로 수련과정을 거쳐 2001년 3월에 경북대학교 화학과로 부임하여 현재까지 재직 중이다. 초기에는 차체 개발한 SIMOM 방법론을 활용하여 반도체표면 화학 반응 연구들에 집중하였다. 이후 분자의 여기상태의 양자역학적 분자동역학 연구를 위해 다양한 방법론을 개발하였다. 이 과정에서 개발된 차세대 양자이론인 MRSF-TDDFT는 기존 DFT 및 TDDFT의 한계를 넘을 수 있어 앞으로 많은 활용이 예상된다. 이를 초고속으로 일어나는 광스위치, 여기상태 방향족 동역학, DNA의 광화학 현상 등 다양한 여기상태 광화학 현상에 응용하고 있다. 또한, 개발된 양자 화학 방법론들의 대중화를 위해 새로운 양자화학 SW도 개발 중이고 일반에 공개할 예정이다.

화학경영자상



이준혁
동진씨메켄

이준혁 대표이사는 1989년 서울대학교 화화공학과 학사 학위를 취득한 후, MIT 공과대학에서 Chemical Engineering 전공으로 1994년 박사 학위를 받았다. 이후 동진씨메켄에 입사하여 대표이사를 맡고 있는 현재도 디스플레이, 반도체 산업의 기술전환점에서 필수적인 핵심소재를 적기에 개발, 공급함으로써 국가 산업경쟁력 강화에도 기여하고 있다. 특히 디스플레이용 유기절연막, 3D V-NAND Flash 반도체용 KrF PR 소재의 독보적인 기술을 확보하며 세계시장 점유율 1위를 달성하였으며, 반도체용 ArF Immersion PR과 EUV PR을 국내 최초로 양산하는 등 최첨단 소재의 국산화를 통하여 전자재료 분야 기술을 선도하고 있다. 한편 한국디스플레이협회 부회장, 한국 반도체산업협회 부회장, 한국공학한림원 이사, SEMI 국제이사, 월드클래스기업협회 회장 등 대외 활동들을 통해 국내 산업 발전을 위해 다각도로 힘쓰고 있다.

기술진보상



황규영
삼성전자종합기술원(SAIT)

황규영 박사는 KAIST 화학과에서 학사(2003), 석사(2005) 및 박사(2009, 지도교수: 도영규) 학위를 취득하였다. 이후 2009년 1월부터 삼성전자종합기술원(SAIT)에서 전문 연구원으로 재직하고 있다. 디스플레이 분야에서 반사형 및 발광형 소재 개발을 수행하여, OLED 핵심 발광 소재로 다수의 양산에 성공하는 등 우수한 성과를 도출하였다. 최근에는 반도체 공정 소재로 연구 범위를 확장하여 클리닝 소재 개발에 성공하였고, 기술 이전을 수행하고 있다. 디스플레이/반도체 화학소재를 개발하여 US 특허 출원 152건, 특허 등록 67건 및 SCI 논문 게재 17건 등의 연구 실적을 이뤘다.

초중등학교화학교사상



박지훈
부산과학고등학교

박지훈 교사는 부산대학교에서 학사 및 교육학 석사를 취득하고, 부산대학교 대학원 화학교육과에서 남정희 교수님의 지도로 2018년에 화학교육 분야에서 박사학위를 받았습니다. 현재 부산대학교 화학교육과에서 화학교육실험, 교수학습론 등을 강의하고 있으며, 부산과학고등학교에서는 AP 일반화학, 화학실험 과목 등을 가르치고 있습니다. 탐구를 통해 스스로 지식을 학습할 때 진정한 배움이 일어난다는 교육 신념 아래 전국과학전람회, 전국발명품경진대회, 화학프런티어페스티벌, R&E 등 다양한 탐구 활동을 학생들과 함께 수행하였으며, 화학 분석 장비를 이용한 수업, 메타버스를 활용한 수업 등 다양한 교수 학습 방법을 도입하여 학생들에게 배움이 일어나도록 노력하고 있습니다.

Sigma-Aldrich 화학자상



고두현
성균관대학교 화학과

고두현 교수는 고려대학교 화학과에서 학사(1996), 석사(1998) 학위를 취득하고 LG 디스플레이에서 선임연구원으로 재직 한 후 2010년 도에 미국 노스캐롤라이나 채플힐 화학과에서 박사학위를 취득하였다. 이후 2012년 11월까지 영국 케임브리지대학교에서 박사 후 연구원으로 재직하고, 2015년 2월까지 한국과학기술연구원에서 선임연구원으로 근무한 후에 2015년 3월에 경희대학교 응용화학과에 조교수로 부임하였다. 2020년 8월에는 성균관대학교 화학과로 이직하여 현재 교수로 재직 중이다. 고두현 교수는 복잡계 기반 유기 혼합물 물 포포지에 대한 연구자로, 복잡계 유기 혼합물의 성능 향상과 물리 화학적인 해석에 중점을 두고 연구를 수행 중이며, 머신러닝 기법을 도입 고성능, 고안정성 복잡계 이중접합 유기 혼합물 에너지 소재 연구를 수행하고 있다. 또한 광제어 나노포토닉스기술을 상향변환 나노소재와 융합하는 새로운 개념의 파장변환체 연구를 수행하고 있다. 이와 같은 연구의 우수성을 인정받아, KCS-Wiley 젊은 화학자상(2017), 대한화학회 젊은재료화학자상(2019)을 수상한 바 있으며, 대한화학회 화학세계지 편집위원(2014, 2016, 2017), 대한화학회 재료화학분과 총무간사(2019), 대한화학회 물리화학분과 재무간사(2020), 대한화학회 총무이사(2022~2023) 등으로 활동하여 학회 발전에 기여하고 있다.



김병수
연세대학교 화학과

김병수 교수는 서울대학교 화학과에서 학사(1999), 석사(2001) 학위를 취득하고 2007년에 미국 미네소타 주립대학교 화학과에서 박사 학위를 받았다. 2009년까지 MIT 화학공학과에서 박사 후 연구원으로 재직 한 후 2009년 8월에 UNIST에 부임하였다. 이후 2018년 9월에 연세대학교 화학과로 이직하여 현재까지 교수로 재직 중이다. 김병수 교수는 고분자 합성 및 이의 생물학적 응용을 활발하게 연구하고 있으며, 특히나 자연모사형 고분자, 생체친화성 및 생분해성 고분자에 대한 연구에 집중하고 있다. 이와 같은 연구의 우수성을 인정받아 대한화학회 고분자화학분과 학술진보상(2016), 한국고분자학회 신진학술상(2014), 중견학술상(2019) 및 연세대학교 언더우드 특훈교수(2022)를 수상하였다. 대한화학회 고분자화학분과 총무이사(2017)로 활동하여 학회발전에 기여하였다.

KCS-Wiley 젊은화학자상



이윤미
연세대학교 화학과

이윤미 교수는 KAIST 화학과에서 학사(2009), MIT 화학과에서 박사(2014) 학위를 취득하였다. 이후 University of California, Berkeley에서 박사 후 연구원을 거쳐 2018년부터 연세대학교 화학과 교수로 재직 중이다. 이윤미 교수는 카이랄 촉매 플랫폼의 디자인을 통한 입체선택적인 유기합성방법론 개발 및 반응 메커니즘 연구를 수행하고 있다. 2019년 '포스코 청암 신진교수 펠로'로 선정, 2021년 '한국도레이과학진흥재단의 과학기술 연구기금'과 2023년 '젊은 유기화학자상'을 수상하였다.



임종우
서울대학교 화학부

임종우 교수는 POSTECH 화학과에서 학사 학위(2008), University of California, Berkeley 화학과에서 박사 학위(2013년, 지도교수: Peidong Yang)를 취득하였다. 이후 Stanford University 재료과에서 박사 후 연구원 과정(지도교수: William Chueh)을 수행한 후에 2017년부터 서울대학교 화학부에서 교수로 재직 중이다. 임종우 교수는 전기화학기반의 에너지 저장 및 변환 시스템과 그 주요 소재에 대한 체계적인 이해에 중점을 두고 있다. 이를 위해 다양한 고도 분석 방법론을 개발하여 새로운 물리/화학적 법칙을 규명하고 있으며, 이러한 연구를 통해 리튬 이온 배터리, 차세대 전고체 전지, 수전해 및 이산화탄소 전환 촉매의 성능 향상을 위한 방안을 연구하고 있다.

아이센스 여성화학자상



윤재숙
성균관대학교 화학과

윤재숙 교수는 서울대학교 화학과에서 학사(1993), 석사(1995)를 취득하고, 2001년도 미국 MIT 화학과에서 박사학위를 취득하였다. 미국 Caltech에서 박사 후 연구원 과정을 수행한 후에 2002년에 아주대학교로 부임하였다. 2005년에 성균관대 화학과로 이직하여 현재까지 성균관대 화학과 교수로 재직 중이다. 윤재숙 교수는 전이금속 촉매를 이용한 고효율, 고선택성의 촉매 반응을 개발하고 비대칭 촉매개발 연구를 수행하고 있다. 2015년 한국유기합성학회 젊은 과학자상, 2016년 장세희 유기화학학술상을 수상하였으며, 22~23년 대한화학회 홍보부회장과 화학세계 편집장으로 학회 발전에 기여하고 있다.

우수박사학위논문상



김태희
취리히 연방 공과대학교 화학과

김태희 박사는 2017년 연세대학교 화학과 학부를 졸업하고 2023년 연세대학교 화학과에서 김동호 교수의 지도하에 박사학위를 취득하였다. 학위과정 동안 시공간 분해 레이저 분광법을 개발하여 양자점을 포함한 반도체 나노 물질의 광물리적 특성을 밝히는 연구를 수행하였다. 이를 바탕으로 제1저자 6편을 포함하여 총 14편의 SCI급 논문을 게재하였으며, 대표적으로는 인화인동 양자점의 나노 입체 구조에 따른 다중 발광 현상의 메커니즘을 규명하여 발표하였다. [Adv. Mater. 2022, 34, 2110665] 대표 수상 실적으로는 삼성휴먼테크논문대상 '은상', 연세대학교 대학원 '우수논문상' 등이 있으며, 현재 스위스 취리히 연방 공과대학교 화학과에 박사 후 연구원으로 재직하고 있다.



이경전
조지아대학교
AI4STEM Education Center

이경전 박사는 2016년 서울대학교 화학교육과와 컴퓨터공학부를 졸업하고, 홍훈기 교수의 지도하에 서울대학교 과학교육과 화학전공에서 2023년 박사학위를 취득하였다. 학위과정 중에 인공지능 및 테크놀로지를 활용한 화학 실험 교육의 혁신을 연구하였으며, 공중 합체와 동시에 합성되는 프리시안 블루 기반의 고안정성 전기화학 센서를 연구하였다. [Electrochim. Acta 2023, 465, 142949] SCI 및 SSCI급 논문 9편을 포함하여 30편의 논문을 주 저자로서 게재하였다. 수상 실적으로는 한국교육학회 교육학 박사학위논문상, 10건의 학술대회 우수논문발표상, 서울대학교 안전환경교육 최우수상 등이 있다. 서울대학교 기초학문분야 학문후속세대, 서울대학교 AI연구원 AI for All - Young Researcher 등의 장학금을 수혜받았다. 현재 미국 조지아대학교의 AI4STEM Education Center에서 박사 후 연구원으로 재직하며 인공지능 기반 화학 문항 자동 채점을 연구하고 있다.



전소연
고려대학교 화학과

전소연 박사는 2017년 경희대학교 화학과를 졸업하고 광경원 교수의 지도하에 고려대학교 화학과에서 2023년 박사학위를 취득하였다. 박사 학위 과정 동안 시간-분해 진동 분광학을 활용한 광변색 장치 및 아밀로이드 단백질의 섬유화에 대한 연구를 수행하였다. 이를 통해 새롭게 개발된 광변색 장치의 구체적인 작동 메커니즘을 제시하였고, 기존의 진동 분광학에서 다루기 어려웠던 생리학적 환경에서의 단백질 응집 동역학을 연구하였다. 학위 과정 동안 제1저자 3편을 포함하여 총 6편의 SCI급 논문을 게재하였으며, 대표 논문으로는 2D-IR 분광법을 활용한 물에서의 아밀로이드 응집 과정 중 단백질 구조 전이의 직접 관찰 [Chemical Science 2022, 13, 4482-4489]이 있다. 현재 고려대학교 화학과에서 박사 후 연구원으로 재직하고 있다.



최지수
UNIST 화학과

최지수 박사는 2017년 부경대학교 화학과 학부를 졸업하고 조재홍 교수의 지도하에 대구경북과학기술원 화학물리학과에서 2023년 박사학위를 취득하였다. 학위과정 동안 불안정한 일산화질소를 안정화하고 선택적으로 방출할 수 있는 일산화질소 전달체에 관한 연구를 진행하였다. 대표 논문으로는 일산화질소의 세포 내 신호 전달 경로의 변화를 직접 확인하고, 동물모델에서 막힌 부위의 혈관을 확장시켜 혈류를 복구하는 연구를 발표하였다. [ACIE, 2019, 58, 10126-10131] [Chem, 2023, 9, 1309-1317] 이를 바탕으로 제1저자 2편의 논문을 게재하였고, 현재 울산과학기술원 화학과에 박사 후 국내연수의 연구지원을 통해 박사 후 연구원으로 재직 중이다.



제132회 대한화학회 학술발표회, 총회 및 기기전시회

우수포스터

고분자화학분과회

POLY.P - 6 <ACS 포스터상>

Helical-shaped Self-oscillating Gels showing Autonomous and Magnified Mechanical Oscillation

Taehun Chung, Ryo Yoshida¹, Younsoo Kim*

Department of Materials Science and Engineering, Pohang University of Science and Technology, Korea

¹*Department of Materials Engineering, The University of Tokyo, Japan*

POLY.P - 15

Sustainable eco-friendly polyurethane using carbon dioxide capture and furan-based biomass polyol at the same time

Ji won Jang, Hong Okbi, Changsik Song*, Eun Joo Kang^{1,*}, Junhyeon Choi¹

Department of Chemistry, Sungkyunkwan University, Korea

¹*Department of Applied Chemistry, Kyung Hee University, Korea*

POLY.P - 30 <BKCS 포스터상>

Kinetically captured ordered morphologies via polymerization-induced microphase separation by the high χ monomers

Wonjune Yeo, Myungeun Seo^{1,*}

Chemistry, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Korea

¹*Department of Chemistry, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Korea*

공업화학분과회

IND.P-8 <ACS 포스터상>

Design and construction of a homebuilt solid-state NMR probes

Minseon Kim, Yongae Kim*

Department of Chemistry, Hankuk University of Foreign Studies, Korea

무기화학분과회

INOR.P - 24

Blue Fluorescence Compounds Based on Planarized B,N-Diarylated Benzonaphthoazaborine Ring

Sae Bhin Cho, Nhi Nguyen Ngoc Tuyet, Thi Quyen Tran, Taehwan Lee, Jaehoon Jung, Min Hyung Lee*

Department of Chemistry, University of Ulsan, Korea

INOR.P - 27 <ACS 포스터상>

Air-Stable Multi Redox-Active 1,2-Dicarbonyl Radical Cation Stabilized by Naphthoquinone Fused N-Heterocyclic Carbenes

Jaelim Kim, Eunsung Lee*

Department of Chemistry, Pohang University of Science and Technology, Korea

INOR.P - 64 <ACS 포스터상>

Size-tunable mesoporous carbon spheres for high-performance supercapacitors

InCheol Heo, Yejun Ham¹, Won Cheol Yoo^{1,*}

Department of Applied chemistry, Hanyang University, Korea

¹*Department of Chemical and Molecular Engineering, Hanyang University (ERICA), Korea*

INOR.P - 71

Synergistic Effects of Cation Substitution and *p*-type Doping for Thermoelectric Materials: the $\text{Ca}_{0-x}\text{Yb}_x\text{Zn}_{4.5-y}\text{Cu}_y\text{Sb}_9$ System

Naeun Seo, Tae-Soo You*

Department of Chemistry, Chungbuk National University, Korea

INOR.P - 79 <BKCS 포스터상>

Intersection of Apoptosis and Ferroptosis Cell Death Pathway Confirmed by RNA Sequencing Analysis : Eruptive Generation of Hydroxyl Radical in Gastric Cancer

Hyungbin Park, Chaewon Ahn¹, Yougang Kim, Yerin Lee, Seungwoo Hong*

Department of Chemistry & Nanoscience, Ewha Womans University, Korea

¹*Department of Chemistry, Sookmyung Women's University, Korea*

INOR.P - 96 <ACS 포스터상>

Development of ethane-selective adsorbent by aminated-linked covalent organic frameworks

Hongryeol Yun, Donggyu Lee, Chang Seop Hong*

Department of Chemistry, Korea University, Korea

INOR.P - 115 <BKCS 포스터상>

Mechanistic Study of Bis(dithiolene) W-oxo Complex: Identifying Proton Transfer and Potential-Directed Pathways

Wonjung Lee, Jaeheon Lee, Junhyeok Seo*

Department of Chemistry, Gwangju Institute of Science and Technology, Korea

INOR.P - 129 <동우화인켐(주) 포스터상>

Observing the Exchange of Motor Proteins in Live Cells using a Fourier Transform-Based Plasmonic Dark-Field Microscope

Siwoo Jin, Daeha Seo*

Department of Physics and Chemistry, Daegu Gyeongbuk Institute of Science & Technology, Korea

물리화학분과회

PHYS.P - 139

Temperature dependent ion aggregation behavior and spatial inhomogeneity in electrolyte solutions

Jonghyuk Ryu, Ravi Singh, Jiwon Seo, Jun-Ho Choi*

Department of Chemistry, Gwangju Institute of Science and Technology, Korea

PHYS.P - 144 <ACS 포스터상>

Understanding of Protein-Peptide Binding Using Artificial Intelligence and Large-Scale Molecular Dynamics

Se-Jun Kim, Da-Eun Hwang¹, Hyungjun Kim, Jeong-Mo Choi^{1*}

Department of Chemistry, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Korea

¹*Department of Chemistry, Pusan National University, Korea*

PHYS.P - 179 <ACS 포스터상>

Spatiotemporal carrier dynamics of pyrene incorporated multi-cation halide perovskites with high stability

Yu Jin Lee, Dongho Kim*

Department of Chemistry, Yonsei University, Korea

PHYS.P - 192 <ACS 포스터상>

Development of a low-field NMR spectrometer with an adjustable sample geometry

Minchae Kwak, Jung Ho Lee*

Division of Chemistry, Seoul National University, Korea

PHYS.P - 196 <BKCS 포스터상>

Development of nanoscale metrology and inspection tool for semiconductor using super-resolution fluorescence microscopy

Uidon Jeong, Doory Kim*

Department of Chemistry, Hanyang University, Korea

PHYS.P - 228 <BKCS 포스터상>

Spatial Correlation in Dynamics of Glassy Polymers

Park Joohyeong, Hyun Woo Cho*

Department of Fine Chemistry, Seoul National University of Science & Technology, Korea

PHYS.P - 254 <바이오니아(주) 포스터상>

Investigating binding affinities of coomassie brilliant blue in protein-dye complex; Structural insight from the theoretical calculations of X-ray scattering data

Junu Bae, Tae Wu Kim*

Department of Chemistry, Mokpo National University, Korea

PHYS.P - 273 <ACS 포스터상>

Fully Self-consistent QM/MM for Solvated Systems

Taehwan Jang, Hyungjun Kim*

Department of Chemistry, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Korea

PHYS.P - 289 <동우화인켐(주) 포스터상>

Chemical fluctuation produced by stochastic switch with competitive versus non-competitive inactivation: A pivotal role of active state duration variability

Heemo Yang, Ji-Hyun Kim*, Jaeyoung Sung*

Department of Chemistry, Chung-Ang University, Korea

PHYS.P - 294

Threading Subunits for Polymers to Predict the Equilibrium Ensemble of Solid Polymer Electrolytes

Jihye Park, Won June Kim¹, YongJoo Kim^{2,*}, Eok Kyun Lee^{3,*}, Hyungjun Kim^{4,*}

Chemistry, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Korea

¹*Department of Biology and Chemistry, Changwon National University, Korea*

²*School of Advanced Materials Engineering, Kookmin University, Korea*

³*Department of Chemistry, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Korea*

⁴*Korea Advanced Institute of Science and Technology, Korea*

분석화학분과회

ANAL.P - 306 <바이오니아(주) 포스터상>

Study on interaction between lipid vesicle and proteins by asymmetrical flow field-flow fractionation coupled online with multi-angle light scattering (AF4-MALS)

Donggyun Kim, Seungho Lee*, Jaeyeong Choi*

Department of Chemistry, Hannam University, Korea

ANAL.P - 326 <ACS 포스터상>

Enhancement of FO-SERS sensing and quantitative detection of pancreatic cancer biomarker CA19-9 by optimization of optical fiber surface and path

Seonung Kim, Kyunghun Kim¹, Dae Hong Jeong^{2,*}

Department of Chemistry Education, Seoul National University, Korea

¹*Seoul National University, Korea*

²*Department of Chemical Education, Seoul National University, Korea*

ANAL.P - 344 <BKCS 포스터상>

CRISPR/Cas13a-mediated SERS-based dual-flow assay strips

for amplification-free detection of SARS-CoV-2 RNA

Younju Joung, Soyeon Lee, Jaebum Choo*

Department of Chemistry, Chung-Ang University, Korea

ANAL.P - 359 <ACS 포스터상>

Microdispensers integrated with paper-based electrowetting-on-dielectric for high-precision chemical synthesis

Semin Chun, Sarath Kin, Oh-Sun Kwon, Kwanwoo Shin*

Department of Chemistry, Sogang University, Korea

ANAL.P - 371

Investigation on Microbial Degradation of Biodegradable Microcapsules Using 1H-NMR

Ye Eun Park, Jiwon Kim¹, Uyen Thi Do¹, Seyoung Yang, Youngbok Lee^{2,*}

Department of Applied chemistry, Hanyang University, Korea

¹*Department of Bionano technology, Hanyang University, Korea*

²*Department of Bio-Nano Engineering, Hanyang University, Korea*

생명화학분과회

LIFE.P - 55 <ACS 포스터상>

Impact of sphingosine and acetylsphingosines on the aggregation and toxicity of metal-free and metal-treated amyloid- β

Yelim Yi, Jiyeon Han¹, Hyuck Jin Lee², Young S. Park³, Mi Hee Lim*

Department of Chemistry, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Korea

¹*Department of Applied Chemistry, University of Seoul, Korea*

²*Department of Chemistry Education, Kongju National University, Korea*

³*Department of Chemistry, Ulsan National Institute of Science and Technology, Korea*

LIFE.P - 58 <동우화인켐(주) 포스터상>

Impact of exogenous aminoacyl-tRNA synthetase and tRNA on temperature sensitivity in *Escherichia coli*

Jongdoo Choi, Ji Yeun Ahn, Minseob Koh*

Department of Chemistry, Pusan National University, Korea

LIFE.P - 76

Investigating the Mode of Action of Antimicrobial Peptoids with Multi-Cationic Side Chains

Yeojin Yun, Jiwon Seo*

Department of Chemistry, Gwangju Institute of Science and Technology, Korea

유기화학분과회

ORGN.P - 112 <ACS 포스터상>

HFIP Empowered Synthesis of C4-Arylated Tetrahydroquinolines with Propargylic Chlorides and Anilines

Seung Hoon Lee, Hyung Min Chi*

Department of Chemistry, Pohang University of Science and Technology, Korea

ORGN.P - 130

Benzoyl Chloride-Catalyzed Reaction of N-Acyl Iminophosphoranes: New Synthetic Methodology for Organic Nitriles

Yeongmi Park, Jinhwan Park, Minsuk Kim, Jongwoo Son1,*

Department of Chemical Engineering (BK21 FOUR Graduate Program), Dong-A University, Korea

1Department of Chemistry, Dong-A University, Korea

ORGN.P - 144 <동우화인켐(주) 포스터상>

Copper Catalyzed One-Pot Arylation and Cyclization of Diaryliodonium Salts Derived from o-Iodoanilines for heterocycles syntheses

Miseon Choi, Chung Whan Lee*

Department of Chemistry, Gachon University, Korea

ORGN.P - 156 <ACS 포스터상>

Tetra-component Palladium-catalyzed Asymmetric Diboration of Allenamides: Synthetic Approach to (Z)- δ -Amino Homoallylic Alcohol

Hae Eun Lee, Jin Kyoony Park*, Tae Jun Kim

Department of Chemistry, Pusan National University, Korea

ORGN.P - 171 <BKCS 포스터상>

A Bulky Chiral Imidazo[1,5-a]pyridin-3-ylidene Ligand Enabling Pd(II)-Catalyzed Enantioselective Desymmetrization Reaction and Enantioselective Synthesis of 3,4-Dihydro-2-quinolinone to All-Carbon Quaternary Stereocenters

Woosong Han, Huijeong Ryu, Sukwon Hong*

Department of Chemistry, Gwangju Institute of Science and Technology, Korea

ORGN.P - 190 <ACS 포스터상>

Chiral Molecular Clips for Stereoselective Self-Assembly

Sungryul Bae, Dongwhan Lee*

Division of Chemistry, Seoul National University, Korea

ORGN.P - 221 <ACS 포스터상>

Synthetic Studies towards Madeirolide A

Minchul Choi, Chulbom Lee*

Division of Chemistry, Seoul National University, Korea

ORGN.P - 229

Palladium-Catalyzed Enantioselective [3+2] Cycloaddition of N-Aromatic Zwitterions and Vinylcyclopropanes

Juno Im, Eun Jeong Yoo*

Department of Applied Chemistry, Kyung Hee University, Korea

ORGN.P - 231 <바이오니아(주) 포스터상>

Conformational Analysis of α/β -Peptides and β -Peptides Containing Azepane-Derived Heterocyclic β -Amino-Acids

Ingyu Han, Chae Na Lim, Soo Hyuk Choi*

Department of Chemistry, Yonsei University, Korea

의약화학분과회

MEDI.P - 246 <ACS 포스터상>

Phloroglucinol Derivatives Exert Anti-inflammatory Effects and Attenuate Cognitive Impairment in LPS-induced Mouse Model

Jushin Kim, Ki Duk Park*

Center for Brain Disorders, Korea Institute of Science and Technology, Korea

MEDI.P - 267 <BKCS 포스터상>

High throughput virtual screening strategy to discover novel inhibitors for E3 ubiquitin-protein ligase CBL-B with docking and machine learning

Soo Won Lee

College of pharmacy Seoul National University, Korea

MEDI.P - 270

Synthesis and Biological Evaluation of Benzoxazole Derivatives for the Discovery of Novel NDRI Antidepressants

Choi Kim, Hyemin Choi, Minju Gwon, Jae Yeol Lee*

Department of Chemistry, Kyung Hee University, Korea

MEDI.P - 275 <바이오니아주 포스터상>

Synthesis and Antiviral Activity of β -D-N4-Hydroxycytidine (NHC) Prodrugs against SARS-CoV-2 in vitro

Yeon Jin An, Jong Hyun Cho^{1,*}, Se Myeong Choi², Eun Rang Choi², Ji Yeon Yang, Yong Hun Choi, A Young Jung², So Jung Kwon²

College of Health science, Dong-A University, Korea

¹*Department of Medicinal Biotechnology, College of Health Science, Korea*

²*Health science, Dong-A University, Korea*

재료화학분과회

MAT.P - 312 <ACS 포스터상>

Phase Transition Mechanisms of 2D CdSe Quantum Nanosheets Induced by Off-Stoichiometry at Atomic-Scale

Soyeon Lee, Jungwon Park^{1,*}, Jiwoong Yang*

Department of Energy Science & Engineering, Daegu Gyeongbuk Institute of Science & Technology, Korea

¹*School of Chemical and Biological Engineering, Seoul National University, Korea*

MAT.P - 316 <BKCS 포스터상>

One-pot Synthesis of Mono- and Bimetallic Nanoparticles Using Acrylic Monomer as Solvent, Reductant, and Stabilizer

Jeesu Moon, Jae-Seung Lee*

Department of Materials Science and Engineering, Korea University, Korea

MAT.P - 351 <ACS 포스터상>

Study of three-dimensional porous structure and its evolution of zeolite-templated carbons

Madi Arsakay, Alisher Fatkhulloev, Sun Hwa Lee¹, Won Kyung Seong¹, Rodney Ruoff^{2,*}

Center for Multidimensional Carbon Materials (CMCM), Institute for Basic Science, Korea

¹*Center for Multidimensional Carbon Materials, Institute for Basic Science, Korea*

²*Center for Multidimensional Carbon Materials, IBS CMCM / UNIST, Korea*

MAT.P - 374 <BKCS 포스터상>

General Synthetic Method of Mesoporous Atomically Dispersed Nickel Catalysts for Electrocatalytic H₂O₂ Production

June Sung Lim², Jinjong Kim¹, Sang Hoon Joo*

Department of Chemistry, Seoul National University, Korea

¹*Seoul National University, Korea*

²*School of Energy and Chemical Engineering, Ulsan National Institute of Science and Technology, Korea*

MAT.P - 384 <ACS 포스터상>

Sodium ionic conductors with new type of crystal structure

Jihun Roh, Hyojin Kim¹, Seung-Tae Hong^{2,*}

Energy Science and Engineering, Daegu Gyeongbuk Institute of Science & Technology, Korea

²*Energy Science and Engineering, DGIST (Daegu Gyeongbuk Institute of Science and Technology), Korea*

MAT.P - 391 <ACS 포스터상>

Effect of Gallium on Silver Indium Gallium Sulfide Nanocrystals Photoluminescence

Jiyeon Ban, Haemin Song, Kwang Seob Jeong*

Department of Chemistry, Korea University, Korea

MAT.P - 426 <동우화인켐주 포스터상>

Molecular Structural Descriptor-assisted Machine Learning to Accelerate Development of Organic Photovoltaics

Gyu-Hee Kim, Doo-Hyun Ko*

Department of Chemistry, Sungkyunkwan University, Korea

MAT.P - 436

Highly Enhanced Biocompatibility of Dexamethasone in Layered Double Hydroxide

Sieun Park, Goeun Choi*, Jin-Ho Choy^{1,*}

a. Intelligent Nanohybrid Materials Laboratory (INML), Institute of Tissue Regeneration Engineering (ITREN) b. Department of Nanobiomedical Science and BK21 PLUS NBM Global Research Center for Regenerative Medicine, Dankook University, Korea

¹*a. Intelligent Nanohybrid Materials Laboratory (INML), Institute of Tissue Regeneration Engineering (ITREN) b. Division of Natural Sciences, the National Academy of Sciences, Seoul. c. Department of Pre-medical Course, College of Medicine, Dankook University, Korea*

MAT.P - 440

Preparation of Flare-Raman Platform as SERS Probe to Detect Signals by Survivin mRNA Expression in Live Cell

Ju Eun Cho, Dongkwon Lim^{1,*}

Korea University, Korea

¹*KU-KIST Graduate School of Science and Technology, Korea University, Korea*

전기화학분과회

ELEC.P - 384

Rapid nanocatalytic reaction using antibody-conjugated gold nanoparticles for sensitive detection of parathyroid hormone

Gyeongho Kim, Haesik Yang*

Department of Chemistry, Pusan National University, Korea

ELEC.P - 393 <바이오니아(주) 포스터상>

Investigating Tin Oxide Catalysts for Selective Electrochemical Reduction of Carbon Dioxide into Formate

Hyeon Beom Cho, Joon Yong Park, Ki Min Nam*

Department of Chemistry, Pusan National University, Korea

ELEC.P - 425 <ACS 포스터상>

Dopant Effects on the Electrochemical Hydrogen Evolution Reaction Catalyzed by Heterometal Doped Silver Nanoclusters

Jiyeon Shin, Hanseok Yi, Dongil Lee*

Department of Chemistry, Yonsei University, Korea

화학교육분과회

EDU.P - 447 <ACS 포스터상>

The Effect of Advanced Science Technology-Based Education Programs on Science Career Orientation and Attitude Toward Chemistry

Jiyun Yang, Hyuck Jin Lee, Sungyool Bong, Hyunjung Kim*

Department of Chemistry Education, Kongju National University, Korea

환경에너지분과회

ENVR.P - 440

Electrochemical water splitting and CO₂/CO conversion over electrodeposited Cu on Ni foam

Gaeun Yun, Seon Young Hwang, Choong Kyun Rhee, Youngku Sohn*

Department of Chemistry, Chungnam National University, Korea

ENVR.P - 444 <ACS 포스터상>

Spectroelectrochemical Study of the Local Environment of CO₂ to CO Conversion on Nanostructured Electrode using In Situ ATR-SEIRAS

Bupmo Kim, Wooyul Kim*, Wonyong Choi*

Institute for Environmental and Climate Technology, Korea Institute of Energy Technology (KENTECH), Korea

공식후원사 협찬 대학(원)생 선정 포스터상

INOR.P - 123

Formation of a 1D Poly-Pseudo-Rotaxane with Sulfur-Bearing Pillar[5]arene: Threading by Ion-Triplet and Organic Guest Molecules

Joon Rae Kim, Eunji Lee*

Department of Chemistry, Gangneung-Wonju National University, Korea

PHYS.P - 283

High-entropy alloys (Au, Pt, Pd, Ru and Ir) via CO₂ Laser for Hydrogen Evolution Reaction with seawater splitting

Chae Eun Park, Gyoung Hwa Jeong, Myong Yong Choi*

Department of Chemistry, Gyeongsang National University, Korea

ORGN.P - 216

MOF-TEMPO-Catalyzed Oxidative Cyclization Between Aminophenol and Aldehydes

Jonghyeon Lee, Daeyeon Lee, Min Kim*

Department of Chemistry, Chungbuk National University, Korea

MEDI.P - 255

Synthesis and biological study of JAK1 selective inhibitors for the treatment of autoimmune conditions

Santosh Shivanand Raikar, Pilho Kim^{1,*}

Medicinal chemistry & Pharmacology, University of Science & Technology/

KRICT School, India

¹*Therapeutics & Biotechnology Division, Korea Research Institute of Chemical Technology, Korea*



제132회 대한화학회 학술발표회, 총회 및 기기전시회

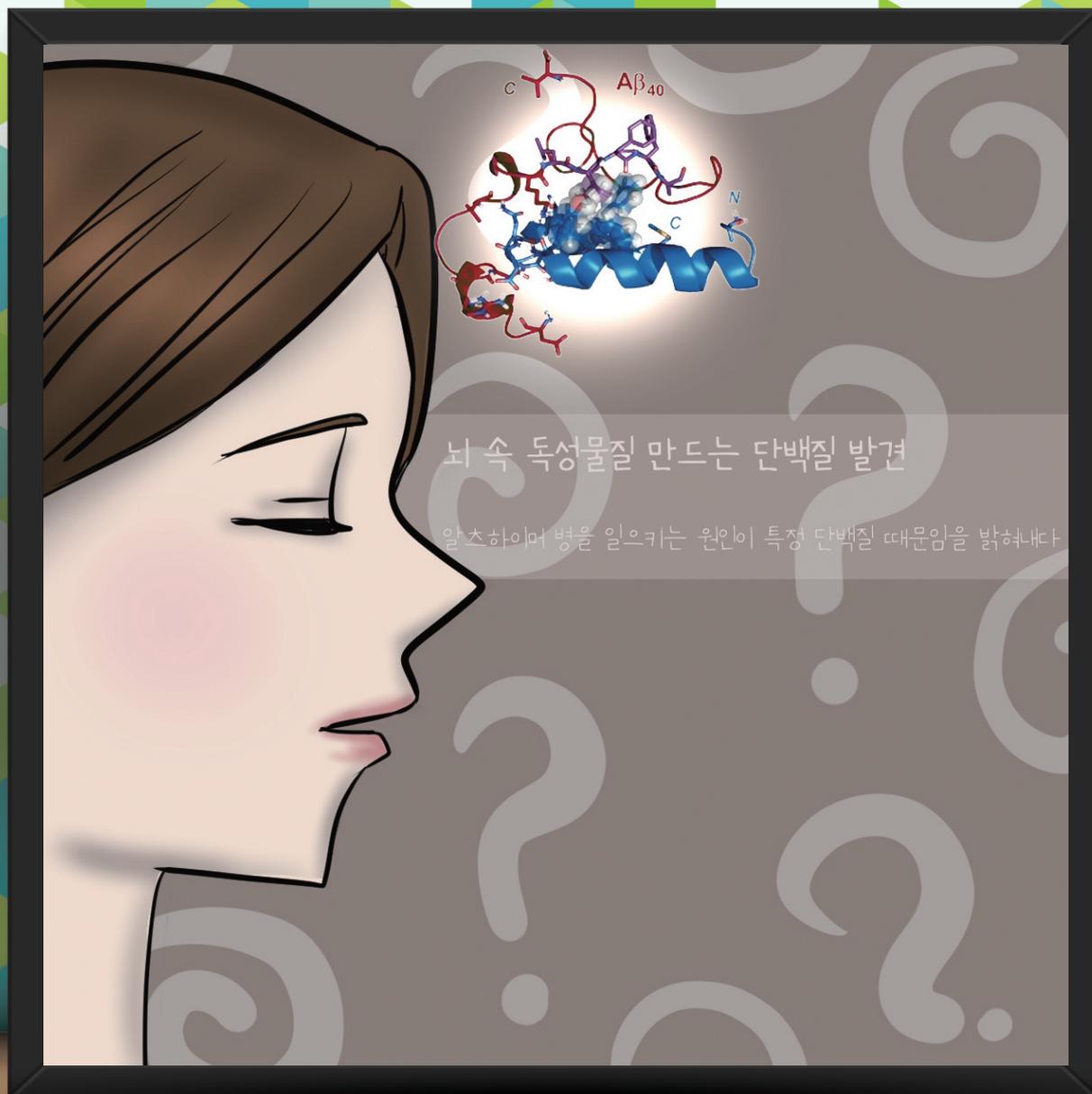
시상내역

대한화학회상

- ◎ 화학경영자상 : 이준혁((주)동진씨미켄)
- ◎ 이태규학술상 : 최철호(경북대)
- ◎ 기술진보상 : 황규영(삼성전자 SAIT)
- ◎ 초중등학교화학교사상 : 박지훈(부산과학고)
- ◎ 우수박사학위논문상 : 김태희(연세대, ETH Zurich), 이경건(서울대), 전소연(고려대), 최지수(대구경북과학기술원)
- ◎ 우수지부상 : 울산지부
- ◎ Sigma-Aldrich 화학자상 : 고두현(성균관대), 김병수(연세대)
- ◎ KCS-Wiley 젊은화학자상 : 임종우(서울대), 이윤미(연세대)
- ◎ 아이센스 여성화학자상 : 윤재숙(성균관대)

공로패

- ◎ 올림피아드 여름학교 교장
 - 강은주(경희대)



01 회무 보고(2023.4.1~9.30)

1. 회의 개최

- 운영위원회 6회 (2023.5.19, 6.16, 7.28, 8.14, 9.8, 9.22 제 8~13차)
- 화학올림피아드위원회 4회 (2023.5.26, 7.10, 8.14, 9.1 제 4~7차)
- BKCS 편집위원회 5회 (2023.5.23, 6.28, 7.6, 8.14, 9.7 제 5~9차)
- 학술지간행위원회 1회 (2023.7.13 제1차)
- 학술위원회 2회 (2023.9.4, 9.11 제2~3차)

2. 공문서 접수 및 발송

- 접수 103건 / 발송 113건

3. 주요 업무 추진 내역

- 주요업무 추진 내역
 - 대한화학회 웹사이트 전면 개선 사업 시작(2024년 상반기 완료 예정) 입찰과정을 거쳐 (주)쌍크온 업체 선정 및 계약 체결 (2023.9.25)
 - 화학세계 온라인화 진행 (시범 운영 중)
 - KCS 국제 위성학회 개최 지원 (2023년 10월 현재 총 3건)
 - 미래혁신 화학심포지엄 개최 지원 (2023년 추계 대한화학회 5건)
 - 화학포스터 시화대회 개최 (포스터 총 204점, 시화 총 125점 접수)
 - 화학세계 및 JKCS 학술지 홍보 관련 DBpia와의 업무 협약 체결 (2023.10.6)
 - 정부정책대응 위원회 신설 추진 (차기 운영진과 논의 중)

□ 국제협력 및 외부 주요활동

- 한국과학기술단체총연합회(과총)
 - : 과기부
- 과총(학회) 스킨십 강화 관련 회의 (2023.5.4)
 - : 2023년 과학기술분야 주요 학회장 간담회 (2023.7.28)
- 기초과학 학회협의체(기과협)
 - : 제1차 교육 정책 포럼 (국회, 2023.6.13)
 - : 제2차 교육 정책 포럼 (과총, 2023.9.20)
 - : 기초R&D 예산 삭감에 대한 성명서 발표 (2023.9.25)
- 한국화학관련학회연합회(연합회) : 이사회 (2023.6.1.)
- 기초연구연합회(기초연)
 - : 기초연구사업 예산삭감 철회를 위한 성명서 발표 (2023.9.18)

- : 기초과학연구 예산 삭감 관련 긴급 간담회 (2023.9.21)
- 제21회 FACS General Assembly 대표단 파견
 - : 튀르키예 이스탄불 (2023.7.8~7.14)
 - : 참석자 - 총 1인 (신석민 회장)
- : 신석민 회장 차기 Executive Committee 선출 (2023~2025)
- IUPAC General Assembly 대표단 파견
 - : 네덜란드 헤이그 (2023.8.18~8.25)
 - : 참석자
- 총 5인 (신석민 회장, 성재영 총무부회장, 윤재숙 홍보부회장, 장락우 총무실무이사, 이영호 학술지간행위원장)
 - : 독일화학회 Dr. Weinig와 MOU 연장 여부 논의 등

□ 학술지 발간 및 논문 처리 현황

(1) 정기간행물 발간

- 회 지 67권 5호 편집 중
- Bulletin지 44권 10호 편집 중
- 화학세계 63권 10호 편집 중

(2) 논문 접수 및 처리 현황

(2023.9.30)

대한화학회지				Bulletin지			
접 수		처 리		접 수		처 리	
이월분	15	67권 1~4호	35	이월분	77	44권 1~9호	93
2023접수	78	계재 예정	10	2022접수	234	계재 예정	25
		심사중	9			심사중	35
		계재 불가	39			계재 불가	158
계	93	계	93	계	311	계	311
2023년 게재율*		53.5%		2023년 게재율*		42.8%	

* 게재율=[(2023년 심사 완료된 논문 중 통과된 논문수) / (2023년(1월~현재) 심사 완료된 논문수)] × 100

□ 학술발표회, 총회 및 기기전시회

(1) 제131회 학술발표회, 총회 및 기기전시회

- 일자: 2023.4.26(수)~28(금), 수원 컨벤션센터
- 초록 접수 현황: 기초강연 및 기념강연 4편, 심포지엄 128편, 구두 발표 137편, 포스터 934편 등 1,203편

(2) 제132회 학술발표회, 총회 및 기기전시회

- 일자: 2023.10.25(수)~27(금), 광주 김대중컨벤션센터
- 초록 접수 현황: 기초강연 및 기념강연 2편, 심포지엄 203편, 구두 발표 110편, 포스터 916편 등 1,231편

10월 25일(수)	
13:00-17:00	<ul style="list-style-type: none"> · [동진씨미켄-미래혁신 화학심포지엄] - 화학이 만드는 우리 인생의 이야기 - 4차 산업혁명 시대 화학교육의 선진화를 위한 최신 화학 소개 - Sub-nm 급 반도체용 소재 혁신 위한 화학의 역할 - 엔트로피 접근법을 통한 고성능 다성분계 거대 분자 소재 - 상 전이 거동에 대한 융합적 이해 · KCS-ACS Applied Bio Materials Research Publications Summit 심포지엄 · 젊은 화학자 특별심포지엄 · IBS 심포지엄
10월 26일(목)	
09:00-18:00	<ul style="list-style-type: none"> · 구두 발표 · 총회 · 기초강연 · 분과회 심포지엄 · 포스터 발표 및 기기전시회
10월 27일(금)	
09:00-18:00	<ul style="list-style-type: none"> · 이태규 학술상 수상 기념 강연 · KCS-RSC Joint 심포지엄 · 분과회 심포지엄 · 포스터 발표 및 기기전시회 · 중·고등학생 대상 진로 특강 · 미래화학자 연구발표회

□ 한국화학올림피아드(KChO), 국제화학올림피아드(ICHo), 한국중학생화학대회(KMChC)

(1) 한국화학올림피아드(KChO)

- 온라인 교육: 1~3차 진행 (1차: 3.13~5.15; 2차: 6.12~8.14; 3차: 10.23~12.25)
- 2023 여름학교 (교장: 강은주 교수)
 - 2023.7.31~8.12, 경희대학교 국제캠퍼스
- ※ 참석 인원: 88명 (고1 73명, 고2 15명)
- 2024 겨울학교 입교 대상자 평가

· 평가: 2023.8.26

※ 신규 접수 인원: 51명 (고1 40명, 고2 11명)

- 2024 겨울학교 (교장: 류순민 교수)

· 2024. 1월 중, 포항공과대학교

(2) 제55회 국제화학올림피아드(ICHo)

- 기간: 2023.7.16.~7.25, 스위스 취리히
- 단장 및 부단장: 양성익 교수(경희대), 정 현 교수(동국대)
- 옵저버: 고희란 교수(중앙대), 정병혁 교수(DGIST)
- 금1, 은2, 동1 수상 (14위)
 - : 장준성(서울과고, 금), 김희준(대전과고, 은), 전지민(서울과고, 은), 서채원(서울과고, 동)

(3) 한국중학생화학대회(KMChC)

- 평가: 2023.8.19, 온라인 대회
- 1,497명 응시

□ 공익법인 재지정 신청 예정 [2023년도 제2차 이사회 (2023.9.15.) 의결]

- 공익법인 기간 종료(2021.1.1~2023.12.31)가 도래함에 따라 참석이사의 만장일치로 재지정 신청을 승인함.
- 재지정 기간: 지정기간이 끝난 후 2년 이내 재지정되는 경우 재지정일이 속하는 연도의 1월 1일부터 6년간(2024.1.1~2029.12.31)

□ 기타 보고 사항

(1) 분과회·지부 및 기타 단체 행사 지원 (2023.1.1~12.31)

- 4th Asian Conference on Chemosensors&Imaging Probes (2.6~2.7)
- 재료화학분과회 2023년도 동계심포지엄 (2.6~2.7)
- 2023년 환경에너지분과 동계심포지엄 “제8회 유엔컨퍼런스” (2.8~2.10)
- 2023 동계 무기화학 심포지엄 (2.9~2.10)
- 고분자화학분과회 동계심포지엄 (2.15~2.24)
- 139차 물리화학분과 심포지엄 (2.24)
- 131회 춘계학술대회 무기화학분과회 총회 (4.27)
- 제25회 대한화학회 광주 전남 전북 지부 연합 학술대회 (5.26)

- 제140차 물리화학분과 여름 심포지엄 (6.19~6.21)
 - 무기화학분과회 2023년도 하계 심포지엄 (6.22~6.23)
 - AIMECS 2023 아시아 의약화학연맹 학술대회 (6.25~6.28)
 - 전기화학분과/분석화학분과 하계 합동 심포지엄 (6.26~6.28)
 - KCS 국제 위성학회 International Workshop on New Advances in Theoretical and Computational Molecular Sciences for Complex and Quantum Processes (TMCQ2023) (6.27~6.30)
 - 2023년 대전/충남/세종지부 하계 학술대회 (6.30)
 - 재료화학분과회 하계심포지엄 (7.5~7.7)
 - 고분자화학분과회 하계워크샵 (7.6~7.7)
 - 생명화학분과 하계워크샵 (7.10~7.12)
 - KCS 국제 위성학회 International Conference on Soft Matter (8.8~8.12)
 - KCS 국제 위성학회 International Chemical Biology & Molecular Imaging Conference(iCBMlc) (8.10~8.12)
 - 2023년 대한화학회 영남지역 공동학술대회 (8.17~8.18)
 - 제23회 유기화학분과회 하계워크샵 (8.23~8.25)
 - 132회 추계학술대회 분석화학 심포지엄 (10.25~10.27)
 - The 9th Korea-China Joint Symposium on Inorganic Chemistry (11.5~11.8)
 - 대한화학회 대경지부 정기총회 및 심포지엄 (12.14)
- (2) 사무국 직원 직급 변동 (2023.1.1)
- 곽현영 국장 승진
 - 김윤미 과장 승진
 - 김예림 대리 승진

02 회원 현황 (2023.9.30)

1. 전체 회원 현황

개인회원						
구 분	2023년			2022년		
	합계	계속	신입	합계	계속	신입
중신회원	3,030	3,021	9	3,022	3,008	14
정회원	1,027	525	502	1,350	481	869
교육회원	38	17	21	45	19	26
학생회원	2,402	1,177	1,225	3,013	1,144	1,869
개인회원 합계	6,497	4,740	1,757	7,430	4,652	2,778
단체회원						
구 분	2023년			2022년		
	합계	계속	신입	합계	계속	신입
도서관단체	10	10	-	14	13	1
회원사단체	9	7	2	8	8	-
중등단체	1	1	-	1	1	-
모교단체	53	53	-	53	53	-
단체회원 합계	73	71	2	76	75	1

2. 구독 회원 현황

구독 (JKCS)			
2023년		2022년	
중신회원	8	중신회원	24
정회원	42	정회원	50
교육회원	1	교육회원	4
학생회원	5	학생회원	19
합계	56	합계	97

3. 지부별 회원 현황

구 분	2023년					2022년				
	합계	중신회원	정회원	교육회원	학생회원	합계	중신회원	정회원	교육회원	학생회원
서울	3,016	1,146	429	12	1,429	3,528	1,143	592	13	1,780
부산	232	111	43	3	75	257	111	38	7	101
대구경북	462	228	87	1	146	566	228	126	4	208
인천	171	111	21	3	36	171	108	26	2	35
광주전남	301	142	45	4	110	269	143	42	1	83
대전충남세종	886	549	148	6	183	996	547	194	5	250
울산	159	65	45	1	48	232	66	68	1	97
강원	147	79	24	1	43	183	79	23	-	81
경기	705	359	120	6	220	709	358	137	9	205
경남	136	62	29	0	45	164	61	42	2	59
전북	134	89	12	1	32	183	89	36	1	57
제주	14	10	2	0	2	19	10	2	-	7
충북	113	70	17	0	26	133	70	20	-	43
외국	21	9	5	-	7	20	9	4	-	7
합계	6,497	3,030	1,027	38	2,402	7,430	3,022	1,350	45	3,013

03 2023년도 일반·특별 회계 예산 집행 현황

1. 2023년 일반회계 예산 대비 수입·지출 현황(2023.1.1~9.30)

(단위: 원)

일반회계 수입·지출 현황						
구분	예산	집행 금액		세부 내역		비고
수입	2,484,691,000	2,928,387,363	117.86%	1월 수입액	481,145,684	
				2월 수입액	398,935,376	
				3월 수입액	429,293,535	
				4월 수입액	272,176,656	
				5월 수입액	359,125,352	
				6월 수입액	309,993,951	
				7월 수입액	240,990,440	
				8월 수입액	176,053,355	
				9월 수입액	260,673,014	
				지출	2,484,691,000	
2월 지출액	83,886,779					
3월 지출액	179,495,375					
4월 지출액	153,518,681					
5월 지출액	419,149,989					
6월 지출액	479,676,257					
7월 지출액	139,415,058					
8월 지출액	491,429,571					
9월 지출액	364,939,454					
수입 - 지출		509,407,026	(2023.9.30 일반회계 통장 잔고)			

일반회계 통장 잔고			
구분	계좌번호	통장잔액	비고
회비 수입	201-000106-04-212	157,792,783	
일반 지출	201-000106-01-312	50,996,490	
일반회계 운영비 예치	201-000106-75-056	68,573,112	
국제올림픽아드	201-000106-04-479	40,097,167	
국내올림픽아드	201-000106-01-223	2,082,193	
분과회 행사 관리	201-000106-01-508	157,415,281	
과충 지원금 관리	201-000106-01-718, 725, 935	32,450,000	
일반회계 통장 잔액 합계		509,407,026	2024년 올림픽아드 준비금 81,794,596원 별도

2. 2023년 일반회계 수입·지출 집행(2023.1.1~9.30)

□ 수입부

(단위: 원)

항목	2023년 예산	2023년 실적		비고
2023년 예산 - 수입부	2,484,691,000	2,928,387,363	118%	
1. 회비	248,500,000	214,190,000	86%	
1-1. 종신회원	14,000,000	12,600,000		연말 기금 전출
1-2. 정회원	66,500,000	69,230,000		
1-3. 교육회원	1,000,000	1,700,000		
1-4. 학생회원	143,000,000	115,000,000		
1-5. 단체회원	15,000,000	8,060,000		
1-6. 특별회원	5,000,000	4,000,000		
1-7. 이사회비	4,000,000	3,600,000		
2. 구독비	4,550,000	1,665,000	37%	
2-1. 종신회원	1,500,000	240,000		
2-2. 정회원	1,500,000	1,320,000		
2-3. 교육회원	300,000	30,000		
2-4. 학생회원	450,000	75,000		
2-5. 해외구독	800,000	-		
3. 게재료	112,000,000	32,253,428	29%	
3-1. BKCS	100,000,000	24,485,000		
3-2. JKCS	12,000,000	7,768,428		
4. 학술대회 참가비	330,000,000	293,280,000	89%	
4-1. 춘계 학회	165,000,000	204,920,000		
4-2. 추계 학회	165,000,000	88,360,000		
5. 광고 및 기기전시	600,000,000	491,332,000	82%	
5-1. 광고료	380,000,000	317,642,000		바이오니아 110,000,000원 동우화인켄 82,500,000원 시마즈사이언티픽코리아, 아이센스 등 포함
5-2. 기기전시	220,000,000	173,690,000		
6. 인세 및 연구지원비	11,000,000	6,110,400	56%	
6-1. 실험 교재	8,000,000	6,110,400		
6-2. 기타 교재	3,000,000	-		

(단위: 원)

7. 후원금	165,000,000	80,757,459	49%	
7-1. 과총 지원금	60,000,000	32,450,000		BKCS 6,230,000원 JKCS 7,500,000원 추계학회 18,720,000원
7-2. 업체 기부금	20,000,000	-		
7-3. 학술대회 지원금	85,000,000	48,307,459		RSC 후원금 2,908,061원(이광렬), 아이센스 여성화학자상 상금 5,000,000원, 한만정학술상 상금(웹스퀘) 11,000,000원, 춘계학회(ACS) 4,649,398원, 춘계학회(수원컨벤션센터) 7,350,000원, 춘계학회(한국관광공사) 10,000,000원, 춘계학회(경기관광공사) 7,400,000원
7-4. 기타 기관 지원금				
8. 올림픽아드 개최	532,000,000	495,552,992	93%	
8-1. 중학생 대회 전형료	130,000,000	105,602,000		
8-2. 여름-겨울학교 입교-전형료	75,000,000	52,530,000		
8-3. 창의재단 지원금	220,000,000	216,000,000		창의재단 2023년 지원금
8-4. 기업 후원금	15,000,000	20,000,000		
8-5. 올림픽아드 준비금	92,000,000	100,427,025		전년도이월금: 준비금(79,542,274원), 겨울학교 개최비(20,850,000원), 창의재단 반납금(이자) (34,751원)
8-6. 잡수입		993,967		준비금 이자 수입 939,911원, 결산이자
9. 기타 수입	233,300,000	1,110,212,742	476%	
9-1. 지부/분과회 회비/행사비	200,000,000	1,030,225,000		24개 행사 지원<설명1> 유기분과회 한순규 기부 10,000,000원
9-2. 학위 인증비	-	-		
9-2. 이자 수입	300,000	36,366,299		학회발전기금(즉시연금보험) 월이자 입금 및 기금 전출
9-3. 기념품 판매	3,000,000	774,400		
9-4. 잡수입 (로열티)	30,000,000	42,847,043		2022년도 PCCP 로열티 11,688,278원 Asian Journal of Organic Chemistry 로열티 349,916원 Chemistry - An Asian Journal Royalty 로열티 3,989,872원 ChemNanoMat Royalty 로열티 318,059원 BKCS Royalty 로열티 17,231,332원
10. 용역과제	50,000,000	-	0%	
10-1. 연구과제	50,000,000	-		
10-2. 사업관리수입		-		
11. 기금 전입	126,500,000	-	0%	
11-1. 기금 전입금	126,500,000	-		

(단위: 원)

12. 이월금	71,841,000	203,033,342	
12-1. 전년도 잉여금	71,841,000	203,033,342	2022년도 일반회계 이월 130,955,237원, 기본재산 편입예외 신청예정액 3,500,000원, 과충 지원금 반납금(이자) 4,993원, BKCS 2022년도 명시이월금 발생 10,000,000원(레고캠 협찬), BKCS 이전 연도 명시이월금 잔액 47,732,112원, 화학술어사업 명시이월금 잔액 10,841,000원 (2023년 대한화학회 화학술어 정비 사업 예산)

〈설명 1〉 24개 지부분과회 학술행사명

- 4th Asian Conference on Chemosensors&Imaging Probes (2/6-7)
- 재료화학분과회 2023년도 동계심포지엄 (2/6-7)
- 2023년 환경에너지분과 동계심포지엄 “제8회 유연컨퍼런스” (2/8-10)
- 2023 동계 무기화학 심포지엄 (2/9-10)
- 고분자화학분과회 동계심포지엄 (2/15-24)
- 139차 물리화학분과 심포지엄 (2/24)
- 춘계 무기화학분과회 총회 (4/27)
- 제25회 대한화학회 광주 전남 전북 지부 연합 학술 대회 (5/26)
- 제140차 물리화학분과 여름 심포지엄 (6/19-6/21)
- 무기화학분과회 2023년도 하계 심포지엄 (6/22-6/23)
- AIMECS 2023 아시아 의약화학연맹 학술대회 (6/25-6/28)
- 전기화학분과/분석화학분과 하계 합동 심포지엄 (6/26-28)
- 위성학회 복잡계 및 양자계의 분자이론 및 계산과학 학술회의(TMCQ2023) (6/27-6/30)
- 2023년 대전/충남/세종지부 하계 학술대회 (6/30)
- 재료화학분과회 하계심포지엄 (7/5-7/7)
- 고분자화학분과회 하계워크샵 (7/6-7)
- 생명화학분과 하계워크샵 (7/10-7/12)
- 위성학회 International Conference on Soft Matter (8/8-8/12)
- 위성학회 International Chemical Biology & Molecular imaging Conference(iCBMIc) (8/10-8/12)
- 2023년 대한화학회 영남지역 공동학술대회 (8/17-8/18)
- 제23회 유기화학분과회 하계워크샵 (8/23-8/25)
- 132회 추계학술대회 분석화학 심포지엄(10/25~10/27)
- The 9th Korea-China Joint Symposium on Inorganic Chemistry(11/5~11/8))
- 대한화학회 대경지부 정기총회 및 심포지엄(12/14)

□ 지출부

(단위: 원)

항목	2023년 예산	2023년 실적		비고
2023년 예산 - 지출부	2,484,691,000	2,418,980,337	97%	
1. 간행비	290,000,000	132,562,971	46%	
1-1. BKCS	110,000,000	12,051,000		인쇄비, 발송료, 논문처리비
1-2. 화학세계	160,000,000	108,281,461		인쇄비, 발송료, 원고료, 편집비
1-3. JKCS	20,000,000	12,230,510		인쇄비, 발송료, 논문처리비
2. 행사비	683,000,000	390,593,831	57%	
2-1. 춘계 학술대회	335,000,000	366,431,196		
2-2. 추계 학술대회	300,000,000	23,321,635		
2-3. 기타	48,000,000	841,000		
3. 위원회	100,000,000	101,598,169	102%	
3-1. 회의 및 위원회	100,000,000	101,598,169		
4. 사업비	282,000,000	846,891,305	300%	
4-1. 지부/분과회 회비/행사비	251,000,000	845,068,305		24개 행사 지원 <설명1>
4-2. 포스터·시화	10,000,000	1,163,000		
4-3. 학회 홍보	1,000,000	660,000		
4-4. 기타	20,000,000	-		
5. 보조비	40,000,000	32,143,334	80%	
5-1. 지부/분과회 보조	40,000,000	32,143,334		
6. 운영비	424,130,000	324,045,905	76%	
6-1. 인건비	250,000,000	124,858,833		
6-2. 보험료	20,000,000	23,240,580		
6-3. 교통·통신·우편	7,000,000	2,832,350		
6-4. 사무환경개선	10,000,000	5,301,090		
6-5. 소모품	8,000,000	249,500		
6-6. 공과금	60,000,000	97,848,513		부가세 및 기타 공과금
6-7. 수수료	30,000,000	21,337,580		
6-8. 잡지출	39,130,000	48,377,459		매월회계검토/세무컨설팅 6,435,000원, 웹처리건 외주업체 비용 17,930,000원, 한컴오피스 2022 영구라이선스(6개) 2,356,200원

(단위: 원)

7. 대외협력	62,720,000	67,430,828	108%	
7-1. 기과협·과총	4,000,000	4,500,000		기과협 회비 2,000,000원/ 과총 회비 2,500,000원
7-2. 연합회	3,000,000	4,000,000		연합회 회비 4,000,000원
7-3. IUPAC	40,000,000	45,505,783		
7-4. FACS	720,000	11,145,045		
7-5. 기타	15,000,000	2,280,000		학술단체총연합회 회비 400,000원, 여성과총 회비 400,000원, 기초연구연합회 회비 1,000,000원, 과편협 회비 480,000원
8. 올림픽아드 개최	477,000,000	452,046,234	95%	
8-1. 중학생 대회	67,000,000	66,330,255		
8-2. 여름-겨울 학교	170,000,000	191,321,045		
8-3. 국제대회	130,000,000	111,541,526		
8-4. 잡지출	10,000,000	2,371,223		2022년 이자 반납(34,751원) 이니시스 본인인증서비스(2,000,000원)
8-5. 올림픽아드 준비금	100,000,000	80,482,185		
9. 용역비	50,000,000	-		
9-1. 연구과제	50,000,000	-		
10. 기금전출	17,000,000	40,586,640	239%	학회발전기금(즉시연금보험) 이자 전출, 사무환경개선기금 전출
11. 차기 이월금	-	-		
12. 차기 운영비	20,000,000	20,000,000		
명시이월금	38,841,000	11,081,120		BKCS 개선 사업

3. 2022년 특별회계 수입·지출 현황(2023.9.30 현재)

□ 수입부

(단위: 원)

항목		예산	실적	비고
2023년 예산 - 수입부		3,961,343,445	3,897,711,064	
이월금 (전년도 말 잔액)	1.학회발전기금	2,964,521,935	2,967,854,276	
	2.종신기금	677,572,198	680,670,085	
	3.학술상기금	123,444,251	123,462,593	
	4.화학교육상기금	33,684,992	33,189,767	
	5.사무환경개선기금	9,720,069	8,314,123	
	6.과학기술회관	1,600,000	1,600,000	과학기술회관 본관 내 40평 지상권
		20,000,000	4,500,000	
기금 전입	1.학회발전기금	-	-	
	2.종신기금	14,000,000	-	종신회비 1,400,000/1인
	3.사무환경개선기금	6,000,000	4,500,000	<설명 1>
	130,800,000	78,120,220		
이자수입	1.학회발전기금	115,000,000	61,344,291	실질 이자 반영 <설명 2>
	2.종신기금	12,000,000	16,641,255	"
	3.학술상기금	3,000,000	-	"
	4.화학교육상기금	800,000	-	"
	5.사무환경개선기금	-	134,674	"

<설명 1> 사무환경개선기금 적립

<설명 2> 삼성생명 에이스 즉시연금보험(원금: 20억) 매월 이자 포함

□ 지출부

(단위: 원)

항목		예산	실적	비고
2023년 예산 - 지출부		3,961,343,445	3,897,711,064	
원천징수 소득세 및 전출금		93,740,000	6,443,090	
소득세 (원천징수)	1.학회발전기금	7,240,000	6,443,090	
	2.종신기금	4,800,000	3,859,660	세율 15.4%
	3.학술상기금	1,850,000	2,562,700	"
	4.화학교육상기금	460,000	-	"
	5.사무환경개선기금	130,000	-	"
			20,730	"
전출금/ 대여금	1.학회발전기금	86,500,000	-	
	2.종신기금	38,000,000	-	
	3.학술상기금	42,000,000	-	
	4.화학교육상기금	6,000,000	-	
	5.사무환경개선기금	500,000	-	
	잔액	3,867,603,445	3,891,267,974	
잔액	1.학회발전기금	3,036,721,935	3,025,338,907	
	2.종신기금	659,722,198	694,748,640	
	3.학술상기금	119,984,251	123,462,593	
	4.화학교육상기금	33,854,992	33,189,767	
	5.사무환경개선기금	15,720,069	12,928,067	
	6.과학기술회관	1,600,000	1,600,000	과학기술회관 본관 내 40평 지상권

4. 특별사업 회계 및 분과회 위탁 기금 현황(2023.9.30 현재)

□ 전년 이월 잔액 대비 2023년 실적

(단위: 원)

구분	실적		비고	
	2022년 이월 잔액	2023년 실적		
합계	870,870,799	910,093,283		
특별사업회계	기념품	40,476,278	41,227,310	
	전민제 화학인상 기금	71,453,433	71,453,433	
	한만정 학술상 기금	39,718,543	68,956,499	<설명1>
	소계	151,648,254	181,637,242	
지부/분과회 위탁 기금	물리화학분과회	210,531,235	211,248,736	
	재료화학분과회	59,595,458	55,908,905	
	고분자화학분과회	30,562,641	29,233,413	
	유기화학분과회	306,788,281	303,453,462	
	무기화학분과회	97,017,992	93,884,587	
	의약화학분과회	14,726,938	14,726,938	
	대구/경북지부	-	20,000,000	
	소계	719,222,545	728,456,041	

<설명 1> 기본재산 편입 주식 4만주 평가액 제외 금액 (기본재산 편입 의결 - '21 추계 총회('21.10.14), '21 2차 이사회('21.9.16))

(1) 특별사업회계

(단위: 원)

항목	수입		지출	
	금액	비고	항목	금액
기념품 mmf	40,476,278	이월금	이자 소득세 원천징수	136,690
이자 수입	887,722		기념품 제작비	
기념품 판매대금 전입				
소계	41,364,000		소계	136,690
예치금				41,227,310
전민제 화학인상 기금	71,453,433		이자 소득세 원천징수	
이자 수입			상금 및 학술사업 지원	
소계	71,453,433		소계	-
예치금				71,453,433
한만정학술상 기금*	39,718,543	이월금	심사비(7인)	2,100,000
배당금 및 예탁금 이용료	31,337,956			
소계	71,056,499		소계	2,100,000
예치금				68,956,499
예치금 현황				181,637,242

* 기본재산 편입 4만주 평가액 제외('21 추계 총회('21.10.14), '21 2차 이사회('21.9.16) 의결)

(2) 물리화학분과회

(단위: 원)

수입			지출	
항목	금액	비고	항목	금액
젊은물리화학자상	36,262,193	이월금	이자 소득세 원천징수	
이자 수입			상금 이체	
소계	36,262,193		소계	-
예치금			36,262,193	
입재물리화학상	43,484,525	이월금	이자 소득세 원천징수	
이자 수입			상금 이체	
소계	43,484,525		소계	-
예치금			43,484,525	
김명수 학술상	49,099,629	이월금	이자 소득세 원천징수	
이자 수입			상금 이체	
소계	49,099,629		소계	-
예치금			49,099,629	
신국조 학술상	50,571,806	이월금	이자 소득세 원천징수	206,710
이자 수입	1,342,291		상금 이체	1,000,000
소계	51,914,097		소계	1,206,710
예치금			50,707,387	
기금	31,113,082	이월금	이자 소득세 원천징수	105,910
이자 수입	687,830			
소계	31,800,912		소계	105,910
예치금			31,695,002	
예치금 현황			211,248,736	

(3) 재료화학분과회

(단위: 원)

수입			지출	
항목	금액	비고	항목	금액
정기 예금	59,595,458	이월금	이자 소득세 원천징수	239,080
이자 수입	1,552,527		학술상 상금	5,000,000
소계	61,147,985		소계	5,239,080
예치금			55,908,905	
예치금 현황			55,908,905	

(4) 고분자화학분과회

(단위: 원)

수입			지출	
항목	금액	비고	항목	금액
정기 예금	30,562,641	이월금	이자 소득세 원천징수	122,100
이자 수입	792,872		학술진보상 상금	2,000,000
소계	31,355,513		소계	2,122,100
예치금			29,233,413	
예치금 현황			29,233,413	

(5) 유기화학분과회

(단위: 원)

수입			지출	
항목	금액	비고	항목	금액
장세희 학술상	23,308,320	이월금	이자 소득세 원천징수	76,070
이자 수입	494,023		장세희 학술상 상패/부상	2,100,000
소계	23,802,343		소계	2,176,070
예치금			21,626,273	
심상철 학술상	24,940,959	이월금	이자 소득세 원천징수	81,400
이자 수입	528,628		심상철 학술상 상패/부상	2,100,000
소계	25,469,587		소계	2,181,400
예치금			23,288,187	
학술상 1	217,763,016	이월금	이자 소득세 원천징수	
이자 수입				
학술상 2	40,775,986	이월금	이자 소득세 원천징수	
이자 수입				
소계	258,539,002		소계	-
예치금			258,539,002	
예치금 현황			303,453,462	

(6) 무기화학분과회

(단위: 원)

수입			지출	
항목	금액	비고	항목	금액
정기예금	37,182,538	이월금	이자 소득세 원천징수	130,210
이자 수입	845,594		젊은무기화학자상 상금	2,000,000
소계	38,028,132		소계	2,130,210
예치금			35,897,922	
김시중 학술상	59,835,454	이월금	이자 소득세 원천징수	209,550
이자 수입	1,360,761		김시중 학술상 상금	3,000,000
소계	61,196,215		소계	3,209,550
예치금			57,986,665	
예치금 현황			93,884,587	

(7) 의약화학분과회

(단위: 원)

수입			지출	
항목	금액	비고	항목	금액
정기예금	14,726,938	이월금	이자 소득세 원천징수	
이자수입				
소계	14,726,938		소계	-
예치금			14,726,938	
예치금 현황			14,726,938	

(8) 대구/경북지부

(단위: 원)

수입			지출	
항목	금액	비고	항목	금액
정기예금	20,000,000	신규개설(2023.02.15)	이자 소득세 원천징수	
이자수입				
소계	20,000,000		소계	-
예치금			20,000,000	
예치금 현황			20,000,000	

5. 유동자산 변동 현황 (2023.9.30 현재)

(단위: 원)

일반회계							591,201,622
일반회계 1. 회비 및 지출 통장							467,227,666
No.	계좌번호	계좌내용	개설일	변동일	변동 사유	만기일	잔액/평가금액
1	201-000106-04-212	회비 수입 통장	2007-01-11	-	-	-	157,792,783
2	201-000106-01-312	일반 지출 통장	2009-01-19	-	-	-	50,996,490
3	201-000106-75-056	일반회계 운영비 예치	2011-03-28	-	-	-	68,573,112
4	201-000106-01-508	분과회행사 관리 통장	2011-05-30	-	-	-	157,415,281
5	201-000106-01-725	과충 지원금 관리 통장 1	2018-06-28	-	-	-	18,720,000
6	201-000106-01-718	과충 지원금 관리 통장 2	2018-06-28	-	-	-	7,500,000
7	201-000106-01-935	과충 지원금 관리 통장 3	2023-09-22	-	-	-	6,230,000
일반회계 2. 올림픽피어드							123,973,956
No.	계좌번호	계좌내용	개설일	변동일	변동 사유	만기일	잔액/평가금액
8	201-000106-01-223	국내올림픽피어드 관리	2007-07-26	-	-	-	2,082,193
9	201-000106-04-479	국제올림픽피어드 관리	2011-03-14	-	-	-	40,097,167
10	201-000106-21-043	올림픽피어드준비금	2022-05-27	2023-08-08	만기 재가입	2024-01-15	81,794,596
특별회계							4,071,305,216
특별회계 1. 학회발전기금							3,025,338,907
No.	계좌번호	계좌내용	개설일	변동일	변동 사유	만기일	잔액/평가금액
11	삼성생명 에이스즉시연금보험	학회발전기금	2017-02-10	-	-	2027-02-10	2,000,000,000
12	201-000106-21-009	학회발전기금	2021-04-14	2023-06-22	만기 재가입	2024-06-22	50,000,000
13	한국과학기술단체총연합회	"상생하는후원"금전대차	2022-12-27	-	-	-	300,000,000
14	201-000106-96-011	학회발전기금 mmf	2009-01-02	-	-	-	143,350,177
15	201-000106-21-010	학회발전기금	2021-04-14	2023-06-22	만기 재가입	2024-06-22	300,000,000
16	201-000106-21-011	학회발전기금(화학회관보증금)	2021-09-29	-	-	2023-10-14	50,000,000
17	201-000106-15-168	학회발전기금(연금보험이자적립)	2023-04-13	-	-	2028-04-13	31,988,730
18	201-000106-21-045	학회발전기금	2023-04-13	-	-	2024-04-13	150,000,000
특별회계 2. 종신기금							694,748,640
No.	계좌번호	계좌내용	개설일	변동일	변동 사유	만기일	잔액/평가금액
19	201-000106-21-014	종신기금	2021-04-14	2023-06-22	만기 재가입	2024-06-22	250,000,000
20	201-000106-21-041	종신기금	2022-04-26	2023-06-22	만기 재가입	2024-06-22	250,000,000
21	201-000106-96-018	종신기금 mmf	2016-03-08	-	-	-	194,748,640
특별회계 3. 기타 기금							169,580,427
No.	계좌번호	계좌내용	개설일	변동일	변동 사유	만기일	잔액/평가금액
22	201-000106-21-022	학술상기금	2021-12-23	-	-	2023-12-27	123,462,593
23	201-000106-21-038	화학교육상기금	2021-12-23	-	-	2023-12-27	33,189,767
24	201-000106-96-019	사무환경개선기금 mmf	2019-12-18	-	-	-	12,928,067
특별회계 4. 특별 사업 기금							181,637,242
No.	계좌번호	계좌내용	개설일	변동일	변동 사유	만기일	잔액/평가금액
25	201-000106-96-006	기념품 mmf	2008-02-04	-	-	-	41,227,310
26	201-000106-21-026	전민제화학인상 기금	2021-12-06	-	-	2023-11-14	71,453,433
27	(KB증권)267-253-454-01	한만정 학술상 기금	2020-06-22	-	-	-	68,956,499

(참고) 한만정 학술상 기금: 기본재산 편입 주식 4만주 평가액 제외 금액

(단위: 원)

분과 위탁 기금 및 mmf							728,456,041
No.	계좌번호	계좌내용	개설일	변동일	변동 사유	만기일	잔액/평가금액
28	201-000106-21-039	물리화학분과회(젊은물리화학자상)	2021-12-29	-	-	2023-12-29	36,262,193
29	201-000106-21-040	물리화학분과회(임재물리화학상)	2021-12-29	-	-	2023-12-29	43,484,525
30	201-000106-21-023	물리화학분과회(김명수학술상)	2021-12-29	-	-	2023-12-29	49,099,629
31	201-000106-21-024	물리화학분과회(신국조학술상)	2021-05-21	2023-06-21	만기 재가입	2024-06-21	50,707,387
32	201-000106-21-030	물리화학분과회	2021-03-17	2022-03-23	만기 재가입	2024-05-12	31,695,002
33	201-000106-21-042	재료화학분과회	2022-04-26	2023-06-21	-	2024-06-21	55,908,905
34	201-000106-21-025	고분자화학분과회	2021-05-21	2022-05-23	만기 재가입	2024-06-07	29,233,413
35	201-000106-21-033	유기화학분과회(장세희학술상)	2021-03-17	2022-03-23	만기 재가입	2024-04-13	21,626,273
36	201-000106-21-021	유기화학분과회학술상	2021-12-29	-	-	2023-12-29	217,763,016
37	201-000106-21-034	유기화학분과회(심상철학술상)	2021-03-17	2022-03-23	만기 재가입	2024-04-13	23,288,187
38	201-000106-21-029	유기화학분과회학술상	2021-12-29	-	-	2023-12-29	40,775,986
39	201-000106-21-035	무기화학분과회	2021-04-02	2022-04-05	만기 재가입	2024-04-13	35,897,922
40	201-000106-21-036	무기화학분과회(김시중학술상)	2021-04-02	2022-04-05	만기 재가입	2024-04-13	57,986,665
41	201-000106-21-019	의약화학분과회	2021-12-29	-	-	2023-12-29	14,726,938
42	201-000106-21-044	대구/경북지부	2023-02-15	-	신규 개설	2024-02-15	20,000,000
기타 - 세무관리 및 직원 퇴직 연금 등							99,751,462
No.	계좌번호	계좌내용	개설일	변동일	변동 사유	만기일	잔액/평가금액
43	201-000106-01-604	올림픽아드 전도금	2013-01-09	-	-	-	-
44	201-000106-01-522	차기 선수금	2011-10-28	-	-	-	-
45	201-000106-04-486	세무 관리	2011-03-16	-	-	-	24,102,489
46	201-000106-94-017	직원 개인 퇴직 연금	2011-06-10	-	-	-	75,648,622
47	201-000106-04-568	기과협 운영비	2012-01-06	-	-	-	-
48	169-169994-13-101	우리은행 업체 거래용	1998-04-03	-	-	-	-
49	201-000106-63-001	기업은행 어음수탁용	2009-02-20	-	-	-	-
50	650-007957-903	외환은행 KCP 외화 입금	2010-11-17	-	-	-	-
51	014522-01-000549	우체국 경조사(전보 등)	2006-03-22	-	-	-	350
52	100-021-955164	신한은행 업체 거래용	2008-02-05	-	-	-	1
53	468-20-019825	제일은행 업체 거래용	1996-08-06	-	-	-	-

5. 기본재산 평가액

날짜	적요	단가	평가액
2023.03.31 기준	KB증권 맥쿼리인프라 평가액	40000	12,570
2023.04.30 기준	KB증권 맥쿼리인프라 평가액	40000	12,430
2023.05.31 기준	KB증권 맥쿼리인프라 평가액	40000	13,220
2023.06.30 기준	KB증권 맥쿼리인프라 평가액	40000	12,800
2023.07.31 기준	KB증권 맥쿼리인프라 평가액	40000	12,270
2023.09.30 기준	KB증권 맥쿼리인프라 평가액	40000	12,210

04 세칙 제정, 개정 현황

1. 무기화학분과회 세칙 개정

[1983년 4월 8일 제정, 1994년 10월 14일 개정, 1996년 5월 24일 개정, 1999년 10월 15일 개정, 2001년 10월 19일 개정, 2003년 1월 24일 개정, 2011년 4월 7일 개정, 2017년 9월 22일 개정, 2022년 9월 23일 개정, 2023년 3월 24일 개정, 2023년 9월 15일 개정]

제1조(명칭) 본회는 대한화학회 무기화학분과회(이하는 무기분과회)라 칭한다.

제2조(목적) 본회는 무기화학의 학술발전에 이바지하고 회원 사이의 연구협력과 친목을 목적으로 한다.

제3조(회원) 대한화학회 정회원 가운데 무기화학 분야를 전공하거나 관심 있는 사람은 무기분과회 회원이 될 자격이 있다. 가입을 원하는 사람은 회장에게 등록신청을 해서 회원이 된다.

제4조(회원의 권리와 의무) 회원은 다음과 같은 권리와 의무를 갖는다.

- (1) 무기분과회 임원의 선거권과 피선거권을 갖는다.
- (2) 무기분과회 학술 활동에 참여할 수 있으며, 관련된 자료를 받을 수 있다.
- (3) 무기분과회 학술 활동에 대한 의견을 내놓을 수 있다.
- (4) 무기분과회가 회비를 징수하면 납부할 의무가 있다.

제5조(회원의 탈퇴) 회원은 탈퇴서를 회장에게 제출함으로써 본회를 탈퇴할 수 있다. 또한 일 정 기간 회비를 납부하지 않으면 회원자격을 잃는다.

제6조(활동) 무기분과회는 다음과 같은 활동을 한다.

- (1) 대한화학회 학술발표회 기간에 분과 총회를 개최한다.
- (2) 정기세미나, 심포지엄, 워크숍 등을 개최한다.
- (3) 심포지엄이나 워크숍의 논문 모음집과 세미나 초록을 발간한다.
- (4) 대한화학회 총회 및 기타 임원회에서 결의된 사항을 대한화학회장의 승인을 얻어 집행한다.
- (5) <무기화학 소식>을 발간하여 무기분과회 활동을 보고하고, 공지 사항, 관련 학회 소식, 세미나 등을 알린다.

제7조(임원) 무기분과회는 1인 회장, 약간 명의 부회장 및 간사를 임원으로 둔다.

- (1) 임원의 임기는 1년으로 하되, 불가피한 상황에만 연임할 수 있다.
- (2) 회장은 다음과 같이 선출한다.
 - (가) 후보자는 분과회 회원 3인 이상의 추천을 받아야 하며, 운영위원회가 후보자로 확정한다.
 - (나) 후보자의 추천은 서면 혹은 이메일로 하고, 투표개시일 1개월 전에 시작해서 사전에 지정한 날에 마감한다.
 - (다) 회장은 직접선거로 선출하며, 투표는 비밀이 보장되는 방법으로 한다.
 - (라) 후보자가 2인 이상인 경우, 최다득표자가 당선된다. 후보자가 1인인 경우, 찬반투표를 실시하여 투표자 과반수의 찬성으로

당선자를 정한다. 후보자가 없는 경우, 운영위원회가 1인 의 후보자를 추천하고 찬반투표로 당선자를 확정한다.

- (마) 전년도 회원이거나 선거 당일까지 회원자격을 얻은 사람은 선거권과 피선거권을 갖는다.

(3) 회장은 부회장님 및 간사를 지명한다.

(4) 회장은 본회를 대표하고 회무를 총괄한다. 회장은 특별한 학술 활동을 위해 한시적으로 필요한 위원회를 조직하거나 특정인을 지명할 수 있다.

(5) 간사는 회장을 보좌하여 회장이 위임한 사안을 처리한다.

제8조(회기) 본회의 회기는 1년을 단위로 하며, 1월 1일에 시작해서 12월 31일에 끝난다.

제9조(운영위원회) 본회를 효율적으로 운영하기 위해 운영위원회를 둔다.

(1) 현 임원 및 전 임원은 운영위원회의 당연직 위원이 된다.

- (2) 운영위원회의 위원장은 현 회장이 맡는다.
- (3) 운영위원장은 운영위원회의 추천으로 약간 명의 추천직 위원을 선임할 수 있다.
- (4) 추천직 위원의 임기는 2년이며, 연임할 수 없다.
- (5) 운영위원회는 무기분과회의 운영 전반에 자문 역할을 한다.
- (6) 운영위원회는 대한화학회에서 무기분과회로 의뢰하는 아래의 사항을 심의하고 자문한다.
 - (가) 각종 수상 후보자 추천
 - (나) 대한화학회 총회 연사 추천
 - (다) 대한화학회 학술발표회 중에 개최되는 심포지엄의 조직과 운영
 - (라) 기타 회장이 의뢰하는 사항

제10조(김시중 학술상) 본회는 “김시중 학술상”을 제정하여 시행한다.

- (1) 회비를 3년 이상 납부했으며 분과 발전에 크게 공헌하고 연구업적이 가장 우수한 1인에 게 “김시중 학술상”을 수여한다.
- (2) 수상자에게는 상패와 부상을 수여한다.
- (3) 연구논문, 특허, 실용화 실적 등을 심사 대상으로 한다.
- (4) 수상자는 다음과 같이 선정한다.
 - (가) 운영위원회가 수상자를 선정한다.
 - (나) 회원은 수상 후보자를 운영위원회에 추천할 수 있다.
 - (다) 운영위원회는 피추천인 가운데 5명 이내의 후보자를 정한다.
 - (라) 운영위원회의 무기명 투표에서 출석위원 과반수를 득표한 후보자가 수상자가 된다.

(마) 과반수의 득표자가 없으면 득표수 순으로 상위 2인을 후보로 재투표를 실시하여 최다 득표자를 수상자로 선정할 수 있다. 재투표 결과가 동수이면 위원장이 수상자를 결정할 수 있다.

(바) 해당자가 없을 때는 당해년도 수상자를 선정하지 않을 수 있다.

(5) “김시중 학술상”은 대한화학회 추계 학술발표회 기간에 열리는 무기분과회 총회에서 시상 한다.

제11조(우수연구상) 본회는 “무기화학분과 우수연구상”을 제정하여 시행한다.

(1) 회비를 3년 이상 납부했으며 최근 3년간 연구 업적이 가장 우수한 2명 이내의 회원에게 “무기화학분과 우수연구상”을 수여한다.

(2) 수상자에게는 상패와 부상을 수여한다.

(3) 연구논문, 특허, 실용화 실적 등을 심사 대상으로 한다.

(4) 수상자는 다음과 같이 선정한다.

(가) 운영위원회가 수상자를 선정한다.

(나) 회원은 수상 후보자를 운영위원회에 추천할 수 있다.

(다) 운영위원회는 피추천인 가운데 5명 이내의 후보자를 정한다.

(라) 운영위원회의 무기명 투표에서 출석위원 과반수를 득표한 후보자가 수상자가 된다.

(마) 과반수의 득표자가 없으면 득표수 순으로 상위 2인을 후보로 재투표를 실시하여 최다 득표자를 수상자로 선정할 수 있다. 재투표 결과가 동수이면 위원장이 수상자를 결정할 수 있다.

(바) 위의 (나)~(마) 과정을 거쳐 수상이 결정된 1인 이외에 1인의 수상자를 더 선정하고자 한다면, (다)의 후보자 가운데 이미 선정된 1인을 제외하고 (라)~(마) 과정을 따를 수 있다.

(사) 해당자가 없을 때는 당해년도 수상자를 선정하지 않을 수 있다.

(5) “무기화학분과 우수연구상”은 대한화학회 춘계 학술발표회 기간에 열리는 무기분과회 총회에서 시상한다.

제12조(젊은무기화학자상) 본회는 “무기화학분과 젊은무기화학자상”을 제정하여 시행한다.

(1) 회비를 2년 이상 납부했으며 시상일 기준 만 45세 미만이며 연구 업적이 우수한 2명 이내의 회원에게 “무기화학분과 젊은무기화학자상”을 수여한다.

(2) 수상자에게는 상패와 부상을 수여한다.

(3) 연구논문, 특허, 실용화 실적 등을 심사 대상으로 한다. 심사 대상 업적은 국내에서 수행 한 독립적인 연구의 성과물이어야 한다.

(4) 수상자는 다음과 같이 선정한다.

(가) 운영위원회가 수상자를 선정한다.

(나) 회원은 수상 후보자를 운영위원회에 추천할 수 있다.

(다) 운영위원회는 피추천인 가운데 5명 이내의 후보자를 정한다.

(라) 운영위원회의 무기명 투표에서 출석위원 과반수를 득표한 후보자가 수상자가 된다.

(마) 과반수의 득표자가 없으면 득표수 순으로 상위 2인을 후보로 재투표를 실시하여 최다 득표자를 수상자로 선정할 수 있다. 재투표 결과가 동수이면 위원장이 수상자를 결정할 수 있다.

(바) 위의 (나)~(마) 과정을 거쳐 수상이 결정된 1인 이외에 1인의 수상자를 더 선정하고자 한다면, (다)의 후보자 가운데 이미 선정된 1인을 제외하고 (라)~(마) 과정을 따를 수 있다.

(사) 해당자가 없을 때는 당해년도 수상자를 선정하지 않을 수 있다.

(5) “무기화학분과 젊은무기화학자상”은 대한화학회 추계 학술발표회 기간에 열리는 무기분과 회 총회에서 시상한다.

부 칙

제1조 개정된 세칙은 공포된 날로부터 시행한다.

제2조 본 세칙을 개정하려면, 회장 또는 10인 이상의 회원이 개정안을 발의하고 운영위원회가 의결한 후 무기분과회 총회에서 인준해야 한다.

2. 학술지 기념호 및 기념 별쇄 발간 내규 개정 [2012년 2월 24일 제정, 2023년 9월 15일 개정]

1. 개인(또는 단체)의 정년, 생일, 사망, 수상, 창립 등을 기리기 위한 기념논문 및 기념논문집의 발간은 BKCS 편집위원회 및 학술지간행위원회의 승인을 사전에 받아야 한다.

2. 기념논문집은 BKCS 특별호(Special Collection)의 형태로 발간되며, 이 경우 기념논문집은 제 목과 주제를 포함해야 한다.

3. BKCS 편집위원회는 기념논문집의 외부편집위원(Guest Editor)과 저자의 선정 및 구성에 대해 조정 또는 심의할 수 있다.

4. 기념논문(집)의 기념 헌사(dedication)는 BKCS의 출판 양식에 따른다.

5. 기념논문(집)은 투고, 논문심사, 발행, 비용 등 모든 절차에서 BKCS의 제반 규정을 따라야 한다.

6. BKCS 편집위원회는 기념논문(집)의 발행 일정을 조정할 수 있다.

7. 기념 대상자(또는 단체)의 사진, 이력, 논문 목록 등은 기념논문에 포함되지 않는다.

05 2024-2025 임원, 사업계획

목표 및 기초

미래를 준비하고 선도하는 대한화학회!

화합하여 모두가 참여하는 대한화학회!

전통을 계승하고 성장하는 대한화학회!

실행 방안

모든 회원이 참여하고 소통·화합하는 대한화학회

- 대한화학회 회원 간 소통할 수 있는 기회 확대
- 자유로운 의견 수렴과 이를 바탕으로 합의된 의견 실현
- 분과회장단과 지부장 회의를 정례화
- ‘전국 화학과장 협의회’를 조직하여 당면 문제를 해결
- 전산 시스템 구축을 통한 투명한 재정과 개방적인 행정 체제 운영

과학과 기술의 중심 학문으로 대중화를 중시하는 대한화학회

- 기초과학 연구 정책 비전 제시와 화학 관련 정책 수립에 적극 참여
- 관련 학회 및 단체들과 소통해 학제 간 활동을 확대
- 중요 학문으로서의 위치를 찾기 위해 대외적 활동과 홍보 강화
- ‘화학 대중화위원회’를 만들어 화학의 중요성 홍보
- 화학의 중요성을 인식할 수 있는 프로그램 개발
- 기사별로 검색 가능한 ‘화학세계’ 온라인 플랫폼 구축

국제화와 학술 활동을 적극 지원하는 대한화학회

- 학술 교류 확대를 통한 국제적 위상 강화
- ‘BKCS’와 ‘JKCS’의 질적 제고 및 개선 지속적으로 추진
- 학술상 수상자의 국제 홍보를 통한 위상 제고
- 분과회, 지부 학술행사를 지원하고 유기적으로 연결해 화학회를 활성화
- 새로운 분야에 대한 다양한 형태의 학술대회 개최
- 산·학·연 네트워크의 활성화를 위한 프로그램 운영

화학교육을 강화하고 인구 감소에 대비하는 대한화학회

- 교과과정 개편을 포함한 화학교육에 관한 의견 수렴 및 정책 제시
- 초·중·고와 대학의 화학교육에 대한 연계성 강화와 고교 학점제 대비
- ‘학부생 회원’을 신설하여 화학회 저변을 확대하며 소속감과 연대감 고취
- ‘학생회원’들이 졸업 후 화학회에 재가입하는 프로그램 운영
- ‘교육회원’과 ‘단체회원’ 가입을 독려하며 교육계와 산업계 참여 확대
- ‘학부생 회원’을 위한 프로그램과 경진대회 운영
- ‘화학세계’ 실명 기부제도 운영

창립 100주년을 준비하는 대한화학회

- 화학자들의 업적과 사료들을 수집하고 화학회의 역사를 체계적으로 기록
- 대한화학회 100년의 역사를 준비

기타 사업

- 1) 총회 및 학술발표회 일정(4월, 10월)
 - 춘계 총회: 수원 SCC, 2024년 4월 24일~26일
 - 추계 총회: 대구 EXCO, 2024년 10월 16일~18일
- 2) 산업체 주관 산학연 심포지엄 개최
- 3) 창립 100년을 준비하는 기록물 준비 시작
- 4) 대한화학회 홈페이지 개편
- 5) 화학회 회원 정보 집대성: 화학 인력 총람 온라인화
- 6) 화학 대중화와 관련한 화학 관련 정보 집약

이사, 감사

구분	성명(소속)	임기	성명(소속)	임기
이사 (20인)	이필호(강원대)	2023-2027(5년, 회장)	신석민(서울대)	2021-2025(5년, 전임회장)
	차기회장	2025-2029(5년)	김 민(충북대)	2022-2025(4년)
	김성환(경북대)	2022-2025(4년)	김지만(성균관대)	2024-2027(4년)
	김경규(성균관대)	2024-2027(4년)	문봉진(서강대)	2022-2025(4년)
	강성호(경희대)	2024-2027(4년)	신은주(순천대)	2022-2025(4년)
	이재준(동국대)	2022-2025(4년)	구상호(명지대)	2024-2027(4년)
	정영미(강원대)	2022-2025(4년)	허정석(충남대)	2024-2027(4년)
	오한빈(서강대)	2024-2025(2년)	홍창섭(고려대)	2024-2025(2년)
	신승훈(한양대)	2024-2025(2년)	조규봉(서강대)	2024-2025(2년)
	이 혁(화학연)	2024-2025(2년)	김형민(국민대)	2024-2025(2년)
감사(2인)	이희승(KAIST)	2024-2025(2년)	임현석(포항공대)	2024-2025(2년)

운영위원회 위원

회장	이필호(강원대)	
차기회장	회장 선출 규정에 의거하여 2024년에 선출 예정	
부회장(7인)	오한빈(서강대, 총무)	홍창섭(고려대, 기획)
	신승훈(한양대, 학술)	조규봉(서강대, 홍보)
	박진균(부산대, 국제협력)	이혁(화학연, 산학협력)
	박현주(조선대, 교육)	
실무이사(19인)	김형민(국민대, 총무)	박성진(인하대, 총무)
	김현우(KAIST, 총무)	정광섭(고려대, 기획)
	김두리(한양대, 기획)	송창식(성균관대, 학술)
	조은진(중앙대, 학술)	황윤정(서울대, 학술)
	문회리(이화여대, 홍보)	이현수(서강대, 홍보)
	이준석(한양대, 홍보)	홍승우(KAIST, 국제협력)
	조승환(POSTECH, 국제협력)	윤명한(GIST, 국제협력)
	한수봉(화학연, 산학협력)	임상민(KIST, 산학협력)
	남기엽(파로스아이비바이오, 산학협력)	이안나(전북대, 교육)
	김현우(POSTECH, 교육)	

신임 제위원회 위원장

구분	임기	전임 위원장	신임 위원장
기금위원회	2년	이덕형(서강대)	문봉진(서강대)
연구실안전위원회	2년	이익모(인하대)	황승률(화학물질안전원)
출판위원회	2년	장준경(부산대)	류도현(성균관대)
연구윤리위원회	2년	구상호(명지대)	구상호(명지대)*
화학전공학위인증위원회	2년	장우동(연세대)	장우동(연세대)*
화학술어위원회	2년	이동환(서울대)	이동환(서울대)*

*연임

06 2024년 일반·특별 회계 예산

1. 2024년 일반회계 수입·지출 예산(안)(2023.7.31 현재)

□ 2023년 대비 2024년 일반회계 수입·지출 예산

(단위: 원)

구분	2023년 예산	2024년 예산	증감
수입	2,484,691,000	2,727,320,000	2023년 대비 9.7% 증가
지출	2,484,691,000	2,727,320,000	

□ 수입부

(단위: 원)

항목	2023년 예산	2024년 예산	비고
2023년/2024년 예산 - 수입부	2,484,691,000	2,727,320,000	
1. 회비	248,500,000	255,800,000	
1-1. 종신회원	14,000,000	14,000,000	연말 기금 전출
1-2. 정회원	66,500,000	70,000,000	
1-3. 교육회원	1,000,000	2,000,000	
1-4. 학생회원	143,000,000	150,000,000	
1-5. 단체회원	15,000,000	11,000,000	
1-6. 특별회원	5,000,000	5,000,000	
1-7. 이사회비	4,000,000	3,800,000	19인
2. 구독비	4,550,000	2,520,000	
2-1. 종신회원	1,500,000	1,200,000	구독료 30,000원
2-2. 정회원	1,500,000	900,000	구독료 30,000원
2-3. 교육회원	300,000	270,000	구독료 30,000원
2-4. 학생회원	450,000	150,000	구독료 15,000원
2-5. 해외구독	800,000	-	
3. 게재료	112,000,000	40,000,000	
3-1. BKCS	100,000,000	30,000,000	
3-2. JKCS	12,000,000	10,000,000	
4. 학술대회 참가비	330,000,000	450,000,000	
4-1. 춘계 학회	165,000,000	250,000,000	정회원, 종신회원, 학생회원, 교육회원 참가비
4-2. 추계 학회	165,000,000	200,000,000	정회원, 종신회원, 학생회원, 교육회원 참가비
5. 광고 및 기기전시	600,000,000	500,000,000	
5-1. 광고료	380,000,000	350,000,000	기업체 협찬 포함
5-2. 기기전시	220,000,000	150,000,000	
6. 인세 및 연구지원비	11,000,000	16,000,000	
6-1. 실험 교재	8,000,000	7,000,000	일반화학실험 교재
6-2. 기타 교재	3,000,000	9,000,000	올림피아드 교재
7. 후원금	165,000,000	75,000,000	
7-1. 과총 지원금	60,000,000	20,000,000	학술지 10,000,000원, 학술대회 10,000,000원
7-2. 업체 기부금	20,000,000	5,000,000	
7-3. 학술대회 지원금	85,000,000	50,000,000	과총 세계학술대회 20,000,000원 지자체 25,000,000원 이태규선생기념사업회 5,000,000원
7-4. 기타 기관 지원금			

□ 수입부

(단위: 원)

8. 올림픽아드 개최	532,000,000	480,000,000	
8-1. 중학생 대회 전형료	130,000,000	120,000,000	예상액
8-2. 여름-겨울학교 입교-전형료	75,000,000	50,000,000	250,000원/350,000원/1인 (입교비, 기간별 차등), 75,000원/1인(참가자 선발 전형료)
8-3. 창의재단 지원금	220,000,000	200,000,000	예상액
8-4. 기업 후원금	15,000,000	20,000,000	LG 화학
8-5. 올림픽아드 준비금	92,000,000	90,000,000	2023년에서 이월
9. 기타 수입	233,300,000	681,000,000	
9-1. 지부/분과회 회비/행사비	200,000,000	600,000,000	일부 수수료 공제
9-2. 이자 수입	300,000	40,000,000	
9-3. 기념품 판매	3,000,000	1,000,000	기금 전출
9-4. 잡수입	30,000,000	40,000,000	로열티(BKCS, AJOC, CAJ 등)
10. 용역과제	50,000,000	50,000,000	
10-1. 연구과제	50,000,000	50,000,000	
10-2. 사업관리수입		-	
11. 기금 전입	126,500,000	127,000,000	
11-1.기금 전입금	126,500,000	127,000,000	중신기금의 일반회계 지원금 및 학회발전기금의 일반회계 지원금 80,000,000원 (중신 42,000,000원 + 학회발전 38,000,000원) 학술상 상금 6,000,000원, 화학교육상 상금 1,000,000원, 전민제화학인상 상금 및 사업 10,000,000원, 하만정학술상 상금 30,000,000원
12. 이월금	71,841,000	50,000,000	
12-1. 전년도 잉여금	71,841,000	50,000,000	명시이월금 50,000,000원(BKCS)

□ 지출부

(단위: 원)

항목	2023년 예산	2024년 예산	비고
2023년/2024년 예산 - 지출부	2,484,691,000	2,727,320,000	
1. 간행비	290,000,000	218,000,000	
1-1. BKCS	110,000,000	48,000,000	논문처리비
1-2. 화학세계	160,000,000	150,000,000	원고료, 출판, 발송
1-3. JKCS	20,000,000	20,000,000	출판, 발송, 논문처리비
2. 행사비	683,000,000	600,000,000	
2-1. 춘계 학술대회	335,000,000	300,000,000	
2-2. 추계 학술대회	300,000,000	250,000,000	
2-3. 기타	48,000,000	50,000,000	
3. 위원회	100,000,000	90,000,000	
3-1. 회의 및 위원회	100,000,000	90,000,000	
4. 사업비	282,000,000	533,600,000	
4-1. 지부/분과회 회비/행사비	251,000,000	517,000,000	
4-2. 포스터·시화	10,000,000	10,000,000	
4-3 학회 홍보	1,000,000	1,000,000	
4-4. 기타	20,000,000	5,600,000	
5. 보조비	40,000,000	60,000,000	
5-1. 지부/분과회 보조	40,000,000	60,000,000	지부 광역화 행사 및 상/하반기 지부 보조비
5-2. 연구 보조	-	-	일반화학실험 교재 연구비
5-3. 정책기획과제	-	-	
6. 운영비	424,130,000	507,500,000	
6-1. 인건비	250,000,000	337,000,000	사무국 직원 급여 및 퇴직 연금
6-2. 보험료	20,000,000	27,500,000	고용·산재·건강·국민연금
6-3. 교통·통신·우편	7,000,000	7,000,000	전화, 출장, 주차, 쿼, 택배, 등기, 기타
6-4. 사무환경개선	10,000,000	5,000,000	사무가구, OA 기기 구입·임대, 환경 개선
6-5. 소모품	8,000,000	1,000,000	사무용품, 소모품 등
6-6. 공과금	60,000,000	60,000,000	법인세, 부가세, 면허세, 청소용역 등
6-7. 수수료	30,000,000	25,000,000	8개 카드 가맹, 지로 수수료 등
6-8. 잡지출	39,130,000	45,000,000	인쇄, 법인결산 및 월별 세무 정리 수수료 및 회계 검토 수감료 20,000,000원 등
7. 대외협력	62,720,000	68,220,000	
7-1. 기과협·과총	4,000,000	4,500,000	한국과총, 기과협 연회비
7-2. 연합회	3,000,000	3,000,000	한국화학관련학회연합회 연회비
7-3. IUPAC	40,000,000	55,000,000	연회비, IUPAC 참석 경비(2년 주기)
7-4. FACS	720,000	720,000	연회비, ACC 참석 경비(2년 주기)
7-5. 기타	15,000,000	5,000,000	한국학술단체총연합회, 한국과학기술학술지편집인협회의, 한국여성과학기술단체총연합회 연회비 및 기타 국제협력 참석 경비
8. 올림픽아드 개최	477,000,000	531,000,000	
8-1. 중학생 대회	67,000,000	97,000,000	
8-2. 여름·겨울 학교	170,000,000	200,000,000	학생 선발 및 훈련
8-3. 국제대회	130,000,000	120,000,000	학생 선발 및 훈련, 국제대회 참가
8-4. 잡지출	10,000,000	14,000,000	
8-5. 올림픽아드 준비금	100,000,000	100,000,000	2024년으로 이월(올림픽아드 준비금, 2024년 겨울학교) 포함
9. 용역비	50,000,000	50,000,000	
9-1. 연구과제	50,000,000	50,000,000	
10. 기금전출	17,000,000	54,000,000	
			학회발전기금(삼성생명연금보험) 이자 전출, 사무환경개선기금 전출
11. 차기 이월금	-	-	
12. 차기 운영비	20,000,000	-	
명시이월금	38,841,000	15,000,000	BKCS 개선 사업

2. 특별회계 수입·지출 예산(안) (2023.7.31 현재)

□ 수입부

(단위: 원)

항목		2023년 예산	2024년 예산	비고
2021년/2022년 예산 - 수입부		3,961,343,445	3,931,090,844	
이월금		3,810,543,445	3,815,090,844	
(전년도 말 잔액)	1. 학회발전기금	2,964,521,935	2,967,854,276	
	2. 종신기금	677,572,198	680,670,085	
	3. 학술상기금	123,444,251	123,462,593	
	4. 화학교육상기금	33,684,992	33,189,767	
	5. 사무환경개선기금	9,720,069	8,314,123	
	6. 과학기술회관	1,600,000	1,600,000	과학기술회관 본관 내 40평 지상권
기금 전입		20,000,000	20,000,000	
	1. 학회발전기금	-	-	
	2. 종신기금	14,000,000	14,000,000	일반회계 연말 종신회비
	3. 사무환경개선기금	6,000,000	6,000,000	
이자수입		130,800,000	96,000,000	
	1. 학회발전기금	115,000,000	74,000,000	예측이자(삼성생명연금 이자 포함)
	2. 종신기금	12,000,000	17,000,000	"
	3. 학술상기금	3,000,000	4,000,000	"
	4. 화학교육상기금	800,000	1,000,000	"

□ 지출부

(단위: 원)

항목		2023년 예산	2024년 예산	비고
2021년/2022년 예산 - 수입부		3,961,343,445	3,931,090,844	
원천징수 소득세 및 전출금		93,740,000	94,350,000	
소득세		7,240,000	7,350,000	
(원천징수)	1. 학회발전기금	4,800,000	4,000,000	세율 15.4% (연금이자 포함)
	2. 종신기금	1,850,000	2,600,000	"
	3. 학술상기금	460,000	600,000	"
	4. 화학교육상기금	130,000	150,000	"
	5. 사무환경개선기금	-	-	
전출금/대여금		86,500,000	87,000,000	
	1. 학회발전기금	38,000,000	38,000,000	일반회계 지원
	2. 종신기금	42,000,000	42,000,000	일반회계 지원
	3. 학술상기금	6,000,000	6,000,000	학술상 상금
	4. 화학교육상기금	500,000	1,000,000	화학교육상 상금
	5. 사무환경개선기금	-	-	
잔액		3,867,603,445	3,836,740,844	
잔액	1. 학회발전기금	3,036,721,935	2,999,854,276	
	2. 종신기금	659,722,198	667,070,085	
	3. 학술상기금	119,984,251	120,862,593	
	4. 화학교육상기금	33,854,992	33,039,767	
	5. 사무환경개선기금	15,720,069	14,314,123	
	6. 과학기술회관	1,600,000	1,600,000	과학기술회관 본관 내 40평 지상권

대한화학회장상, 외부단체협찬상

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

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

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

** 후원금과 주식의 배당금에 따라 변동될 수 있음.

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

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

2023년 대한화학회 임원명단

고문	장영신
회장	신석민
부회장	성재영(총무)
	이광렬(기획)
	김지환(학술)
	윤재숙(홍보)
	추현아(산학협력)
	황성주(국제협력)
	백성혜(교육)
이사	신석민 정옥상 이필호 정영미 이재준 손대원 정종화 김성환 신은주 김 민 김찬경 문봉진 김윤희 성재영 이광렬 정택동 윤재숙 추현아 장락우
감사	허정녕 김상규
사무이사	장락우(총무) 고두현(총무) 강은주(총무) 이진석(기획) 윤효재(기획) 정유성(국제협력) 남좌민(국제협력) 이윤미(학술) 김태규(학술) 성봉준(홍보) 한순규(홍보) 김정욱(홍보) 최현호(산학협력) 김준수(교육)

성대동 성이경 성재영 소현영 손영구 손용근 손정인 송기동
송지용 송총의 신국조 신동명 신동수 신석민 신영국 신은주
심상철 안교한 안병준 안운선 안정수 양갑석 양덕주 양세인
양은경 양일우 양정성 어용선 엄재국 엄태섭 여수동 여인형
오대섭 오세철 오창언 오현승 옥강민 원종욱 유 룡 유광식
유국현 유병수 유영규 유영재 유진녕 유태수 윤경병 윤구식
윤근성 윤민중 윤병집 윤석승 윤세왕 윤세중 윤승수 윤용찬
윤재숙 윤주영 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 이역균 이연희 이영식 이영일
이영호 이왕근 이원용 이윤식 이억모 이재도 이정호 이종범
이종목 이종을 이주연 이창규 이창환 이창희 이채호 이철범
이태오 이필호 이학준 이해황 이호설 이화국 이효원 이흥락
임만호 장세현 장종환 전무진 전병식 전승준 전일철 전종갑
전철호 정구순 정규성 정근호 정덕영 정명희 정봉영 정봉철
정성화 정순량 정영태 정옥상 정용순 정인화 정종재 정진갑
정진순 정택동 정학진 정현담 조광연 조병태 조성동 조양래
조원재 조응운 조정혁 조천규 조현우 지기환 지대윤 진정일
차근식 차기원 차성근 차진순 채영복 천정균 최규성 최동훈
최상준 최성락 최원기 최원영 최정호 최종길 최진호
최해탁 최호섭 추현아 팽기정 하윤경 하현준 한옥희 한태희
함희석 허 황 허영덕 홍승태 홍종달 홍태기 황광연 황금소
황금숙 황성주 황인우

기금위원회
위원장 이덕형
부위원장 성재영*
위원 금교창 김범태 문봉진 옥강민 임만호 정영미 팽기정 허영덕 장락우*

화학술어위원회
위원장 이동환
부위원장 광경원
위원 이효환 정병서 김 민 이은성 김정근 주상훈 임종우 이현우 이윤미*

국제협력위원회
위원장 최철호
부위원장 이진용
위원 이정규 김주영 신혜영 김형준 남좌민*

출판위원회
위원장 장준경
부위원장 황현석
위원 여운석 김중환 배제현 최정모 고두현*

학술위원회
위원장 임만호
부위원장 심은지
위원 강석진 고두현 김동은 김영미 김준수 남좌민 류도현 박명환 박종민 성봉준 손성욱 송재규 윤상운 윤효재 이선우 이재준 이혜진 이효중 임미희 장우동 주상훈 최명룡 황도훈 안현주 김태규*

제위원회

평의원(347명)

강경태 강길선 강대호 강명구 강석진 강성호 강신원 강영기
강영수 강재훈 강중민 강한영 강한철 경영수 고문주 고석범
고재중 고훈영 곽영우 객현태 구인선 권수한 권오천 권장혁
금교창 김 건 김 양 김 철 김강진 김관수 김광은 김규원
김기문 김기섭 김기협 김낙중 김대황 김동규 김동한 김동희
김두영 김명수 김명운 김병태 김병문 김봉수 김성곤
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 김장한 김재상 김정희 김중승 김중혁 김지환 김찬경
김종섭 김택재 김필호 김하석 김학원 김형래 김호정 김홍래
김홍석 나명수 남계춘 노동석 노봉오 노영희 노태희 도영기
도영규 도임자 도준호 류준하 문명희 문석식 문택진 민경세
박국태 박규순 박근하 박노상 박병수 박병욱 박상언 박상윤
박성규 박수진 박승민 박승언 박승철 박외수 박용광 박용태
박유철 박윤창 박정학 박종근 박종률 박중상 박중열 박종욱
박준우 박준택 박지웅 박창식 박한오 박현웅 박현주 박형련
박호근 배선건 배영일 배준웅 백건호 백경구 백경수 백영현
백성혜 백우현 백운기 변중홍 부봉현 서홍석 석원경 선호성

학술지간행위원회
위원장 이영호
위원 심은지 이민재 민선준 김성환 정용원 남원우 오한빈 김지환* 이윤미*

대한화학회지 편집위원
편집장 오한빈
부편집장 구상호
상임위원 이민재 하영근 최애란 구상호 김영득 이혜진 홍창섭 정용원 강한창

Bulletin지 편집위원
편집장 남원우
주필 박명환
상임위원 황금숙 윤동기 민선준 이승재 이선우 정재훈 김태규 정낙천 이은성 박성진 양해식

화학세계지 편집위원회
위원장 윤재숙*
부위원장 성봉준* 김정욱* 한순규*
상임위원 김기향 이주용 홍석원 정원진 이원화

화학올림피아드위원회
위원장 양성익
부위원장 정 현 윤효재*
자문위원 이덕형 하윤경 임상규 문봉진 류도현
위원 황성필 김철권 김양래 김학준 권성중 성봉준 김두리 강 혁 고혜란 이종우 민선준 유은정 최수혁 정병혁 정시원 박명환 백승민 한진욱 오제민

정보화사업위원회
위원장 송재규
상임위원 성봉준 강 혁 김형민 박진균 김양래 민선준 임성열 김태규*

화학교육위원회
위원장 박현주
부위원장 김현정
위원 박종석 임희준 윤희숙 차정호 최은영 최정모 유은정 권성중 이종혁 김준수*

여성위원회

위원장 정영미
 부위원장 심은지
 위원 강은주* 변혜령 고혜란 이은지 주정민 유은정
 이해미 박선미 이윤희

화학전공 학위인증위원회

위원장 장우동
 부위원장 윤성호 이광렬*
 위원 김정권 성봉준 김태규 유은정

연구윤리위원회

위원장 구상호
 부위원장 김학원 이광렬*
 위원 이종우

연구실안전위원회

위원장 이익모
 위원 김용애 배선영 류병환 김중운 서지영 윤민영
 김정욱* 이진석*

탄소문화원

위원장 이덕환
 위원 성재영* 석원경 정규성 이창희 문봉진 이영아
 김지환*

한민정학술상위원회

위원장 정옥상
 부위원장 옥강민
 위원 이창희 최종길 신석민 김용애 김종승 정영미
 금교창 이상원 최동훈 이윤미*

*당연직

지부

강원지부

지부장 백경구
 간사장 이은지
 감사 이강문

경기지부

지부장 윤승수
 간사장 배한용
 감사 김성곤

경남지부

지부장 박종근
 간사장 김주영

광주·전남지부

지부장 정현담
 간사장 김지민

대구·경북지부

지부장 정성화
 간사장 심준호
 감사 최철호 이해진

대전·충남·세종지부

지부장 손영구
 간사장 최진실
 감사 김필호

부산지부

지부장 임만호
 간사장 남기민
 감사 김현성

울산지부

지부장 최원영
 간사장 하지원
 감사 신현석

인천지부

지부장 김찬경
 간사장 김명웅
 감사 김정호

전북지부

지부장 이해성
 간사장 조경빈
 감사 김경수

충북지부

지부장 유태수
 간사장 박준희
 감사 김철재

물리화학분과회

회장 강영수
 총무간사 광경원

분석화학분과회

회장 이영일
 총무간사 한상운
 감사 김주훈 차상원

생명화학분과회

회장 황광연
 총무간사 장영태

유기화학분과회

회장 윤주영
 총무간사 홍승우
 감사 류도현

의약화학분과회

회장 금교창
 총무간사 김병선
 감사 허정남

재료화학분과회

회장 홍승태
 총무간사 박종남
 감사 이민형

전기화학분과회

회장 김규원
 총무간사 남기민
 감사 김주훈

화학교육분과회

회장 박현주
 총무간사 이종혁
 감사 백성해

환경에너지분과회

회장 박현웅
 총무간사 김은주
 감사 김우열

분과회

고분자화학분과회

회장 박지웅
 총무간사 송창식

공업화학분과회

회장 강길선

무기화학분과회

회장 옥강민
 총무간사 임미희

2023년 대한화학회 회원명단

중신 정 교육회원 (소속순)

*표시는 중신회원을 뜻하며 학회 전산자료에 의한 것입니다. 바로 잡고자 하는 분은 학회로 연락하시기 바랍니다(기준일: 2023년 11월 17일).

[AKCHEMTECH] 대전/충남/세종
곽찬규

[AKCHEMTECH] 서울
정원준

[Alvegen (근화제약)] 대전/충남/세종
*김충렬

[ANT Co.] 경기
*차호석

[(주)APEC] 경기
*심명식

[Aptabio Therapeutics] 경기
*문성환

[ARCM CHEMICALS(주)] 서울
*안영욱

[AST(주)] 경기
*김양선

[Brown University] 대전/충남/세종
*이태우

[Chemizon, Korea] 경기
*김하영

[CNC] 서울
*민병훈

[CnPharm] 서울
진근우

[Cyrus Therapeutics] 서울
HanWooseok

[Daegu Gyeongbuk Institute of Science and Technology] 대구/경북
RicardoAtahualpaPeralta

[DGIST] 대구/경북
김민식 *김하석 김현민 남대현 *박진희 박치영 *서대하
성주영 *유종성 *이성기 *이윤규 이은희 이종수 *이호준
인수일 *정낙천 *정병혁 *홍승태

[DGIST] 서울
박수현

[Eisai Inc.] 외국
Dae-ShikKim

[ETH Zurich] 서울
MorandiBill

[GIST] 경기
박진영

[GIST] 광주/전남
*고홍조 *김경렬 *김동유 김윤슬 *김정욱 김태영 *박동원
*박성주 박진주 박찬호 방윤수 봉성용 서준혁 서지원
*안진희 유승준 *윤명환 *이강택 이광희 *이은지 *이재석

이재영 *이호재 *임현섭 정동영 *정원진 진미선 최창혁
*한민수 한승희 홍석원 *K.E.Geckeler QASIMGHU-
LAMHUSSAIN

[GIST] 서울
김승현 *김영하 *이종민

[(주)GNS] 서울
*양홍준

[GNU] 서울
PranavUdayKulkarni

[GS이엠(주)] 전북
*김우성

[Gyeongsang National University] 서울
ChenrayanSenthil

[Hanyang University] 서울
MohammedWaseemHussain

[HNS(주)] 경기
*김진규

[ISS] 대전/충남/세종
*옥종화

[Jilin University] 외국
*이명수

[KAIST] 대전/충남/세종
*강성호 강진영 공진택 *곽주현 구근호 *김범준 *김봉수
*김상규 *김상욱 *김상울 *김성각 *김용해 *김우연 김유천
김재훈 *김진백 *김현우 *김형준 *남윤성 *도영규 *박기영
*박오욱 *박정기 박정영 *박준택 *변시명 *변해경 *서명은
송지준 *송현준 *심홍구 염지현 *우성일 윤동기 이상엽
*이억국 *이영민 *이영훈 *이원국 *이윤섭 *이해신 이현주
*이호철 *이희승 *이희운 임미희 *임성갑 *임진수 *장석복
*전상용 *정용원 *정유성 *최병석 *최성을 *최인성 최창혁
*한상우 *한순규 *홍순혁 *홍승우

*D.G.Churchill PATHANSHAHEENHAMIDKHAN

[KAIST] 서울
김윤영 박종은 백무현 이근석 *이상복 *장영환 *정경훈
singhvikram

[KAIST/IBS] 대전/충남/세종
*유룡

[KCC중앙연구소] 경기
김병성 조한정 *최근묵 *최승엽

[KEMBio] 서울
*정승택

[KIST] 서울
*안형준

ELDAMASYASHRAFKAREEMAWADMOMHAMMED

[KPX 케미칼(주)] 울산
*권재근

[KT&G 중앙연구원] 대전/충남/세종
*김근수 *양광규

[KT&G 중앙연구원] 서울
*이정일

[LG CI(주)] 서울
*김정민

[LG Display] 서울
*김정호

[LG생명과학 기술연구원] 대전/충남/세종
*이규

[LG에너지솔루션] 대전/충남/세종
*조혜성

[(주)LG에너지솔루션] 서울
윤여영

[LG화학] 대전/충남/세종
*노세원 정윤철

[(주)LG화학] 대전/충남/세종
*이태희

[LG화학] 서울
박경호 *이현수 *유진녕

[LG화학기술연구원] 대전/충남/세종
*권원중 *권태현 *김삼식 *박덕희 *박영환 *박철희 *이진규
*전성호

[LG화학기술연구원] 서울
*우영민 *윤성조 이희봉

[McGill University] 외국
*유병찬

[Merck & Co., Inc. (MSD outside the US and Canada)] 외국
JongrockKong

[NCEA] 경남
*박찬하

[OCI] 경기
*신태화

[OCI(주)] 경기
*최수진

[OCI] 서울
*양세인

[OCI Materials] 서울
*박선경

[OCI머티리얼즈 주식회사] 대구/경북
*이원호

[Olipass] 경기
*윤홍식

[Pfizer] 경기
이태교

[POSTECH] 대구/경북
강윤경 *구자강 김경환 *김기문 *김동표 *김동한 *김만주
*김병현 *김성지 김성훈 *김승빈 김연수 *김원중 *김진곤
김현용 *류순민 박선아 *박수진 *박재욱 *박준원 *박태호
*반창일 배대영 *서종철 손민주 *손창윤 *송규찬 송하영
*신승규 *심지훈 *안교한 안양수 엄우용 *이문호 *이시우
*이영호 *이은성 이인수 *이희천 *임현석 *장영태 *장윤석
*장태현 *정성기 *정진철 *조길원 *조승환 조우현 주태하
지형민 *최상기 *최원용 최희철 *한중훈 황동수 황승준
PietrasiakEwa

[Princeton University] 서울
ToddHyster

[Purdue University] 서울
ChristopherUyeda

[(주)Q3] 서울
*김창홍

[SB&Company] 인천
*이병형

[SK(주)] 경기
*박상훈

[SK(주)] 대전/충남/세종
*구본철

[SK(주)] 서울
*박종률

[SK 이노베이션(주)] 대전/충남/세종
*박대인 *이상익 *홍승권

[SK에버텍(주)] 서울
*윤대욱

[SK온] 서울
김예규

[SK유경] 서울
*이수택

[SK종합화학] 울산
*박현상

[SMS(주)] 경기
*이길성

[ST과학] 서울
*민용준

[Ubix Therapeutics] 서울
이승희

[UCLA] 서울
*신재무

[UNIST] 울산
강도원 강세병 권영국 권오훈 *권태혁 기정민 *김건태
*김광수 김봉수 *김영삼 *나영수 문회리 민두영 *민승규
*박영석 박정훈 *박종남 박철민 박혜성 서관용 *신국조
*신현석 심교승 *유자형 이재화 이하영 이현욱 임재웅
*장성연 장지현 *조범석 *조재필 *조재홍 *주상훈 *최성득
최원영 홍성우

*SCHULTZTHOMAS SharmaAmitosh YANGDAVIDC-
HANGMO

[University of Arizon] 서울
*이연선

[University of Ottawa, Canada] 서울
*DipakRANA

[Zeit O&M] 서울
*이현형

[가천대학교] 경기
*손상준 *한상윤

[가천대학교 글로벌캠퍼스] 경기
김명중 송유대 심예은 이상훈 *이영환 이충환

[가천대학교 메디컬캠퍼스] 인천
*이후근

[가천의과학대학교] 인천
*오순문

[가천의학대학교] 서울
*신동윤

[가톨릭관동대학교] 강원
*오상태 *이석준

[가톨릭대학교] 경기
*강인남 *권영순 김중환 *방담이 *서기림 *신계정 *신우주
*안병관 *이강렬 *이광수 *이기연 *이상민 *이종현 한동훈

[가톨릭대학교] 서울
구희범 박준혁 *이명재

[강남화성] 서울
고철완

[강릉원주대학교] 강원
강명중 *경영수 *김용주 *김한수 *박광하 박정민 *백경구

*윤병집 이은지 *전상일 *정은희 *정진승
ariyageadsakulpinit

[강원대학교] 강원
*강영진 *권찬호 *김경호 *김만구 김재현 *김진호 *김홍래
*박연주 *박용광 박종민 *안덕근 *안성훈 *엄창화 *유지숙
유혁상 *윤희숙 *이강문 *이구연 *이동석 *이상철 이원철
*이종국 이주용 이지혜 *이창규 *이창환 *이창희 *이필호
*임주현 *장해진 *정영미 *정원왕 *표동진 *한상화 *한인숙
홍성진 *황현석 *황훈

[강원대학교] 서울
*이상영 조아라 *홍순주
CHATTERJEEPRATHIT UmitVolkanUcak

[강화고등학교] 인천
*김정훈

[건국대학교] 서울
고문주 *권성중 *권윤정 *김동은 김봉기 *김성현 *김성훈
*김양미 *김용배 *도정환 *문두경 *민요셉 *박승연 *박용선
*박종만 배성준 *서운열 *송홍근 *어운석 *이병조 *이정근
*임 찬 *전영재 *정구준 *정유훈 *허용석

[건국대학교] 충북
*김환기 *명노승 *전영진 *전종호

[건동대학교] 대구/경북
*김홍락

[건양대학교] 대전/충남/세종
*김인회

[경고등학교] 대구/경북
*변상천

[경기고등학교] 서울
*김대수 *이영만

[경기과학고등학교] 경기
이현정

[경기과학고등학교] 서울
유아람

[경기과학기술대학교] 경기
김재유

[경기남부지방경찰청과학수사과] 경기
*최혜진

[경기대학교] 경기
*공영건 *김동욱 *김성곤 *마혜덕 *명승은 박종식 *이광일
*조현우 *하영근

[경기대학교] 서울
김도희

[경기바이오센터] 경기
*노재성

[경기바이오센터] 서울
*채영복

[경기지방중소기업청] 서울
*이석우

[경남과학고등학교] 경남
*안선경

[경남과학기술대학교] 경남
오현철

[경남대학교] 경남
*양정성 *이상천 *차성규 *최경수 *최규성 *홍석

[경북고등학교] 서울
*이은주

[경북공업고등학교] 서울
*서원직

[경북대학교] 대구/경북
*강동진 *강인규 *권태동 *김성환 *김영규 *김우식 *김창민
김태경 *김홍석 *김화정 *류재정 *민길식 *박금식 *박수영
*박용태 *박종석 *박현웅 *배준웅 *백승민 *서영배 *손종락
*송주범 *송한철 *심상철 양소영 *여수동 여현욱 *오대섭
*오상오 *유정수 *윤민영 *이강호 *이광필 이규의 *이동호
*이만호 *이무상 *이상연 *이상학 *이우봉 *이재근 이재환
*이정규 이지훈 이철연 *이태준 *이태호 *이혜진 *이홍인
*이효선 *이홍락 *임웅진 *정맹준 *정성화 정아림 *정인우
*정종재 *정중화 *정혜영 조대홍 *조상희 조선화 조은지
조장훈 *조찬식 *조창우 *지준구 최덕일 *최상일 *최철호
*최흥진 *황길태 HOSONLONG KABIRAZMRINALKA-
NTI MANIPRABU tirusewtegafaw VARIKUTIPUR-
NACHANDRARAO

[경산고등학교] 대구/경북
*이동복

[경상국립대학교] 경남
김병선 정경화

[경상남도 합인교육청] 경남
*박홍범

[경상대학교] 경남
*강대호 *구인선 *권기영 *권순기 권승용 *김봉근 김성국
김슬기 *김윤희 *김재상 김주영 김주현 *김진은 김태호
*박기민 *박종근 박진규 *백우현 *서무룡 *양기열 *윤성철
*윤용진 이경훈 *이근우 *이상경 *이심성 이연주 이영욱
*이준화 정성호 정중화 정현영 *최명룡 최재원 최현승
XUANZI

[경성대학교] 부산
*권태우 *박성식 *만문규 *안택 *이승희 *최원형 *허근태

[경운대학교] 대구/경북
*김동일 *송영대 *한성욱

[경원대학교] 경기
*안성수

[경인교육대학교] 경기
*여상인

[경인교육대학교] 인천
*임희준

[(주)경인양행] 서울
*이의재

[경일대학교] 대구/경북
*김명철 *이동진 *이원철 *전일련 *제갈영순

[경일대학교] 서울
*서석홍 *윤중호

[경주대학교] 대구/경북
*도진영

[경찰대학교] 대전/충남/세종
유승진 임희정

[경희대학교] 경기
강경태 *강성호 *강은주 *강철훈 *김광표 김명준 *김용호
*김태우 *김희원 *김홍두 *박종욱 *변승호 *송기국 *안광현
*양성의 *유은정 이민형 이승아 *이승환 *이영식
BATJIKHINDRA

[경희대학교] 서울
*강인숙 *권순자 권일근 *권장혁 김도경 김민호 *김영미
*김용욱 김주훈 박보영 *박승민 *박종철 *송재규 양지은
*이성렬 *이용섭 *이재열 *이제승 임성열 임지우 *정민석
*주동준 *최보현 *하상수 *홍중기

[계명대학교] 대구/경북

*김의락 *민경진 *박영태 *배재영 *백승욱 *서영호 *신동수
 *엄재국 *이 광 *이진호 *이창섭 *정진갑 *최석범 *홍대일
 *홍영석 *HONGVICTORSUKBONG
 [계명문화대학] 대구/경북
 *이성호
 [계산고등학교] 인천
 *유근우
 [계양고등학교] 서울
 *이숙경
 [고등과학원] 서울
 현창봉
 [고등기술연구원] 경기
 *최창식
 [고려대학교] 대전/충남/세종
 *강상욱 *고재중 *금삼목 *김영상 *김윤수 *김환규 *박정희
 변영주 *유병우 *윤철민 *황성필
 [고려대학교] 서울
 강주연 *곽경원 관인혜 *곽정환 *김강진 *김 건 김동환
 *김병호 *김선태 김수진 김용주 *김용준 *김 웅 *김종승
 김준곤 김진희 *김학중 *김희진 나성수 *남기달 *문탁진
 *박성남 백세웅 *송광호 *송현규 *심상희 심재호 *우한영
 유승호 윤호규 *윤효재 *이관영 *이광렬 이규백 *이상원
 *이석중 이용호 이재상 *이재승 이준석 이현재 *이호진
 *임동권 임종민 임준형 *전문진 *전승준 *전해수 정광섭
 *정낙철 *정봉영 정철희 *조대원 *조민행 진경석 *진정일
 *천철홍 *최기항 최동선 *최동훈 *최무현 *최영상 *최용석
 *최인걸 *최종호 *허덕찬 *허정숙 *한호규 *홍석인 *홍창섭
 *황광연 *MuhammadNawaz
 [고려대학교 세종캠퍼스] 대전/충남/세종
 *김대황 *김철훈 손호진
 [고려대학교 약학대학] 대전/충남/세종
 *육소홍
 [고려학력평가연구소] 서울
 *구창현
 [고산당제약] 광주/전남
 *신연호
 [고신대학교] 부산
 *김양 *조정환
 [고신대학교] 서울
 *이능주 *이만길 *홍성연
 [(주)고제] 대전/충남/세종
 *송지섭
 [(주)플든피아] 서울
 *최찬수
 [공군사관학교] 경기
 *김선경
 [공군사관학교] 서울
 *김종택
 [공주교육대학교] 대전/충남/세종
 *김한제
 [공주대학교] 대전/충남/세종
 *김규호 김남두 *김상호 *김재현 *김진권 김현정 *김형중
 김홍기 *문석식 *박병빈 *박상혁 *서정목 *윤세중 *이기환
 이석우 이혁진 *장낙한 *최기영 *최석남 *한민아 *홍인석
 *PIAOLONGHAI
 [공주대학교] 서울
 김은실 류향임
 [공주사범대학부설고등학교] 대전/충남/세종

박철용
 [관동대학교] 강원
 *최철호
 [관동중학교] 충북
 곽창희
 [광남고등학교] 서울
 *박은미
 [광동테크니온 이스라엘 과학기술원] 대전/충남/세종
 박세훈
 [광문고등학교] 서울
 *곽경선
 [광운대학교] 서울
 *김병호 *김양래 *김인태 *나재식 *신재호 *이도남 *이상우
 *이윤미 이택 *장홍제 *전영무 *전홍배 *차근식 하태준
 *한상현
 [광운대학교] 울산
 사영진
 [광주과학고등학교] 광주/전남
 박지화 양창혁 이수진 전숙영
 [광주과학고등학교] 서울
 김경아 이인호
 [광주교육대학교] 광주/전남
 *전경문 *한광래
 [광주대학교] 광주/전남
 *차규석
 [광주보건대학] 광주/전남
 *이승주
 [광주여자고등학교] 광주/전남
 *류용현
 [광주제일고등학교] 광주/전남
 *기길호
 [교토대학교] 서울
 박소영
 [국가기술표준원] 충북
 *명영찬
 [국립과학수사연구원] 강원
 *권미아 *이동계 이유란
 [국립과학수사연구원] 경남
 *김시원
 [국립과학수사연구원] 광주/전남
 *김남이
 [국립과학수사연구원] 서울
 *민지숙
 [국립문화재연구소] 대전/충남/세종
 *신지영 *이한형 *한민수
 [국립수산과학원] 인천
 *박진일
 [국립암센터 연구소] 경기
 *이병일
 [국립해양박물관] 부산
 *김효영
 [국립대학교] 서울
 *곽현태 *김석찬 김용주 *김형민 *도영락 *박규순 *박찬량
 *성민희 *유연규 이경남 이기성 이현정 *임상규 *정용주
 *지충수
 [국방과학연구소] 대전/충남/세종
 *강정부 *권국태 *권진주 *김동만 *김동우 *김승희 *김현석
 *류삼근 문영택 *박 훈 *신정아 *오수진 유해욱 *이세진

이소정 *이용한 *이준오 *임병욱 *임영권 *정동훈 정영수
 정우현 *정지혜 *정창희 *정해지 *조수경 *조진래 *한정식
 [(전) 국방과학연구소] 대전/충남/세종
 *김재경
 [국방과학연구소] 서울
 박상준
 [국방과학연구소] 인천
 이한빈
 [국방부] 서울
 *이오택
 [국방품질연구소] 서울
 *김영
 [국일제지] 경기
 윤동호
 [군산대학교] 전북
 *김동희 *김세미 박경세 박관하 *송형수 *유수창 *이경구
 *이민재 *이상희 이효준 *최한규 *최호섭
 [군산제일고등학교] 전북
 소명섭
 [(주)그라셀] 서울
 *김상균
 [그래피] 서울
 *황공현
 [금강유역환경청] 대전/충남/세종
 *박재성
 [금오공과대학교] 대구/경북
 *김재훈 *김호태 *김희준 *박일현 오일환 장의순 *장진해
 조아라 *최이준
 [금오공과대학교] 대전/충남/세종
 *정현민
 [금호고등학교] 서울
 최길순
 [금호석유화학(주)] 대전/충남/세종
 *고영훈 *곽광훈 *최남선
 [금호석유화학(주)] 서울
 *이관영 *이섭주
 [기업은행] 인천
 *김홍규
 [기초과학연구원] 광주/전남
 박홍준
 [기초과학연구원] 대구/경북
 고영호 황일하 GHOSHANWISTHA
 SENSHOVANKUMAR
 [기초과학연구원] 대전/충남/세종
 강보라 김동욱 김유영 김진우 박정우 박지용 *부경호
 이정호 함원석 SeoSangWon
 [기초과학연구원] 서울
 김다니엘 모니카굽타 박우진 이현화 전현지 지엔뽕장
 한노수 황인규 *황인철
 DominikLungerich ManojKumarSahoo SouravPrad
 han XiangLyu ZHOZijun
 [기초과학지원연구원] 서울
 *하정현
 [기타] 울산
 *박병욱
 [김포대학] 경기
 *정수경
 [나노씨엠에스주식회사] 대전/충남/세종

- *김시석
- [(주)남영산업] 서울
- *문희정
- [(유)네오클] 전북
- *조정혁
- [넥스트젠바이오사이언스] 대구/경북
- 김신애
- [녹산종합엔지니어링(주)] 서울
- *오평제
- [(주)녹십자] 경기
- *조응준
- [(주)녹십자] 서울
- *김정민
- [농촌진흥청] 전북
- *강석원
- [농촌진흥청 국립축산과학원] 전북
- 노윤정
- [다미플리켄(주)] 전북
- *김병희
- [다우케미칼] 경기
- *길준형 *오홍세
- [다임바이오(주)] 경기
- *강재훈
- [단국대학교] 경기
- 구병진 *안용현 이종혁 *임홍빈 *조병기
- [단국대학교] 대전/충남/세종
- *금내리 *김명건 *김승희 *김유혁 *김종규 김혁한 *심상균
- *최진호 *허영덕 PIAOHUIYAN
- [단국대학교] 서울
- *김창배 *정명진 *최고은 *추교찬 nirichansanojrejinold
- [당하중학교] 인천
- *정미숙
- [대검찰청] 서울
- 고범준 서승일
- [대구가톨릭대학교] 대구/경북
- *강동욱 *마은숙 박경민 *엄인용 *이현미
- [대구가톨릭대학교] 서울
- *최윤수
- [대구경북과학기술원] 서울
- 링예슈테판
- [대구경북첨단의료산업진흥센터] 대전/충남/세종
- 최홍식
- [대구경북첨단의료산업진흥재단] 강원
- 김수희
- [대구경북첨단의료산업진흥재단] 대구/경북
- 권수경 김남희 김승현 김진아 박가영 박동식 박유진
- 배세리 안홍찬 이수정 이승주 이지영 이하연 임훈영
- 정경진 최유정 한민우 홍기범
- [대구경북첨단의료산업진흥재단] 대전/충남/세종
- 박철순
- [대구경북첨단의료산업진흥재단] 서울
- 강동완 강지희 김나연 김석규 김소영 송민수 이승연
- 이은혜 임지연 정세진 하유나
- [대구과학고등학교] 대구/경북
- 김선규 김영경 정현석
- [대구과학고등학교] 부산
- 우희정
- [대구과학고등학교] 서울
- 전경희 추재석
- [대구과학대학] 서울
- *이광우
- [대구교육대학교] 대구/경북
- *송명섭
- [대구대학교] 대구/경북
- *강신걸 *강태중 *김은주 *김인환 *김장섭 *박지은 송승원
- *심준호 *위경량 이성호 *차정호 *황규탁
- [대구대학교] 서울
- *남근수
- [대구시보건환경연구원] 대구/경북
- *김영철
- [대한외대대학교] 대구/경북
- *김용웅
- [(주)대덕분석기술연구원] 대전/충남/세종
- *김건한
- [대림산업(주)] 대전/충남/세종
- *홍사문
- [대림산업(주)] 서울
- *엄현섭
- [(주)대림화학] 경기
- *이현일
- [대성산소(주)] 경기
- *손무룡
- [대원이노베이션(주)] 경기
- *하상건
- [(주)대원포리머] 경기
- *이재판
- [(주)대원포리머] 서울
- *고상희
- [대전과학고등학교] 대전/충남/세종
- 신동혁 이소영 이충섭
- [대전과학고등학교] 서울
- 한미영
- [대전과학기술대학교] 대전/충남/세종
- *주광석
- [대전광역시교육청] 대전/충남/세종
- 원정애
- [대전대학교] 대전/충남/세종
- 박정열 윤정인 *이삼근 *이인호 *황정숙
- [대전대학교] 서울
- *황혜숙
- [대전대학교] 경기
- *김진두 *박성호 *안범수 *조봉래 *채원석 *한만소 *한지현
- [대한APP(주)] 서울
- *손대현
- [(주)대한고분자] 경남
- *김서근
- [대한유화공업(주)] 서울
- *강수철 *정영태
- [대홍교역] 서울
- *이기준
- [(주)대홍환경] 서울
- *김중두
- [덕산테코피아 반도체부문] 대전/충남/세종
- *윤상웅
- [덕산하이메탈(주)] 울산
- *조인호
- [덕성여자대학교] 서울
- *고은희 김학준 *방효춘 *이상협 *이재인 *정해영 조준상
- [도레이첨단소재] 서울
- 송희경
- [동국대학교] 경기
- *이경 이수홍 *천문우
- [동국대학교] 대구/경북
- *박순흠 *이갑득 *이인자 *이준희
- [동국대학교] 서울
- *공영대 *권영은 김영관 *김영순 *김홍범 *민태진 *박봉서
- 사자드아시아프 *석원경 *성용길 야마구치테츠오 *양원강
- *여인형 *오제민
- 이세연 *이재준 *정현 *차상원 *최중철 *한영규
- [동국정밀화학(주)] 강원
- *최경석
- [동남보건전문대학] 경기
- *홍중용
- [동덕여자대학교] 서울
- *고동수 *김효진 배준원 *성지하
- [동방에프티엘(주)] 경기
- *정현석
- [동보화학(주)] 서울
- *이병수
- [동부정밀화학(주)] 서울
- *김운섭
- [동부농화] 대전/충남/세종
- *홍미숙
- [동서대학교] 부산
- *송승환 이정훈
- [동서식품(주)] 인천
- *계훈우
- [동신대학교] 광주/전남
- *전진
- [동아대병원] 부산
- *김인식
- [동아대학교] 대전/충남/세종
- *성대동
- [동아대학교] 부산
- *김정균 *김종식 *김효준 *박유미 손준우 *손진연 *송주현
- *엄태섭 *이도훈 이승훈 *이용균 *이재덕 *이재욱 *이종팔
- *정대일 조중현 *최순규
- [동아인재대학] 광주/전남
- *채희남
- [동아제약(주)] 경기
- 김태훈 *유무희 *이재걸
- [동아제약(주)] 경기
- 박성진
- [동양제철화학(주)] 경기
- *김용일 *유경근 *이종호 *홍민기
- [동양제철화학(주)] 광주/전남
- *조영제
- [동양제철화학(주)] 서울
- *주원홍
- [동양화학(주)] 부산
- *신상수
- [동우화인켄(주)] 경기
- *김기섭 *김병주 *김상동 *박일성 *박한석 *오병호 *정진우
- *최한영 *황순호

[동우화인켄(주)] 서울
*김상렬 *이웅준 *조천희

[동의과학대학] 부산
신상훈

[동의대학교] 부산
*김노원 *김문무 *류준호 *오영희 *원미숙 *이동환 *이상명
*최대웅 허창순

[동인천고등학교] 인천
*김희성

[동일시마즈(주)] 서울
*이문득

[(주)동진생명연구원] 경남
*이경재

[(주)동진세미켄] 서울
*이부섭

[동화기업] 인천
*안현석

[(주)두본] 서울
*한동호

[(주)두산] 서울
*조사홍

[(주)두젠바이오] 서울
*안광일

[(주)디아이씨] 경남
안종빈

[(주)디아이씨] 서울
황진성

[(주)디엔에프] 대전/충남/세종
*김명운

[디엘케이칼주식회사] 대전/충남/세종
송교상

[랩프린티어(주)] 경기
*박중세

[(주)레고캠 바이오사이언스] 대전/충남/세종
*안세창 정철웅

[(주)레고캠바이오사이언스] 대전/충남/세종
*김용주 *이창선

[레스캠] 서울
*강명구

[롯데정보통신(주)] 서울
*엄성일

[롯데케미칼] 서울
*천승환

[(주)리가스] 대전/충남/세종
*이광우

[(주)리드제넥스] 대전/충남/세종
*김상웅

[리드젠(주)] 경기
*박영훈

[리젠바이오텍] 대전/충남/세종
*김근풍

[(주)마미손] 경기
*김수동

[마산내서여자고등학교] 경남
공선혜

[(주)마이크로사이언스테크] 경기
*문웅식

[(주)맥사이언스] 경기

*윤철오

[(주)메디진] 대전/충남/세종
*고성보

[(주)메자이텍] 대전/충남/세종
*박경배

[메틀러토레도코리아] 서울
*조승배

[명일중학교] 서울
*김지영

[명지대학교] 경기
*구상호 *김경순 박노경 *백운필 *서정선 *윤천호 *이규왕
이중우 이한림 *정장훈 *조진호 *한승석

[모계고등학교] 대구/경북
*김영국

[(주)목우연구소] 대전/충남/세종
*정근희

[목원대학교] 대전/충남/세종
*박희역 *송양현 *유병찬 *한완수

[목포대학교] 광주/전남
*고정수 *김순중 김태우 김향 *남상호 *백동재 *오세웅
*오형식 유종열 *윤규 *이상좌 이용훈 정시원
SANDEEPKUMAR

[목포전문대학] 광주/전남
*강영태

[무안고등학교] 광주/전남
*임응묵

[미국] 서울
*게의든 *권준택 *김 관 *김상명 *김성완 *김용건 *김인호
*김제현 *노령준 *문홍모 *변형정 *안경원 *양 강 *윤광식
*이영호 *임장조 *장석주 *홍원표 *황보명환 *황호연

*M.L.Sturchio

[미국] 외국
*김성호 *김원호 *신규희 *유혁 *유두영 *이정화 *최낙현

[미국동공병단] 서울
*전선주

[미래에스아이] 광주/전남
*서곤

[미추홀외국어고등학교] 인천
*최희승

[민족사관고등학교] 강원
*신승근

[바디텍메드(주)] 충북
*하용환

[(주)바른손] 서울
*김정수

[바이엘코리아(주)] 경기
*이영신

[(주)바이오ABC랩] 서울
*조훈제

[(주)바이오SUM] 서울
*김찬호

[(주)바이오니아] 대전/충남/세종
*박한오 *백선중 *유웅식

[(주)바이오리더스] 대전/충남/세종
*함경수

[(주)바이오뱅크코리아] 서울
*김명진

[(주)바이오에스테크] 충북

*손일환

[배약국] 경남
*최귀남

[배재대학교] 대전/충남/세종
*민병진 *오영기 *윤국중 *윤인권 *이상창 *이택혁 *조성준

[(주)보락] 경기
*정규능

[보령제약(주)] 경기
*김지한 김학도 정희진

[보령제약(주)] 서울
*이현정

[보령제약 중앙연구소] 경기
양덕모

[보로노이바이오(주)] 인천
김남두

[보로노이바이오] 인천
손정범

[(주)보진재] 경기
*김준기

[(주)보타메디] 대전/충남/세종
*신현철

[봉평고등학교] 서울
*박광서

[부경대학교] 부산
*강용철 *곽민석 *김 돈 김영일 *김주창 *김주현 *김학준
*김현성 *문성훈 *박남규 박명기 *변상용 서성용 *손세모
우상욱 *우희철 이명순 *이명원 이보람 이승이 *이원기
장병용 *정연태 조병권 *진영음 *허훈

[부광고등학교] 인천
*김관수

[부광약품(주)] 서울
*이영춘

[부산교육대학교] 부산
*김용권 *육치울

[부산대학교] 경남
김민수 남상훈 윤다정 정상화 *황승구

[부산대학교] 부산
*강경태 강미정 *강신원 *고광락 고민섭 김광선 *김석만
*김영인 *김 일 김한영 남기민 *남정희 *도정윤 류효정
리오이론 *문성배 *박현 박강현 *박덕수 박선화 *박영상
*박장수 *박종승 *박종열 박지영 박지훈 박진근 박혜정
배명남 *백현중 *서홍석 *심윤보 *양해식 *오기동 *오진우
유현덕 *유용찬 *윤진환 윤화영 *이상국 이상학 이수진
*이승걸 *이종건 *이진국 이효은 *임만호 *장승철 *장익수
*장준경 *정옥상 정용철 *정일두 *조원제 주정민 진성호
*최성락 최정모 *하창식 한동욱 *현영호 홍대화 *황도훈
VedikuyilazhaganMuniraj

[부산대학교] 서울
강시내 김건우 김현진 안석균 윤형탁 정도준

[부천세종병원] 서울
*손달식

[부평고등학교] 인천
*이승복

[부평여자고등학교] 인천
김정수

[(주)불스원] 서울
*신현우

[(주)비씨켄] 경기

*한철규
 [(주)비아이 바이오포토닉스] 경기
 왕강균
 [비아이바이오포토닉스] 경기
 신준용
 [비온드바이오(주)] 대전/충남/세종
 *민창희
 [비투에스바이오] 인천
 *최환근
 [산업자원부기술표준원] 경기
 *정기원 *정의식
 [산업자원부기술표준원] 서울
 *강해정 *류경임 *이연재
 [삼광화학(주)] 경남
 *김용래
 [삼성SD(주)] 서울
 *박성수 *이수현
 [삼성SD(주)] 경기
 *박영삼 양정윤
 [삼성SD(주)] 대전/충남/세종
 *우대하 *이윤만
 [삼성디스플레이(주) OLED사업부] 대전/충남/세종
 *조성찬
 [삼성모바일디스플레이(주)] 경기
 *이승배
 [삼성웰스토리] 경기
 강경원
 [삼성전자(주)] 경기
 *권오현 *김현준 *윤주병 *이은영
 [삼성정밀화학(주)] 대전/충남/세종
 *소정호
 [삼성종합기술원] 경기
 *곽윤현 김중혁 *박재찬 배해진 실수환 정용식 *정원철
 *최현호
 [(주)삼승] 서울
 *김창석
 [삼아벤처] 서울
 *이우진
 [삼양화학공업(주)] 대전/충남/세종
 *윤경원
 [삼영유니텍] 경기
 *유국현
 [삼오제약] 경기
 *허철
 [삼육대학교] 서울
 *고원배 *김남정 *박두한 *박명환 *유구용 *최종완
 [삼진산업(주)] 부산
 *박현석
 [삼척대학교] 강원
 *이재철
 [(주)삼화정밀화학] 경기
 *오병룡
 [삼화페인트공업(주)] 경기
 *홍명찬
 [삼영대학교] 대전/충남/세종
 박진수 *허지영
 [삼영대학교] 서울
 *강윤경 *강태범 *백두중 서현욱 *이현경 *한영희 *황영애

[상산고등학교] 전북
 *손성호
 [상지과학(주)] 서울
 *조휘경
 [상지대학교] 강원
 *김기동 *박영훈
 [상지대학교] 경기
 남민우
 [상호화성(주)] 경남
 *이종승
 [생활에너지과학연구원] 서울
 *이치우
 [서강대학교] 강원
 유수련
 [서강대학교] 대전/충남/세종
 *김창호
 [서강대학교] 서울
 *강영수 권오선 *김현정 *김형백 *문봉진 박준우 *백운기
 *변중서 *서원석 성봉준 *소현수 *송미경 *신관우 *신운섭
 오한빈 *육강민 *윤경병 *이덕형 *이덕환 *이원규 *이원홍
 이현수 *이후성 정광환 *정구순 정성우 조규봉 조홍일
 *최정승 *허남희
 [서강대학교] 충북
 *최현경
 [서경대학교] 서울
 *김영해 *김환건 *유연선 *한혜철 *홍성연
 [서남대학교] 전북
 *김정 *김승훈 *김진연 *방정환 *안태호 *오정근
 [서도비엔아이(주)] 경기
 *김원석
 [서석중학교] 강원
 *경동현
 [(주) 서신] 경기
 *윤정호
 [서울과학기술대학교] 서울
 *김근우 최원근
 [서울과학기술대학교] 강원
 김태현
 [서울과학기술대학교] 대전/충남/세종
 *신인지
 [서울과학기술대학교] 서울
 *김철 *이동국 *이수영 *장향동 *조은범 조현우 *홍장후
 [서울과학종합대학원] 경기
 *김성진
 [서울교육대학교] 서울
 *강훈식 *고영신 *최영재 *홍영식
 [서울대학교] 경기
 *박원철
 [서울대학교] 서울
 강병철 강승균 *강 현 *강현중 권민상 권용훈 *김 관
 *김경태 *김경택 *김득준 *김명수 *김병문 *김성희 김석희
 *김성근 *김성련 *김영규 *김영식 *김장주 *김정민 김중서
 *김중성 *김준용 *김지환 김진영 *김태일 *김호징 김화진
 *김희준 남기태 남좌민 *노태희 루웨이룬 *민달희 박경수
 박성혁 *박수영 *박순자 *박승범 *박영우 박정원 *박정일
 *박중상 *박중모 *박형근 *박형석 배의영 *백명현 *서세원
 *서영거 *서정쌍 *서정용 *서정현 *석차욱 *성영은 *손병혁
 송윤규 *송윤주 *송준명 *신석민 *신정효 *신종현 신현항

*신환철 안지혜 *안철희 *안태완 *양철학 *오승환 *오세정
 *오승모 *유규환 *유재훈 *윤도영 *이남기 *이동환 *이민재
 *이상범 *이선경 *이성훈 *이신두 *이 연 *이영식 *이윤식
 *이윤우 *이윤호 *이 은 *이정호 *이지우 *이지화 *이창하
 *이철범 이현우 *이호인 이홍근 *임응극 임종우 *장두전
 *장세현 *장지영 정낙신 *정대홍 *정문식 *정문준
 *정영근 정 인 *정재민 *정택동 조완상 *주상섭 차국현
 *최명연 최장욱 *최태림 *한병훈 *한용남 *허은영 *현택환
 *홍성일 *홍승도 *홍종민 *홍훈기 황윤정
 *DavidYu-KaiChen *JunhuaYu
 SudakarPadmanaban
 [서울시립대학교] 서울
 *김덕찬 *김상욱 김 혁 *김현욱 문홍철 *심미자 유권열
 *이도원 이호선 *임은희 *장각우 *정병준 *조성일
 [서울시립은평병원] 서울
 장윤정
 [서울시보건환경연구원] 경기
 *채영주
 [서울시상수도연구원] 대전/충남/세종
 *이인자
 [서울아산병원] 서울
 *오승준
 [서울여자대학교] 서울
 *김종현 *남궁성근 *노동윤 *배선영 *이동선 *이인숙 *이하진
 한원식
 [(주)서울케미칼] 경기
 *김광은
 [서인천고등학교] 인천
 *김정록
 [서일대학] 서울
 *김경이
 [서지화학] 경기
 *최규용
 [(주)석경에이티] 경기
 임형섭
 [선문대학교] 대전/충남/세종
 *김정희 *류광경 *박봉진 *송병호 *송재경 *송정섭 *이창재
 [선유고등학교] 서울
 최미화
 [(주)선진화학] 서울
 *이병철
 [성광여자고등학교] 울산
 *이중호
 [성균관대학교] 경기
 고두현 *권영욱 권용석 *김경례 *김동훈 김명길 *김성규
 *김양근 *김영득 김윤석 김인수 *김지만 *김진웅 *류도현
 *박남규 *박성호 *박승철 *박윤창 *박재형 배한용 *부진호
 *선호성 손승숙 *손승근 *송창식 *송충의 신광민 *안운선
 *안태규 *양정운 *엄승호 *유찬모 *윤승수 *윤원수 *윤재숙
 *이기라 이동기 *이두성 *이순보 *이순원 *이영관 *이진용
 *이효영 *정덕영 *정상전 *정소희 *정영훈 정우경 *정재관
 *조미숙 *지욱표 최윤석 최은석 팽기욱 허준석 *황동목
 MANDALANUP
 [성균관대학교] 서울
 김경수 *부마쿠스 *이경철 *임종태
 GoswamiPrithwish ISRARMUHAMMAD
 [성동고등학교] 서울
 최성희

[상산고등학교] 대구/경북
*이영훈

[성신여자대학교] 서울
구분재 *김남희 *김순옥 *김정수 *박성순 신민정 *유은아
*이은경 *이종만 이지연 *이철우 *정미원 *정선호 *채정현

[성신여자중학교] 대구/경북
우찬웅

[성일화학] 경기
*정하승

[세양화학(주)] 경기
*김재형

[(주)세일에프에이] 경기
*한양수

[세종과학예술영재학교] 대전/충남/세종
김기향 성수미

[세종대학교] 서울
*강종민 *박황서 *박희숙 손기선 *신 구 *오정희 *원종욱
*윤 천 *이경희 이원목 *임동렬 *장순민 *채영기 *최성신

[세한대학교] 광주/전남
*고영춘

[(주)소디프신소재연구소] 대구/경북
*곽중윤

[(주)소원기전] 인천
*김희창

[솔베이코리아] 전북
*장순호

[솔브레인(주)] 경기
*박휴범

[송도고등학교] 인천
*양현우

[송원산업(주)] 울산
*박동경

[수원과학대학] 경기
*서영화

[수원대학교] 경기
*김은옥 *노호식 *박승기 *정용찬 *최정원 *최희선

[숙명여자대학교] 경기
최원호

[숙명여자대학교] 서울
김수민 김우열 *노광현 류연진 *박동곤 박정수 *오정진
*이근식 이민희 *이은옥 이한길 *정 혁 정성호 최경민
*홍승우 *황규자 LavanyaGopala

[순천대학교] 광주/전남
*고중숙 *곽지훈 *나재운 백만정 *송재희 *신은주 *심상덕
*안심영 *장동조 *장만재 *장효원 *정민철 *최대욱 *최원호
*표명호 *하동수 *하형호
IKHEAMOLBHAIRUBA S.J, RichardPrabakar

[순천대학교] 서울
박운배 아르판 UthayakumarAarthi

[순천향대학교] 대전/충남/세종
*고광오 *김대영 *김성호 *김태현 *맹주양 *박해운 이수석
*이윤배 *임대식 *임인택 *임정균 *장성근 정순기 태진더성
*홍성욱

[송실대학교] 대전/충남/세종
*이중율

[송실대학교] 서울
강범구 강원철 *강위경 *곽영제 김병호 *김상수 김자현
김중훈 *남정이 *배규선 *백경수 *신권수 신익수 양진국

오유진 *윤영자 *이광배 *이상원 *전근호 조광휘 *주상우

[스마트 머티리얼스 테크놀러지] 경기
*이성주

[시마즈사이언티픽코리아] 대전/충남/세종
*소현영

[식품의약품안전처] 경기
*최현철

[식품의약품안전청] 서울
*조양하

[신라대학교] 부산
*김성훈 *조선욱

[신봉고등학교] 경기
*박성조

[신성대학] 대전/충남/세종
*인권식

[(전) 신성대학교] 경기
*김학주

[신성이엔지] 서울
*신선호

[신약개발지원센터, DGMI] 대구/경북
진정욱

[(재)신양문화재단] 서울
*정석규

[(주)신코] 서울
*최현

[신탄진고등학교] 대전/충남/세종
유은주

[신평제약(주)] 경기
*김기원

[신한과학(주)] 서울
*정동수

[쌍용기술연구소] 대전/충남/세종
이태우

[션정밀화학(주)] 서울
*김용관

[씨그마알드리치코리아] 경기
*주현재

[(주)씨비씨엠] 서울
*김수영

[(주)씨에스텍] 강원
*김규철

[씨이엔] 경남
*한상철

[씨제이라이온(주)] 서울
*강한철

[(주)씨트리] 경기
*김경수 *김원주

[아람바이오시스템] 서울
*황현진

[아모레퍼시픽] 경기
*고재영

[(주)아모레퍼시픽] 경기
*주영협

[아미노로직스] 대전/충남/세종
*김원섭

[아시아과학한림원연합회] 서울
*박원훈

[(주)아이센스] 서울

*남학현

[아이에스엠Inc.] 대전/충남/세종
*진승민

[아이티그린] 인천
*박찬일

[(주)아이피솔루션] 서울
*윤영균

[아주대학교] 경기
*강 혁 *계광열 *고광윤 *권오필 *김상욱 *김승주 *김유권
*김은하 김중현 *김환명 *모선일 *박영동 서성은 *유미현
유성주 유영동 *윤성화 *윤태중 *윤호섭 *이분열 *이석현
*이우무 이인환 *이천우 이효원 임창수 *장해영 *최승철
최준원

[아주대학교] 서울
*강준건 *김영욱 *류건하 JUVEKARVINAYAK

[아토즈 팜 솔루션] 부산
*박기진

[안동대학교] 대구/경북
*송인택 *유건상 *이오석 *최식영 *최종하 *한지훈 *홍용표

[안성화인케미칼] 경기
*이철우

[안양대학교] 경기
*배준현

[안양대학교] 인천
*조기웅

[안진기술(주)] 경기
*김영훈

[(주)알에스텍] 대전/충남/세종
*김성진

[애경그룹] 서울
*장영신

[애경화학기술원] 대전/충남/세종
박승현

[에드크로(주)] 부산
정영희

[엠피스] 경기
*오영수

[(주)아킨이엔씨] 경기
*김석중

[양정고등학교] 서울
*엄규백

[양청중학교] 충북
*오도균

[(주)에너지솔루션] 대전/충남/세종
*신현경

[에듀메카] 서울
*김강훈

[에멀전폴리머연구소] 서울
*최희천

[에스비사이언스(주)] 경기
*신재민

[(주)에스엠씨] 충북
*김대연

[(주)에스텍파마] 서울
*김재철

[에스티팜] 경기
*우석훈

[에스티팜] 서울

*김경일 *임근조	주재욱	*조육재
[[주)에이치엠이헬스케어] 서울	[영진약품(주)] 전북	[원광대학교] 서울
박태진	*박종기	방지원 *백승화
[에이케이캠텍(주)] 대전/충남/세종	[영진약품공업(주)] 경기	[원광대학교] 전북
강현철	*김성규	고혜민 *김일광 *박대희 *유병수 *윤석민 *이기학 *이영행
[에이케이캠텍] 대전/충남/세종	[영진약품공업(주)] 서울	*이채호 *정광우 *정동운 *조원련 *채규윤
김병조	*김정환	[원당고등학교] 인천
[(주)엔비텍] 서울	[영천여자고등학교] 대구/경북	*박이선
*황규한	*홍순미	[(주)원영셀] 인천
[(주)엔씨켄] 경기	[영해여자정보고등학교] 대구/경북	하진수
김남선	*김대근	[위덕대학교] 대구/경북
[엠에이피에스특허법률사무소] 서울	[영흥화력발전소] 인천	*이진식
*서형미	*김태성	[(주)위드텍] 경기
[(주)엠제이바이오젠] 서울	[오스코텍] 서울	*노태용 *유승교
김민정 박희기 MahiddineFerialYasmine	*고중성	[(주)위스트웰] 경기
[엠택인터네셔널] 대구/경북	[오현고등학교] 제주	*이원경
*서맹수	*김태행	[(주)위즈켄] 울산
[연성정밀화학연구소] 경기	[옥련여자고등학교] 인천	*조양래
*신현익	*이남주	[위즈킴] 대전/충남/세종
[연세대부설환경공해연구소] 서울	[(주)은코비스] 경기	*권영배
*권숙표 *정웅	백민서 이신호 이음협 전혜민	[유빅스테라퓨틱스] 서울
[연세대학교] 강원	[울릭스 주식회사] 경기	임예슬
*안경수 *안찬목 양재성 *오옥두 *이명의 *이상한 임대운	강영규	[(주)유성화엔테크] 대전/충남/세종
*장두욱 *전성란 *정인화 *정찬문 *정형근 *조승연 *조영봉	[(주)와이엔텍] 광주/전남	*이풍만
*팽기정	*진성익	[유수산업(주)] 울산
[연세대학교] 서울	[용인대학교] 서울	*김영식
고원건 *권호정 *김관수 *김규홍 *김동호 *김병수 *김용록	*강현민	[유신학원] 대구/경북
*김우식 *김유삼 *김은경 *김장환 *김정환 *김창은 *김태규	[용인초고등학교] 서울	*문화창
남궁선이 *노경태 노영훈 *문명희 박민석 박종혁 *부두완	*박재진	[(주)유아이] 경기
손창호 *신인재 심은지 심태보 안현서 *양 웅 *양재문	[(주)우리정밀화학] 경기	*최남승
*여철현 *오문현 *유영훈 *윤기현 이기현 *이대운 *이동수	*한두희	[(주)유진폴리텍] 서울
*이동일 *이보경 *이승무 *이용근 *이원용 이윤미 *이태희	[우석대학교] 전북	*신현소
*이한주 이호수위 *임용범 *장우동 *전무진 전중현 *전철호	*오해범 *이석기 *정순량 *홍성완	[(주)유피케미칼] 경기
*정규성 *정만길 *정은룡 *조영등 *조영일 *조웅인 *주상용	[(주)우성기술단] 대구/경북	*고원용
*천진우 *최문근 *최수혁 최우준 *최중길 *태진성 *한규희	*손관수	[유한대학] 경기
홍경임 *황성주 JINXIAOYAN	[(주)우시엠텍코리아] 경기	*김재웅 최선진
[연세대학교] 인천	*박찬석	[(주)유한양행] 경기
고이경 *김영수 *김익연 *김지원 *정진현 최가영 shen-liulan	[울산과학고등학교] 울산	최수빈
[영국] 서울	*이한섭	[유한화학] 경기
*목현	[울산과학기술원 UNIST] 울산	*이태오
[영남대학교] 대구/경북	*서원준	[육군사관학교] 서울
*강미숙 *김봉식 *김석규 김영수 *김영일 *나춘섭 *남기평	[울산과학대학교] 울산	*계영식 *김동욱 *김을산 *양일우 *이승달 *정우영
*노석균 *노명기 *박병각 *박정학 *서길수 *오창연 윤석준	*김학성 *함동근	[윤보석 체험 캠프원] 서울
윤영상 *이병근 *이승우 *이용록 *이정희 *이종달 *이철희	[울산대학교] 대구/경북	*윤용
임숙현 *임희남 *장영동 장윤정 *정병선 *정우식 *조대원	ShoaibMahbulalam	[울지외과대학교] 경기
*조태섭 *차진순 *홍남주 홍철암 *Md.M.Khan	[울산대학교] 서울	고영림
[영남이공대학] 대구/경북	*조동울	[이노팩스(주)] 서울
*심홍섭	[울산대학교] 울산	*박대철
[영남이공대학] 서울	경대승 *김범진 *류광선 *박상윤 *배영일 *신영한 *안정수	[이수화학(주)] 울산
*강성규	*양성봉 *우상국 *윤구식 *이민형 *이승구 *이영일 이영훈	*권영철
[영동대학교] 충북	이재란 *이형일 *정재훈 *정한모 하지원 *허 황 *홍종욱	[이엔에프테크놀로지] 경기
*김노수	[(재)울산산업진흥테크노파크] 울산	이우재
[(주)영인에이스] 서울	*장대익	[이엔에프테크놀로지] 울산
이진근	[(재)울산산테크노파크] 울산	*정현철
[(주)영일프레시전] 서울	*주영제	[이연제약(주)] 서울
송선자	[울산정밀화학센터] 울산	*장은숙
[영일프레시전(주)] 서울	*남두현	[(유) 이젠] 서울
	[울산화학(주)] 울산	*강성구

[이큐빅(주)] 경기
*안병준

[이화여자대학교] 경기
유영민 *윤현정

[이화여자대학교] 서울
*강순희 *고수영 *권동숙 *권영주 *권용익 권용주 김경곤
김관목 *김대기 *김동하 *김명화 *김병권 *김성진 김수민
*김숙경 *김영미 *김원석 *김유정 김준수 *김진홍 *김하나
김현우 *남원우 류재상 *박소정 박재홍 *박종윤 *박준우
박지훈 *백영희 서미숙 *안병태 *양재훈 *엄익환 *우애자
*윤주영 이규리 *이민영 *이상기 *이영미 *이웅민 *이종목
*전길지 *전유성 정병문 정승진 *정준모 *최애란 *한소엽
한기담 *홍혜인 황준필 JeanBouffard

[이화여자대학교 의과대학부속 서울병원] 경기
*문병석

[익투스] 서울
*최종권

[인텍스코리아] 울산
*연승호

[인성크로마텍(주)] 서울
윤근성

[(주)인실리코] 경기
*정동현 *최승훈

[인제대학교] 경기
*심영기

[인제대학교] 경남
*강동진 *윤일 *이범중 *이주연 *조성기 *최상준 *허도성

[인천과학예술융재학교] 인천
원기재 이승희 장미경 한가연

[인천대학교] 서울
*정태영 토랏가우라브마드브 PetersonGregoryIsaac

[인천대학교] 인천
강동구 *김강우 김규원 *김진호 *김태현 김형준 *안순길
*이창연 *장병두 *정덕재 *정병서 *조한국 *최은미 *홍종달
GUPTAGAJENDRA PerumalViswanathan

[인천영선고등학교] 인천
*이원희

[인천효성중학교] 인천
*이유라

[인투셀] 대전/충남/세종
*유요섭

[(주)인투셀] 서울
*박태교

[인하대학교] 서울
*마석일

[인하대학교] 인천
*고태경 *고훈영 *구유모 *권용구 *김건중 *김동욱 *김동일
*김명웅 *김성수 *김정호 *김찬경 *김창곤 *김철희 *김희선
*남세중 *남종우 *노경호 *노익삼 *노철연 *박동화 *박상언
*박성진 *박수진 *박용철 *박형연 *설창 *소재원 신동하
*안화승 *오재희 *윤진산 *윤태일 *이건형 이기영 *이분수
*이완인 *이익모 이진규 *이한섭 *이해황 *이희철 *정규현
*정원조 *정재기 *조동규 *조병린 *조석연 *조창범 *조형진
*진명중 *진인주 진형준 *차기원 *최순자 *최영식 *최형진
*탁용석 *한인숙 *허병기 황예진 *황진명 *황해진
WIEJEONGJAE

[일양약품(주)] 경기
*백형기

[(주)정암칼스] 대전/충남/세종
*조원오

[재능대학] 인천
*권혁준

[재원산업] 대전/충남/세종
*손병기

[전 한국교육방송] 서울
*한용술

[전남대학교] 광주/전남
강순형 고경철 *국성근 *권오윤 김규동 *김인영 *김재녕
*김지민 *김진봉 김창우 *김택현 김형우 *김형진 *나경수
*남계춘 *박인규 *박중진 *박형련 *서정숙 *손창국 *송오순
*양갑숙 양시경 *오인준 *오중훈 *이상권 *이선우 *이순기
*이왕근 *이종백 *이준수 *전승원 *정근호 *정병호 *정재훈
*정진순 *정현담 *조 성 조성준 *조성효 *조종현 *채규호
*천승훈 *최상원 *최용국 *최현철 *하 광 *한옥수 *한중수
*함희석

[전남대학교] 서울
*김왕기 maheswari

[전라북도과학교육원] 전북
*권오형

[전북과학고등학교] 전북
*양기수

[전북대학교] 서울
*이화국 *허진후 VAZQUEZLIMAHUGO

[전북대학교] 전북
*강 찬 *고석범 *공영식 김경수 *김도환 *김성식 *김자홍
*김정곤 *김철주 *김현경 *김희권 *노영희 *노태환 *박중호
*박진하 서영준 *신태호 *안병준 *안중준 *오혁근 *유동진
*이강민 *이국형 *이동현 *이명훈 이승재 이안나 *이연식
*이영아 *이왕로 이정채 *이종명 이효중 *전일철 *정광운
*정규관 *최희욱 *한재량 *황기준 CHOKYUNGBIN-
MICHAEL PREMKUMARMUTHUAUSTERIA

[전주교육대학교] 전북
*강석진 *고한중

[전주대학교] 전북
*강홍식 *김유영 *김중훈 *박성호 *봉필훈 *이해성 *장원길
*최용욱 *형경우

[정남유화(주)] 경기
*김점식

[정보문화센터] 서울
*김정흠

[제마넷] 대전/충남/세종
*임동철

[제물포고등학교] 인천
*이혜순

[(주)제이씨테크놀로지스] 서울
*노만균

[(주)제이앤씨사이언스] 대전/충남/세종
*최종류

[제이에스아이실리온(주)] 경기
*정일민

[제일모직(주)] 경기
*이영준 *장두원 *홍상현

[제일모직(주)] 광주/전남
*김남중 *유재봉 *임광열 *조성우

[제일모직] 광주/전남
*도재규

[제일모직(주)] 서울
*전재욱

[제일화학연구소] 서울
*신화자

[제주대학교] 제주
*강창희 *김덕수 *김원형 *배세원 *변종철 *송필순 *이남호
*임희정 *정덕상 한충훈

[조방물산(주)] 대구/경북
*곽열규

[조선대학교] 광주/전남
*고문주 김선우 *김영성 *김은애 *김준섭 *김호중 *노봉우
*박현주 *손홍래 *송연호 *유정아 *윤석진 *이범규 *이원재
*이재관 *이중대 *이창훈 *정오진 *조 훈 *조병욱 *조성동
*조승주 *차월석 *홍진후

[조선대학교] 서울
*류설 *박성규 *임중국

[조성코퍼레이션(주)] 경기
*조창목

[(주)종근당] 대전/충남/세종
*이홍우

[(주)종근당] 서울
*강태원

[종로학원] 서울
*최병호

[주식회사 비투에스바이오] 인천
고은화

[주식회사 애드파인테크놀러지] 대구/경북
*박이순

[주식회사 창조테크노] 서울
홍준서

[주식회사 폴리메리츠] 경기
*오용주

[중경고등학교] 서울
*현종오

[중랑구 보건소] 서울
*김봉섭

[중앙대학교] 경기
*한재홍

[중앙대학교] 서울
*고경신 고혜란 *공광훈 권선범 *김지현 나동희 남인호
*박광용 *박태정 *상재영 *손동현 *심일운 *안상두 유지호
*윤상운 *윤성호 *이근배 *이종찬 *임채욱 *임철부 *장석규
*조사연 조은진 *주재범 *최형균 *함승욱 *허인희 *홍종인
*홍태영 KIMHUNYOUNG OHKYUNGSOO
PATILDILIPVITTHAL

[중우엠텍(주)] 대전/충남/세종
*구본탁

[중앙대학교] 충북
*박외숙

[중흥고등학교] 경기
*김은숙

[지식경제부 기술표준원] 경기
*안중일

[(주)지엘제약] 서울
*김배환

[진리탐구학원(과학전문)] 서울
*유재권

[진생사이언스] 서울

*박만기
 [(주)진웅화학] 서울
 *김동영
 [진주교육대학교] 경남
 공영태 *김성규
 [참존화장품] 강원
 *엄상용
 [창덕여자고등학교] 서울
 *이종면
 [창원대학교] 경남
 *김경환 김원준 *백건호 *신동수 *안철진 *원태진 *유영재
 *이민주 *이 수 *이용일 *이창순 *임재민
 [창원대학교] 부산
 *문규열
 [청운대학교] 인천
 *전용진
 [청웅중학교] 전북
 *서재업
 [청원고등학교] 서울
 *정정해
 [청주교육대학교] 서울
 *박종욱
 [청주교육대학교] 충북
 *권혁순
 [청주대학교] 서울
 *김치형 *윤길중
 [청주대학교] 충북
 *류근배 *이은석 *조봉래
 [충남대학교] 대전/충남/세종
 *강남숙 *강성권 *강종성 *고광희 구강희 *김건철 *김성수
 *김연두 *김영준 *김은경 *김정권 *김정수 *김학진 *류주환
 명장우 *명평근 *박경래 *박균하 *박문규 박선길 *박성우
 *박소진 *박윤봉 박인혁 *박일현 박찬필 *박창문 배제현
 *부봉현 *성낙도 *손경선 *손영구 *손정훈 송규웅 *송승완
 *신대현 *안병준 *안현주 *양성윤 *염을균 *유성은 *윤민중
 *윤석승 *윤일선 *이계호 *이범재 *이보성 *이영석 *이재범
 이재원 이찬용 *이충균 *이택승 *정상현 *조남숙 *조우경
 *주혁중 차지현 *최성욱 *최준식 *한규승 *한병희 *허강우
 *허성호 *허정석 *홍원표
 [충남대학교] 서울
 김현우 *배기환 신혜영 AkterRashida choisungwoon
 [충북대학교] 경기
 *박재우
 [충북대학교] 대구/경북
 김기태
 [충북대학교] 서울
 *강성민 *권수한 *권효식 *김두영 노진주 *문동철 *박일영
 *손동숙 *이남기 *이희순 *정용제 *최정도
 [충북대학교] 충북
 *강영기 *강한영 강호웅 *김남준 *김 민 *김영조 *김종원
 김철재 박명환 *박준희 *배균택 *성은모 손운용 *신영국
 *양민오 유태수 *유희수 *이남수 *이병춘 *이효원 *정용석
 *정용순 *정우태 *한재영
 [충북에너지고등학교] 충북
 *김성호
 [카보텍재료개발(주)] 경기
 *이일섭
 [(주)카이로켄] 대전/충남/세종

*김익균
 [(주)컬러핑크일앤디] 대전/충남/세종
 *이태호
 [(주)케이젠] 경기
 *이재승
 [(주)케이디 켄] 대구/경북
 *서장혁
 [(주)켄온] 서울
 *권오령
 [켄유틱스] 대전/충남/세종
 *백남섭
 [켄유틱테크놀로지] 인천
 *강철현
 [켄플라자(주)] 서울
 *이병철
 [(주)코레드] 경기
 *전재홍
 [(주)코아텍] 서울
 *한태희
 [(주)코오롱] 경기
 *최태근
 [(주)코오롱] 서울
 남궁현
 [(주)코오롱] 인천
 *박재홍
 [코오롱 인더스트리(주)] 경기
 *상익경
 [코오롱 인더스트리(주)] 인천
 *김재영
 [코오롱생명과학] 서울
 *장원태
 [코오롱인더스트리] 광주/전남
 *주성락
 [코텍시스템] 서울
 *고문규
 [코템] 경기
 *서영성
 [(주)큐로셀] 대전/충남/세종
 김형철
 [(주)큐리언트] 경기
 *김재승
 [크리스탈지노믹스(주)] 경기
 *이춘호
 [크리스탈지노믹스(주)] 서울
 *노성구
 [키텍바이오] 서울
 광미진 김정희 최은실
 [탄금중학교] 서울
 *박은옥
 [태광산업(주)] 울산
 *강홍섭
 [태평양기술연구원] 경기
 *김선영
 [(주)테마트] 서울
 *유경중
 [(주)테크노서비스] 서울
 *김광모
 [(주)테크늄] 경기

*백용구
 [특허청] 대전/충남/세종
 *김현숙 *장정숙
 [(주)티씨노바이오사이언스] 경기
 박찬선
 [(주)파나진] 대전/충남/세종
 *김성기 *박창식 *임종찬 *조근호
 [(주)파로스아이바이오] 경기
 *남기엽 *윤정혁
 [(주)파킹럿스튜디오] 서울
 이근범
 [판문] 서울
 임재춘
 [팜캐드] 서울
 이현수
 [팜한농] 대전/충남/세종
 *이상후
 [퍼스트바이오 테라퓨틱스] 경기
 김경희
 [퍼스트바이오 테라퓨틱스] 서울
 황예진
 [퍼스트바이오테라퓨틱스] 경기
 *이진화
 [평택대학교] 경기
 *이장현
 [(주)포스코 기술연구원] 대구/경북
 *조두환
 [포항가속기연구소] 대구/경북
 김대웅 마로리 *문도현 이재혁
 [포항가속기연구소] 서울
 공기원
 [포항가속기연구소/포항공대] 대구/경북
 이영미
 [포항산업과학연구원] 대구/경북
 *박종일
 [(주)플라리스개발] 서울
 *김영주
 [폴수학학교] 충북
 *고재석
 [퓨리켄] 충북
 김한주
 [(주)퓨처켄] 서울
 *김희섭 *이병세
 [퓨처켄] 서울
 *지대윤
 [프로그린테크] 대구/경북
 *김대영
 [플러스국제특허법률사무소] 대전/충남/세종
 *박창희
 [플루오린코리아(주)] 울산
 *정기석
 [피엔아이디(주)] 울산
 *박웅근
 [피엔피에너지텍(주)] 대전/충남/세종
 *김경일
 [(주)피이솔브] 경기
 *조현남
 [필] 인천

*류훈한
[하길고등학교] 경기
*이수정
[하나제약] 경기
이동렬
[(주)하나제약] 대전/충남/세종
오은혜
[한경대학교] 경기
*김미수 정원석 *한기종
[한국 과학 기술원] 서울
벤틀타라마수브라마니아바이티아나단
[한국 바이오컴퓨(주)] 대전/충남/세종
*안승호
[한국게르마늄] 대구/경북
*이형우
[한국고분자시험연구소(주)] 서울
*박기홍
[한국과학기술연구원(KIST)] 강원
김태정 박영태 윤철희 이재욱 최필주 *함정엽
[한국과학기술연구원(KIST)] 경기
*어웅선
[한국과학기술연구원(KIST)] 대전/충남/세종
변지혜 이민아 *이종규
[한국과학기술연구원(KIST)] 서울
강민정 *강순방 강택 구중민 *금교창 *김광웅 김기훈
*김낙균 *김동진 *김병홍 김선준 *김승기 김시원 *김유승
김윤경 김은주 *김중협 김진영 *남길수 *남원식 *노동석
*노은주 *박건우 박기덕 박종현 박하나 *박한미 방은경
*배애남 *배현숙 *변종홍 *석미연 *안광덕 안대로 *안재평
*오창현 오태근 오형석 *우경자 *유경호 *유명희 *유복렬
*이강봉 이상희 이세호 *이소하 이만수 이원규 *이재균
*이재성 이정애 이지원 임상민 *임원철 임태호 *임혜원
*장문호 전병선 *정봉철 *정서영 *정학숙 정향수 조상호
조성진 *조용서 *차주환 *최경일 최재영 최지원 최혜선
*추현아 *표희수 한서정 *한준수 *한효규 *허우영
MuraleDhiraj
[한국과학기술연구원(KIST)] 전북
*구본철 권지연 *이창협
[한국과학기술정보연구원] 대전/충남/세종
*강준길
[한국과학기술정보연구원] 서울
*김치순 *손영목 *정혜순
[한국과학기술원] 경기
*김유항
[한국과학문화재단] 서울
*한효순
[한국과학영재학교] 부산
*오진호 *천만석 최은영
[한국과학재단] 경기
*서상철
[한국광물자원공사] 대전/충남/세종
*김혜림
[한국교원대학교] 대전/충남/세종
김영만 최경식
[한국교원대학교] 서울
*박국태 *양숙영 전은선
[한국교원대학교] 충북
*강성주 *박용남 *백성혜 서민지 *송기형 *양성호 *최병순

허소림
[한국교육과정평가원] 광주/전남
김성기
[한국교육과정평가원] 서울
백종호 *홍미영
[한국교통대학교] 서울
*김기섭 *김인식 *김현주 *박기태 *박성영 *이성희 *임정혁
*홍태환
[한국교통대학교] 충북
*박상찬 손종태 안태규 *이주운 *이지훈 *이항렬
[한국기계연구원] 대전/충남/세종
*소혜미 *임현의
[한국기술교육대학교] 대전/충남/세종
*조남준
[한국기초과학지원연구원] 경기
이주은
[한국기초과학지원연구원] 광주/전남
이성수
[한국기초과학지원연구원] 대구/경북
*김성홍 *채원식
[한국기초과학지원연구원] 대전/충남/세종
문준희 *서정주 *신형선 *유종신 전철호 *홍경수
[한국기초과학지원연구원] 부산
*윤장희 *정의덕 *진중성
[한국기초과학지원연구원] 서울
*김선희 *박규환 박선혜 *박희정 송영규 윤혜은 *이한주
장재혁 장형일 *전효경 정영애 조지현 *한옥희 황금숙
[한국기초과학지원연구원] 전북
*박종배 *배태성 *백윤기
[한국기초과학지원연구원] 충북
*김영환 *김진영 *김현식 박혜선 이경복 *이철현 전미희
*정재준 조건 *최창민 허양훈
[한국도로공사] 경기
*이용은
[한국로디(주)] 서울
*최홍민
[한국반도체디스플레이기술학회] 충북
*강성철
[한국방송통신대학교] 서울
*박지호 *이필렬
[한국분초의학연구소] 대전/충남/세종
*박기현
[한국분석과학기술원] 경기
*김혁년
[한국분석과학연구소] 서울
*음철현
[한국산업기술대학교] 경기
신영희 *한신호
[한국산업기술대학교] 서울
*정윤성
[한국산업안전보건공단] 울산
*김규완
[한국생명공학연구원] 대전/충남/세종
강태준 *권병목 김윤경 김종원 *문정희 *윤태성 이창수
*정대균 *정인식 *정태숙 *하태환
[한국생명공학연구원] 울산
*이대실
[한국생명공학연구원] 충북

*안미자 *이상규
[한국생산기술연구원] 강원
김형미
[한국생산기술연구원] 경기
*김주혜 *이준균
[한국생산기술연구원] 대구/경북
박정훈
[한국생산기술연구원] 대전/충남/세종
권기욱 *김기협 *김용진 *박형기 *전현애
[한국생산기술연구원] 서울
이호익 *최준
[한국세라믹기술원] 경기
*김유진 *김종영 *피재환
[(사)한국세라믹총협회] 서울
*전병식
[한국수자원공사] 경기
박관수
[한국스미더스오아시스(주)] 서울
*조경래
[한국식품연구원] 서울
남미소 이현희
[한국식품연구원] 전북
김민선
[한국신발피혁연구소] 부산
*박승현
[한국쓰리엠] 경기
박해서
[(주)한국아이티에스] 서울
*방정기
[한국에너지기술연구원] 대전/충남/세종
김태우 김현욱 배병찬 윤하나 *진창수 *한상도 *한치환
홍성준
[한국에너지기술연구원] 서울
양정훈 이진석
[한국외국어대학교] 경기
*김연규 *김용애 *김해조 *박진균 오정욱 은창선 *이숙자
*천정균 *하현준 *허성
[한국원자력안전기술원] 대전/충남/세종
*이종찬
[한국원자력연구소] 대전/충남/세종
*배상은 *연재원
[한국원자력연구원] 대전/충남/세종
*강영환 *김원호 *김정석 *김종구 *김종윤 *김택수 *박경균
*박양순 *박용준 *박원식 서경원 *송규석 *양한범 왕기영
*장인순 *전관식 *전영신 정의창 *조기수 *차형기 최강혁
*최광순 *최윤동 *최인규 *하영경 *한선호
[한국원자력연구원] 서울
*강명구 김아란 김은태 김형주 *서인석
[한국원자력연구원] 전북
박정훈 이준영 최평석
[한국원자력의학원] 경기
*김정영
[한국원자력의학원] 서울
*이교철 *최재용
[한국유나이트드제약(주)] 서울
*이창식
[한국이엔에스(주)] 대구/경북
*정재원

[한국전기연구원] 경남
*도철훈 설승권

[한국전자통신연구원] 대전/충남/세종
*강만구 *김용준 *김용복 *도이미 박형주 이형근 *정명애 *정상돈

[한국전자통신연구원(ETRI)] 대전/충남/세종
김도엽 노형욱 *이철성 장용원 정봉진

[한국지질자원연구원] 대전/충남/세종
서용재 서주범 *양명권 *이효숙 *전치완 *정종희 *최병인

[한국파스퇴르연구소] 경기
*송릿다

[한국폴리텍대학] 경기
*김준석

[한국폴리텍대학 바이오캠퍼스] 대전/충남/세종
*정영환

[한국표준과학연구원(KRISS)] 대전/충남/세종
강덕진 권혁상 *김경중 *김달호 *김병주 *김인중 *김정원
*김진석 *문대원 *박상열 *박창준 *송남웅 심정현 *안상정
*안성희 *오상협 *우진춘 *유현웅 *이경석 이미나 *이종해
*이태걸 *이화심 *임영란 *임용현 *정세채 정학성 *최기환
*최중오 *한명섭 *허귀석 *허성우 홍기룡 *황의진

[(주)한국표지화합물연구소] 경기
*신현일

[한국해양과학기술원] 경기
*이중석

[한국해양과학기술원] 부산
*신희재 *이희승

[한국해양대학교] 부산
*박상윤 *서영완 *안종웅

[한국해양연구원] 경기
*이연주

[한국화인케미칼(주)] 서울
*김영중

[한국화학기술전문가협회] 경기
*박현길

[한국화학산업전문가협회] 광주/전남
*도춘호

[한국화학시험연구원] 인천
*박광자

[한국화학시험연구원-한국화학융합시험연구원으로 통합]
경기
허기영

[한국화학시험연구원-한국화학융합시험연구원으로 통합]
서울
성누리

[한국화학연구원] 경기
*조광연

[한국화학연구원] 경남
정성미

[한국화학연구원] 대전/충남/세종
강민지 *강승규 *강영구 *강호철 *고영관 *고영주 *공기정
곽재성 *김경만 *김남훈 *김동욱 *김문환 *김범태 *김봉진
*김성보 *김성수 *김성환 *김영섭 *김용화 *김우정 *김은애
*김재학 *김정훈 *김종혁 *김진수 *김창균 *김창해 *김태경
*김필호 *김현우 *김현우 김현진 *김형래 *김형록 김혜진
*남상환 *류재욱 *민용기 *박노균 *박노상 *박보근 *박성준
*박수열 *박인환 *박철민 *박희문 *백진욱 *서태수 *손종찬
신병철 *신승림 신영섭 *신원석 신정호 *신종일 *연구환

염현석 *오세화 *오헌승 우재춘 *원종찬 유창호 *윤성철
윤은영 *윤창수 *이계형 *이광호 *이규명 *이규양 *이규호
*이기인 *이동구 *이미혜 *이병민 *이병호 *이상규 *이상봉
*이상호 *이석근 *이선경 *이선숙 *이일영 *이재락 *이재민
*이재현 *이정오 *이정호 *이종철 *이주연 이준영 *이창진
*이철위 *이해방 *이 혁 *이현규 *임상혁 *임채조 *임환정
*임희중 *장성연 장승훈 *장종산 장지윤 *장태선 *장현주
*전 근 *전기범 *전동주 *전문국 전홍준 *정관영 *정근우
*정명희 *정영식 *정택모 *정하균 *조성운 차기영 *채종학
*최길영 *최명재 *최은복 *최일영 *최진일 *하재두 *한요한
*허정녕 *황영규 *황종연 *황진수

[한국화학연구원] 서울
나경석 *남상성 박동성 박재범 *박태호 백문규 *상철민
*신동근 *이연수 *이정민 이주은 *이철해 이혜미 *정준원
조선행 조정은 차현길 *현지영

[한국화학연구원] 울산
김진철 *박영일 *박종목 *서봉국 장민 *정유진

[한국화학연구원 부설 안전성평가연구소] 대전/충남/세종
이지언

[한국화학연구원(주)네패스] 대전/충남/세종
*윤민영

[한국화학연구원/성균관대학교] 대전/충남/세종
*서영덕

[한국화학융합시험연구원] 경기
권덕준 박정애 박지민 방양석 염태호 *이동기 이용현
이희진 정하린 최우석 홍원표

[한국화학융합시험연구원] 서울
이승환 임광수

[한국환경보석연구원] 대전/충남/세종
*박광원

[한남대학교] 대전/충남/세종
*김선환 *김승준 *김천희 *김 철 *김태동 *윤국로 *이광섭
*이규환 *이수민 *이승호 *이진호 *이해리 *전용구 홍상은

[한남대학교] 서울
*이성광

[한농화성(주)] 경기
*강태섭

[한농화성] 전북
*이덕희

[한라대학교] 서울
송정화

[한림대학교] 강원
*김상철 *김태선 *손정인 *송상용 이우람 *이인중 *이정태
*임순성 *전종갑 *정용희 *조병태 *NimseSatishBalasah

[한미약품(주)] 경기
*김한경

[한미필름(주)] 서울
*강태성

[한미합자제일화학(주)] 대구/경북
*박현수

[한밭대학교] 대전/충남/세종
*박정우 *박정호 *이동하 *이봉호 *이재도 *최병욱 *최원산

[한밭대학교] 서울
*유건식

[(주)한불화농] 경기
*이태호

[한상기술] 서울
*손병영

[한서대학교] 대전/충남/세종
*백대진 *오한준 *이영훈 *이중호 *정인찬 *홍태기

[한성과학고등학교] 서울
김현수

[한솔제지(주)] 대전/충남/세종
*김정수 *손창만

[한송중학교] 충북
*류오현

[한양대학교] 경기
*강용환 *경진범 구수진 *김동규 *김양선 *김용신 *김효건
*남태규 *민선준 *박경호 *방진호 *원호식 *유원철 *유효중
*이상욱 이승현 이영복 *이우우 *이학준 *채영규 *채필석
*하정미 AshwaniKumar MOOPRISINGERPANDI-
YARAJANSUDHAKARAN sadafaiman

[한양대학교] 서울
*강영중 강훈구 *고민재 *고영수 *구상만 *권오천 *권이열
*김낙중 *김두리 *김시준 *김영렬 *김정림 *김종만 *김진우
*노재근 *류성연 *박용원 *박재우 *배상수 *성기훈 *성명모
*손대원 *신승훈 안진호 양종희 오누리 *오창호 *원영도
유정주 *윤문영 *윤소원 *윤태현 윤희성 *이기정 *이민형
*이병욱 *이영무 이인애 이준석 *이진석 *이해원 *이희건
*임승순 장진호 정인환 *정재윤 *정희일 *조창기 *조천규
*최규석 *최상훈 *최정훈 최효성 *탁정애 *한성환 *한양규
*한진욱 *한태희 *홍순영 *황복기
HUSSAINMOHAMMEDWASEEM VUTHIQUYEN

[한양대학교(ERICA)] 경기
*전형필

[한일야연화공업(주)] 경기
*김기환

[한전전력연구원] 대전/충남/세종
*김경숙

[(주)한청알에프] 인천
*이중철

[(주)한켄] 대전/충남/세종
*이상조

[(주)한화] 서울
*이용원

[한화케미칼] 대전/충남/세종
*이찬홍

[함창고등학교] 대구/경북
정재성

[헤레우스코리아 (주)] 경기
*이영범

[헬켈코리아주식회사] 서울
*서상현

[(주)웹스켄] 경기
*김형석

[현대정유(주)] 대전/충남/세종
*조경운

[협성대학교] 경기
정효성

[호남대학교] 광주/전남
*유은순

[호남석유화학(주)] 서울
*조항진

[호서대학교] 대전/충남/세종
*김진배 *신준섭 장인성

[호성케멕스(주)] 서울

*최진석
 [홍익대학교] 대전/충남/세종
 *권석기 *이승희 이종복 *전창림 *황광진
 [홍익대학교] 부산
 *장기석
 [홍익대학교] 서울
 *김영관 *김영식 *송봉근 *신동명 *최민호 *하윤경
 [홍익대학교사범대학부속고등학교] 서울
 *박진순
 [화일약품(주)] 경기
 *유응걸
 [화학기술연구소] 대구/경북
 *강전택
 [환인제약] 서울
 김연주 김효진
 [(주)효성] 울산
 *허광철
 [휴네타크] 서울
 *박정호
 [휴켄스(주)] 광주/전남
 박재범
 [소속 미기재] 강원
 *김찬한 *김형소
 [소속 미기재] 경기
 *김대순 *김영덕 *김인우 *김중섭 *남혜진 *박준영 *변재황
 *서배석 *안병현 *안종태 *윤길수 *이근배 *이봉용 *이석근
 *장동현 *정연채 *정의준 *정필근 *채정석 *최세천 *한만정
 *허동섭
 [소속 미기재] 경남
 *권태완
 [소속 미기재] 광주/전남
 *김일두 *박원기 *송기동 *이경애 *정학진
 [소속 미기재] 대구/경북
 *권길웅 *김중윤 *도재철 *박영규 *박유철 *심규진
 [소속 미기재] 대전/충남/세종
 *고동성 *곽중협 *김범수 *박찬규 *서우열 *서정진 *송지웅
 *유광근 *이우진 *이태석 *조동원 *최중권 duggiralakr-
 ishnababu
 [소속 미기재] 서울
 *강동현 *강명녀 *강미라 *강박광 *강성관 *강용구 *강용식
 *강인철 *강중희 *강형건 *강희양 *강효원 *고명원 *고병욱
 *고영환 *고유문 *고익배 *고일석 *공석빈 *곽 승 *곽기정
 *곽년섭 *구양모 *구창남 *구창호 *국제호 *권기성 *권소일
 *권은경 *권이묵 *권태승 *권혁기 *김 윤 *김 준 *김갑주
 *김광림 *김교국 *김기광 *김동식 *김동욱 *김동훈 *김면섭
 *김명국 *김명자 *김봉균 *김상근 *김석규 *김성겸 *김성천
 *김성현 *김성훈 *김세권 *김세윤 *김수단 *김수자 *김승환
 *김시곤 *김영경 *김영석 *김영은 *김오근 *김완규 *김용남
 *김용진 *김용태 *김은미 *김일희 *김재록 *김정엽 *김정진
 *김정화 *김정환 *김중호 *김중훈 *김주봉 *김주수 *김준웅
 *김준일 *김찬호 *김창식 *김창욱 *김충부 *김충식 *김태동
 *김태삼 *김태우 *김태준 *김택제 *김풍작 *김한규 *김현진
 *김형만 *김형숙 *김호기 *김훈섭 *김희술 *나 은 *남석관
 *노정규 *맹춘욱 *명남진 *명제동 *모중환 *문광울 *문봉석
 *문영춘 *문정의 *문태길 *민경세 *민덕식 *민병권 *민원규
 *박경배 *박규창 *박내정 *박도순 *박로학 *박면용 *박명환
 *박문호 *박봉화 *박영배 *박영수 *박영숙 *박영자 *박용남
 *박우홍 *박윤형 *박은수 *박의환 *박장로 *박재만 *박정욱

*박중면 *박찬모 *박택규 *박혁진 *방찬식 *배동호 *배재호
 *백행남 *백형배 *사공철 *서병천 *서시우 *서의택 *서인홍
 *서현규 *석일곤 *손명하 *손미자 *손영찬 *송명아 *송병수
 *송석훈 *송승현 *송재문 *신봉성 신승태 *신익승 *신종철
 *신홍대 *심규선 *심이택 *심종연 *안석영 *안영필 *안학수
 *양갑석 *양덕주 *양창숙 *여은숙 *여재홍 *오경문 *오성호
 *오세균 *우순형 *원정희 *원종택 *유광식 *유상규 *유태준
 *윤 풍 *윤경영 *윤내진 *윤동섭 *윤병목 *윤치정 *윤태성
 *윤현기 *이 전 *이 준 *이강홍 *이경해 *이계준 *이구호
 *이규룡 *이기성 *이기창 *이기호 *이기화 *이남진 *이범홍
 *이병규 *이상규 *이상근 *이상섭 *이서봉 *이석훈 *이세영
 *이승근 *이승원 *이억석 *이영길 *이영대 *이영록 *이영호
 *이윤용 *이일규 *이임숙 *이장호 *이장훈 *이재규 *이재승
 *이재영 *이준학 *이준희 *이창무 *이천배 *이철배 *이철호
 *이행우 *이형국 *이호설 *이훈택 *임영수 *임용성 *임익찬
 *임인철 *임진남 *임홍순 *장성봉 *장완진 *장원길 *장태엽
 *장판섭 *전근숙 *전영연 *전재상 *전재훈 *정경훈 *정규찬
 *정근모 *정덕영 *정동인 *정명숙 *정상호 *정성택 *정영모
 *정영환 *정지영 *정창호 *정태수 *정필승 *정필조 *조남영
 *조승제 *조중완 *주명희 *지봉일 *지영일 *진문영 *최 웅
 *최규동 *최근선 *최남석 *최병오 *최석진 *최승재 *최영현
 *최우훈 *최원기 *최정자 *최철호 *최태영 *최형수 *하기성
 *한갑천 *한광수 *한구동 *한동진 *한보섭 *한선영 *한정련
 *한정수 *한필순 *한홍섭 *함경희 *허창욱 *홍덕표 *홍승수
 *홍양기 *홍은희 *황계홍 *황규성 *황병길 *황병우 *황선영
 *황선욱 *황재영 *Ken-ichiSugiura MohamedElgawish
 POONCHISIVASANKARANRAMESH
 *R.M.Golding SurjeetChahal
 [소속 미기재] 외국
 AhmedHelmyEbraheemHassan SungwhanOh
 [소속 미기재] 울산
 *도임자
 [소속 미기재] 인천
 *박호근
 [소속 미기재] 충북
 *공병후 *남기대 *노승우 *정기용 *조인행

도서관 단체회원

POSTECH 청암학술정보관
 경북대학교 부속도서관
 국방과학연구소 기술정보그룹
 농촌진흥청 농업과학도서관
 대전대학교 도서관
 서울시립대학교 중앙도서관 정기간행물실
 영남대학교 과학도서관
 조선대학교 중앙도서관
 한국교원대학교 도서관
 한국원자력연구원 기술정보실

중등 단체회원

부산일과학고등학교 도서관

회원사 단체회원

(주)LG화학
 (주)LG화학
 (주)바이오니아 마케팅그룹
 KCC중앙연구소
 동우화인켈
 삼성SDI(주) 전자재료사업부 정보센터
 삼화페인트공업(주) 자료실
 시마즈 사이언티픽 코리아
 한국석유화학협회
 한화토탈에너지스 주식회사 연구지원팀

외국 회원

[종신/정회원]
 Prof. Sung-Hou Kim
 U.S.A.
 Dr. Won Ho Kim
 U.S.A.
 Dr. Kju Hi Shin
 U.S.A.
 Prof. Hyuk Yu
 U.S.A.
 Prof. Dewey Ryu
 U.S.A.
 Prof. Byung C. Eu
 Canada
 Prof. Myongsoo Lee
 China
 Dr. Chung Wha Iyengar
 U.S.A.

Nakyeon Choy
 U.S.A.

2023 화학세계 총목차

대한화학회 CALENDAR

1(06), 2(06), 3(06), 4(06), 5(08), 6(06), 7(06), 8(06), 9(06), 10(08), 11(06), 12(08)

신진연구자

심수용 1(53) / 이시우 2(35) / 김태연 3(51), 동방선 3(52), 장지현 3(53) / 임종민 4(52),
김정민 4(53) / 이준호 5(59) / 서상원 6(43), 이정호 6(44), 전용웅 6(45) / 김상민 7(41)
/ 김중구 8(59) / 신정철 9(71) / 권태진 10(39), 박소현 10(40), 이수민 10(41) / 김연준
11(31), 김재욱 11(39) / 김지현 12(49)

우수선도연구기관

한국과학기술연구원 안전증강융합연구단(ASSIST) • 김상경 1(42)
한국과학기술연구원(KIST) 뇌질환극복연구단 GC 자폐연구그룹 • 추현아 2(36)
영남대학교 기초연구실(BRL) 적외선 편광 발광 소재 연구실 • 김영수 3(31)
가천대학교(핵심연구지원센터) 바이오나노융합소재 연구센터 • 한상윤 3(37)
카이스트 기초연구실(BRL) 동적 생체고분자 구조 분석 연구실 • 정용원 3(44)
울산대학교 화학산업융합연구소 • 이영일 4(29)
KAIST 나노텍토닉스 연구단 • 한상우 5(30)
중앙대학교 세포화학동역학 창의연구단 • 성재영 5(37)
UNIST 기초 연구실(BRL) 구조-기능 상관관계 초고속 나노이미징 연구실 • 권오훈 6(29)
성균관대학교 카이랄 소재 분석센터 • 류도현 6(36)
KAIST 금속신경단백질화학 연구단 • 임미희 7(32)
경북대학교 질량분석융복합연구센터 • 김성환 8(36)
국립목포대학교 플라즈마분광분석 핵심연구지원센터 • 남상호 9(32)
성균관대학교 계산 나노-바이오소재 연구실 • 이진웅 10(39)
고려대학교 나노화학연구실/다성분나노입자구조론연구단 • 이광렬 11(26)
기초과학연구원(IBS) 첨단 반응동역학 연구단 • 이효철 12(38)
경상국립대학교 항바이러스 Z-핵산 유도체 기초연구실 • 이준화 12(43)

우리 실험실은요!

효소 구조 기능 연구실(SFDL, Structure-Function Discovery Lab)
• 이장민, 유재현 1(60)
나노 바이오 광 전기화학 연구실 • 김수현 2(56)
촉매약화학 연구실 • 문준수 3(70)
테라그노스틱분자연구실(THERAGNOSTIC ADVANCED BIOMOLECULE LAB: TABL)
• 김경범, 서동혁 4(54)
유기반응 및 물질개발 연구실 • 이채린 5(62)
요리 촉매반응 연구실 (YOLEE Catalysis Lab) • 박수진 6(60)
생명나노 화학 연구실(Bio-nano Chemistry Lab) • 문영선 7(52)
양자 화학 시뮬레이션 연구실(Quantum Chemical Simulation Lab) • 한다빈 8(60)

유기금속 촉매반응 연구실(Organometallic Catalysis Lab) • 정유진 9(50)
지능형 무기물질 연구실(SMART INORGANIC MATERIALS LAB) • 차예지 10(60)
연세대학교 시스템생물학과 구조생물학 실험실 • 김의진 11(46)
화학생물학 및 치료학 연구실(Cheical Biology and Therapeutics Lab) • 박규민 12(66)

월간화학소식

1(81), 2(72), 3(90), 4(80), 5(74), 6(68), 7(75), 8(81), 9(90), 10(72), 11(58), 12(76)

이달의 학회

1(07), 2(07), 3(07), 4(07), 5(09), 6(07), 7(07), 8(05), 9(07), 10(09), 11(07), 12(09)

이달의 하이라이트

입체방사성 촉매 반응: 가능한 모든 입체이성질체의 선택적 합성 • 김병준, 박수진, 이후승,
이윤미* 1(30)
형광 유도 수술과 형광 탐침자 개발 • 김재훈, 김영웅, 김도경* 2(23)
단일 나노광촉매 여기의 선택적 조합실험 및 플라즈마닉 효과의 정량화
• 안용덕, 서대하* 3(16)
초고해상도 형광 현미경 기술의 최근 발전 방향과 다양한 응용 연구 • 고가은, 김두리* 4(16)
효소화학적 반응을 이용한 공간생물학(Spatial Biology) 연구 • 강명균, 이현우* 5(16)
이온 이동도-질량 분석법을 활용한 분자 및 분자집합체 구조 분석 • 이지연, 최윤섭,
임다혜, 서종철* 6(15)
전기화학적 이산화탄소 활용을 위한 탄소 기반 촉매 소재의 기회
• 윤혜원, 유수환, 황윤정* 7(22)
리튬이온전지용 하이니켈 양극재 내부의 전이금속 농도
구배 구현 및 정량 방법 • 홍정기, 김기욱, 옥영인, 정태호, 유현덕* 8(20)
가능성 유기광분자 디자인 및 합성을 통한 센서, 진단, 치료 연구
• 윤신아, 박선영, 이민희* 9(20)
무작위성의 역할과 서열의 짝맞추기 문제 • 신민중, 유지민, 서명은* 10(21)
차세대 클릭 화학인 SuFEx 화학과 이를 이용한 방사화학을 포함한 응용 분야에 대한
고찰 • 김민평, 양홍선, 전중현, 홍성우* 11(15)
들뜬 상태의 삼중항을 이용한 순수 유기물 광촉매 기반 가시광 매개 고분자 중합과 연구
동향 • 권용환, 전우진, 권민상* 12(21)

읽기쉬운 총설

총설에 부쳐 | 노벨화학상 특집 • 한순규 1(09)
클릭 화학과 생체직교 화학 • 최준원 1(12)
생물직교성화학 연구동향 • 이정현, 김은수, 김은하* 1(21)
입체선택적 합성을 위한 범용 유기촉매의 개발 • 배한용 2(09)
금속을 사용하지 않는 비대칭 촉매 반응(Asymmetric organocatalysis) • 김성곤 2(15)

크리스퍼 유전자기위 기술이 가져온 '유전자 교정 시대' • 정유경, 배상수	3(09)	총회보고	12(100)
총설에 부쳐 인공지능과 화학 • 이주용	4(08)		
인공지능을 활용한 단백질 구조 예측 • 백민경	4(10)	특별원고	
인공 지능은 소재 연구를 할 수 있을까? • 이동선	5(11)	신년사 • 신석민(제53대 대한화학회 회장)	1(08)
딥러닝 기반 생성 시를 활용한 분자 설계 최신 연구 동향 • 김우연	6(09)	제54대 대한화학회 회장 당선 소감문 • 이필호(제54대 대한화학회 회장)	1(08)
총설에 부쳐 지속가능한 사회를 위한 화학 • 홍석원	7(08)	프롤로그 2022-2023 화학세계를 시작하며 • 윤재숙	3(06)
탄소-중립 달성을 위한 온실가스(CO ₂)의 유용 화학 물질로의 전환-이산화탄소 유래		Chemistry & Industry 글로벌 ADC회사로의 도약을 꿈꾸는 인투셀	4(48)
카보네이트 합성 촉매 반응 • 장혜영	7(10)	2023년 봄, 제131회 대한화학회 학술발표회, 총회 및 기기전시회를 마치고..	
탄수화물에서 바이오 연료 및 고부가가치 화합물로 전환할 수 있는 기술 개발의 연구		• 신석민(제53대 대한화학회 회장)	5(06)
동향 • 양정운	7(16)	재단법인 한국화학회관 이사회 소식 • 정봉영	3(94)
폴리올레핀의 화학적 재활용을 위한 촉매적, 합성적 방법 개발		2023년 대한화학회화학포스터 그리기 및 화학시화 대회 수상작	8(76)
• 이정우, 정민준, 홍순혁*	8(09)	대한민국 정밀화학 분야의 개척자이자 과학기술계 리더' 채영복(蔡永福) • 이필호	9(38)
지각에 풍부한 전이금속을 활용한 분자 발광체: 최신 연구 동향 • 박윤수	8(15)	제55회 국제화학올림피아드 참관기 멘토편 • 정병혁	9(52)
전기화학과 코발트 촉매를 이용한 라디칼-극성 반전 반응을 통한 알켄의 하이드로기능		제55회 국제화학올림피아드 참관기 멘티편 • 김희준, 서채원, 장준성, 전지민	9(58)
화 반응 개발 • 김현우	9(09)	제55회 국제화학올림피아드 참관기 게스트편 • 신명진	9(67)
지속가능한 기계화학 합성방법: 무용매 조건 고체 반응 • 이효원, 김정곤*	9(14)	이임사 • 신석민(제53대 대한화학회 회장)	12(10)
총설에 부쳐 생물 복잡계에 대한 물리화학 연구 • 성봉준	10(10)	Epilogue 『화학세계』 편집위원회를 마치며 • 윤재숙, 김정욱, 성봉준, 한순규	12(12)
단일효소 동력학과 세포화학동력학 • 성재영	10(12)		
단분자 이미지를 이용한 유전자 발현 동역학 연구 • 박수진, 이남기*	11(09)	화학교육	
유전체 3차원 구조의 초고해상도 이미징 • 심상희	12(15)	'분리의 세계'를 소개합니다 • 천영숙	1(38)
		지구과학에서 시작하여 화학까지 달은 비누막을 활용한 모델링 기반 탐구 수업 에세이	
제131회 대한화학회 학술발표회, 총회 및 기기전시회		• 오우진	2(28)
심포지엄 구두발표 제목 및 조직책임자	1(72), 2(64), 3(80), 4(71)	과학 교육에서 코딩을 활용한 수업의 필요성과 실태 • 김성기	3(25)
심포지엄 및 구두발표 주제 요약문	1(75), 2(67), 3(83), 4(73)	'노벨화학상 수상자 Stefan Hell' 과의 면담을 통한 학생 탐구역량 강화에 대한 교사의	
연회비 및 참가비 안내	1(74), 2(66), 3(82), 4(68)	시선 • 박진홍	4(23)
주요행사 안내	4(63)	초임 중등 과학교사를 위한 협력적 멘토링 프로그램 • 박지훈	5(24)
결과보고	6(73)	COVID-19이 실험 교육에 미친 영향과 BLEND 화학 실험 교수 설계 모형의 개발	
대한화학회상 수상자 프로필	6(81)	• 이경진	6(22)
시상내역	6(83)	과학과 교육과정 개정의 지역화 정책 측면에 관한 탐색 • 천주영	7(30)
우수포스터	6(84)	피어난 식물들, 숨겨진 이야기 • 홍영식	8(29)
총회보고	6(92)	머신러닝 융합 과학교육의 교육적 의미 탐색 • 최정인	9(27)
		상평형 그림은 정말 평형을 이야기하고 있을까? • 황영하	10(28)
제132회 대한화학회 학술발표회, 총회 및 기기전시회		분광광도계를 활용한 미량의 BTB로 pH 측정 • 하양훈	11(22)
연회비 및 참가비 안내	7(66), 8(68), 9(80), 10(84)	전기분석화학 연구 경험을 통해 본 '교육'과 '훈련'의 관계 • 이종혁	12(32)
심포지엄 및 구두발표 주제 요약문	7(67), 8(69), 9(81), 10(89)		
심포지엄 구두발표 제목 및 조직책임자	7(64), 8(66), 9(78), 10(87)	화학세계가 만난 화학자	
주요행사안내	10(72)	신석민(제53대 대한화학회 회장, 서울대학교)	1(48)
결과보고	12(79)	최은영(KAIST부설 한국과학영재학교)	2(42)
대한화학회상 수상자 프로필	12(89)	정종화(경상대학교)	3(54)
시상내역	12(98)	박한오((주)바이오니아 대표)	4(34)
우수포스터	12(92)	이창규(강원대학교 명예교수)	5(44)

조민행(고려대학교)	6(46)
홍창섭(고려대학교)	7(42)
윤경병(서강대학교)	8(52)
남원우(이화여자대학교)	9(48)
김명자(KAIST 이사장)	10(42)
최철호(경북대학교)	11(40)
Epilogue: 2022-2023년 <화학세계가 만난 화학자> 코너를 진행하며 · 한순규	12(50)

화학칼럼

화학사 돌아보기: 라부아지에와 화학 혁명 ② · 최정모	1(62)
향수: 어느 화학자의 이야기 · 장홍제	1(66)
화학사 돌아보기: 혁명의 뒤편 · 최정모	2(58)
연구자 되기 ⑤_ 연구자의 덕목: 자발성 · 김태영	3(67)
실험실 안전과 달콤함 · 장홍제	3(73)
화학사 돌아보기: 세기초의 두 논쟁 · 최정모	4(57)
화학사 돌아보기: 돌턴 돌아보기 · 최정모	5(65)
삼국지 속의 화학 · 장홍제	5(69)
화학연구자의 덕목 ⑥: 공공(公共)의식 · 김태영	6(63)
자로 만든 인공원자로 만드는 인공분자로 보는 분자 · 장홍제	7(55)
화학사 돌아보기 ⑬: 원자설의 여파 · 최정모	7(58)
화학사 돌아보기 ⑭: 베르셀리우스의 시대 · 최정모	8(62)
연구자 되기 ⑦ : 연구자의 덕목: 도전(挑戰) 정신 · 김태영	9(72)
꿈에 대한 속설과 화학적 관점 · 장홍제	9(75)
CSI에서 화학이 하는 일, 법화학 · 민지숙	10(62)
화학사 돌아보기 ⑮: 유기물 이해하기 · 최정모	10(67)
생명과 진실의 물, 에탄올 · 장홍제	11(48)
화학사 돌아보기 ⑯: 리비히, 뷔러, 뒤마 · 최정모	11(51)
연구자 되기 ⑧: 연구자의 덕목: 목표(目標) 의식 · 김태영	12(68)
CSI에서 화학이 하는 일, 법화학 ② · 민지숙	12(71)

ADVERTISING & CAMPAIGN

클린 인터넷을 선언합니다	1(05), 2(05), 3(05), 4(05), 5(09), 6(09), 7(07), 8(07), 9(07), 10(09), 11(07), 12(07)
기기전시회 안내	1(86), 2(78), 3(98), 4(86), 9(93)
대한화학회장상, 외부단체협찬상	1(87), 2(79), 3(99), 4(87), 6(91), 9(94), 11(59)
지면광고 안내/회비 및 구독료 안내	1(88), 2(80), 3(100), 4(88), 5(76), 6(160), 7(76), 8(84), 9(96), 10(100), 11(60), 12(141)
대한화학회 발간(참여) 학술지	2(75), 3(95), 4(85), 5(05), 6(05), 9(95), 11(04)
『Chemistry, an Asian Journal』 "논문 제출 안내"	2(77), 3(96)
2023년 대한화학회 임원명단	1(84), 12(126)
2023년 대한화학회 회원명단	12(128)

KCS 하이라이트

유기물에 대한 광반응 관련 연구 · 문 현, 정원진	1(56)
COVID-19 진단 기술과 치료제 개발 연구 · 이원화	2(47)
산화금속 나노입자 관련 연구 · 백유진, 윤홍석	3(62)
시간-분해 분광법을 이용한 연구 · 김태연	4(41)
밀도 범함수 이론 계산 관련 연구 · 김현우	5(53)
전이금속 촉매반응을 통한 유기합성 관련 연구 · 신광민	6(53)
천연물 전합성 및 생리활성물질 합성 관련 연구 · 이에서, 정원진*	7(46)
Anticoagulant 및 Antiplatelet Aggregation 관련 연구 · 이원화	8(43)
고등 분광기술을 활용한 화학연구 · 김준우	9(43)
가시광선에 의한 촉매 유기합성반응 방법론 연구 · 배한용	10(52)
헤테로고리 주변부 반응 개발 연구 · 송무건, 정원진	11(42)
Anti-tumor Agent 관련 연구 · 이원화	12(57)

Book & App

1(70), 2(62), 3(78), 4(61), 5(72), 6(66), 7(73), 8(79), 9(88), 10(96), 11(56), 12(76)

화학만평

1(80), 2(74), 3(89), 4(79), 5(75), 6(72), 7(63), 8(82), 9(92), 10(71), 11(55), 12(99)

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	칼라
지면광고	내지	1,000,000~5,000,000	칼라
웹사이트	배너	100,000	칼라

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

광고의뢰 및 문의 : 대한화학회 사무국 (office@kcsnet.or.kr)

서울 성북구 안암로 119 한국화학회관 4층 (02856) / 전화 : 02-953-2095 / 팩스 : 02-953-2093

회비 및 구독료 안내

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

2023년도 본회 회비 및 각종 간행물의 구독료는 다음과 같습니다.

(단위: 원)

구분	종신회원	정회원	교육회원	학생회원
회원기간	2023. 1. 1 ~ 2023. 12. 31			
연회비	1,400,000 (가입 당시 정회원 연회비의 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	• 정·교육회원의 '화학세계' 및 '유료 구독 학술지' 등은 회비 및 구독료 납부 월의 다음 달부터 1년간 발송됩니다. • 학생회원에게는 회원으로 가입한 해당 연도 동안 '화학세계'가 발송됩니다. 단, 유료 구독학술지는 납부 월의 다음 달부터 1년간 발송됩니다. ※학생회원에게는 재학 중인 학교로만 보내드립니다.			

■ 회비납부 관련문의

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

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



BIONEER

Life Science Total Solution

바이오니아는

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

생명과학 분야의

Total Solution을

제공합니다.

Our Services

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

www.bioneer.co.kr



BIONEER
Innovation • Value • Discovery

DYS426 is 12 and DYS392 is 11, one
is probably a member of haplogroup R1a1.

organisms called eukaryotes, DNA is found inside a special area of the cell called the nucleus. Bec

ery small, and because organisms have many DNA molecules per cell, each DNA molecule must be

26 is 12 and DYS392 is 11, one
probably a member of haplogroup R1a1.
his packaged form of the DNA is called a chromosome.



AIRsight™

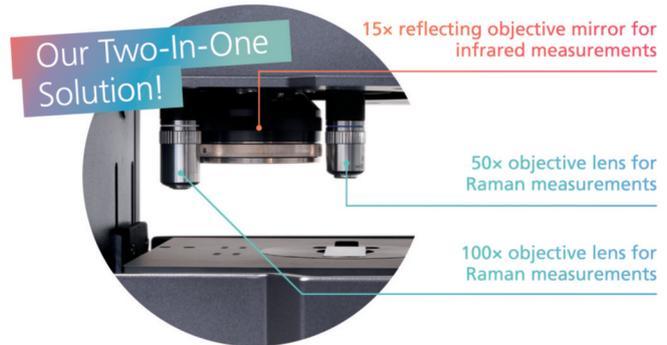
Raman and FTIR microscopy
in perfect harmony



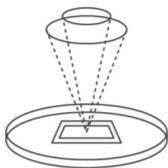
Infrared Spectroscopy and Raman Spectroscopy

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

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



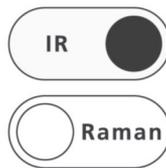
3S Microscope



Same position

is measured by IR and Raman

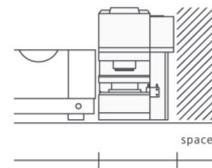
시료 위치를 변경하지 않고
IR과 Raman 측정이 가능합니다.



Smart software

controls IR and Raman

소프트웨어에서 IR 측정과 Raman
측정 모드를 매우 쉽게 전환합니다.



Single system

saves space

IR과 Raman의 측정이 하나의 기기에서
가능하므로 공간 효율적입니다.