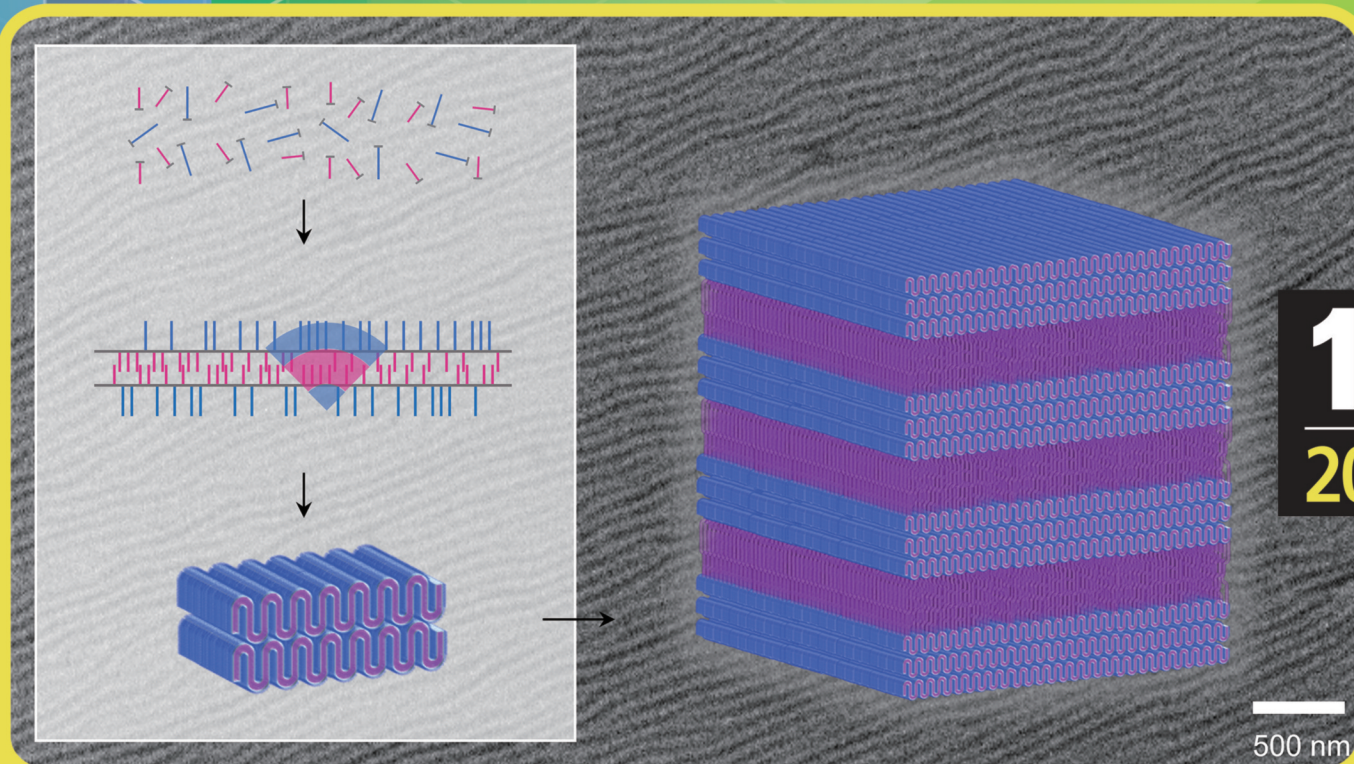


화학세계

CHEMWORLD

화학이 지구를 푸르게



10
2023

<이달의 하이라이트> 무작위인 서열은 일견 무질서해 보이지만, 서열을 구성하는 반복단위들 사이의 상호작용을 통해 짝을 찾아가는 과정 속에서 새로운 질서가 태동할 수 있다. 이 그림은 친수성 단량체와 소수성 단량체의 무작위 공중합을 통해 합성된 양친매성 공중합체가 물 속에서 만드는 접힘 이중층 판상 구조를 나타낸다.

읽기쉬운 총설

총설에 부쳐: 생물 복잡계에 대한 물리화학 연구

단일효소 동력학과 세포화학동력학

이달의 하이라이트

무작위성의 역설과 서열의 짝맞추기 문제

화학교육

상평형 그림은 정말 평형을 이야기하고 있을까?

우수선도연구기관

한양대학교 고분자·복합소재 핵심연구지원센터

INTERVIEW

화학세계가 만난 화학자 | KAIST 김명자 이사장

“앞서가는 화학회, 공식후원사와 함께 합니다.”



BIONEER

Life Science Total Solution

바이오니아는

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

생명과학 분야의

Total Solution을

제공합니다.

Our Services

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

www.bioneer.co.kr



BIONEER
Innovation • Value • Discovery

새로운 적외선 현미경 시스템!

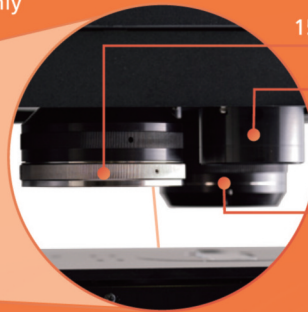
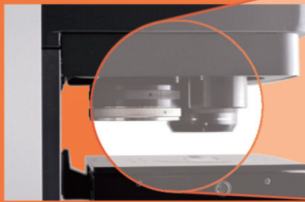
Infrared Microscope

AIMsight™

SHIMADZU AIMs to
provide analysis systems for all users.



Determines the measurement position smoothly by capturing the measurement target with a wide field of view

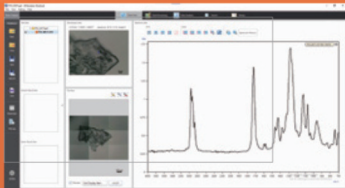


15x reflective objective mirror

Wide-field camera

Grazing Angle Objective (optional)

Exports the measurement results



Observe

Wide-field camera



Measure

Automatic contaminant recognition system
Highest class S/N
Length measurement function



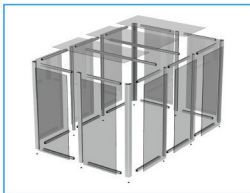
Analyze

Original library of high hit ratios*
Contaminant analysis program
Spectrum advisor function
*Optionally available



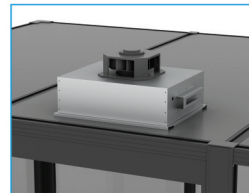
“공간구성을 위한 별도의 공사?”

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



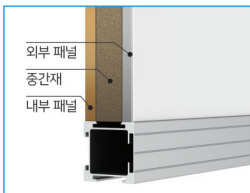
[모듈 시스템]

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]

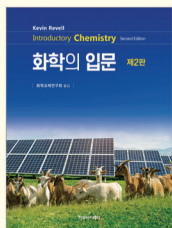
전기·통신·가스·워터 등 사용자의 편의에 따라 다양한 유틸리티 선택 가능



[LED 조명]

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

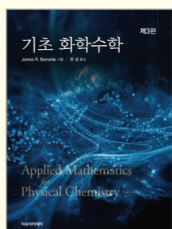
Revell 화학의 입문 제2판



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

전자책 출간

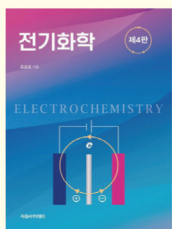
Barrante 기초 화학수학 제3판



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

전자책 출간

전기화학 제4판



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

관련 서적

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

전자책 출간

Manahan 환경화학 제11판

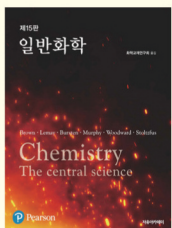


역 자: 김만구 외
출판년도: 2023년 쪽수: 740쪽
ISBN: 9791158084981

원서 정보

Environmental Chemistry 11/e
출판년도: 2022년 쪽수: 764쪽
ISBN: 9780367558871

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

전자책 출간

합성 유기화학



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

전자책 출간

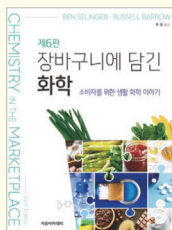
재료화학



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

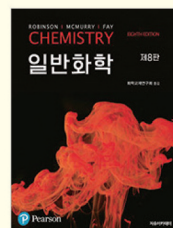
전자책 출간

Selinger 장바구니에 담긴 화학 제6판



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

McMurry 일반화학 제8판



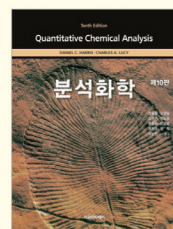
역 자: 화학교재연구회
출판년도: 2020년 쪽수: 1200쪽
ISBN: 9791158082444

관련 서적

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

전자책 출간

Harris 분석화학 제10판



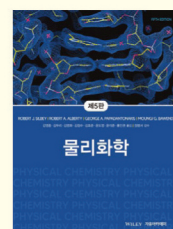
역 자: 이승호 외
출판년도: 2021년 쪽수: 1092쪽
ISBN: 9791158082932

원서 정보

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

전자책 출간

Silbey 물리화학 제5판



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

원서 정보

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

전자책 출간

약용식물을 이용한 천연화장품 이해

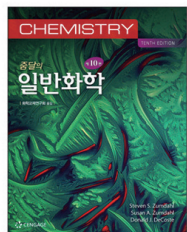
저 자: 이인아 출판년도: 2023년
쪽 수: 190쪽 ISBN: 9791158085261

전자책 출간

향노화 바이오 화장품

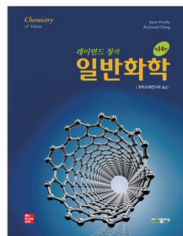
저 자: 신동욱 출판년도: 2023년
쪽 수: 160쪽 ISBN: 9791158084974

줌달의
일반화학 10판



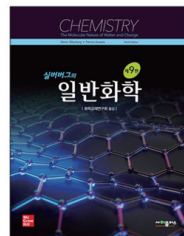
저 자: Zumdahl
판 수: 10
발 행: 2019
페 이 지: 1168
I S B N: 9788962184358

신간 레이먼드 창의
일반화학 14판



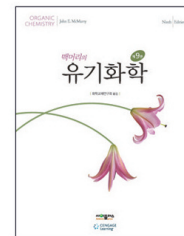
저 자: Overby, Chang
판 수: 14
발 행: 2023
페 이 지: 1080
I S B N: 9791188731343

신간 실버버그의
일반화학 9판



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

맥머리의
유기화학 9판



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

★대한민국학술원 우수학술도서

신간 나노소재화학



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

신간 화학자를 위한
결정학



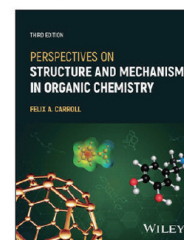
역 자: 윤우진, 윤호섭
판 수: 1
발 행 일: 2022
페 이 지: 236
I S B N: 9791188731329

Biochemistry



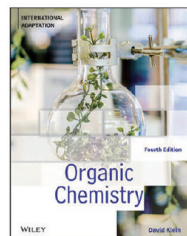
저 자: John T. Tansey
판 수: 1
발 행: 2022
페 이 지: 1008
I S B N: 9781119820802

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



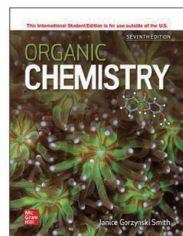
저 자: Carroll
판 수: 3
발 행: 2023
페 이 지: 864
I S B N: 9781119808619

신간 Organic Chemistry
4/e



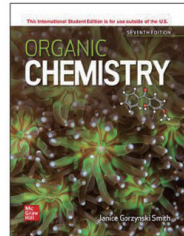
저 자: David R. Klein
판 수: 4
발 행 일: 2022
페 이 지: 1178
I S B N: 9781119820833

근간 스미스의
유기화학 7판



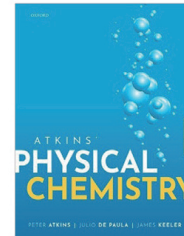
저 자: Smith
판 수: 7
발 행 일: 2024

근간 Organic Chemistry
7/e



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

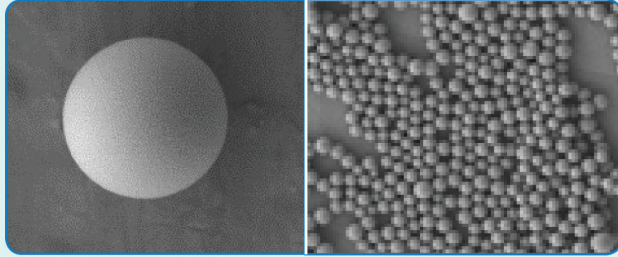
근간 앳킨스의
물리화학 12판



저 자: Atkins
판 수: 12
발 행 일: 2024

실리카겔

MS.Gel: Chromatography용 구형(Spherical) 실리카겔



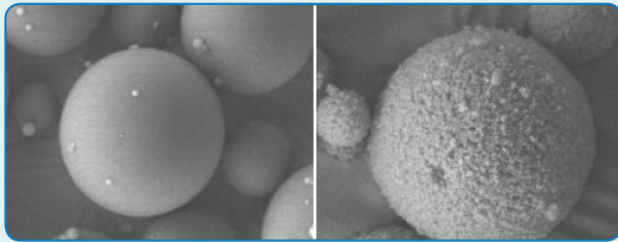
종류

Derivatization type : C18, C8, NH2, bare silica gel, etc
Mean Particle Size : 1.6 μ m, 3 μ m, 5 μ m, 10 μ m, 30 μ m,
50 μ m, 100 μ m, 200 μ m
Mean Pore Size : 6nm, 8nm, 10nm, 12nm, 15nm,
20nm, 30nm

장점

좁은 입도분포 / 채널링 최소화 / PACKING 용이성 / 좋은 분리능 / 차압 개선 / Peak Tailing 최소화 / 긴 수명

SUNSPHERE



특성

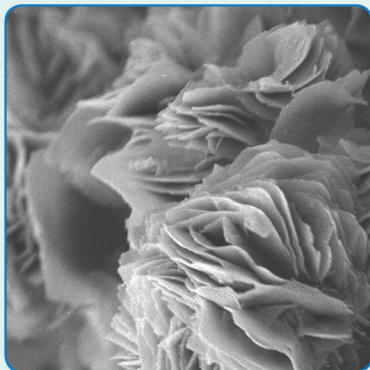
Porous / High Specific surface area
Good dispersibility / Anti-blocking effect
Heat insulation, Matting / Odor removal

적용

화장품 / 필름 / Catalyst-support / 자동차·건물용 도료



SUNLOVELY



특성

Petal shape particle / Hard property
Light scattering / Flame retardancy
Hydrophilicity / Rust Resistance

적용

난연제용 페인트 / 자동차용 페인트
건축용 페인트 / 바닥제 페인트



Silica Fillers

특성

Good Anti-Glare effect / Good Dispersibility

적용

필름 등

132nd General Meeting of the Korean Chemical Society

October 25-27, 2023
Kimdaejeung Convention Center

PLENARY LECTURE



Sukbok Chang
KAIST / IBS

*Catalytic C-H Amination Reactions:
Scope and Intermediacy of
Metal Nitrenoids*

October 25 ••• Special Symposium

October 26 ••• Plenary Lecture

KCS General Assembly

Scientific Programs

(Poster & Oral Presentation)

Exhibition

October 27 ••• Scientific Programs

(Poster & Oral Presentation)

Exhibition



CONTENTS

2023년 10월 광고 목차

뒤표지	동우화인켄
앞표지 안쪽	바이오니아
뒤표지 안쪽	아이센스
p.01	시마즈 사이언티픽 코리아
p.02	삼인씨아연스(주)
p.03	자유아카데미
p.04	사이플러스
p.05	(주)오티시

2023년 운영진

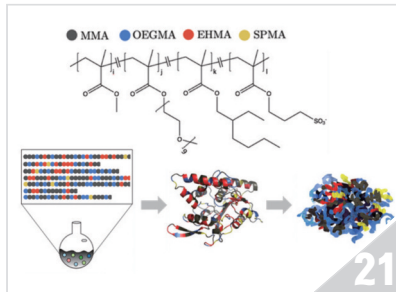
회 장	신석민
부 회 장	성재영(총무) 이광렬(기획) 김지환(학술) 윤재숙(홍보) 추현아(산학협력) 황성주(국제협력) 백성혜(교육)
실무이사	장락우(총무) 고두현(총무) 강은주(총무) 이진석(기획) 윤효재(기획) 정유성(국제협력) 남좌민(국제협력) 이윤미(학술) 김태규(학술) 성봉준(홍보) 한순규(홍보) 김정욱(홍보) 최현호(산학협력) 김준수(교육)

2023년 화학세계 편집위원회

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



10



21



33



42



62

NEWS

- 08 KCS 캘린더
- 09 이달의 학회
- 39 신진연구자 소개 · 권태진/박소현/이수민
- 98 월간학회소식

PAPER

- 10 총설에 부쳐 | 생물 복잡계에 대한 물리화학 연구 · 성봉준
- 12 읽기 쉬운 총설 | 단일효소 동력학과 세포화학동력학 · 성재영
- 21 이달의 하이라이트 | 무작위성의 역할과 서열의 짝맞추기 문제 · 신민중, 유지민, 서명은*

SPECIAL

- 33 우수선도연구기관 | 한양대학교 고분자·복합소재 핵심연구지원센터 · 손대원
- 42 INTERVIEW | 화학세계가 만난 화학자 · KAIST 김명자 이사장
- 52 KCS 하이라이트 | 가시광선에 의한 촉매 유기합성반응 방법론 연구 · 배한용

EDUCATION

- 28 화학 교육 | 상평형 그림은 정말 평형을 이야기하고 있을까? · 황영하

COLUMN

- 62 화학칼럼 | CSI에서 화학이 하는 일, 법화학 · 민지숙
- 67 화학칼럼 | 화학사 돌아보기 ⑥: 유기물 이해하기 · 최정모

TREND

- 60 우리 실험실은요! | 지능형 무기물질 연구실(SMART INORGANIC MATERIALS LAB) · 차예지
- 71 화학만평
- 96 Book & App

132nd GENERAL MEETING

- 72 주요 행사 안내
- 84 연회비/참가비/경품 추천 안내
- 86 일정표
- 87 심포지엄 및 구두발표 주제, 조직책임자
- 89 심포지엄 및 구두발표 주제 요약문

ADVERTISING & CAMPAIGN

- 09 클린 인터넷을 선언합니다
- 100 지면광고 안내/회비 및 구독료 안내

OCTOBER

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				

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

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)

November

December

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

CONFERENCE OF THE MONTH

2023년 10월 25일~27일

132nd General Meeting of the Korean Chemical Society

장 소 | Gwangju, South Korea

안 내 | <http://new.kcsnet.or.kr/symposium>

2023년 10월 13일~14일

12th Chemistry Conference (12cc)

장 소 | Plovdiv, Bulgaria

안 내 | <http://12cc.uni-plovdiv.net/en/home>

클린 인터넷을 선언합니다



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

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

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

'정보통신망 이용촉진 및 정보보호 등에 관한 법률' 제70조(벌칙)

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

형법 제309조(출판물에 의한 명예훼손)

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



PROJECT · VIII

생물 복잡계에 대한 물리화학 연구



성봉준 Bong June Sung

- 서울대학교 화학과, 학사(1995-1999)
- 서울대학교 화학과, 석사(1999-2001)
- University of Wisconsin at Madison, 박사(2001-2006)

- University of Wisconsin at Madison, 박사 후 연구원(2006-2007)
- 서강대학교 화학과 교수(2007-현재)

화학과 생명과학은 떼려야 뗄 수 없는 관계를 갖고 있습니다. 화학의 가장 중요한 분야인 생화학을 언급할 필요도 없이, 화학자는 생물계를 중요한 연구 대상으로 여기고 있으며, 생명과학자는 화학 이론과 실험 기법을 생명과학 연구에 활발히 사용하고 있습니다. 지난 수십 년간 화학과 생명과학의 공존 관계는 더 깊어지고 넓어졌습니다. 『Physical Biology of the Cell』의 저자인 Caltech의 Rob Phillips 교수님은 생명과학 분야에 지난 50년간 방대한 양의 정량 실험 데이터가 축적되었고, 이제는 방대한 정량 데이터를 해석하고 의미를 찾아가는 과정이 필요하다고 주장하셨습니다. 또한, 생명과학 연구가 정성적인 결과를 얻는 데서 넘어 정량적인 이해를 구하는 패러다임 전환 중간에 있으며, 이를 위해서 복잡한 생물계를 체계적으로 탐구할 수 있는 물리화학의 역할을 강조하셨습니다. 따라서, 화학세계 10월호, 11월호, 12월호 총설에는 “생물 복잡계에 대한 물리화학 연구”를 주제로 물리화학자들이 복잡한 생물계를 이해하기 위해 개발한 이론과 실험 연구를 소개하고자 합니다. 10월호에는 중앙대학교 성재영 교수님께서 “단일효소 동력학과 세포화학동역학”에 대해 이야기해 주시고, 11월호에는 서울대학교 이남기 교수님께서 “단분자 이미징을 이용한 유전자발현 동역학 연구”에 대해 소개해 주실 예정입니다. 12월호에는 고려대학교 심상희 교수님께서 “유전체 3차원 구조의 초고해상도 이미징”에 대해 논의해 주실 예정입니다.

생물계는 대표적인 복잡계입니다. 복잡계는 분자 간 상호작용이 중요한 계(system)로 (i) 비선형성, (ii) 비평형, (iii) 무작위성을 특징으로 하는 다체계(many-body system)

입니다. 생물계는 당연히 많은 원자와 분자로 이뤄진 다체계이며, (i) 대부분 비평형 상태에 있으며, (ii) 외부 자극(온도, pH, 외력 등)에 비선형적으로 감응하고, (iii) 단백질 등의 생체 분자들은 무작위 하게 움직입니다. 통계 열역학은 복잡계의 여러 물성을 이해하고 예측하는 이론적 토대를 제공해 줍니다. 따라서, 생물계를 이해하는데 통계 열역학은 핵심적인 역할을 할 수밖에 없으며, 통계 열역학을 공부하는 이론화학자들은 생물계에 지대한 관심을 가질 수밖에 없습니다. 중앙대학교 성재영 교수님은 생명현상을 이해하는 데 있어 통계 열역학이 어떻게 성공적으로 공헌하는지 체계적으로 설명해 주실 예정입니다.

생물계를 살펴보는 실험 방법은 매우 다양합니다. 각각의 실험 방법은 나름의 장단점을 지니고 있고, 화학자들은 실험 방법이 갖는 단점을 극복하기 위해 꾸준한 노력을 해왔습니다. 2014년 노벨 화학상은 초고해상도 형광현미경을 개발해 살아있는 세포를 분자 수준에서 관찰할 수 있게 만든 세 명의 과학자에게 수여되었습니다. 이러한 단분자 이미징은 세포 안에서 DNA의 전사 과정과 단백질 구조 변화를 실시간으로 관찰할 수 있게 해주기 때문에, 생명 과학 연구에 새로운 장을 열어준 실험 방법으로 인정받고 있습니다. 이러한 실험 방법은 생명계 뿐만 아니라 2차전지 개발, 반도체 개발 등에도 활용될 수 있기 때문에 그 가능성은 매우 넓습니다. 서울대학교 이남기 교수님과 고려대학교 심상희 교수님은 단분자 이미징이 유전자발현 동역학과 유전체의 3차원 구조를 밝히는데 어떻게 활용되는지 상세히 알려주실 예정입니다. ☺

단일효소 동력학과 세포화학동력학

성재영 | 중앙대학교 화학과, jaeyoung@cau.ac.kr

서론

이번 세기 단일분자 분광학 및 이미징 기술과 초고해상도 현미경 기술 등 물리화학 실험기술의 비약적 발전으로 과거 관찰이 어렵던 단일 분자계, 나노입자계, 세포 내 반응계와 같이 작고 불균일한 계들의 화학반응을 어느 정도 관찰할 수 있게 되었다. 이와 같이 작고 불균일한 계의 화학반응의 속도는 크고 균일한 반응계를 잘 기술하는 반트 호프의 고전 화학 반응 속도론으로 설명이 잘 되지 않는다. 또 화학반응계가 작을 수록 반응분자와 생성분자의 농도가 시간에 따라 변화하며 평균 주변으로 큰 통계적 요동을 가지게 되는데, 이 분자들 농도의 시간에 따른 변화나 통계적 요동 실험 결과를 정량적으로 설명하고 이로부터 반응계에 대한 유용한 정보를 추출해 내는 것은 현재 물리화학 뿐 아니라 시스템 생물학, 정량생물학과 재료과학 분야 등 현대 과학 전 분야에 걸쳐 중요한 과제이다.

최근 세포와 같이 작고 불균일한 화학반응계에서 생성되고 소멸되는 분자들의 시간에 따른 변화를 정량적으로 기술할 수 있는 새로운 분자 수송 및 반응 동력학 모델과 이론들이 개발되었다. 본 총설에서는 이를 소개하고 관련 학문 분야를 간단히 전망해 보고자 한다.

본론

1. 단일분자 효소 촉매 반응 동력학

Sunney Xie 교수 그룹에서는 세계 최초로 단일 효소가

한번 촉매 반응을 수행하는데 걸리는 시간의 확률분포를 측정하여 발표하였다.¹

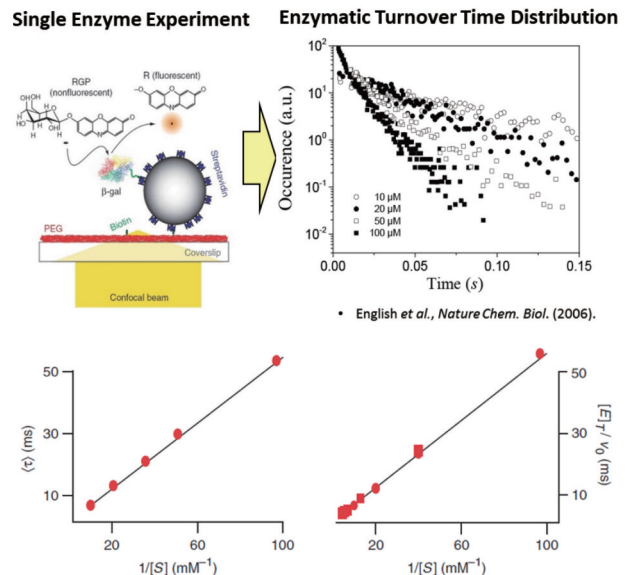


그림 1. 단일효소 (β -galactosidase)의 단일 촉매 반응에 걸리는 시간의 분포 실험 결과 [¹ English BP et al. *Nat Chem Biol* 2006, 2, 87-94.] 단일 효소 촉매 반응시간의 평균은 거시 효소 반응계를 기술하는 기존 효소 반응속도 모델로 잘 설명되지만 단일효소 촉매반응 시간의 분포는 기존 효소반응 속도론으로 설명할 수 없다[그림 3 참고].

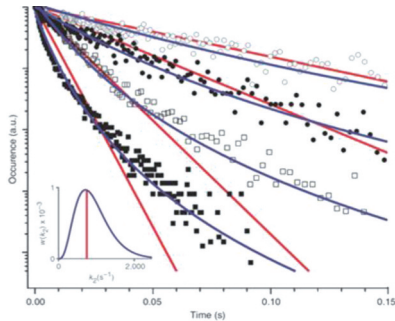
Xie 교수 그룹은 단일 효소 실험으로 측정된 단일 β -galactosidase의 촉매 반응시간 분포를 설명하기 위해 다음 고전 효소 반응 속도 모델에서 반응속도 계수 k_2 가 상수가 아니라 특정한 확률분포(감마 분포)를 가지는 확률변

수인 모델을 제안하였다.

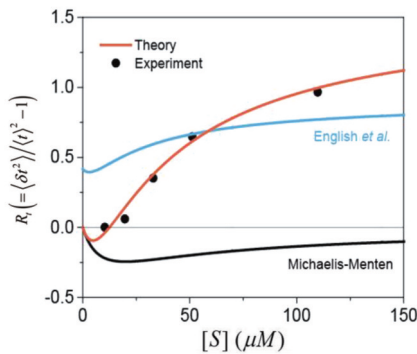


그림 2. 마이클리스-멘텐(Michaelis-Menten)의 고전 효소반응 속도 모델

이 k_2 를 정적확률변수로 보는 Xie 교수 그룹의 효소반응 속도 모델은 단일 효소 촉매 반응시간 분포의 꼬리 부분을 잘 설명할 수 있지만 이보다 중요한 단일효소 촉매 반응 시간의 평균주변으로의 요동 크기를 나타내는 상대분산(relative variance) 실험 결과는 이 모델로 설명할 수 없었다[그림 3].



English et al., Nature Chem. Biol. (2006).



Theory: Jung, Yang, and Sung, J. Phys. Chem. B (2010).

그림 3. (왼쪽) 단일효소반응시간 분포(검은점) 실험결과(붉은선) 고전 효소반응 속도 모델(파란선) Sunney Xie 교수 그룹의 효소 반응속도 모델(참고문헌 1). (오른쪽) 단일효소 반응시간 상대 분산의 기질농도에 따른 변화. 검은점은 실험결과, 검은선은 고전 효소반응속도 모델, 파란선은 참고문헌 1의 Sunney Xie 교수 그룹 모델, 붉은 선은 2010년 JPCB에 발표된 참고 문헌2에 발표된 이론의 해석 결과 [Yang, Cao, Silbey, and Sung, Biophys. J. 2011, 101, 519.]

단일효소 촉매반응시간 상대분산 실험결과는 다음과 같은 새로운 효소 반응 속도 모델로 정량적으로 설명될 수 있었다.



그림 4. 참고문헌2의 효소반응속도 모델. $\varphi_{-1}(t)$ 와 $\varphi_2(t)$ 은 각각 효소-기질 복합체의 분열반응 ($S+E \leftarrow ES$)의 반응시간 확률분포 그리고 효소-기질 복합체의 촉매반응 ($ES \rightarrow E+P$)의 반응시간 확률분포를 나타낸다.

[그림 4]에 표현된 이 새 효소 반응속도 모델에서는 효소-기질 복합체의 반응속도들을 반응시간 확률분포로 나타내고 있는데, 이는 반응속도를 항상 반응속도상수로 표현하는 기존 반응속도론의 틀을 벗어난 것이다.⁴ [그림 4]에 표현된 효소 반응속도 모델을 사용하면 $\varphi_{-1}(t)$ 와 $\varphi_2(t)$ 의 구체적인 모양이 무엇이든 상관없이 효소 반응 시간의 분산을 다음 식으로 얻을 수 있다.²

$$R_t = \frac{P_2 x (R_{ES} x - 2)}{(x + 1)^2}$$

수식의 R_t 는 효소반응시간 상대분산-1 즉, $R_t = \langle \delta t^2 \rangle / \langle t \rangle^2 - 1$, x 는 기질 농도를 마이클리스-멘텐 상수로 나눈 값 $x = [S] / K_M$, p_2 는 효소 기질 복합체가 촉매반응에 성공할 확률, 그리고 R_{ES} 는 효소-기질 복합체 생존시간의 상대분산-1을 의미한다.

[그림 4]의 새로운 효소반응속도 모델로부터 얻어진 수식 (1)은 [그림 3]에 보여진 것 같이 단일 효소 반응시간의 상대분산 실험결과를 정량적으로 설명할 수 있다. 이 분석으로부터 효소-기질 복합체가 촉매반응에 성공할 확률 $p_2 \cong 0.45$, 그리고 효소-기질 복합체 생존시간의 평균은 0.67msec, 상대분산은 3.2 정도이고 k_1 는 $7.46 \times 10^7 \text{ M}^{-1} \text{ sec}^{-1}$ 정도임을 알 수 있다.³ 이 같은 정보는 효소 반응 시간의 평균 혹은 평균 효소 반응 속도를 분석하는 고전 효소반응 속도이론으로는 알아 내기 어려운 것으로 단일효소 반응시간 분산 실험결과를 정량적으로 분석하여야 얻을 수 있는 것이다.

2. 신경 세포 내 소포체-모터단백질 복합체의 ATP 가수분해 연동 미세소관 상 운동

광주과학기술원 화학과 이강택 교수 그룹은 신경 세포 내 모터단백질들에 의해 미세소관을 따라 수송되는 개별 소포체들의 운동 궤적을 업컨버전 나노입자 프로브를 사용하여 정교하게 관찰해 내었다.⁵ 이 실험 결과는 소포체(vesicle)들의 미세소관(microtubule) 방향 운동은 기존에 알려진 활성 물질(active matter)들이나 액체상 분자나 이온의 열운동(thermal motion)과는 질적으로 다른 통계적 양상을 보여주었다[그림 5].

이 실험 결과는 미세소관 상 핵에서 막쪽으로 운동을 수행하는 키네신(kinesin) 분자모터들과 막에서 핵으로 운동을 수행하는 다이네인(dynein) 분자모터들이 동시에 하나의 소포체와 결합하여 줄다리기를 하되 두 종류의 분자모터가 소포체를 끄는 힘이 비슷할 때는 마치 열운동 같은 양방향 운동을 하고 둘 중 한 종류의 분자모터가 끄는 힘이 클 때에는 한 방향 운동을 하는 모델을 사용하여 정량적으로

로 설명할 수 있었다[그림 6].

이 모델에서 모터단백질 복합체 내 kinesin 혹은 dynein 들이 Adenosine Triphosphate (ATP)를 가수분해하여 미세소관 상 옆 자리로 이동하는 동력학을 [그림 4]에 등장하는 일반화된 효소반응 속도 모델을 사용하였다. 이 모델을 사용해 소포체 기질 복합체 운동의 평균 제곱 이동거리, 비정규 계수(non-Gaussian parameter), 그리고 이동거리 확률분포의 시간에 따른 변화를 일관되게 설명할 수 있었다. 이 분석을 통해 소포체-모터단백질 복합체가 한 방향 운동을 하는 상태의 확률이 불과 2% 밖에 되지 않고, 한 방향 운동을 할 때 마이크로튜불상 평균 이동 속도는 $1.31 \mu\text{m/s}$ 그리고 양방향 운동을 98% 정도 하는데 이 운동의 확산계수의 값이 $3.4 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2/\text{s}$ 임을 알아낼 수 있다. 이 모델은 소포체-모터단백질 복합체가 한방향 운동을 하는 상태의 확률이 2% 밖에 되지 않지만 이로 인해 소포체를 리가 마이크로미터 이상 수송하는데 걸리는 시간의 평균이 일반 양방향 운동에 비해 크게 줄어드는 것을 예측하였는데, 이 예측이 실험 결과와 정량적으로 일치하는 것도

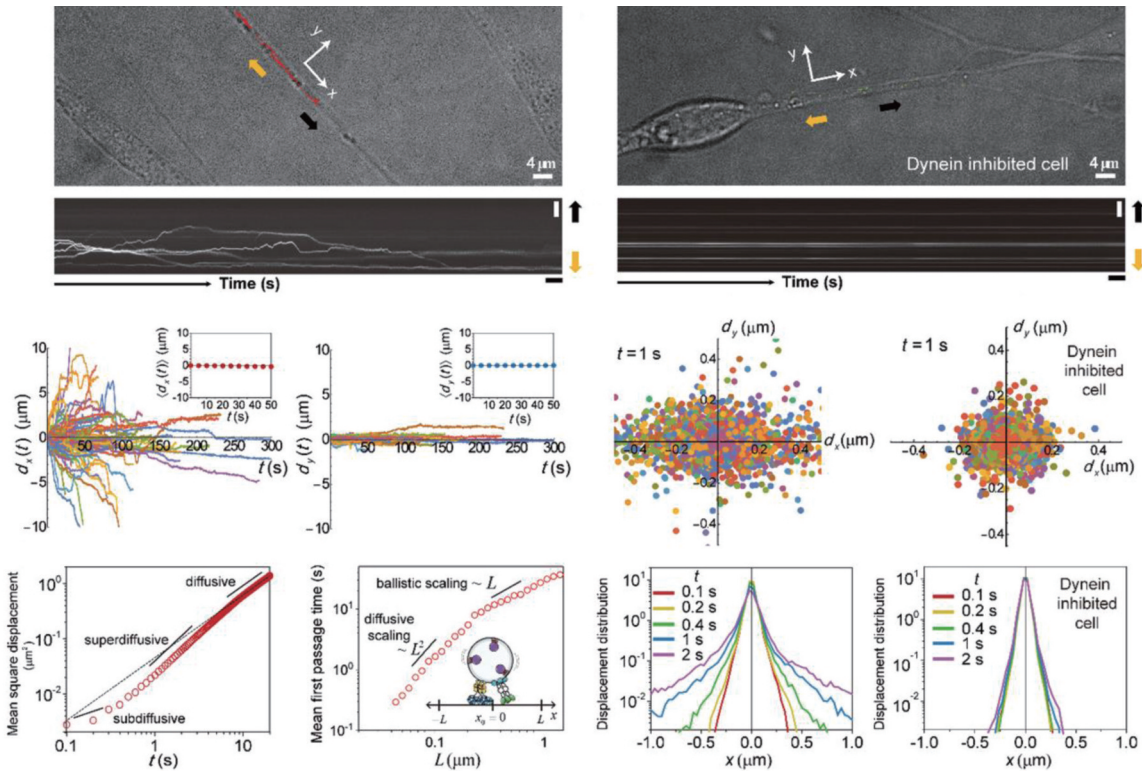


그림 5. 신경세포 내 소포체(Vesicle)-모터단백질 복합체의 운동 실험결과

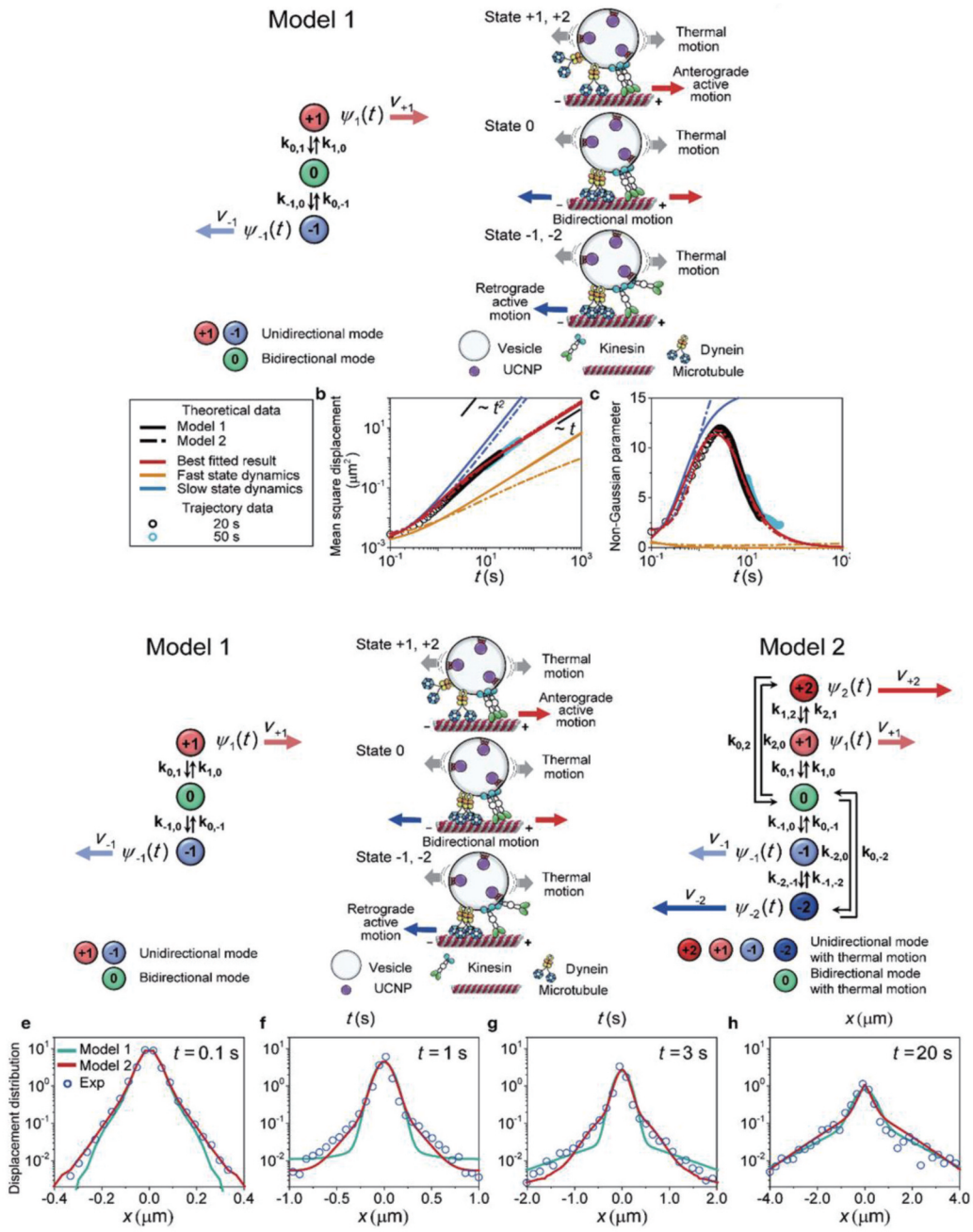


그림 6. Multi-state Motor Protein Multiplex (MPM) 모델을 사용한 신경세포 내 소포체-모터단백질 복합체 운동의 평균 제곱 이동거리, Non-Gaussian 계수, 이동거리 확률분포의 정량적해석

확인되었다.⁵

3. 복잡매질 내 입자의 열운동과 화학반응 동력학

복잡 매질내 분자나 이온 혹은 나노입자의 열운동은 아

인슈타인의 브라운 운동이론으로는 정량적으로 설명하기 어려운 통계적 양상을 보여준다는 사실이 지금은 잘 알려져 있다. 고전 브라운 운동이론에 따르면 평균 제곱 이동 거리는 관찰시간에 선형적으로 증가해야 하지만 복잡액체 내 입자들의 열운동은 공통적으로 관찰시간에 선형으로 비례

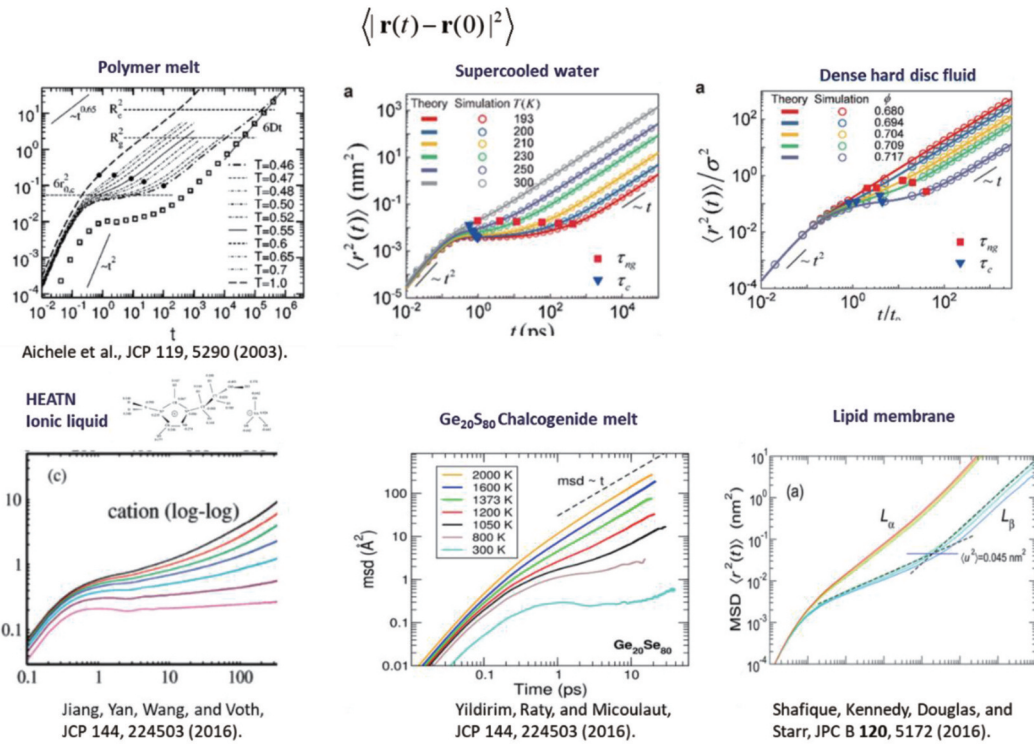


그림 7. 다양한 복잡액체 내 입자들의 평균제곱 이동 거리의 시간에 따른 변화

하지 못하는 아 확산(subdiffusion)양상을 일시적으로 보여준다. 그리고 입자들의 이동 거리 확률분포도 브라운 운동 이론에 따르면 정규 분포를 따라야 하지만 복잡액체 내 입자들의 이동거리 확률분포는 일시적으로 크게 정규분포에서 벗어나는 양상을 보여주는데, 이는 거의 모든 복잡액체에서 공통적으로 관찰되는 현상이다.

이 복잡 매질 내 입자들의 열운동은 매질 내 입자들의 화학반응 속도에 큰 영향을 미치게 되므로 이를 이해하는 것은 복잡매질 내 화학 반응 동력학이나 고체 전해질 배터리 내 전하 수송을 이해하는데 선결 조건이 된다.

1970년대 Sher과 Montroll은 연속시간 운동자(Continuous Time Random Walk) 모델⁶을 사용하여 비정질 반도체내 광전류의 시간에 따른 변화 양상을 성공적으로 성공하였는데⁷ 이 논문은 현재까지 3,700번 이상 인용되는 등 물리학계의 큰 관심을 받은 바 있다. 그러나 이 연속시간 운동자 모델은 복잡액체 내 입자의 비정규 이동거리 분포를 설명할 수 없다(그림 8).

최근 다양한 복잡 매질 내 입자들의 열운동 양상을 일관

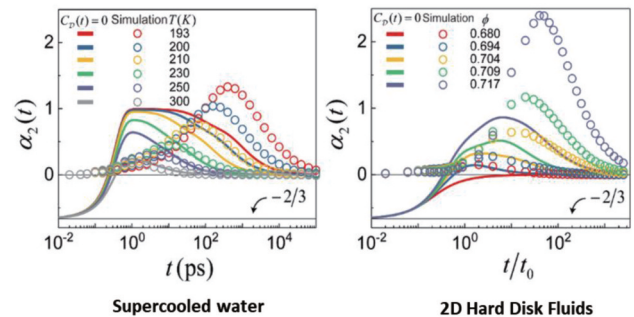
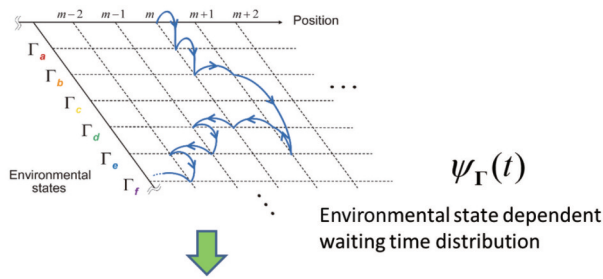


그림 8. 과냉각수(Supercooled water)와 이차원강체유체(2D Hard Disk Fluids)의 이동거리분포의 비정규계수(Non-Gaussian parameter) $\alpha_2(t)$ 의 시간에 따른 변화. (원) 정확한 전산모사 결과 (선) 연속시간 운동자 모델의 결과결과 [Song et al., Proc. Nat. Acad. Sci. 2019, 116, 12733.]

되게 설명할 수 있는 수송방정식이 제시되었다.⁸ 복잡 매질 내 입자들의 열운동은 입자들 주변의 미시적인 환경이 끊임 없이 변화하고 있어 입자가 공간상 한 영역내에 머무르는 시간의 분포(waiting time distribution)가 주변환경에 따라 변화하는 것을 고려하기 위해 주변환경에 의존하는



$$\hat{p}(\mathbf{r}, \Gamma, s) = \hat{D}_{\Gamma}(s) \nabla^2 \hat{p}(\mathbf{r}, \Gamma, s) + L(\Gamma) \hat{p}(\mathbf{r}, \Gamma, s)$$

$$\hat{D}_{\Gamma}(s) = (e^2 / 2) s \hat{\psi}_{\Gamma}(s) / [1 - \hat{\psi}_{\Gamma}(s)]$$

Γ : the entire set of dynamic or static variables affecting transport dynamics of tracer particles

그림 9. 복잡용액 내 입자의 열운동 양상을 기술하기 위한 연속시간 운동자 모델의 확장⁸ 모두 측정하기 어려운 환경변수 Γ 에 의존하는 입자 단위부피 머무름 시간 확률분포 $\psi_{\Gamma}(t)$ 와 이 모델로부터 얻어지는 복잡용액 수송방정식

머무르는 시간의 분포를 도입하여 얻어 낼 수 있다[그림 9]. 이 모델을 사용하여 복잡용액 내 입자의 이동거리 확률 분포를 기술하는 일반적인 수송 방정식을 얻어 낼 수 있다. 이 수송 방정식은 다른 더 일반적인 모델로도 얻어 낼 수 있는데, 우리가 관심을 가지는 입자를 포함한 일반 복잡 매

질내 모든 입자들이 뉴턴 방정식을 만족하는 것으로 가정하고 이에서 출발하여 통계역학에 개발되어 있는 Projection Operator Technique를 적용하면 같은 수송 방정식을 얻어 낼 수 있다.

이 수송 방정식의 해를 사용하여 다양한 복잡용액 내 입자들의 이동거리 분포의 다양한 통계적 양상을 정량적으로 설명해 낼 수 있음이 확인되었다[그림 10].

이 분석을 통해 복잡용액 내 입자들 이동거리 분포의 통계적 양상은 크게 두가지 함수에 의해 결정되는 것이 밝혀졌다. 이 중 하나인 diffusion-kernel correlation function (DKC)이라는 함수 다른 함수인 velocity autocorrelation function과 함께 비정규 분포계수를 결정한다. DKC는 긴 시간 영역에서 확산계수의 시간 상관함수(time correlation function)로 해석할 수 있는데 복잡용액의 경우 DKC가 0이 되지 않는 것은 복잡매질 내 입자의 확산 계수가 상수가 아니라 시간에 따라 요동치는 동적 확률변수 인 것을 의미한다.

참고 문헌 8의 수송방정식의 적용범위는 매우 넓는데 최근 Stanford 재료공학과와 Aaron Linderberg 교수 그룹이 연구한 전고체 배터리 내 전하들의 수송의 통계적 양상이 참고문헌 8의 수송방정식과 해로 설명할 수 있는 것으로 드러났다.⁹

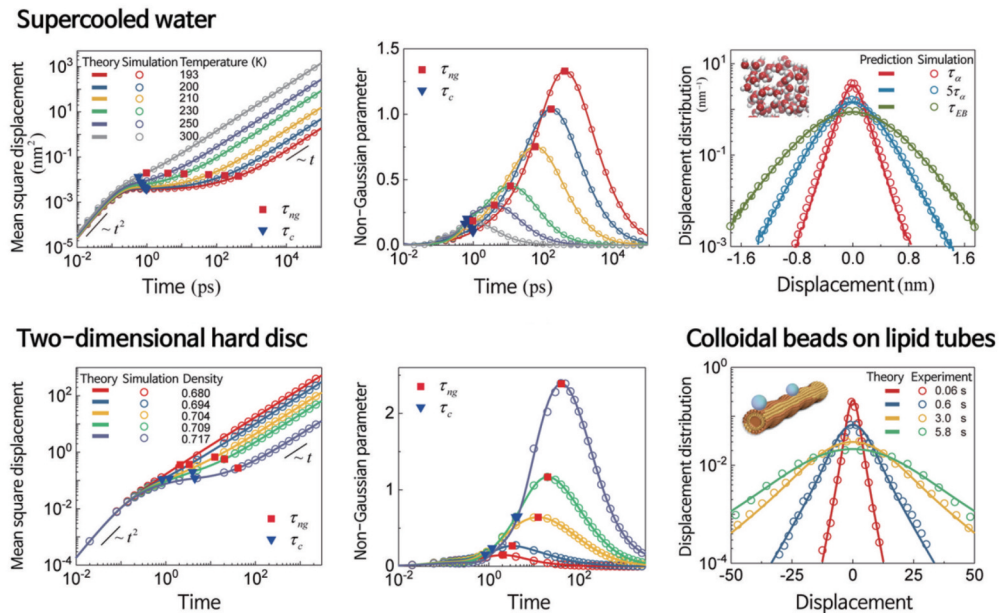


그림 10. 다양한 복잡액체 내 입자들의 평균제곱이동거리, 비정규계수, 이동거리 확률분포의 전산모사 실험결과와 참고문헌 8에 제시된 복잡용액 내 입자 수송방정식의 해 비교

4. 세포화학동역학과 화학요동법칙

생명체가 어떻게 무질서한 화학반응과정들로부터 생명 기능 개발과 유지에 필요한 질서를 구현하는지는 자연과학 분야의 가장 중요한 질문 중 하나이다. 이번 세기 각광을 받기 시작한 시스템 생물학에서는 유전자 발현과정에 대해 이 문제를 제기 하였는데, 그 이유는 유전자 발현과정이 모든 생명현상의 근간이기 때문이다.

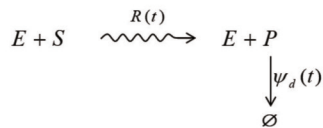
유전자 발현과정은 수많은 화학반응들로 구성된 복잡한 확률적 과정이다. 화학반응들이 근본적으로 불확실성을 내포하는 확률과정이기 때문에 세포들은 유전자 발현량을 완벽하게 조절 하지 못한다. 유전자가 같은 세포들이라 할지라도 유전자 발현으로 생성되는 mRNA와 단백질의 개수는 세포마다 다르게 되는데, 이는 유전자가 같은 세포들도 다양한 기능과 성질을 보이게 되는 원인이 된다. 생명체들은 세포들의 유전자 발현량을 환경에 따라 바꾸어가며 적응을 하고, 주어진 환경에서는 기능을 유지할 수 있도록 유전자 발현량을 일정 범위내로 조절하는데 이에 실패할 경우 환경적응과 생명기능 유지에 문제가 생긴다.

최근 실험 기술의 발전으로 개별 세포 단위로 유전자 발현으로 나타나는 mRNA와 단백질의 정량적인 측정이 가능해졌다. 유전자 공학기술과 합성생물학의 발달로 살아있는 세포 내 유전자와 유전자 발현 과정을 여러 가지로 바꾸어 가며 이 변화가 어떻게 세포의 유전자 발현 조절 능력에 영향을 미치는지에 대한 연구가 최근 폭발적으로 늘어났다. 하지만 유전자 발현과정을 구성하는 화학반응 속도를 정확

하게 기술하는 모델이나 이론이 없어 이 실험 결과들을 정량적으로 이해하는 것은 불가능 한 일로 생각되어 왔다.

현재 시스템 생물학 분야에서 주로 사용하고 있는 이론은 1945년 노벨 물리학상을 수상했던 저명한 물리학자 파울리가 개발한 마스터 방정식 접근법을 화학반응과정에 적용한 것인데 이 접근법은 1901년 노벨 화학상의 첫 수상자인 반트 호프가 제안한 화학반응속도론에 기초하고 있다. 이 반트 호프의 화학반응속도론에서는 기본적으로 개별 화학반응의 속도 계수가 상수라는 것을 전제하고 있다. 그러나 세포 내에서 일어나는 화학반응과정은 속도 계수가 다양한 변수에 의존하여 세포마다 다르고 시간에 따라서도 요동치는 경우가 많다. 유전자 발현과정의 경우 유전자와 효소들의 분자 구조, 유전자 발현 조절 상태, 유전자 복사체 개수, 세포 주기, 세포 영양상태등 수많은 환경변수에 따라 유전자 발현과정을 이루는 화학반응의 속도계수가 달라지는데, 이 세포 환경변수 값이 세포마다 다르고 시간에 따라 요동치기 때문에 반응속도계수 역시 그러하게 된다. 세포 내 화학반응이 아닌 경우에도 분자 생성과 소멸과정의 속도를 간단한 속도상수개념에 기초하여 설명할 수 없는 경우는 얼마든지 있다. 예를 들면 분자의 생존시간 확률분포가 지수함수가 아닌 경우는 얼마든지 있는데, 이런 경우 기존 화학반응 속도이론이나 마스터 방정식으로는 기술이 불가능하다.

화학요동법칙: 세포 내 생성 및 소멸되는 분자들에게 일반적으로 성립하는 화학요동 법칙을 수학적 연역을 사용하여 엄밀하게 유도하였다(그림 11). 이 간단한 수식은 어떤 화학 반응 네트워크를 통해 생성 및 소멸 되는 분자의 농도



Exact results

Mean

$$\langle n(t) \rangle = \int_0^t d\tau S(t-\tau) \langle R(\tau) \rangle$$

Variance

$$\sigma_n^2(t) = \langle n(t) \rangle + \int_0^t d\tau_2 \int_0^{\tau_2} d\tau_1 S(t-\tau_1) S(t-\tau_2) \langle \delta R(\tau_2) \delta R(\tau_1) \rangle$$

그림 11. 일반적 생성-소멸 과정을 거치는 분자의 평균과 분산의 시간에 따른 변화를 정확하게 기술하는 화학요동법칙(Cheical Fluctuation Theorem).¹⁰

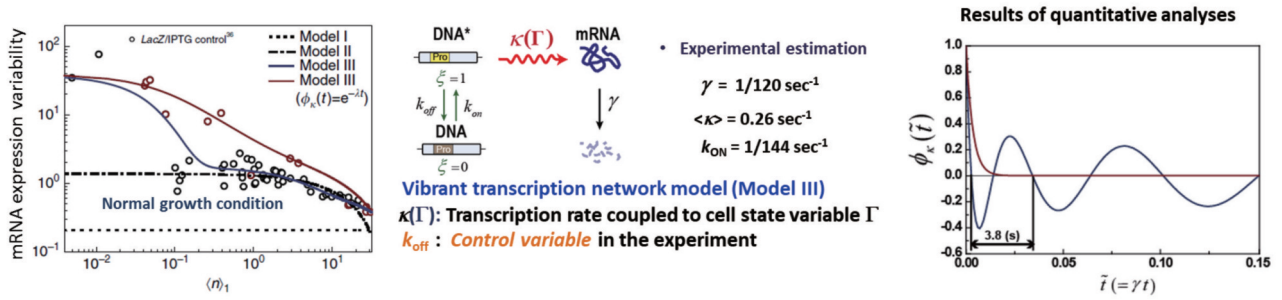


그림 12. 다양한 복잡역체 내 입자들의 평균제곱이동거리, 비정규계수, 이동거리 확률분포의 전산모사 실험결과와 참고문헌 8에 제시된 복잡역체 내 입자 수송방정식의 해 비교

평균과 분산이 어떻게 이 분자의 생존시간 확률분포와 생성반응 속도의 시간 상관함수에 의존하는지를 선명하게 보여준다. 생성반응 속도 상수의 시간 상관함수는 반응 네트워크 구조와 네트워크를 구성하는 개별 화학반응의 확률적 성질과 연관되어 있는 양이다.¹⁰ 간단한 예로 다채널 화학반응의 경우 생성반응속도 시간상관함수는 단조 감소함수가 되지만 여러 단계를 거쳐 일어나는 반응의 경우에는 진

동하는 함수꼴을 가지게 된다(그림 12).

화학요동법칙의 정확성은 분자 생성속도가 요동치는 몇 가지 경우에 대해 정확한 전산모사 결과와 화학요동법칙의 예측결과가 완벽하게 일치함을 통해 확인 할 수 있었다.¹¹ 이 화학요동 법칙을 사용하여 *E. coli* 내 *lac Z* gene으로부터 발현되는 messenger RNA (mRNA) 발현량의 평균과 세포간 변화량(cell-to-cell variation)이 어떻게 유전자 발

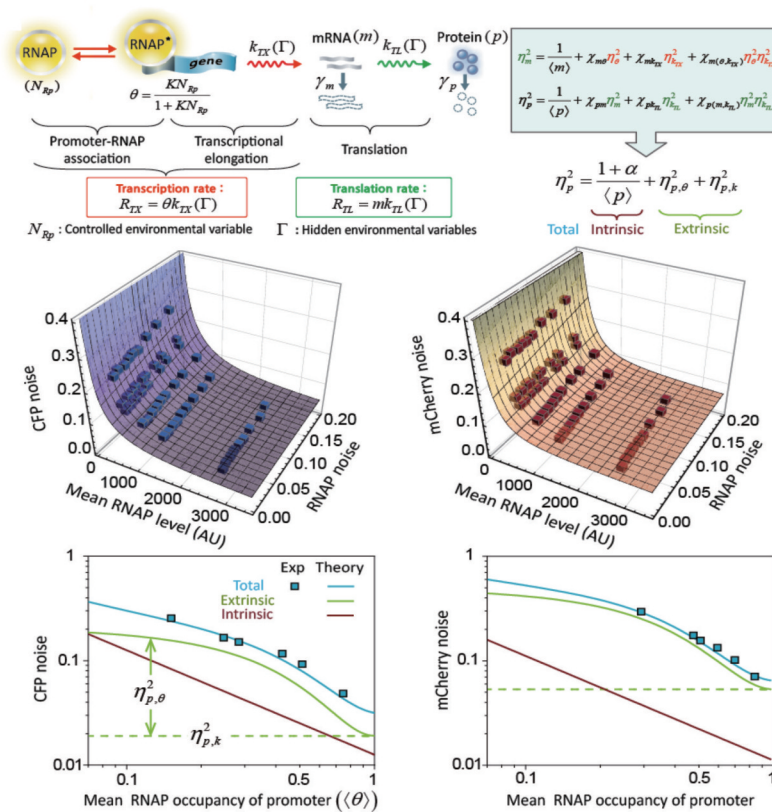


그림 13. 세포 내 RNA polymerase 농도요동이 세포 내 mRNA와 단백질 농도 요동에 어떻게 파 급되는지에 대한 실험 결과에 대한 정량적 연구

현유도제의 양에 따라 변화하는지를 관찰한 실험 결과¹²를 정량적으로 설명해 낼 수 있다.¹⁰


이 분석을 통해 세포들의 전사속도의 시간상관함수를 얻어 낼 수 있는데 이 전사속도 시간 상관함수가 세포들의 영양 상태에 따라 모양이 달라지는 결과를 얻었다. 이는 이미 잘 알려진 전사과정 메커니즘을 이용해 설명할 수 있었다. 이외에도 화학요동법칙을 사용하면 여러가지 다양한 세포내 유전자 발현 실험 결과를 일관되게 정량적으로 설명할 수 있다. 예를 들면 *E coli* 내 RNA polymerase 농도의 세포간 변화의 크기나 분포가 변화할 때 어떻게 RNA polymerase 가 발현하는 mRNA나 단백질 발현의 세포 간 변화의 크기가 변화하는지를 유전자 발현과정에 대한 세포화학 반응동력학 모델을 사용하여 정량적으로 설명해 내었고,^{11,13} 이를 통해 upstream noise가 downstream noise에 어떻게 전파되는지에 대한 일반적인 규칙을 찾아 낼 수 있었다.¹¹

세포 내에서 일어나는 생화학과정을 이루는 다단계 화학 반응들을 고전화학반응 속도론에 기반한 반응속도 상수로 정확하게 기술하는 것은 사실상 불가능에 가깝다. 그러나 [그림 4]와 [그림 9]에 개념을 소개한 반응시간 분포함수를 사용하여 생화학과정들의 동력학을 효과적으로 정확하게 기술 할 수 있다.

화학요동법칙은 고전화학반응속도론으로는 정확히 기술 할

수 없는 생존시간 분포함수가 지수함수가 아닌 생고분자들의 동력학도 별 어려움 없이 기술 할 수 있다는 장점도 있어 다양한 단백질 소멸 기작에 따른 세포 내 단백질 농도 평균 및 분산의 동력학을 연구하는데 사용될 수 있다. 현재 화학요동법칙은 세포 내 신호전달 네트워크 동력학과 세포간 신호전달 네트워크 동력학을 연구하기위해 확장되고 있다.¹⁴

결론

각종 생명 현상을 세포 내 혹은 세포 간 화학반응네트워크 동력학 모델을 사용하여 정량적으로 이해하는 것은 현대 과학의 궁극적 목표 중 하나이다. 이는 달성하기 쉽지 않은 목표이지만, 현재 세포 내 생화학과정에 대한 다양한 스케일에서의 실험 연구방법들과 여기에 소개한 세포화학동력학을 포함한 새로운 형태의 반응속도론과 비평형 통계역학적 연구를 상승효과 있게 병행하면 생명 현상 기저에 있는 생체 화학 반응네트워크에 대한 예측 능력이 있는 정량적 모델을 수립할 수 있을 것이다. 이 세포화학동력학 실험 및 이론의 발전을 통해 질병과 약동력학과 관련된 생체 화학 반응 네트워크의 정량적 모델을 가질 수 있게 되면 의약학 산업에도 큰 발전을 가져 올 수 있는 것으로 기대된다. 



1. English, *et al.*, *Nat Chem Biol* **2006**, 2, 87-94.
2. Jung, Yang, and Sung, *J. Phys. Chem. B* **2010**, 114, 9840.
3. Yang, Cao, Silbey and Sung, *Biophys. J.* **2011**, 101, 519.
4. Sung and Silbey, *Phys. Rev. Letters* **2003**, 91, 160601.
5. Shin *et al.*, *J. Phys. Chem. Letters* **2019**, 10, 3071.
6. Montroll and Weiss, *J. Math. Phys.* **1965**, 6, 167.
7. Scher and Montroll, *Phys. Rev. B* **1975**, 12, 2422.
8. Song *et al.*, *Proc. Nat. Acad. Sci.* **2019**, 116, 12733.
9. Poletayev, Dawson, Islam, Lindenberg, *Nat. Mater.* **2022**, 21, 1066.
10. Park *et al.*, *Nature Commun.* **2018**, 9, 297.
11. Lim *et al.*, *Phys. Rev. X* **2015**, 031014.
12. So *et al.*, *Nat. Gen.* **2011**, 43, 554.
13. Yang *et al.*, *Nat. Commun.* **2014**, 5, 4761.
14. Kang *et al.*, *Nat. Commun.* **2022**, 13, 6506.



성재영 Jeung Gon Kim

- 서울대학교 화학과, 학사(1987.3-1991.2)
- 서울대학교 화학과, 물리화학 석사 (1991.3-1993. 2, 지도교수 : 이상엽)
- 서울대학교 화학과, 물리화학 박사 (1993.2-1997. 8, 지도교수 : 이상엽)
- 서울대학교 기초과학연구소, 박사 후 연구원(1997.9-1998.8)
- 고려대학교 기초과학연구소, 박사 후 연구원(1998.9-2000.8)
- 메사추세츠 공과대학 화학과, Postdoctoral Associate
- 중앙대학교 화학과 조교수, 부교수(2004.3-2012.2)
- 중앙대학교 화학과 교수(2012.3-현재)
- 세포화학동력학 창의연구단장(2015.12-현재)
- 4단계 BK21 생물리광화학 창의인재양성사업단(2020.9-현재)

무작위성의 역설과 서열의 짝맞추기 문제

신민중, 유지민, 서명은* | KAIST 화학과, seomyungeun@kaist.ac.kr

서론

축구 경기를 시작하기 전 심판은 양 팀의 진영을 결정하기 위해 동전을 던진다. 속임수가 없는 동전을 공정하게 던진다면 앞면과 뒷면이 나올 확률은 같다. 앞면을 1, 뒷면을 0으로 정의하고 각 면이 나올 확률을 p 와 q 라 하면 시행의 결과 X 를 얻을 확률은 베르누이(Bernoulli) 분포에 따라 아래와 같이 기술할 수 있다.

$$P(X = 1) = p = 1 - P(X = 0) = 1 - q, p = q = 0.5$$

동전을 던진 결과를 기록하면서 시행을 반복하면, 무작위 하게 생성된 0과 1로 이루어진 서열을 얻을 수 있다. 가능한 서열의 가짓수는 시행의 횟수에 따라 기하급수적으로 증가한다. 즉 동전을 N 번 던지면 2^N 개만큼의 서열이 존재할 수 있다. 동전을 23번 던져 얻을 수 있는 서열 중 세 개를 아래에 보였다.¹

```
000000000000000000000000
01101010000010011110011
11011110011101011111011
```

적어도 첫 번째 서열은 전혀 무작위 하지 않아 보이지만, 진실로 무작위 한 시행의 결과라면 사실 세 서열이 나올 확

률은 정확히 같다. 이 “무작위성의 역설”은 서열을 보고 무작위 한지를 판단한다는 것이 생각보다 얼마나 어려운지를 단적으로 드러낸다. 각각의 서열은 서로 매우 다르고 또한 하나의 서열 안에서도 같은 숫자가 반복되어 평균값(0.5)에서 크게 벗어나는 매우 이질적인 구간들이 종종 존재하기 때문에, 한 번 사는 인생에서 “머피의 법칙”이 특정 시점의 나한테만 적용된다고 단정 지을 수는 없는 것이다. 반면 충분히 많은 수의 서열들이 모여 앙상블(ensemble)을 구성한다면, 각 요소 사이에 별다른 상호작용이 없는 경우 전체적으로는 0과 1이 무작위 하게 섞여 고른 분포를 보이게 된다. 이처럼 무작위 한 시스템은 미시적으로는 극히 불균일하면서도 거시적으로는 균일한 특성을 나타낸다.

고분자화학은 서열의 앙상블을 연구하기에 적합하고 독특한 수단이다. 사슬 말단에 작은 단량체 분자들을 공유결합으로 계속 이어 붙여 고분자를 만들 때, 해중합(depolymerization)이 일어나지 않는다는 전제하에 만들어지는 각 사슬은 개개의 단량체가 더해진 결과를 영구적 서열로 기록한다. 두 종류의 단량체가 무작위 하게 도입되도록 중합 시스템을 설계하면 무작위 한 서열의 앙상블로 구성된 공중합체(copolymer)를 쉽게 얻을 수 있다. 이와 같은 무작위 한 공중합체들은 최근 단백질 안정화, 내재적으로 무질서한 단백질(intrinsically disordered protein), 액체-액체 상 분리(liquid-liquid phase separation) 등 다양한 생명 현상과 연관되면서 큰 관심을 끌고 있다.² 이 글에

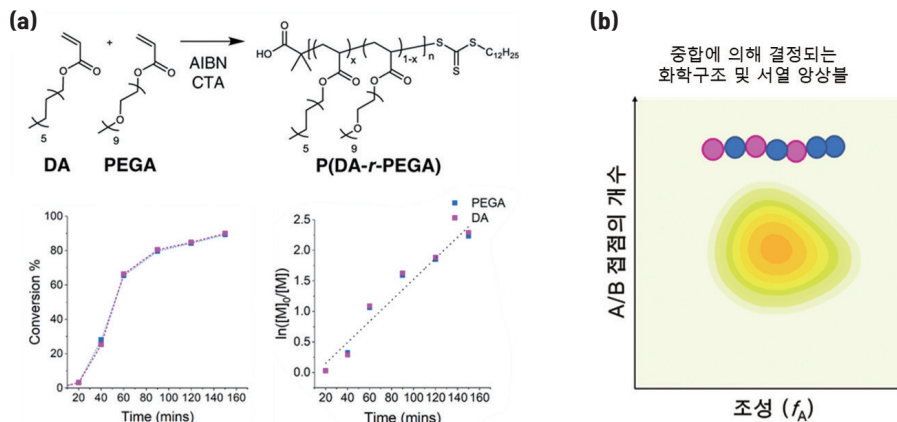


그림 1. (a) 도데실 아크릴레이트와 올리고(에틸렌 글리콜) 아크릴레이트의 공중합에서 얻어지는 시간당 전환율(conversion)과 일차 동역학(first-order kinetics)을 나타낸 그래프. (b) 무작위한 중합체에서 사슬 당 단량체의 조성(단량체가 만나는 접점의 개수)으로 표현한 서열의 분포.

서는 무작위 한 서열로 이루어진 공중합체에 대한 연구를 짧게 고찰한 후, 특정한 단량체끼리 상호작용이 존재하는 경우에 대해 초점을 맞추고 서열 사이의 짝맞춤 과정을 통해 새로운 질서가 출현하는 현상을 중점적으로 다루고자 한다.

본 론

1. 무작위 한 중합 시스템과 무작위 한 공중합체

성장하는 사슬 말단에 단량체 0 또는 1이 붙는 반응을 상상해 보자. 각 단량체의 화학 구조가 매우 유사해서 말단의 종류와 상관없이 어느 쪽이 붙어도 자유 에너지의 이득이 비슷하다면, 동전을 던지는 것과 마찬가지로 무작위 한 시행이 일어나 무작위 한 서열의 공중합체가 얻어질 것으로 생각할 수 있다. 고분자화학에서는 이를 두 단량체의 반응비(reactivity ratio)가 1로 같다고 표현한다.³ 예컨대 라디칼 센터에 이중 결합이 첨가되어 C-C 결합을 형성하는 중합 반응에서, 모두 아크릴계 단량체에 속하는 도데실 아크릴레이트(dodecyl acrylate)와 올리고(에틸렌 글리콜) 아크릴레이트(oligo(ethylene glycol) acrylate)의 반응비는 1에 매우 가깝다[그림 1a]. 이때 각 단량체가 고분자에 도입되는 비율은 중합 혼합액 내의 단량체 조성을 따른다. 즉 단량체 0이 60%, 1이 40% 존재한다면 얻어지는 공중합체

는 0:1의 몰비가 6:4인 평균 조성을 가진다.

단량체 0만 계속 연결되다가 0이 모두 사라진 이후 1만 계속 연결되는 블록 공중합체(block copolymer)와 0과 1이 교대로 연결되는 교호 공중합체(alternating copolymer)가 단일한 서열을 지니는 데 비해, 무작위 한 중합을 통해 얻어진 공중합체의 서열 분포는 매우 복잡하며 공중합 시스템을 통해 얻을 수 있는 가능한 서열 분포 중에 가장 넓은 범위에 퍼져 있다. 사슬 하나당 단량체가 몇 개 붙었는지를 가리키는 척도인 중합도 N (degree of polymerization, DP)이 80이 되면 무작위 한 서열의 가능한 가짓수는 아보가드로 수를 넘어선다. [그림 1b]는 각 사슬당 단량체의 조성(단량체가 만나는 접점의 개수)으로 무작위 서열의 분포를 표현한 것이다.

전술한 바와 같이 각 서열은 부분적으로 매우 불균일한(segmental heterogeneity) 구조를 지닐 수 있다. 캘리포니아 주립대학 버클리의 Xu 그룹에서는 이 특성에 주목하여 두 종류의 소수성 잔기와 각각 전하를 띠거나 띠지 않는 두 종류의 친수성 잔기로 구성된 네 메타크릴레이트계 단량체를 무작위 중합해 양친매성 공중합체를 만들고, 이들이 수용액 조건에서 단백질 및 지질 이중층(lipid bilayer)과 상호작용하는 양상을 조사하였다.^{4,5} 수많은 공중합체 중에서는 음전하, 양전하, 친수성, 소수성 등 복잡하고 다양한 특성을 지니는 단백질의 표면과 가장 잘 맞는 구간들을 포함하는 서열들이 있을 것이므로, 이들이 소수성 표면

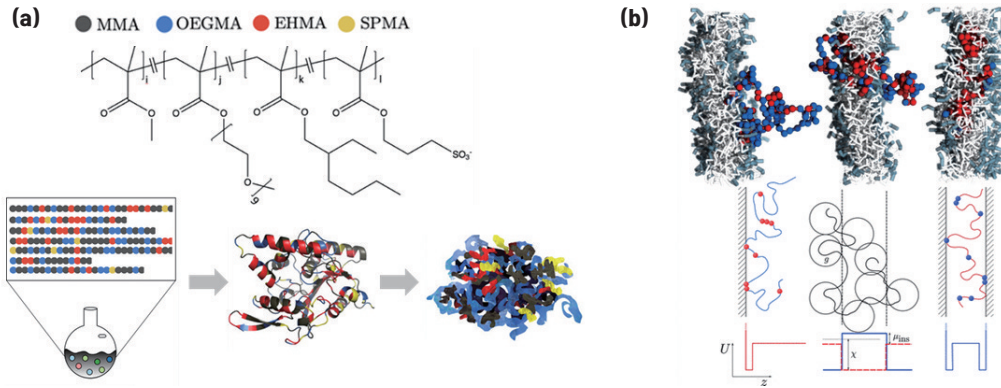


그림 2. 무작위한 단량체들의 서열을 가지는 공중합체의 화학 구조 및 서열의 복잡성에 따라 발생하는 부분 이질성에서 유도되는 자기조립 거동의 예시. (a) 친수성, 소수성, 전하를 띠는 잔기를 갖는 네 종류의 단량체가 무작위하게 분포된 서열을 갖는 공중합체가 단백질 표면을 안정화. (b) 막단백질과 같이 지질 이중층 내부에 자리잡아 세포 내로 물질을 전달하는 역할을 수행.^{6,7}

을 감싸고 친수성 잔기를 표면에 노출하여 단백질을 안정화할 수 있음을 보였다[그림 2a].⁶ 또한 세포 내 벽을 이루는 지질 이중층의 경우에도 마찬가지로 적절한 서열로 이루어진 공중합체는 생체막에 위치하는 막 단백질과 유사하게 소수성인 지질 이중층 내부와 친수성인 이중층 표면의 위치와 성질을 잘 맞추어 자리 잡을 수 있음을 확인하였다 [그림 2b].⁷ 이들 공중합체는 서열에 따라 접혀 있는 정도

가 결정되어 내재적으로 무질서한 단백질처럼 부분적으로만 접혀 있을 수 있고, 외부 환경에 맞추어 소수성 부분과 친수성 부분을 빠르게 뒤집을 수 있으며, 물속에서 소수성 액적을 안정화할 수 있어 액체-액체 상 분리에도 응용할 수 있었다.²

서열 내의 부분적 불균일성에 초점을 맞춘 미시적 관점의 Xu 그룹의 연구와 달리, 교토대학의 Sawamoto 및

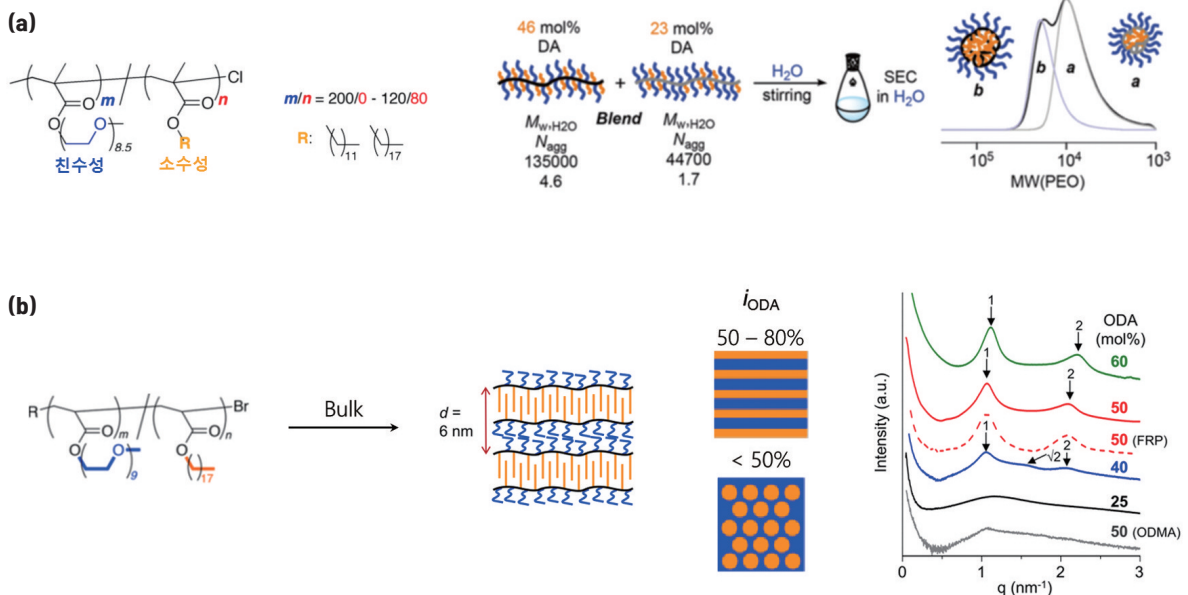


그림 3. 친수성 및 소수성 단량체로 이루어진 양친매성 무작위한 공중합체가 소수성 상호작용에 의해 형성된 자기조립 구조. (a) 수용액 상 사슬 또는 다중 사슬들로 이루어진 나노크기의 구형 미셀. (b) 용매가 없는 조건에서 소수성 잔기의 결정화에 따라 형성되는 판상 및 원통형 구조.^{8,10}

Terashima 그룹에서는 친수성 및 소수성 단량체로 이루어진 양친매성 무작위 한 공중합체가 물속에서 소수성 상호작용에 의해 미셀을 형성할 때 그 크기는 전체 공중합체의 평균 조성에 의존하는 것을 발견하였다[그림 3].⁸ 심지어 평균 조성이 서로 다른 두 종류의 공중합체를 섞어 미셀을 만들더라도, 각 공중합체는 서로 섞이지 않고 따로따로 자신의 평균 조성에 맞는 크기의 미셀을 만들었다.⁹ 이는 개별 사슬의 서열이 굉장히 복잡함에도 불구하고 공중합체들이 뭉칠 때는 거시적인 평균값에 의존하는 균일한 특성을 발현한다는 것이다. 소수성 알킬 잔기가 길어서 결정화될 수 있는 공중합체는 고체 상태에서 평균 조성에 따라 구체 입방 구조, 판상 구조 등 다양한 나노구조를 나타내었으며, 그 크기는 알킬 잔기의 길이에 관계하는 것 역시 확인하였다.¹⁰

2. 서열의 짝맞추기 문제와 이중층 접힘 판상 구조

본 연구팀은 무작위 한 서열들이 서로 상호작용할 때, 미시적인 서열의 불균일성과 거시적인 조성의 균일성에 모두 영향을 받는 영역이 존재하는지가 궁금했다. 전술한 두 그룹의 연구와 같이 물에서 소수성 잔기가 노출되기를 꺼려 서로 뭉치는 소수성 상호작용을 통해 무작위 한 양친매성 서열들이 서로 상호작용하는 상황을 상상해 보자. 전체 앙상블에서 친수성과 소수성 사이의 균형 및 두 잔기가 공유하는 주쇄가 휘어지는 정도인 계면 곡률(interfacial curvature)은 평균 조성 값으로 주어지지만, 서열의 부분적 불균일성 때문에 각 부분의 곡률은 크게 다를 수 있다. 분자량 분포를 무시하고 생각해도, 중합도 N 의 서열 앙상블 속에서 모든 부분 곡률이 정확히 들어맞는 쌍은 2^N 개의 서열 중에 단 한 쌍밖에 없다.

미셀들이 따로 분산되어 있는 저농도 수용액 조건과 소수성 잔기들로 이루어진 층들이 쌓여 있는 고체 조건의 사이에서는 유일한 짝을 찾으려는 경향과 맞는 짝을 선호하기보다는 평균 곡률을 유지하려는 경향의 중간을 보이지 않을까 하는 생각으로, 본 연구팀은 무작위 한 양친매성 공중합체의 고농도 수용액을 만들고 이들의 상거동을 조사했다. 소수성과 친수성 단량체로는 [그림 1a]에 보였던 도데실 아크릴레이트와 올리고(에틸렌 글리콜) 아크릴레이트를 사용했고, 가역적 첨가-분절 연쇄 이동(reversible addition

fragmentation chain transfer, RAFT) 중합 기법을 이용해 분자량을 조절하면서 분자량 분포가 상대적으로 좁은 공중합체를 얻었다. 무작위 공중합이므로 공중합체의 평균 조성은 중합 혼합액의 단량체 비율에 따르는 것 또한 확인하였다.

소수성 잔기의 몰비가 50-60%이고 평균 중합도 N 이 50 이상인 공중합체들을 50 wt% 이상의 고농도로 물에 녹이면, 지질 이중층처럼 소수성 잔기가 서로 뭉쳐 이중층을 만들고 이들이 다시 커커이 쌓이는 다층 판상 구조(multilamellar phase)를 형성하였다. 신기하게도, 이보다 낮은 농도 범위에서는 이중층들이 반복적으로 접힌 후 쌓이는 것을 처음으로 발견하고 이중층 접힘 판상 구조(bilayer-folded lamellar phase)로 명명하였다.¹¹ [그림 4]에 구조의 모식도를 보였다. 이는 계층적 자기조립 구조의 훌륭한 예로서, 수 앙스트롬 간격으로 소수성 잔기가 뭉쳐 수 나노미터 두께의 이중층을 형성하고, 이들이 다시 접힌 후 쌓여 100 나노미터 수준의 도메인으로 발달한다. 마치 결정성 고분자에서 정질성 도메인과 비정질성 도메인이 교대로 관찰되듯이 이들 도메인은 다층 판상 도메인과 번갈아가며 자라나 특징적인 구정(spherulite) 구조를 만들며, 전체 수용액은 골판지의 트러스 구조와 유사한 접힘 구조 때문에 고체처럼 거동하는 하이드로겔로서 이방성을 나타낸다. 광각 X-선 굴절(wide angle X-ray diffraction, WAXD), 소각 X-선 산란(small angle X-ray scattering, SAXS), 투과전자현미경(transmission electron microscopy, TEM), 편광현미경(polarized optical microscopy, POM) 등을 통합적으로 활용하여 계층적 구조를 온전히 분석할 수 있었으며, 대표적 데이터를 [그림 4]에 나타내었다.

세포는 필요에 따라 세포막을 접어 골지체 등을 동적으로 만들지만, 이중층 구조 자체를 안정하게 규칙적으로 접을 수 있다는 것은 처음 밝혀지는 것이다. 지질과 같은 단분자 자기조립에서는 부분적으로 곡률이 어긋난 구조가 평평한 판상 구조에 비해 열역학적으로 불안정하다.¹² 친수성과 소수성 잔기를 각 블록에 따로 배치한 블록 공중합체의 경우, 주쇄의 길이에 따라 자기조립체의 크기가 커질 뿐 행동 양태는 크게 다르지 않다. 반면 무작위성 공중합체에서 관찰된 이중층 접힘 판상 구조는 단분자 자기조립과 유사한 수 나노미터 수준의 자기조립 구조가 한 번 더 접혀 새로운 주

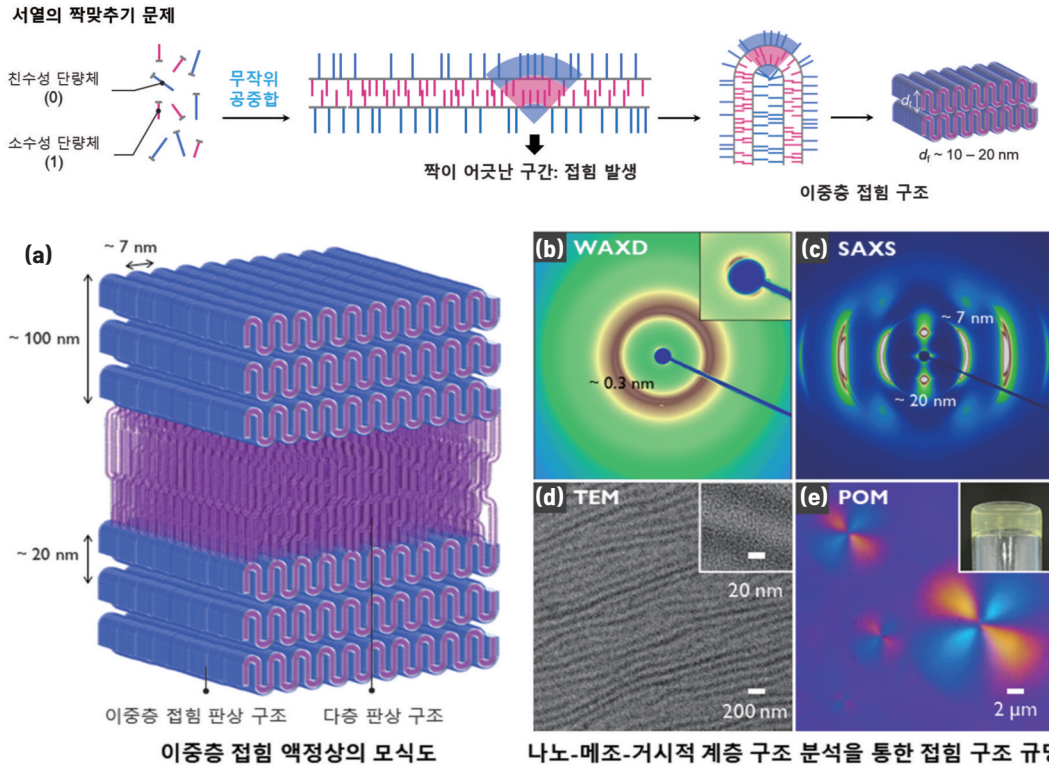


그림 4. (a) 다층 판상 구조와 번갈아가며 발달하는 이중층 접힘 판상 구조의 모식도. (b) 소수성 잔기의 쌓임 구조를 보여주는 WAXD 데이터. 위상단의 확대 이미지에서 이중층 구조가 잔기의 쌓임 구조와 수직함을 알 수 있다. (c) 전단력 하에서 배향해 얻은 SAXS 데이터. 7 nm 두께의 이중층들이 접혀 20 nm 간격으로 수직으로 쌓인 형상을 가리킨다. (d) 극저온 TEM 사진. 검정색과 흰색의 스트라이프 패턴은 100 nm 두께로 발달한 다층 판상 구조와 이중층 접힘 판상 구조 도메인들을 나타내며, 위상단의 확대 이미지에서 이중층 구조 자체를 볼 수 있다. (e) 광학 이방성을 나타내는 수용액 사진(위상단)과 수용액을 가열한 후 냉각하여 얻은 구멍의 POM 사진.¹¹

기성을 지니는 계층적 구조를 창출하는 데 그 독특함이 있으며, 이는 공중합체 주쇄가 무작위 하게 배열된 친수성/소수성 잔기를 관통하는 구조적 특성 때문이다. 본 연구팀이 서열의 조성, 길이, 무작위 한 정도 등에 따라 구조가 어떻게 변화하는지 관찰한 결과, 공중합체 수용액의 전체적 거동은 친수성/소수성 잔기의 비율과 농도를 따르되 서열이 충분히 무작위하고 사슬의 길이가 충분히 길어 서열의 가능한 가짓수가 충분히 많은 경우에 공통적으로 이중층 접힘 판상 구조가 나타났다.

연구팀은 이중층 접힘 구조와 고분자 결정화 과정에서 나타나는 접힘 사슬 판상 결정(folded chain lamellar crystal) 사이의 구조적 유사성에서 영감을 얻어 주기적 접힘 현상의 원리를 설명했다. 1940년대에는 고분자 사슬이 죽 퍼진 상태로 결정화될 것(extended chain lamella)이

라는 추측이 대세였으나, 전자현미경 및 X-선 분석 결과 사슬의 길이가 어느 이상이면 사슬이 접혀 결정을 만드는 것이 알려지면서 오랜 논쟁에 종지부를 찍은 바 있다.¹³ 심지어 매우 뾰족한 액정성 고분자도 일정한 주기로 접히고 쌓여 판상 구조를 이룬다.¹⁴ 이는 많은 수의 단량체가 연결되어 있는 고분자 사슬은 어떻게 꺾이느냐에 따라 다양한 형상을 취할 수 있으며 가능한 형상의 개수가 많을수록 엔트로피적으로 안정한데, 사슬이 퍼질수록 가용한 형상이 줄어들기 때문이다. 양친매성 공중합체가 평균 곡률을 따라 이중층을 형성하려 들면 계면에 위치한 주쇄가 퍼져야 하므로 엔트로피 페널티를 피하기 위해 언젠가는 접혀야 하며, 따라서 서열 간 짝이 어긋나 곡률이 크게 발생하는 부분에서 주기적으로 이중층을 접음으로써 에너지 손해를 최소화하는 것으로 연구팀은 제안하였다.

결론

이 글에서는 일견 무질서해 보이는 무작위 한 서열의 공중합체가 서열 간 짝맞춤 과정을 통해 새로운 질서상인 이중층 접힘 판상 구조를 만드는 현상을 소개하였다. 이는 태초에 RNA 및 DNA가 짧은 무작위 서열로 이루어졌다면 단량체 간 상호작용을 통해 나선형 겹사슬로 진화했을 것이라는 가설과 상통한다. 또한 이중층이 세포막, 비눗방울, 리포솜 등에서 보편적으로 나타나는 구조임을 고려하면 이중층 접힘 판상 구조는 그 자체만으로도 매우 흥미롭다 할 수 있고, 또한 접힘 구조는 뇌에서 볼 수 있는 것처럼 향상된 구획 간 연결성, 보다 넓은 표면적, 우수한 기계적 물성 등 다양한 장점을 제공하는 만큼 이중층 접힘 구조는 새로운 연성나노소재를 개발하는 데 유용한 시작점으로 쓰일 수 있을 것으로 기대된다.

더욱 흥미로운 가능성은 이중층 접힘 판상 구조를 지니는 수용액의 기계적 물성에서 찾아볼 수 있다. 이 수용액의 탄성 모듈러스(elastic modulus)는 보다 높은 농도의 판상 구조 수용액보다 높고, 유사한 분자량 및 조성의 블록 공중합체 수용액보다도 훨씬 높다. 그런데 소수성 단량체가 55% 포함된 중합 혼합액에서 합성된 무작위 공중합체와 50% 공중합체 및 60% 공중합체를 1:1로 섞어 55%를 맞춘 공중합체 블렌드의 이중층 접힘 판상 구조는 동일하지 않다. 이는 두 경우의 서열 분포가 동일하지 않기 때문이다.

따라서 본 연구팀은 고분자 소재로 한계 물성을 돌파할 수 있는 새로운 방법론으로서 기존의 분자량 및 조성 중심의 패러다임에서 벗어나 서열의 분포와 서열 간 상호작용을 고려한 서열 앙상블 소재 설계가 필요하다고 제안하며, 현재 서열 앙상블 고분자화학 연구에 매진 중이다. 향후 다른 기회에 연구 성과를 소개할 수 있기를 기대한다. ☺



1. Sergio B. Volchan "What is a Random Sequence?" *Am. Math. Mon.* **2002**, *109*, 46-63.
2. Zhiyuan Ruan, Shuni Li, Alexandra Grigoropoulos, Hossein Amiri, Shayna L. Hillburg, Haotian Chen, Ivan Jayapurna, Tao Jiang, Zhaoyi Gu, Alfredo Alexander-Katz, Carlos Bustamante, Haiyan Huang, and Ting Xu "Population-Based Heteropolymer Design to Mimic Protein Mixtures." *Nature* **2023**, *615*(7951), 251-258.
3. George Odian *Principles of Polymerization*, Wiley: Hoboken, NJ, **2004**.
4. Brian Panganiban, Baofu Qiao, Tao Jiang, Christophe r DelRe, Mona M. Obadia, Trung Dac Nguyen, Anton A. A. Smith, Aaron Hall, Izaac Sit, Marquise G. Crosby, Patrick B. Dennis, Eric Drockenmuller, Monica Olvera de la Cruz, and Ting Xu "Random Heteropolymers Preserve Protein Function in Foreign Environments." *Science* **2018**, *359*(6381), 1239-1243.
5. Tao Jiang, Aaron Hall, Marco Eres, Zahra Hemmatian, Baofu Qiao, Yun Zhou, Zhiyuan Ruan, Andrew D. Couse, William T. Heller, Haiyan Huang, Monica Olvera de la Cruz, Marco Rolandi, and Ting Xu "Single-Chain Heteropolymers Transport Protons Selectively and Rapidly." *Nature* **2020**, *577* (7789), 216-220.
6. Ivan Jayapurna, Zhiyuan Ruan, Marco Eres, Prajna Jalagam, Spencer Jenkins, and Ting Xu "Sequence Design of Random Heteropolymers as Protein Mimics." *Biomacromolecules* **2023**, *24*(2), 652-660.
7. Marco Werner and Jens-Uwe. Sommer "Translocation and Induced Permeability of Random Amphiphilic Copolymers Interacting with Lipid

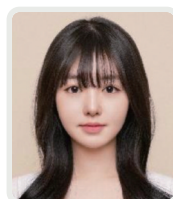
Bilayer Membranes." *Biomacromolecules* **2015**, *16*(1), 125-135.

8. Takaya Terashima, Takanori Sugita, Kaoru Fukae, and Mitsuo Sawamoto "Synthesis and Single- Chain Folding of Amphiphilic Random Copolymers in Water." *Macromolecules* **2014**, *47*(2), 589- 600.
9. Yuji Hirai, Takaya Terashima, Mikihiro Takenaka, and Mitsuo Sawamoto "Precision self-assembly of amphiphilic random copolymers into uniform and self-sorting nanocompartments in water." *Macromolecules* **2016**, *49*(14), 5084-5091.
10. Goki Hattori, Mikihiro Takenaka, Mitsuo Sawamoto, and Takaya Terashima "Nanostructured Materials via the Pendant Self-Assembly of Amphiphilic Crystalline Random Copolymers." *J. Am. Chem. Soc.* **2018**, *140*(27), 8376-8379.
11. Minjoong Shin, Hayeon Kim, Geonhyeong Park, Jongmin Park, Hyungju Ahn, Dong Ki Yoon, Eunji Lee, and Myungeun Seo "Bilayer-Folded Lamellar Mesophase Induced by Random Polymer Sequence." *Nat Commun* **2022**, *13*(1), 2433.
12. Wolfgang Helfrich "Elastic Properties of Lipid Bilayers: Theory and Possible Experiments." *Z. Naturforsch. C* **1973**, *28* (11-12), 693-703.
13. David M. Sadler "New Explanation for Chain Folding in Polymers." *Nature* **1987**, *326*(6109), 174- 177.
14. Masatoshi Tokita, and Junji Watanabe "Several Interesting Fields Exploited through Understanding of Polymeric Effects on Liquid Crystals of Main-Chain Polyesters." *Polym. J.* **2006**, *38*(7), 611-638.



신민중 Minjoong Shin

- Kennesaw State University 화학과, 학사 (2007.8-2011.5)
- KAIST 나노과학기술대학원, 석사 (2017.9-2019.8)
- KAIST 화학과, 석·박사통합과정, 박사 (2019.9-2023.2)
- KAIST 화학과, 박사 후 연구원 (2023.4-현재, 지도교수 : 서명은)



유지민 Jimin Yoo

- 성신여자대학교 화학과, 학사(2018.3-2022.2)
- KAIST 석·박사통합과정 (2022.3-현재, 지도교수 : 서명은)



서명은 Myungeun Seo

- KAIST 화학과, 학사(1998.3-2002.2)
- KAIST 화학과, 석사(2002.3-2004.2)
- KAIST 화학과, 박사(2004.3-2008.8)
- KAIST 화학과, 박사 후 연구원(2008.9-2009.10)
- University of Minnesota 박사 후 연구원(2009.10-2013.1)
- KAIST 나노과학기술대학원 조교수/부교수, 화학과 부교수(2013.2-2023.8)
- KAIST 화학과 교수(2023.9-현재)

상평형 그림은 정말 평형을 이야기하고 있을까?

황영하 | 평택여자고등학교, young920403@hanmail.net

서론

대부분의 2015 개정 교육과정 고등학교 화학 II 교과서에서는 교육과정 성취기준에 따라 물과 이산화탄소의 상평형 그림을 도입하여 압력과 온도 변화에 따른 물질의 상태 변화를 설명하고 있다. 그러나 김현희 등¹⁾의 연구에 의하면 대부분의 과학 교사들이 물의 상평형 그림을 이용하여 물의 상태 변화를 설명하는데 어려움을 느끼는 것으로 나타났다.

필자는 선행연구와 관련된 연구를 진행하다가, 상평형 그림을 구글 번역기에 넣어보면 ‘phase equilibrium plot’으로 번역되는 것을 발견하였다. 하지만 상평형 그림의 원문은 ‘phase diagram’이다. 원문을 우리말로 번역하면서 평형이라는 단어가 추가된 것을 확인한 후 상 그래프, 상 도표와 같은 용어로 직역하지 않고 평형이라는 단어가 추가된 것에 의문을 갖게 되었다.

이 의문을 해결하기 위해 2015 개정 화학 II 교과서와 외국의 일반화학 서적들을 비교·분석해 보았다. 이번 『화학세계』에서 그 내용을 공유하고자 한다.

본론

가. 분석 대상

이 연구에서는 국내에서 출판된 2015 개정 교육과정 화

학 II 교과서 6종²⁻⁷⁾을 분석하였다. 분석한 교과서는 표 1에 나타난 것처럼 기호를 부여하였다.

표 1. 연구에 사용된 교과서

교과서	저자	출판사
HA	최미화 등 6명	미래엔
HB	박종석 등 7명	비상출판
HC	홍훈기 등 7명	교학사
HD	장낙한 등 10명	상상아카데미
HE	이상권 등 8명	지학사
HF	노태희 등 7명	천재교육

나. 연구 대상

연구 대상자들은 충북 지역의 한 사범대학에 재학 중인 일반대학원 화학교육전공 파견교사 7명으로 이루어졌다. 연구 대상자들은 전부 사범대학을 졸업한 화학교육전공 교사들이며, 교직 경력은 최소 6년이였다. 성별은 남성이 3명, 여성이 4명이었으며, 현재 근무하는 학교급은 중학교가 4명, 고등학교가 3명이였다. 연구 대상자들을 나타내는 기호는 TA~TF로 지정하였다.

다. 교과서 분석 결과와 교사들의 인식

상평형 그림에 대한 정의를 분석한 결과, 2015 개정 교

* 본 원고는 <황영하, 백성혜. “2015 개정 교육과정 화학 II 교과서의 상평형 그림에 대한 문제점 분석.” J. K. Chem. Soc. 2023. 67(1), 54-63.>의 일부 내용을 바탕으로 작성됨.

육과정 화학Ⅱ 교과서에 실린 상평형 그림의 정의에 대한 관점은 두 가지로 나타났다. 첫째, 상평형 그림은 ‘온도와 압력에 따른 고체, 액체, 기체 사이의 평형을 나타낸 것이다.’ 라는 평형 개념을 포함한 관점이다. 둘째, ‘온도와 압력에 따라 나타나는 물질의 상태를 표현한 것이다.’ 라는 평형 개념을 포함하고 있지 않은 관점이다. 분석에 사용한 교과서 중 HA, HD 2종의 교과서는 평형 개념을 포함하는 관점으로 상평형 그림을 정의했으며, 나머지 4종의 교과서는 평형 개념을 포함하고 있지 않은 관점으로 상평형 그림을 정의하였다. 두 가지 관점에 대한 교과서의 진술 방식을 분류하면 표 2와 같다.

표 2. 교과서에 나타난 상평형 그림의 정의

평형 개념의 포함 유무	교과서
포함됨	HA, HD
포함되지 않음	HB, HC, HE, HF

교과서에서도 다양하게 설명하는 상평형 그림의 정의를 연구 대상자들은 어떻게 인식하고 있는지 조사하였다. 우선 연구 대상자들에게 상평형 그림의 정의에 대해 어떻게 생각하는지 질의하였다. 연구 대상자들의 응답은 두 가지 유형으로 나타났다.

첫 번째 유형은 온도와 압력에 따라 물질이 나타내는 상태와 더불어 온도나 압력의 변화에 따른 상태 변화도 함께 살펴볼 수 있는 그림이라는 것이다. 이러한 인식은 교과서 정의 중 평형 개념을 포함하는 관점과 관련된 것으로 볼 수 있다. 왜냐하면 연구 대상자들이 상평형 그림의 곡선 위에서 두 상태가 평형을 이루기 때문에 상태 변화를 설명할 수 있다고 응답했기 때문이다. 두 번째 유형은 온도와 압력에 따라 물질이 나타내는 상태를 표현한 그림이라는 것이다. 이 유형은 교과서 유형 중 평형 개념을 포함하고 있지 않은 관점과 동일한 것으로 볼 수 있다. 연구 대상자들의 응답을 분석한 결과 교과서마다 상평형 그림을 정의하는 관점에 차이가 있다는 것을 대부분의 교사가 인식하고 있지 못하는 것과, 평형 개념을 포함한 관점과 포함하지 않는 관점이 비슷한 수의 응답으로 갈리는 것을 확인하였다.

하지만 상평형 그림에 대한 정의가 두 가지로 나뉘어 교과서마다 다르게 제시되는 것은 문제라고 할 수 있다. 따라

서 본 연구에서는 외국의 일반화학 책⁸⁻⁹에 서술되어 있는 상평형 그림의 정의를 조사하여 비교해보았다. Atkins *et al*⁸는 상평형 그림을 ‘A phase diagram is a map that shows which phase is the most stable at different pressures and temperatures.’ 라고 정의하고 있었으며, Oxtoby *et al*⁹는 ‘A plot of pressure against temperature that shows the stable state for every pressure’ 라고 정의하고 있었다. 두 외국 교과서 모두 용어와 정의에서 평형이라는 용어와 개념은 전혀 사용하고 있지 않은 것을 확인할 수 있었다. 따라서 본 연구에서는 phase diagram을 상 ‘평형’ 그림으로 번역하면서 상평형 그림을 평형 개념과 연관 짓게 되는 것은 문제라고 판단하였다.

Phase diagram은 외국의 일반화학 서적에 따르면 온도와 압력을 독립 변인으로 나타내고 물질의 상(phase)을 종속 변인으로 나타낸 도표이다.⁸ 이에 비추어 보면 ‘온도와 압력에 따라 나타나는 물질의 상태를 표현한 것이다.’ 라는 평형 개념을 포함하고 있지 않은 관점이 본래 정의에 비추어 보았을 때 보다 올바르다고 할 수 있다. 연구 대상자들에게 phase diagram 용어에는 평형 개념이 포함되어 있지 않은데, 번역의 과정에서 평형이라는 용어가 추가되었다는 내용을 안내한 뒤 이에 대한 인식을 조사해보았다. 연구 대상자 중 TB는 평형이라는 용어가 추가된 것에 의문을 나타내었다.

학부 시절 공부할 때도 phase diagram을 왜 상평형 그림으로 해석하는지에 대한 의문이 있었어요. 특히 저는 상평형 그림에서 평형이라는 개념이 어떠한 실험 조건에서 나왔는지 명확하지 않아서 평형이라는 용어를 사용하는 것이 항상 짝짝했어요. [연구 대상자 TB의 응답]

반면 나머지 연구 대상자 6인은 상평형 그림의 공존 곡선에 초점을 두면서 평형 개념을 포함한 관점이 평형 개념을 가르치기 위해 필요하다는 주장을 하였다. 대표 응답으로 연구 대상자 TG의 응답은 다음과 같다.

선 위에 존재하는 점의 경우 두 가지 상태가 공존하고 있다는 것을 강조하기 위해 평형 개념을 사용했다고 생각

합니다. 예를 들어 녹는점에서는 고체가 액체로 바뀌면서 온도는 일정하게 유지되고 액체의 비율이 점점 더 증가하게 되는데, 그러한 현상을 보다 잘 설명하기 위해 평형이라는 단어를 추가했다고 생각합니다. [연구 대상자 TG의 응답]

평형 개념이 포함되어 있지 않은 외국 교과서의 사례를 제시했음에도 불구하고, 연구 대상자들이 상평형 그림과 물질의 평형을 계속해서 연관 지으려고 하는 모습이 나타났다. 이를 통해 연구 대상자들이 사고하는 데 있어 교과서에 사용된 과학적 용어가 큰 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다.

라. 평형 개념을 추가하였을 때의 문제점

하지만 대부분의 연구 대상자들이 상평형 그림을 물질의 평형을 설명할 수 있는 도구로 인식하는 것과는 별개로, phase diagram을 상평형 그림으로 번역하여 상평형 그림의 해석을 평형에 초점을 맞추면 다음과 같은 문제가 발생할 수 있다. 첫째, 공존 곡선이 아닌 위치에 대한 상태의 해석이 모호해진다.

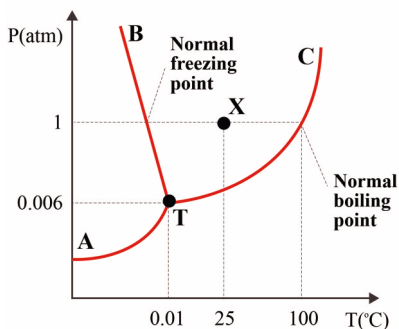


그림 1. 1기압 25°C에서 물의 상태

예를 들어, 그림 1에 표시된 점 X에서 보이듯이 1기압 25°C에서 물은 단일 액체 상의 영역에 존재한다. 이때, 이 지점은 상 '평형' 그림에 표현된 지점이므로 평형 상태로 간주해야 하는지에 대한 문제가 발생한다. 이와 관련한 연구 대상자들의 인식은 세 가지 유형으로 나타났다.

첫 번째 유형: 평형이다.(TA, TB)

TA: 점 X가 상평형 그림의 액체 영역에 위치함에도 불구하고 평형 개념을 설명하기 위해 기체가 자연스럽게 생긴다는 가설을 세웠다.

TB: 상평형 그림 위의 모든 점은 평형을 나타낸다는 인식을 가지고 있었다.

두 번째 유형: 평형이 아니다.(TC, TD, TE, TG)

평형이 아니라고 응답한 연구 대상자들은 단일한 상으로 존재하기 때문에 정반응과 역반응을 논의할 수 없어 평형이라고 할 수 없다는 이유를 공통적으로 응답하였다.

세 번째 유형: 잘 모르겠다.(TF)

하지만 상평형이라는 용어는 두 가지 이상의 상 간에 이루어지는 동적 평형을 의미하기 때문에,³ 액체가 고체나 기체로 변화하고, 고체나 기체가 다시 액체로 변화하는 과정을 포함할 수 없는 1기압 25°C 지점에 평형이라는 용어를 사용하는 것에는 문제가 있다고 할 수 있다. 하지만 phase diagram을 상평형 그림이라고 번역하면 단일 상태 영역을 평형 상태로 오인하게 되는 원인이 될 수 있다. 인터뷰에서 보이는 것처럼 현직 교사들이 상평형 그림이라는 용어로부터 형성하는 다양한 인식들은 학생들의 개념 형성에도 부정적인 영향을 미칠 수 있을 것이다.¹⁰

Phase diagram을 상평형 그림으로 번역하여 상평형 그림의 해석을 평형에 초점을 맞추면 발생할 수 있는 두 번째 문제는, 상평형 그림에서 공존 곡선 위의 점은 항상 평형 상태라는 오개념을 형성할 수 있다는 점이다. 연구 대상자들에게 그림 2를 제시한 후 '점 X가 평형 상태인가?' 라는

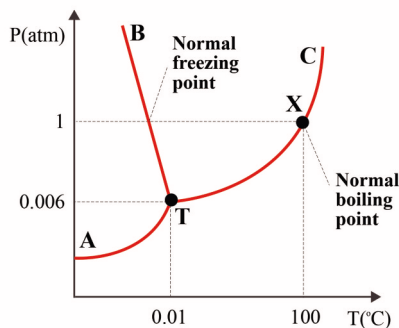


그림 2. 상평형 그림에서 1기압 100°C의 물

질문을 하였다. 연구 대상자들은 전부 평형이라고 응답하였다. 대표 응답으로 연구 대상자 TE의 응답을 제시하면 다음과 같다.

점 X가 나타내는 100℃에서는 끓는 상태이기 때문에 물과 수증기가 동시에 존재할 수 있고 따라서 평형이라고 생각해요. 두 상태가 함께 공존하는 것을 우리는 평형이라고 이야기합니다. [연구 대상자 TE와의 인터뷰 발췌]

연구 대상자 TE뿐만 아니라 다른 연구 대상자들도 점 X가 평형인 이유에 대해서 액체와 기체가 동시에 같이 존재하고 있기 때문이라고 응답하였다. 연구 대상자들에게 공존과 평형이 같은 개념인지를 추가로 질의하였지만, 그 둘을 명확하게 구분해서 응답한 연구 대상자는 없었다.

하지만 공존과 평형은 같은 개념이 아니다. 공존은 말 그대로 함께 존재하는 것을 나타내는 용어이며, 평형은 정반응과 역반응의 속도가 같아 겉보기에 아무런 변화가 없어 보이는 상태를 의미하는 것이다. 공존은 평형의 충분조건으로, 계가 평형을 이루기 위해서는 공존이라는 조건이 필요하지만 공존하고 있다고 해서 평형인 것은 아니다. 하지만 연구 대상자들은 ‘곡선 위의 점은 평형이다.’라는 선 개념을 가지고 있기 때문에 즉각적으로 점 X가 평형이라는 응답을 한 것으로 보인다.

그러나 만약 점 X가 공존 곡선 위에 있다고 하더라도 항상 평형 상태를 나타내는 것은 아니다. 이에 대한 근거를 박종윤¹¹이 제안한 피스톤 그림을 통해 확인하려고 한다. 피스톤 그림을 그림 3에 제시하였다.

그림 3에서 외부 압력을 1기압으로 유지한 채 용기를 가열하여 실린더 내부의 온도가 100℃가 되었다고 가정하면,

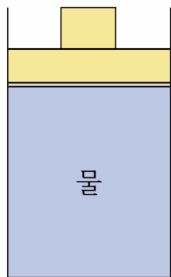


그림 3. 사고실험을 위한 실린더 속의 물¹¹

상평형 그림에서 이 지점은 그림 2에 표현된 점 X처럼 표준 끓는점을 나타내게 될 것이다. 하지만 끓는점은 액체와 기체가 공존하는 지점이지만 평형을 이루고 있다고 할 수 없다. 왜냐하면 상태 변화가 일어나는 지점에서 가해주는 열은 계의 온도를 높이는 데 사용되는 것이 아니라 물질의 상태 변화를 일으키는 데 사용되기 때문이다. 따라서 1기압 100℃에서 물이 전부 기체로 변하기 전까지 지속적으로 가열된다면, 가열되는 중에 나타나는 각각의 상태는 상평형 그림에서 전부 1기압 100℃에 위치할 것이다.

다시 말해, 그림 2에 점 X로 표현된 계는 열에너지를 지속적으로 받는 열적 비평형 상태의 무수히 많은 상태를 포함할 수 있다. 예를 들어, 액체:기체 = 1:3인 상황과, 액체:기체 = 1:5인 경우가 같은 지점인 점 X로 표현될 수 있다. 따라서 그림 2의 점 X는 액체와 기체가 동적 평형을 이루고 있는 상황은 물론, 열적 비평형인 상황까지 포함하게 된다. 따라서 ‘점 X는 평형 상태를 나타낸다.’라는 명제는 그렇지 않은 반증 사례가 존재하므로 옳지 않다고 할 수 있다.

양기창, 백성혜¹²는 가열을 통해 온도의 변화가 일어나고, 온도의 변화를 줄이는 방향으로 평형이 이동하는 것이 액체가 기체로 기화하면서 기화열을 흡수하는 과정이라고 끓음을 해석하며, 끓음은 동적 평형 상태에서 액체와 기체가 공존하는 상평형과는 구분이 되어야 한다고 주장했다. 박준우 등¹³도 열린계의 액체가 끓을 때는 액체가 계속 기화하면서 액체의 양이 줄어들고 기체의 양은 늘어나기 때문에 그런 상태는 열역학적 평형의 상태는 아니라고 주장했는데, 닫힌계에서도 액체와 기체의 비율은 가해진 열에너지의 크기에 따라 결정되므로 1기압 100℃를 항상 평형 상태로 간주할 수 없다.

결론

본 연구에서는 연구 대상자들이 상평형 그림과 물질의 평형을 연관짓게 되는 것에 있어 ‘상평형 그림’이라는 용어의 영향이 지대하다고 판단하였다. 왜냐하면 과학적 사고는 과학적 개념을 통해 이루어지기 때문이다.¹⁴ 따라서 다음의 두 가지의 용어 변경을 제안한다. 첫째, phase diagram을 상평형 그림으로 번역하는 것이 아니라 상 도표로 번역하는 것이다. 이를 통해 phase diagram이 상 간의 평형을 설

명하기 위한 그림이기보다는 상 그 자체를 나타내는 것임을 강조할 수 있다. 둘째, 용해 곡선 · 승화 곡선 · 증기압 곡선 등을 ‘공존 곡선(Coexistence curve)’이라는 용어로 유목화하는 것이다. Coexistence curve는 각 곡선 위에서 두 상이 평형을 이루고 있다기보다는 함께 공존하고 있음을 보

다 직관적으로 나타내는 용어이다. 이 용어는 이미 외국에서 화학 교과서⁹와 해외 연구¹⁵ 등에서도 활용되고 있다. 공존 곡선이라는 용어를 통해 학습자는 곡선 위의 점이 평형을 나타내는 점이 아니라 상들 간 공존을 나타내고 있다는 것을 명시적으로 알 수 있을 것이다.



1. 김현희, 양기창, 김동욱, 백성혜. "언 빨래가 마르는 현상에 대한 중등학교 화학전공교사들의 인식 조사." *대한화학회지* **2006**, 50(1).
2. 최미화, 서인호, 한문정, 정대홍, 김혜경, 최길순. *고등학교 화학II* **2019**. 서울: 미래엔.
3. 박종석, 박지호, 강순형, 류시경, 신동혁, 이순영, 조향숙. *고등학교 화학II* **2019**. 서울: 비상출판.
4. 홍훈기, 이보경, 석동진, 김호성, 전호균, 김민성, 신일정. *고등학교 화학II* **2019**. 서울: 교학사.
5. 장낙한, 강성주, 박준범, 이흥인, 김학철, 배성우, 오창진, 옥준석, 이종만, 이희나. *고등학교 화학II* **2019**. 서울: 상상아카데미.
6. 이상권, 이종백, 강승구, 김성희, 김용연, 김호준, 박보경, 박현주. *고등학교 화학II* **2019**. 서울: 지학사.
7. 노태희, 강석진, 주영, 고숙영, 김용현, 최숙영, 양찬호. *고등학교 화학II* **2019**. 서울: 천재교육.
8. Atkins, P., Atkins, P. W. & De Paula, J. *Atkins' physical chemistry* **2014**. Oxford university press.
9. Oxtoby, D. W., Gillis, H. P. & Butler, L. J. *Principles of modern chemistry* **2015**. Cengage learning.
10. 고연주, 이현주. "예비 과학교사의 연구 수행 경험이 학생의 물리 오개념에 대한 이해 및 '연구자로서의 교사'에 대한 인식에 미치는 영향." *한국과학교육학회지* **2014**, 34(5), 449-457.
11. 박종윤. "물의 상평형 그림에 대한 오해와 이해: 대기 중 물의 증발과 얼음의 승화." *대한화학회지* **2007**, 51(6).
12. 양기창, 백성혜. "대기 중의 증발 현상에 대한 중등학교 화학전공 교사들의 개념 변화 과정에 대한 연구." *대한화학회지* **2008**, 52(1).
13. 박준우, 최미화, 이덕환. "중등 화학 교육 과정에 대한 물리화학적 고찰: (1) 상변화와 상평형." *대한화학회지* **2004**, 48(3), 300-310.
14. 강천덕, 이효녕, 윤일희, 김은주. "물의 순환에 대한 고등학교생들의 지구시스템 관련 개념과 시스템 사고의 분석." *과학교육연구지* **2008**, 32(1), 61-72.
15. Ancherbak, S., Yasnou, V., Mialdun, A., & Shevtsova, V. "Coexistence curve, density, and viscosity for the binary system of perfluorohexane+ silicone oil." *J. Chem. & Eng. Dat.* **2018**, 63(8), 3008-3017.




황영하 Hwang YoungHa

- 한국교원대학교 화학교육과, 학사(2011.3-2017.2)
- 한국교원대학교 과학교육학과 화학교육전공, 석사 과정(2022.3-현재, 지도교수 : 백성혜)
- 경기도교육청 교사(2018.3-현재)
- 현재 평택여자고등학교 근무

고분자·복합소재 핵심연구지원센터


Core-Facility Center for
Polymers & Composite Materials

“고분자·복합소재 연구/분석을 위한
원스톱 솔루션 제공”

 서울특별시 성동구 왕십리로 222
한양대학교 자연과학대학 110호

 02) 2220-2567

 leeyoollee23@hanyang.ac.kr

 <https://www.zeus.go.kr/cloud/cpcm>

고분자·복합소재 핵심연구지원센터(Core-Facility Center for Polymers & Composite Materials)는 고분자·복합소재 분야에서 미래를 선도할 글로벌 연구 거점화를 비전으로, 2022년 기초과학 연구역량 강화사업의 핵심연구센터로 구축되었다. 현재, 한양대학교 자연과학대학에 약 124.5평(411 m²)의 전용공간을 확보하여, 20점 이상의 특화된 장비를 설치하였으며, 고분자·복합소재의 연구/분석 One-Stop Solution 서비스 센터 구축을 목표로 센터 운영을 추진하고 있다.

본 연구센터는 고분자·복합소재의 광범위한 활용성에 대응하는 전문분석기관으로써, 기본적인 물성과 응용 분야에 대한 전문적 이해와 지식을 함께 연계하여, 유기적 응용이 가능한 융합연구를 지원한다. 특히 한양대학교는 나노기술(NT), 정보통신기술(IT), 바이오기술(BT) 및 환경기술(ET)의 다양한 기술의 융합을 통하여 4차 산업혁명 대응을 위한 기초과학기반 원천기술을 선점하기 위해 2010년 기초과학융합연구소를 설립하였으며, 2020년 대학중점연구소로 선정되어 운영하고 있다. 본 센터는 기초과학융합연구소와 연계하여 안정적인 운영과, 고분자, 콜로이드, 나노입자 및 복합소재를 체계적으로 연구, 분석할 수 있는 특화센터로서, 바이오 및 나노 신소재 개발을 위한 기술적 시너지 창출을 도모하고 있다. 이를 위해, 구조/영상 분석, 전기/

분광 분석, 표면/계면 분석, 및 고분자 열/유체/물성 분석의 4개 분야로 구성하여 각 분야의 기기를 집적화 하고, 고분자·복합소재 원스톱 연구지원 체계를 구축하고 있다[그림 1].



그림 1. 고분자·복합소재 핵심연구지원센터의 체계

Project 1 고분자·복합소재 연구/분석을 위한 원스톱 솔루션 제공

고분자 및 고분자 복합소재는 현대 산업에서 필수 불가결한 물질 군이며, 단순한 일반 산업재 뿐만 아니라 디스플레이-반도체 분야 전기/전자재료, 단백질과 같은 생체 고분자, 바이오 엔지니어링 등의 최첨단 산업에서 그 중요성이 크게 증가되어 있다. 이러한 복합 소재는 여러가지 다른 화학종들로 구성되어 있는 헤테로 혼합물들(hetero-mixture)이며, 이질성(heterogeneity)으로 인한 수많은 계면(interface)들은 기존의 순수한 물질이 독립적으로 갖는 물성의 합이 아닌 전혀 다른 물성을 나타내는 경우가 최근 많이 보고되고 있다. 이러한 복합 소재를 분석하기 위해서는 고분자·복합소재의 기본적인 물성에 대한 이해와 함께 응용분야에 대한 전문적 지식을 동시에 갖추고, 유기적 응용이 가능한 융합연구를 지원할 수 있는 전문기관이 필요하다. 본 연구센터는 이러한 수요를 만족시키기 위해 고분자·복합소재 관련 연구분야 전문가들로 구성된 연구집단이 참여하는 기기센터를 조성하였다. 본 연구센터가 제시하는 “물리화학 기반 고분자·복합소재 물성”연구는 집단 연구로써, 초고해상도 이미징 등을 통한 고분자 나노 구조 및 고분자 계면 분석, 고분자·복합소재의 물성 분석 및 전기화학/분광분석을 연계한 구조-물성 분야를 특성화 분야로 하고있다[그림 2].

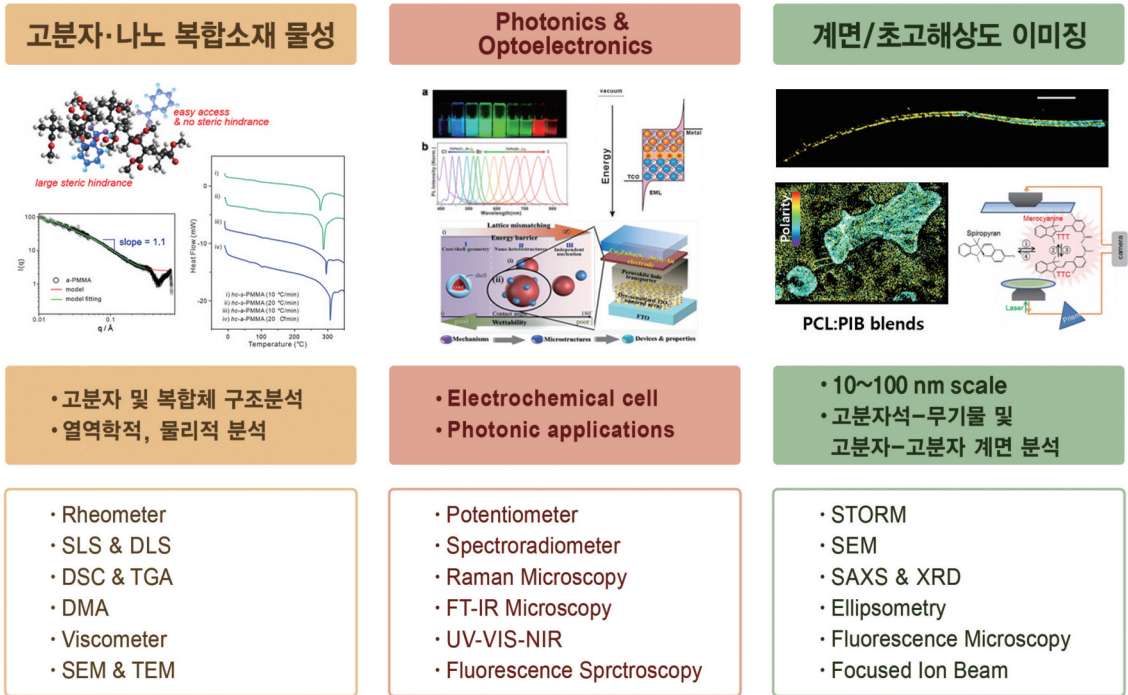


그림 2. 고분자·복합소재 핵심연구지원센터의 특성화 연구

Project 2 주요연구분야 및 구축 현황

1. 주요 구축 장비

본 센터는 구조/영상, 표면/계면, 전기/분광, 및 열/유체/물성 분석의 4개 영역에 대하여, 장비를 집적화하고 있다. 대학 및 중점 연구소 지원에 의해 장비를 구축하고, 기존 장비들을 센터 내 장비로 이전하여 체계적 관리 및 전문적 활용도를 높이는 것을 목표로 하고 있다. 주요 장비로써, 3점의 전자현미경, STORM 현미경, 집속이온빔장치(FIB), 원자힘현미경, 엘립소미터, 열분석기 등 추가 구축 장비를 포함하여 총 30여점의 장비를 조성하고 있다. 또한 2023년 하반기에는 추가로 소각엑스선산란장치(SAXS)를 설치 운영할 예정이다.

대표적인 구조/영상 장비로는, 고분자 및 복합소재 계면 분석 이미징을 위한 초고해상도현미경(STORM) 및 형광현미경(FM) 등이 구축되어 있다. 표면/계면 장비로는 2022년 도입된 초저가속전압 전자주사현미경이 있으며, 이는 고분자, 유기물 및 나노소재 등의 물질을 금속 코팅 없이도 손상 없는 분석을 제공할 수 있는 장비이다. 이 외에 전기/분광분석 장비로써 라만 현미경 및 전기전자 계측기를 보유하고 있으며, 열/유체/물성 분석 분야 장비로써, 동적기계분석장치, 레오미터, 열분석 장비 및 광산란 장비를 보유하고 있다. 현재 신규 구축 완료 및 향후 지속적인 우수장비 도입을 통해 원스탑 솔루션을 제공하고, 학제간 융합을 통해 복잡계면 신소재를 개발하여, 에너지, 전자재료, 바이오 관련 융합기술 개발에 기여하고자 한다[그림 3].

2. 고분자·복합소재 핵심연구지원센터 시설 및 운영

본 센터는 한양대학교의 지원을 통해, 자연과학대학 1층에 약 83.3평(275 m²)의 신규 추가 공간을 마련하여, 고분자·복합소재 핵심연구지원센터 전용공간으로 확보하고 장비 집적화를 위한 리노베이션을 완료하였다. 분석실, 전자현미경실, 표면분석실 및 보조분석실 및 전자현미경실을 갖추고, 연구자의 접근성을 고려하여 1층의 전용공간을 마련하였으며, 휴게공간 및 장비 관리를 위한 사무실을 함께 배치하였다(그림 4). 이 외에 암실 등 특수 공간이 소요되는 장비를 위해, 약 41평의 공간에 장비가 배치되어 있다. 이와 같은 장비의 집적화는 학과별 또는 연구실별로 흩어진 공간에 있던 장비에 대하여 높은 활용성을 제공할 수 있으며, 효율적인 운영·관리 체계를 구축할 수 있어, 연구의 시너지를 향상시킬 수 있을 것으로 예상된다.

장비의 관리는 구조/영상, 표면/계면, 전기/분광, 열/유체/물성 분석 분야에 따라 장비 전문 인력을 배치하여 운영하고 있으며, 단순 데이터 산출이 아닌 연구/분석 멘토링이 가능한 원스톱 솔루션을 제공하고자 한다.

본 센터는 지속적인 우수 장비의 집적화를 통해 교내 관련학과와 연구소의 협력을 강화하고, 주변 대학, 연구소 및 기업들과 공동활용 범위를 확장하고자 한다. 또한 점진적으로 지역 업체를 대상으로 분석 지원 서비스를 통한 활용범위를 확장할 계획이다. 특히 본 센터는 기초과학융합연구소(중점연구소)를 통해 구축한 연구 인프라를 기반으로 하여, 고분자·복합소재 연구 산학연 네트워크 허브를 구축하고 세계 우수 연구기관과의 네트워크를 형성하여 글로벌 연구소로 성장하여 국제적 위상 제고에 기여할 수 있을 것이다.



그림 3. 고분자 및 복합소재 분석을 위한 원스톱 솔루션 체계

Project 3 연구소 현황 및 비전

고분자·복합소재 연구센터는 현재 센터 기반 구축 단계로써, 공간/시설 구축 및 일부 장비 이전을 완료하였고, 추가 장비 이전 및 제우스 예약관리 및 자체 예약관리 시스템 기반의 운영 시스템 구축을 2023년까지 완료할 예정이다. 장비 공동활용과 장비 활용의 전문화 고도화를 통해 글로벌 네트워크를 확보하고 세계적 핵심연구지원센터로 구축하는 것을 최종 목표로 하고 있다.

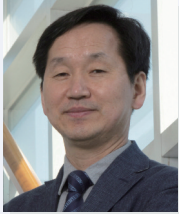
본 연구센터는 고분자, 콜로이드, 나노입자 및 복합소재 분석을 위한 첨단 장비를 집적화 및 효율적인 운영과 공동활용 체계를 마련함으로써, 세계적 수준의 연구성과 달성과 지역 연구자들에게 활용 가능한 연구 인프라를 확장하는 기회를 제공할 것이다. 특히, 고분자 및 복합소재를 일괄적으로 연구/분석할 수 있는 기관이 절대적으로 부족한 상황에서, 경쟁력 있는 연구 기회 제공 및 우수한 연구 인력 양성에 기여할 것이다.



그림 4. 센터 내 구축 공간 일부 및 대표적 구축 장비



한양대학교
고분자·복합소재 핵심연구지원센터



손대원 센터장
한양대학교 화학과 교수

센터를 이끌고 있는 손대원 교수(한양대학교 화학과)는 한양대학교 화학과에서 학사와 석사를 졸업하고 제일합섬 연구소에서 연구원으로 재직하였다. 미국 루이지애나주립대학교에서 박사 학위를 취득(1994년)하고, 이후 위스콘신 대학과 토론토 대학에서 박사 후 연구원으로 근무하였다. 1997년부터 지금까지 한양대학교 화학과 교수로 부임한 이래로 다양한 학연산 공동연구를 비롯하여 다수 국책연구과제를 주도적으로 수행하였다. 광/X-선/중성자 산란을 기초로 고분자 물성에 관한 기초 연구를 진행하였고, 최근까지 산란/형광/질량분석을 이용한 cytometry 연구와 통계, 생명과학, 의학, 전산 분야의 다양한 연구진과의 협업을 진행하고 있다. 최근까지 150 편(주/교신 저자 120 편)의 국내외(SCI)논문, 16편의 국내외 특허를 등록하였다. 이러한 연구업적을 인정받아 국내외에서 'LG화학고분자학술상', '18th KOFST Scientific Best Publication Award' 등 다수의 상을 수상하였고, 2008년부터 지금까지 Springer의 고분자 분야 국제학술지 『Polymer Bulletin』의 Editor (-in-Chief) 로 활동하고 있다. 대한화학회의 고분자화학분과 회장, 한국고분자학회 전무, 부회장, 2015 KJF-ICOMEF 의장 등을 역임하였으며 현재 중점연구소인 기초과학융합연구소 소장과, 고분자복합소재 핵심연구센터장을 맡고 있다. 현재 연구단에는 연구책임자 손대원 교수를 포함하여 교수 8명, 박사급 연구원 5명, 석사급 연구원 2명과 행정원 1명 등 총 16명이 고분자·복합소재 연구 산학연 네트워크 허브로서의 역할을 다하기 위해 노력하고 있다.





권태진 Taejin Kwon

제주대학교 화학코스메틱스학과, 조교수
tjkwon@jejunu.ac.kr

소개글

권태진 교수는 분자 동역학 시뮬레이션 방법을 활용하여 고분자 및 콜로이드 젤과 같은 연성 물질의 열역학 및 동역학적 특성 연구를 수행해왔다. 특히, 연성 물질의 거시적인 기계적 특성과 분자 레벨에서 나타나는 미시적인 특성 간의 상관관계를 규명하였으며, 이를 활용하여 연성 물질의 기계적 특성을 조절하는 연구를 지속해왔다. 최근에는 콜로이드 젤의 동역학적 특성과 네트워크 구조 간의 상관관계를 규명하는 연구를 진행하고 있으며, 메커니즘을 밝히고 이를 통해 기계적 특성을 제어하는 연구를 수행하고 있다.

주요연구분야

- 물리화학(Physical Chemistry)
- 계산화학(Computational Chemistry)
- 고분자물리(Polymer Physics)
- 미세유변학(Microrheology)
- 고분자 나노복합체(Polymer Nanocomposite)
- 연성 네트워크 물질(Soft Network Materials)

대표논문

1. **T. Kwon**, T. A. Wilcoxson, D. J. Milliron, and T. M. Truskett, "Dynamics of Equilibrium Linked Colloidal Networks." *J. Chem. Phys.* **2022**, *157*, 184902.
2. **T. Kwon**, H. W. Song, S. Y. Woo, and B. J. Sung, "The Estimation of the Second Virial Coefficients of He and N2 Based on Neural Network Potentials with Quantum Mechanical Calculations." *Chem. Phys.* **2021**, *548*, 111231.
3. **T. Kwon** and B. J. Sung, "Confinement Effects on the Mechanical Heterogeneity of Glass Polymer Nanofibers" *Phys. Rev. E* **2020**, *102*, 052501.
4. **T. Kwon**[†], O.-S. Kwon[†], H.-J. Cha, and B. J. Sung, "Stochastic and Heterogeneous Cancer Cell Migration: Experiment and Theory." *Sci. Rep.* **2019**, *9*, 16297.
5. J. Jung[†], **T. Kwon**[†], Y. Oh, Y.-R. Lee, and B. J. Sung, "Spatial Dependence of Non-Gaussian Diffusion of Nanoparticles in Free-Standing Thin Polymer Films." *J. Phys. Chem. B* **2019**, *123*, 9250.
6. H. Bae[†], Y.-H. Go[†], **T. Kwon**[†], B. J. Sung, and H.-J. Cha, "A Theoretical Model for the Cell Cycle and Drug Induced Cell Cycle Arrest of FUCI Systems with Cell-to-Cell Variation during Mitosis." *Pharm. Res.* **2019**, *36*, 57.
7. **T. Kwon** and B. J. Sung, "Effects of Nanoparticles on the Stability of Polymer Fibers." *Phys. Rev. E* **2018**, *98*, 042503.

- 서강대학교 생명과학과, 학사(2011.3-2015.2)
- 서강대학교 화학과, 박사 (2015.3-2021.2, 지도교수 : 성봉준)
- 서강대학교 화학과, 박사 후 연구원 (2021.3-2022.3, 지도교수 : 성봉준)
- The University of Texas at Austin, Department of Chemical Engineering, 박사 후 연구원 (2022.4-2023.8, 지도교수 : Thomas M Truskett)
- 제주대학교 화학코스메틱스학과, 조교수 (2023.9-현재)



박소현 Sohyun Park

성신여자대학교/화학 · 에너지융합학부, 조교수
sohyun@sungshin.ac.kr

소개글

박소현 교수는 Self-assembled monolayer (SAM)의 구조 및 열전 성능 관계를 규명하고 응용을 위한 연구를 수행해왔다. 특히 분자 수준의 열전 연구를 위한 새로운 액체금속 기반 열전 성능 측정시스템을 구축하였으며, 이를 이용하여 다양한 분자 구조와 열전 성능의 관계를 분석하여 분자 열전의 원리를 밝혀내고, 높은 열전 성능을 가진 재료를 만들기 위한 원자 단위 설계 규칙을 확립하는 연구를 진행하였다. 또한 이의 응용성을 위하여 높은 열전 성능을 가지는 SAM-2D material 복합 구조체, 유기금속구조체 및 올리고머 구조체에 대한 연구를 진행하였다. 또한 최근에는 연구 분야를 넓혀 전도성 고분자 잉크를 이용하여 수용액 속 과불소화합물 및 중금속 이온을 센싱하는 진단키트 개발을 진행하고 있다.

주요연구분야

- 열전학(Thermoelectrics)
- 분자전자학(Molecular Electronics)
- 초분자화학(Supramolecular Chemistry)
- 유기금속화학(Organometallic Chemistry)
- 무기화학(Inorganic Chemistry)
- 유기화학(Organic Chemistry)
- 고분자화학(Polymer Chemistry)
- 표면화학(Surface Chemistry)
- 환경화학(Environmental Chemistry)

대표논문

1. **S. Park**[†], E. Kim[†], Y. Choi[†], J. Jang[†], K. Kwak[†], M. Cho^{*}, H. J. Yoon,^{*} "Thermoresponse of Odd-Even Effect in n-Alkanethiolate Self-Assembled Monolayers on Gold Substrates." *Chem. Eur. J.* **2023**, *29*, e202203536.
2. **S. Park**, J. Jang, Y. Tanaka^{*}, H. J. Yoon^{*}, "High Seebeck Coefficient Achieved by Multinuclear Organometallic Molecular Junctions." *Nano Lett.* **2022**, *22*, 9693-9699.
3. **S. Park**, J. W. Jo, J. Jang, T. Ohto^{*}, H. Tada, H. J. Yoon^{*}, "Thermopower in Transition from Tunneling to Hopping." *Nano Lett.* **2022**, *22*, 7682-7689.
4. **S. Park**, S. Kang, H. J. Yoon^{*}, "Thermopower of Molecular Junction in Harsh Thermal Environments." *Nano Lett.* **2022**, *22*, 3953-3960.
5. **S. Park**, H. J. Yoon^{*}, "Thermal and Thermoelectric Properties of SAM-based Molecular Junctions." *ACS Appl. Mater. Interfaces* **2022**, *14*, 22818-22825.
6. **S. Park**, J. Jang, H. J. Yoon, "Validating Mott Formula with SAM-based Large-Area Junctions: Effect of Length, Backbone, Spacer, Substituent, and Electrode on Thermopower of SAM." *J. Phys. Chem. C* **2021**, *125*, 20035-20047.
7. **S. Park**[†], H. R. Kim[†], J. Kim, B. H. Hong^{*}, H. J. Yoon^{*}, "Enhanced Thermopower of Saturated Molecules by Non-covalent Anchor-Induced Electron Doping of Single Layer Graphene Electrode." *Adv. Mater.* **2021**, *33*, 2103177.
8. **S. Park**, J. Jang, H. Kim, D. I. Park, K. Kim, H. J. Yoon^{*}, "Thermal Conductance in Single Molecules and Self-Assembled Monolayers: Physicochemical Insights, Progress, and Challenges." *J. Mater. Chem. A* **2020**, *8*, 19746-19767.
9. **S. Park**[†], S. Kang[†], H. J. Yoon^{*}, "Power Factor of One Molecule-thick Films and Length Dependence." *ACS Cent. Sci.* **2019**, *5*, 1975-1982.
10. **S. Park**, N. Y. Cho, H. J. Yoon^{*}, "Two Different Length-Dependent Regimes in Thermoelectric Large-Area Junctions of n-Alkanethiolates." *Chem. Mater.* **2019**, *31*, 5973-5980.
11. **S. Park**[†], H. Kang[†], H. J. Yoon^{*}, "Structure-Thermopower Relationships in Molecular Thermoelectrics." *J. Mater. Chem. A* **2019**, *7*, 14419-14446.
12. **S. Park**, H. J. Yoon^{*}, "New Approach for Large-Area Thermoelectric Junctions with Liquid Eutectic Gallium-Indium Electrode." *Nano Lett.* **2018**, *18*, 7715-7718.

- 고려대학교 화학과, 학사(2014.3-2017.8)
- 고려대학교 화학과, 박사(2017.9-2022.8, 지도교수 : 윤효재)
- Massachusetts Institute of Technology (MIT), 박사 후 연구원(2022.10-2023.8, 지도교수 : Timothy M. Swager)
- 성신여자대학교 화학·에너지융합학부, 조교수 (2023.9-현재)



이수민 Sumin Lee

건국대학교/화학과, 조교수
 suminlee@konkuk.ac.kr
<https://suminleeku.wixsite.com/orgchem>

소개글

이수민 교수는 유기 금속 촉매 및 광촉매를 사용하여 새로운 유기 합성 방법론을 개발하는 연구를 수행해 왔다. 특히 전이 금속 촉매를 사용하여 신약, 천연물 등에서 광범위하게 존재하는 질소 함유 유기화합물을 손쉽게 얻을 수 있는 출발 물질로부터 직접적으로 만드는 합성 방법 개발 연구를 진행해 왔다. 최근에는 가시광선을 에너지 소스로 사용하는 광촉매 반응을 통해서 기존에 얻을 가해서는 달성할 수 없었던 새로운 반응을 개발하는 연구를 진행하였다. 현재는 광촉매 및 유기 금속 촉매반응을 통해서 비대칭 화합물 및 헤테로 고리 화합물 합성 방법 개발 연구를 수행하고 있다.

주요연구분야

- 유기화학(Organic Chemistry)
- 유기금속화학(Organometallic Chemistry)
- 유기합성화학(New Synthetic Methodology Development)
- 광촉매화학(Photoredox Catalysis)
- 유기촉매화학(Catalysis)

대표논문

1. Lamartina, C.; Cassandra, C.; **Lee, S.**; Shah, N.; Rovis, T. "Modular Synthesis of Unnatural Peptides via Rh(III)-Catalyzed Diastereoselective Three-Component Carboamidation Reaction." *J. Am. Chem. Soc.* **2023**, *145*, 1129.
2. **Lee, S.**; Rovis, T. "Rh(III)-Catalyzed Three-Component Syn-Carboamination of Alkenes Using Arylboronic Acids and Dioxazolones." *ACS Catal.* **2021**, *11*, 8585.
3. **Lee, S.**; Semakul, N.; Rovis, T. "Direct Regio- and Diastereoselective Synthesis of d-Lactams from Acrylamides and Unactivated Alkenes Initiated by Rh(III)-catalyzed C-H Activation." *Angew. Chem. Int. Ed.* **2020**, *59*, 4965.
4. **Lee, S.**; Jang, Y. J.; Phipps, E. J. T.; Lei, H.; Rovis, T. "Rhodium(III)-Catalyzed Three-Component 1,2-Diamination of Unactivated Terminal Alkenes." *Synthesis.* **2020**, *52*, 1247.
5. **Lee, S.**; Lei, H.; Rovis, T. "A Rh(III)-Catalyzed Formal [4+1] Approach to Pyrrolidines from Unactivated Terminal Alkenes and Nitrene Sources." *J. Am. Chem. Soc.* **2019**, *141*, 12536.

- 고려대학교 화학과, 학사(2003.3~2010.2)
- 고려대학교 화학과, 석사(2010.3~2012.2, 지도교수 : 김중승)
- SK Chemicals R&D 센터, 주임연구원 (2012.1~2016.6)
- Columbia University 화학과, 박사 (2016.9~2021.6, 지도교수 : Tomislav Rovis)
- Princeton University 화학과, 박사 후 연구원 (2021.7~2023.8, 지도교수 : Robert Knowles)
- 건국대학교 화학과, 조교수(2023.9~현재)

화학세계가 만난 화학자 ②

“Fortune favors
the prepared mind”



〈화학세계가 만난 화학자〉에서는 대한민국 화학계에 공헌한 화학자와의 인터뷰를 소개해 드리고 있습니다. 이번 호에는 KAIST 김명자 이사장님을 모셨습니다. 이사장님은 화학을 전공하고 학계, 행정, 입법, 기업, 언론, NGO 등을 거치며 50여 년간 멀티플레이어로 일해 오셨습니다. 교수 출신으로 김대중 대통령 정부에서 환경부 장관(1999-2003년)에 임명되어 ‘헌정 최장수 여성장관’과 ‘국민의 정부 최장수 장관’의 기록을 남겼습니다. 또한 비례대표 국회의원(2004-2008년)으로 국방위원회에서 국방 R&D 강화와 병영문화 개선에 기여했습니다. 이후 계속 단체장을 맡으며 특히 한국과학기술단체총연합회(KOFST) 50년 사상 최초의 여성 회장(2017-2020년)에 선출되어 과학기술계를 이끌었습니다. 기업 부문에서도 한국지속가능발전기업협의회(KBCSD) 회장, 민간 부문 대기업 이사회 의장 등을 지냈습니다. 2023년부터는 KAIST 이사장을 비롯해 이십여 개 직함으로 봉사하고 계십니다. 화학자로서 1970년대부터 과학기술 연구와 교육에 종사하며 과학기술 정책 수립과 추진, 과학기술 저술과 언론 활동, 과학기술의 대중화, 과학기술의 외연 확대, 여성 과학기술 인력의 사회 진출 등에서 일해 오셨는데, 이처럼 독보적 발자취를 남기고 계신 이사장님의 경험과 소회를 소개해 드립니다.

[모더레이터: 한순규 KAIST 화학과 교수]

1. 이사장님께서서는 1966년 서울대학교 문리과대학 화학과를 졸업하셨는데, 화학을 전공으로 택한 계기가 있었는지 궁금합니다. 다른 인터뷰에서 고등학교 시절 국어, 영어 등 문과 소질이 있었다고 하셨는데, 그 시절로 돌아간다면 다시 화학을 전공하실 것 같으신지요? 또 진로선택의 고민을 가진 중고등학생들에게 어떤 조언의 말씀을 해주실 수 있으신가요?



■ University of Virginia 화학과 건물에서 박사학위 과정 중 (1969년)

옛날로 돌아간다면 다시 화학을 선택할지, 잘 모르겠습니다. 결국 자신의 적성에 잘 맞고 가장 즐겁게 잘하는 일을 찾아야 하는데, 지금까지 화학의 스페셜리스트라기보다는 과학과 다른 분야의 융합이라고 할까, 제너럴리스트로 살고 있으니까요. 아마도 과학기술 분야(아마도 AI)를 선택할 것 같긴 한데, 결국 융합으로 가지 않았을까 싶습니다.

어릴 적부터 인생 목표나 포부가 컸던 사람이 아니고, 단지 공부를 많이 했으면 좋겠다는 학문적 허영심(?)이 있을 뿐입니다. 대학 진학에서 자연계를 택한 건 당시 교환교수로 예일대학교에 계셨던 아버지의 말씀에 영향을 받았기 때문입니다. 미국은 1957년 소련의 스푸트닉 충격으로 과학교육혁명이 진행되면서 아시아계 유학생들에게 조교 장학금을 많이 주던 때였습니다.

화학을 진로로 선택함에 있어 여러 가지 장점이 있겠지만 무엇보다도 화학이 자연과학 분야 중에서도 응용성이 넓은 사실을 강조하고 싶습니다. 화학은 이론 연구도 가능하고, 그것을 이용한 응용연구도 가능합니다. 또한 산업계에 바로 적용 가능한 학문이기도 합니다. 타 분야와의 융합연구도 수월하게 진행할 수 있습니다. 최근 AI를 필두로 하여 전산학 관련 전공이 인기가 많은데 어느 특정 시기에 특정 전공이 인기 있는 사회적 흐름은 컨트롤할 수 있는 부분은 아니라고 생각합니다. 다만 우리 나라의 의대 편중 현상은 큰 문제가 있다고 생각합니다. 임상치료에 치중된 현재의 의학 교육 및 연구로는 첨단 바이오 강국이 될 수 없다고 생각합니다.

2. 지금의 장관님을 있게 한데 있어 가장 큰 영향을 미친 사람은 누구인가요?

제가 학창시절부터 인문학적인 소질이 없지 않았습니니다. 그럼에도 불구하고 자연과학을 전공으로 선택했던 것입니다. 그런데 사람은 자기가 좋아하고 좀 더 잘할 수 있는 분야를 찾아가게 되는 것 같습니다. 1971년 학위 끝낸 후 곧



■ 경기여고 3학년 재학시절 화학실험 중. 왼쪽에서 세 번째 학생이 김명자 이사장님(1961년)



■ 일본 화학사회회에서. 가운데가 김영식 교수(1990년 경)

바로 귀국해 강단에 섰고 1980년대부터는 교양 과학사(科學史)를 가르쳤습니다. 문명사 속의 과학기술과 다른 분야 사이의 상호작용은 참 흥미로운 주제였습니다. 이 길로 들어서도록 인도해 준 선생님은 저보다 3년 후배인 서울대 김영식 교수(당시 화학과 소속)였습니다. 하버드대학에서 이학박사를 하고 프린스턴대학에서 문학박사를 받은 독보적인 배경의 존경할 만한 대학자를 만난 것은 참 고마운 일이었습니다. 그 당시 김영식 교수의 과학사 및 과학철학 협동과정에 청강생으로 수업을 듣기도 했습니다. 그 계기가 제 커리어의 중요한 한 점(dot)이 되어 다른 점들과 연결된 것이라는 생각이 듭니다.

3. 이사장님께서 미국 버지니아대학(University of Virginia)에서 물리화학으로 박사학위를 받고 1974-1999년 숙명여자대학교 화학과 교수를 지내셨습니다. 1970년대 초반에는 연구 장비와 시설 등 여건이 상당히 열악했고, 과학기술계 여성인력의 사회 진출에 대한 인식도 지금과는 격차가 컸습니다. 자녀 셋을 두셨는데 일-가정 양립의 어려움을 어떻게 극복하셨는지 궁금합니다. 일-가정을 양립해야 하는 젊은 연구자들에게(남녀를 불문하고) 지혜의 한 말씀 해주실 수 있을까요?

남성의 고유 영역으로 인식되던 과학기술 분야에서, 특히 유교 전통의 한국 사회에서, 62학번 여학생이 걸어온 길이 꽃길이었을 리는 없지요. 심신의 고단함이 만만치 않았던 건 분명한데 그때는 그걸 별로 느끼지도 못했습니다. 1971년 귀국 후 아이가 셋에 며느리 역할을 하면서, 1972년 서울대학교 강사를 시작해 1974년 숙명여대 조교수로 부임했습니다. 하루를 25시간으로 살아도 모자랐습니다. 그 당시 사회 분위기에서 여성이 전문직 직업을 갖고 활동한다는 것이 이례적인 일이었고 모든 것은 제가 책임을 져야 한다는 의식이 강했습니다. 그때는 육아 등의 주어진 모든 집안일을 하면서도 일을 해야 했고 그 어려움에 대해서는 불평을 할 생각도 못했습니다. 지금과는 많이 분위기가 달랐죠.

당시 숙명여대 실험실에는 pH 미터, 화학 저울, 전위차계 등이 있는 정도였는데, 어쩌면 실험시설 탓을 하는 것은 핑계였을 지도 모르겠습니다. 연구실 여건이 좋았다고 하더라도 과연 잘했을까 싶으니까요. 다만 일생 동안 신 기간이 없고, 숙명여대 교수이면서 서울대 강사(교양 과학사)도 10년간 했습니다.

1980년대, 우리 사회는 군사독재에 대한 저항으로 혼란에 휩싸였고, 대학 캠퍼스에서의 최루탄 세례로 알레르기도 생겼습니다. 집과 학교를 오가며 강사 수준의 교수 노릇을 하면서 심리적 갈등이 심해졌습니다. 자아(ego)를 살릴 수 있는 돌파구가 필요했고, 강박관념에 쫓겨 찾은 것이 과학사와 관련되는 번역과 저술 활동이었습니다. 교자상에서 볼펜으로 글씨를 쓰면서 집필 진도를 하루하루 기록하며 자신을 다그치다가 그 대가를 톡톡히 치르게 됐습니다. 책이 줄줄이 나오고 언론도 많이 탔지만, 오른쪽 엄지손가락 인대가 늘어나 글쓰기가 불편해지고 자세가 잘못되는 등 무리가 와서 한참 동안 한의원도 들락거렸습니다. 당시 번역하던 책에는 아이가 '나랑 놀자'면서 꼬적거린 연필 자

국이 추억으로 남아 있습니다. 그러다 보니 공저 포함해서 저역서가 20여 권이 됐습니다.

일-가정을 양립해야 하는 젊은 연구자들이 많은 어려움이 있을 것으로 예상됩니다. 그런데 지나고 보니 그게 다한 때더라구요. 일을 하는 것만큼이나 가정을 돌보는 것도 돌이켜보면 인생의 소중한 한 부분이 되더군요. 쉽지 않겠지만 집과 직장에서 주어진 여건에서 모두 최선을 다하고 이상적으로는 즐기기까지 할 수 있다면 금상첨화일 것 같습니다. “피할 수 없으면 즐겨라”의 정신으로요.



■ 1991년 숙명여자대학교 화학과 오피스에서

4. 이사장님께서 1999년 25년간의 화학과 교수직으로부터 환경부 장관으로 자리를 옮기게 됐는데, 어떻게 변신을 했는지, 그 과정이 궁금합니다. 특히 김영삼 대통령의 문민정부 시절 국가과학기술자문위원으로 활동하셨고 김대중 대통령의 국민의 정부 시절 장관직을 수행하셨습니다. 초당적인 행보라고 할 수 있는데 그 이후로도 그러한 모습을 보이셨습니다. 그렇게 하실 수 있었던 요인이 무엇인가요?

김영삼 대통령 때 국가과학기술자문위원(10명 중 홍일점)으로 활동을 하였습니다. 이후 정권이 바뀌면서 9명의 자문위원이 바뀌었는데 저는 유일하게 연임을 하였습니다. 제가 꾸준히 저술작업을 하면서 신문에 칼럼도 꾸준히 썼고, 뉴스에서 과학기술 분야 해설도 하였고 때문에 연임했던 것 같습니다. 이후 보고 차 김대중 대통령을 몇 번 뵈 인연이 있을 뿐인데, 공직기강 팀에서 실무적으로 올린 명단의 첫 후보로 장관이 되었습니다. 따라서 당과 언론에서는 전혀 생소한 인물이었습니다. 제가 재임하는 동안 여섯 번의 개각이 있었는데 환경부에 세 번째로 들어가서 끝까지 갔습니다.

사실 김대중 대통령의 국민의 정부 시절에는 대통령과 독대한 적이 별로 없습니다. 하지만 김대중 대통령이 퇴임한 후에는 찾아보았습니다. 그때가 2003년이었는데 2004년 총선을 앞두고 여당과 야당 모두에서 비례대표 후보로 제의가 있던 참이었습니다. 이에 정치참여를 해야 하는지 어떤 방식으로 해야 하는지 김대중 전 대통령에게 물었더니, 정치 참여는 적극적으로 하되 방식은 원하는 방향으로 하라는 조언을 받았습니다. 제가 원래 공격적인 성향이 아니고 “싸움”을 싫어하고 잘하지도 못하는 성격이었기에 당시 여당이던 열린 우리당에 입당하게 되었고 국회의원이 되었습니다. 사실 국회의원으로서 정치의 생리가 저와는 썩 맞지는 않았습니다. 제가 정치를 계속 할 것이 아니고 비례대표 국회의원으로 활동하겠다고 마음먹었기에 저의 소신대로 입법활동을 할 수 있었습니다. 그러는 와중에 노무현 대통령 때는 건설교통부 장관으로 내정됐었는데, 몇 주일 고심하다가 고사했습니다. 이후 이명박 대통령 정부에서는 <사회통합위원회>의 자문위원으로 활동하였습니다. 박근혜 대통령 정부에서 과총 회장으로 재임하였고 2015년에는 과학기술 창조장을 받기도 하였습니다. 문재인 대통령 정부 시절에는 과학기술 유공자가 되었습니다. 현재 윤석열 대통령 정부에서는 <국민통합위원회> 5명의 고문 중 한 명으로 활동하고 있습니다. 흥미롭게도 2004년 국회의원 시절 중앙일보에서 국회의원의 진보/보수 성향을 발표한 바 있는데 저는 딱 중간에 있었습니다. 다만 제가 항상 견지하고자 한 것은 환경부에서도, 국회에서도 그리고 그 후에도 과학적으로 사고하고 과학적 방법론에 입각하여 문제를 접근하고 푸는 것이었습니다. 자연과학의 학문적 배경과 훈련이 사회적 현상을 다루는 문제풀이에서 특이한 메커니즘으로 작동했다고 느끼고 그것이 저의 오늘을 만들었다고 말씀드릴 수 있습니다. 그 모든 이유로 저는 자연과학 분야로 시작해서 행정, 입법, 민간 부문에서 일하고 있는 것에 대해 감사와 함께 자부심을 갖고 있습니다.



■ 김대중 대통령 환경부 장관 임명장 수여식 (1999 6월 25일)



■ 국회의원 재직 중 김대중 전 대통령 해외 순방 후 귀국장에서(2006년)



■ 국회국방위원회 국감장에서(2006년)

5. 전공으로 보면 환경부보다는 과학기술부 장관이 되실 것이라 예상했는데요. 환경 행정을 맡게 된 것이 1992년에 쓰신 『동서양의 과학전통과 환경운동』이라는 책과 연관이 되지 않을까 하는 생각도 듭니다. 교수가 장관으로 들어가면 공무원들의 텃세도 있을 것 같은데, 환경부를 잘 이끄신 비결이 궁금합니다. 더욱이 법적 근거에 의한 제1회, 2회 (2001년, 2002년) 정부 부처 업무평가에서 최우수 부처 대통령 표창을 받은 리더십의 노하우가 무엇인지요?

1999년 아무런 정치적 끈도 없는 여교수가 손속 환경부 장관의 후임으로 오게 되자 초기의 부처 분위기는 썰렁했습니다. 공무원들은 외부에서 오는 장관의 경우 교수보다는 국회의원을 선호한다는 것을 나중에 알았습니다. 업무는 맡기고 대국회 관계를 잘 해결한다고 믿기 때문입니다. 교수가 장관으로 성공한 경우가 드물다는 세평(世評)도 나중에 들었습니다. 교수는 비판을 받기보다는 하는 자리이고, 장관직은 국회, 언론, 국민으로부터 쓴소리를 달게 받아야 하는 자리라서 그런 것 같습니다.

환경부에 들어가서 태도가 바뀐 건 없으니 변신이랄 건 없습니다. 다만 私心을 버리고 국가와 국민을 위해 公僕로서의 책무와 사명을 다 해야 한다는 자세로 일했습니다. 해야 될 일이라고 판단하면 아무리 어려움이 있어도 하고, 해서는 안 될 일이라면 누가 뭐래도 안 된다는 원칙을 지키고자 했습니다. 중요한 것은 그 판단이 얼마나 옳은가의 문제인데, 그것은 건전한 양식과 양심의 문제라고 생각합니다.

환경부에 간지 몇 달 지나자, 어느 분이 '조직 분위기가 다 잡힌 것 같다'는 말씀을 했습니다. 분위기가 잡힌 데에는 인사가 가장 중요한 요인이었던 것 같습니다. 인사원칙은 사람마다 소질과 적성에 차이가 있다는 것을 인정하면서 적재적소에 사람을 배치하되 철저하게 '일 중심, 성과 중심'으로 '公平無私'에 최선을 다 했습니다. 그리고 조직의和睦을 최대한 강조했습니다. "어려움에 부딪혔을 때 남의 일이라도 나의 일로 여겨 함께 대처해야 한다, 민원업무는 나 자신 또는 내 가족의 일로 생각하고 처리해야 한다, 열정과 정성으로 일해야 한다"를 강조했습니다. 그리고 장관으로 격에 맞게(?) 일했다기보다는 사무관, 과장, 국장일 구분 없이 함께 일했습니다. 처음에는 좀 긴장하는 듯했지만, 곧 익숙해지는 것 같았습니다.

환경부 가족들이 저보고 하는 얘기가 있습니다. '일 욕심이 엄청나게 많고 사람 욕심이 많다'고요. 저는 조직의 생명은 사람이고 특히 리더의 역할이 중요하다고 생각합니다. 그동안 인터뷰도 수없이 많이 했고, 최장수 장관의 비결이 뭐냐는 질문도 많이 받았습니. 서슴지 않고 '덕을 많이 입었기 때문'이라고 답했습니다. 그러면 그런 도움을 아무나 받는 것이 아니라고 말씀하십니다. 오늘날처럼 복잡한 사회 시스템 속에서 혼자서 해치울 수 있는 일은 거의 없고, 서로 힘을 모아야 성과를 거둘 수 있습니다. 陰陽의 德을 입는다는 것은 참으로 큰 축복이라고 생각합니다.

법적 근거에 의한 정부부처 업무평가에서 1회, 2회 연속 최우수부처가 된 것도 기록이 됐고, 지금도 환경부의 최전성기였다는 얘기를 듣습니다. 김대중 대통령 '국민의 정부' 마감과 함께 퇴임하면서 환경부 가족들에게 빛나는 졸업장에 우등상까지 안겨줘서 고맙다고 했습니다. 20여 년 전에 일하던 환경부 가족과는 지금도 정기모임이 이어지고 있습니다. 옛날 말로 의리를 중시합니다. 수행비서 다섯 명은 지금 다 실국장 급이 됐습니다.

2023년 10월 4일부터 3일간 김대중 평화회의(Peace Forum)가 열리는데, 저도 발제를 합니다. 기후위기 등 다중위기 극복이 주제인데, 마침 장관 시절 2000년도에 김대중 대통령의 『21세기 환경 비전』 어록을 출간했었습니다. 지금 읽



■ 2001년 정부부처업무평가 최우수부처 선정기념 작은잔치

어도 해안이 돋보여서 그 내용을 결론으로 소개합니다. 국가과학기술자문회의 위원으로 김대중 대통령을 뵈게 된 인연으로 최장수 장관직을 수행했고, 현재까지 김대중 평화센터 등 관련 기관의 이사를 하면서, 김대중 대통령을 모시고 일한 데 대한 감사의 마음이 큼니다.

6. 2016년에는 한국과학기술단체총연합회(과총) 50년 사상 최초의 여성 회장으로 선출되어 다양한 변화를 일구셨습니다. 과총을 이끄시면서 가장 기억에 남는 일은 무엇이었는지요?

2016년 차기회장으로 당선되고 2017년 회장으로 취임할 때 과총은 기관 경고를 받는 등 여건이 매우 나빴고, 취임식 날 오전에야 로비에 설치했던 노조 농성 텐트를 거둔 상태였습니다. 과총은 600여 개의 과학기술 학회와 단체, 공공, 민간 연구소, 13개 지역연합회, 18개국 재외과학으로 구성된 거대조직입니다. 기초과학에서 산업까지 스펙트럼이 넓다 보니 ‘소통과 통합’의 가치 실현이 중요하다고 판단돼서 취임 당시 슬로건이 ‘우리 함께’였습니다. 회원 단체가 주인인식을 갖고 ‘우리 함께’로 뭉칠 때, 과총의 시대적 소명을 다 할 수 있다고 믿었습니다.

제 인생의 마지막 프로젝트라면서 늘 하던 대로 일벌레로 일했습니다. 4차 산업혁명 관련 이슈별로 공론화 장을 열고, 규제 개선과 인력 양성, 정책 제안 등에 대한 과학기술계의 의견을 수렴하고 정부 등 다른 부문과 공유하는 시스템을 정착시키는 프로그램을 추진했습니다. 위원장직에는 여성을 공동위원장으로 모시는 원칙을 지키고자 했습니다. 포럼, 세미나, 전문가회의 등 300여 차례의 국내외 모임을 개최했고, 축사 전문으로 행사에도 많이 다녔습니다. 과총 안팎에서 “과총이 변했다”는 말을 들을 때 보람이 컸습니다.

가장 눈에 띄는 사업으로는 과총의 숙원사업이던 과학기술회관 2관(현재 명칭) 건설사업을 공청회 등을 거쳐 설계도면부터 바꿔 본 궤도에 올린 것입니다. 2013년 당초 계획은 낮은 별관만을 철거해 신규 건물을 본관에 연결하는 수평 증축이었으나, 이후 효율성, 공공성, 안전성을 대폭 확보한 통합신축계획으로 변경해 착공했습니다. 26개 영구입주기관 권리범위 협약체결 등 지난한 과정을 거쳤습니다.

그리고 1960년대 이후 쓰이던 과총 CI를 현대 감각에 맞게 개정한 것도 역사적 기록입니다. 개정할 것인가 여부부터 논의를 거쳤고, 다행히도 사회공헌 사업으로 기부까지 받았습니다. CI 리뉴얼 과정에서 회원단체가 ‘함께 만드는 C’가



과총회장 재임 중 US-Korea Conference (2018년)



과총회장 재임 중 한국과학기술연차대회 기조 강연(2019년)



과총회장 재임 중 과학기술회관 2관 착공식 (2019년)



과총회장 재임 중 플라스틱 이슈포럼 기조강연 (2019년)

될 수 있도록, 현장과 온라인 인터뷰와 설문을 실시하는 등 많은 공을 들였습니다. 21세기 과총의 비전과 사명, 혁신의 정체성을 새롭게 세우고, 과총의 정신(mind)과 실천(behavior)의 아이덴티티(identity)를 형상화한 현대적 이미지인데, 지금도 볼 때마다 뿌듯합니다.

2019년에는 ‘미세먼지 국민포럼’과 ‘플라스틱 이슈 포럼’을 시리즈로 각각 6회 이상 열면서 온라인 소통도 하고, 실천계획도 도출했습니다. 과총이 환경 이슈를 시리즈로 다룬 이유는 2018년도 과총 선정 ‘올해의 10대 과학기술 뉴스’에서 미세먼지와 플라스틱 이슈가 1, 2위에 올랐기 때문입니다. 환경 이슈가 과총까지 저를 따라온 것 같아서, 사명감을 갖고 과학기술과 환경을 접목시키는 작업을 했습니다. 동분서주하면서 환영사 등을 쓰다 보니 쌓인 원고가 아까워서, 결국 “산업혁명으로 세계사를 쓰다” 책을 쓰게 됐습니다. 원고를 줄였는데도 590페이지가 넘는 책을 보고서 “이걸 어떻게 썼을까” 싶기도 한데, 과총 회장을 한 덕분에 얻은 결실입니다. 2020년에는 ‘팬데믹과 문명’까지 두 권이 우수과학도서로 선정되기도 했습니다.

7. 이사장님께서서는 우리나라 헌정 사상 최장수 여성장관, 과총 최초의 여성 회장, 민간부문 최초의 이사회 여성 의장 등 한국을 대표하는 여성 과학기술인입니다. 여성 과학자들이 현장에서 겪는 애로사항에 대해 어떻게 보시는지, 그리고 그 해결 방안에 대한 의견을 듣고 싶습니다.

헌정 최장수 장관은 어차피 후배들이 깨야 할 기록이고, 지난 정부에서도 꽤 오래 한 여성장관들이 있어서 저는 쓰지 않았습니다. 그랬더니 얼마 전에 인터뷰를 하는데 국장급 언론인이 재임 기록을 다 계산해 갖고 와서 제가 헌정 최장수라고 확인해주시더군요. 저 자신은 그동안 1980년대부터 홍일점에 익숙해져서인지 특별히 여성으로 구분하는 것에 익숙하지는 않습니다.

서구 과학사(科學史)에서도 초기에 제기된 질문은 “과학 속의 여성은 왜 그렇게 소수인가?”였습니다. 국내외를 막론하고 일-가정 양립의 딜레마는 과학기술 전공에서 특히 심각합니다. 그러나 최근 OECD 자료를 보면 여성의 고등교육 이수 비율과 미국의 대졸 이상 남녀 비율에서 여초(女超) 현상이 뚜렷하고 과학기술계 진학도 활발합니다. 과학기술 분야는 특히 훈련과 교육에 시간이 오래 걸리고 재정 투입도 더 많이 해야 합니다.

저출산 고령화로 해외 인력 유입을 강조하는 상황에서 이렇게 키워놓은 인력을 여성이라는 이유로 사장(死藏)시키는 악순환은 차단돼야 합니다. 그러나 개인으로서 해결하기에는 역부족이므로 국가적 차원의 전략적이고도 적극적인 대책이 필요합니다. 모성 보호와 고용 촉진 등 사회적인 맞춤형 대책이 절실합니다.

여성 과학기술계의 징크스는 유리천장(Glass Ceiling)과 ‘새는 파이프라인(Leaky Pipeline)’입니다. 여성 과학자가 겪는 관행적, 사회문화적, 심리적 장벽을 남성 과학자는 이해 못 합니다. 육아 출산 등으로 경력 단절이 되기 쉬운데,

왕성하게 연구활동에 전념해야 할 나이에 그런 고비를 맞게 됩니다. 일단 공백이 생기면 과학기술 분야는 특히 경쟁력을 회복하기가 어렵습니다. 그러다 보니 과학기술계 여성 정규직 인력의 비중이 20%대로 매우 낮습니다.

4차 산업혁명의 개념을 최초로 주장한 클라우스 슈밥 세계경제포럼(WEF) 회장은 2016년 한국에서 4차 산업혁명의 거대한 변화 속도와 규모를 예측하며 “여성인력의 고차원적인 창의성이 발휘되는 시대라 될 것”이라고 했습니다. 또한 4차 산업혁명 시대는 모든 기술과 산업의 ‘융합’이 기본이고, 융합은 소통 능력을 최우선으로 요구하므로 이



■ 국회국방위원회 국감장에서(2006년)

런 덕목에서 여성이 강점을 발휘할 수 있을 것이란 기대도 있습니다. 다만 거대한 흐름 속에서 기회를 만들 수 있어야 하는데, 자신감과 역량을 키우고 롤 모델과 성공 스토리를 만들고, 여성 인재 양성과 활용의 연구개발 생태계가 조성돼야 할 것입니다. 한국은 인재에 힘입어 오늘날의 성장을 일구었습니다. 이제 더 늦기 전에 한국의 NIS(National Innovation System) 내에서 여성인력이 과학기술혁신의 새로운 추동력이 될 수 있는 실질적인 정책 대안이 나와야 합니다. 여성계는 참여의 정신으로 팔로워십을 키우고 리더십으로 발전시켜야 한다고 생각합니다.

8. 2023년 5월에 KAIST 이사장으로 선임되었습니다. KAIST의 역할과 임무, 나아가야 할 방향에 대해서 어떻게 생각하시는지요?

KAIST는 QAIST 신문화전략 핵심가치 추구를 기치로 내걸고 구체적 사업을 추진하고 있습니다. Question(창의 인재), Advanced Research(Post AI 융복합연구), Internatization(글로벌 인재), Start-up(기술가치 창출), Trust(소통과 신뢰 문화)가 비전입니다. 구성원들의 열정이 뜨겁습니다. 이사장으로서 글로벌화 구현, 융복합 인재 양성, 융복합 협업 연구 활성화를 위한 인프라 구축과 혁신 생태계 조성 구현에 힘쓰고 있습니다. 융복합이 핵심 키워드인데, 사실 말처럼 쉽지 않습니다. 각 분야의 수월성을 갖추는 것은 기본이고 다른 사람에 대한 배려와 협력 정신이 중요합니다.

근대사를 보면 산업혁명에 앞장선 국가가 세계사의 주역이 됐고, 그 과정에서 개방과 혁신은 불가결의 요소였습니다. 혁신이 최고의 가치가 되는 분야가 바로 과학기술이고, 과학기술혁신(STI)은 국가 경제와 사회 발전의 막강한 원동력입니다. 과학기술 특성화 대학으로서 R&D 특허, 기술이전, 창업에 의한 상용화와 시장 진출로 경제적, 사회적 이익을 국민에게 돌아가도록 하고 국가 경쟁력 강화에 더욱 기여해야 한다고 믿습니다. 융합형 인재, 여성 인력, 학제적 프로그램, 실질적 국제협력의 활성화가 과제입니다.

인재가 혁신, 경쟁력, 성장을 이끄는 핵심 요소가 된 시대입니다. KAIST가 배출하는 인재는 창의성, 주도성, 호기심, 협력 등의 자질과 함께 비판적 사고, 감성적 지능, 소통과 팀워크, 인지적 유연성, 복합적 문제해결 능력 등 사회적, 감성적 학습기술을 갖춰야 하는 시대가 됐습니다. 자연계 전공 학생들이지만 인문사회적 자질과 소양을 갖출 수 있도록 학풍과 교육과정, 훈련 프로그램을 강화할 수 있기를 바랍니다. 이런 덕목은 평생의 삶에서 가장 소중한 자산이고 조직에서의 인간관계, 즉 사회적 웰빙을 높여주기 때문입니다. 캠퍼스에서 서로 배려하고 소통하고 감사하는 것을 깨우치는 프로그램을 만들면 좋겠다는 생각도 합니다. 이제 우리나라도 초고령화 사회로 진입하고 있습니다. 대부분의 직종에서 정년을 마치고도 15~20년의 시간을 알차게 보내야 하는 것이죠. 그렇게 할 수 있는 소양을 대학에서 가르쳐야 한다고 생각합니다.

9. 앞에서 말씀하셨듯이, 62학번으로 현재도 왕성하게 활동하시고 KAIST 이사장으로서 젊은 세대와 교감해야 하는데, 세대 차이를 느끼는지 궁금합니다.

KAIST 이사장으로서도 젊은 교수진과 학생들, 이른바 MZ 세대와의 소통에 마음이 쓰이는 게 사실입니다. 밀레니엄 M세대는 1980년~2000년대 초반 출생, Z(Zero)세대는 2000년대 중반 이후 출생 세대라고 하더군요. 그런데 하도 세상이 빨리 바뀌고 있어서 이 둘을 묶는 것도 이질성이 상당할 것 같습니다. 여하튼 MZ세대와 엄청난 차이가 있는 게 사실이므로 이해하기 위해서 소통이 중요하다고 생각합니다. 우선 중학생 및 고등학생인 손녀들과 대화를



■ '자랑스러운 서울대인상' 수상 후 큰 손녀와 함께(2015년)

많이 하면서 그들의 심리를 이해하려고 하는데, 그건 잘되고 있습니다.

세대 차이에 대한 에피소드를 하나 말씀드리면, 2005년에 KAIST와 포항공대 여학생들이 국내의 7명 여성 과학자를 인터뷰해서 인생 스토리를 엮은 『과학해서 행복한 사람들』(사이언스북스)이란 책이 나왔습니다. 당시 저는 국회의원 시절이라 '이공계 교수 출신 여성 정치인' 카테고리에 들어서 '한국 정치에 향기를 불어넣은 여성과학자'로 인터뷰를 했습니다. 2004년 비례대표로 국회의원이 되고 보니, 서울대 자연과학대학이 배출한 최초의 국회의원이었습니다. 그때 인터뷰를 한 학생들은 제가 2002년 한국과학문화재단 선정 제1회 '달고 싶고 되고 싶은 과학자'였고, 국회에서 국방위원회 간사로 일하고 있었고, 헌정 최장수 여성장관으로 환경부 정부 부처 업무평가에서 잇따라 최우수 부처로 이끌었다는 기록에 관심이 크다고 했습니다. 국회 초선으로 국회윤리특별위원장이라는 상임위원장도 했습니다.

그런데 학생 기자들은 저를 만난 뒤 이렇게 썼습니다. "인터뷰를 하기 전에 내가 상상했던 선생님의 모습은 '철의 여인' 이었다. 한 치의 실수도 없이 맡은 일을 똑 부러지게 해내는 당찬 여성. 실제로 만나 본 김명자 선생님은 기대했던 그대로 '여장부'였다. 그러나 선생님의 당찬 모습 뒤에는 부드러운 여성성이 있었다. 김명자 선생님의 섬세한 리더십은 바로 그 부드러운 카리스마에서 나오는 것임이 느껴졌다. 여성성을 바탕으로 남성 중심의 관료사회를 개혁한 일은 분명 멋진 일이다. 하지만 아이러니하게도 그러한 평가를 받을 수 있는 높은 위치에 올라가기까지는 '무식하고 우직하게' 기존 시스템을 따라가 줘야만 했다. 환경부 장관이 되어 자신의 소신을 펴게 되기까지 선생님이 걸으셨던 험난한 과정을 보면서, 전 과목 올 A+를 받은 친구의 성적표를 구경할 때 느끼는 부러움과 착잡함이 뒤섞인 답답한 기분이 들었다."

뒤통수를 얻어맞은 느낌이었습니다. 슈퍼우먼으로 열심히 살았는데, 젊은이들에게는 '무식하고 우직하게' 기존 체제에 순응한 삶으로 보였으니까요. 사회는 단계적으로 발전하고, 우리 세대는 그 시대의 가치관을 갖고 살았고, 그 속에서 최선을 다했습니다. 이제 시대가 바뀌면서 새로운 가치가 자리 잡고 있으니, 우리 후배들은 보다 좋은 여건에서 희망과 비전을 펼 수 있기를 바라면서 그 일에 조금이라도 보탬이 되고자 합니다. 나이가 이렇게 되니 경쟁하고 평가받아야 할 이유가 없어져서 자유롭습니다. 인간이 추구하는 성취라는 것도 결국은 자신의 마음가짐에 달렸다는 것을 깨닫게 됐고요. 그런 자유로움이 가장 큰 자산이 됐고, 그간의 경험으로 누군가에게 조금이라도 도움이 될 때 가장 보람 있고 행복하다고 느낍니다.

10. 이사장님께서도 화학자로 커리어를 시작하셔서 “정치” 분야에서도 다양한 성과를 거두셨습니다. 이사장님의 활동을 보면서 사회 각 분야에서 과학자의 목소리를 내서 국정 운영과 정책에 반영되도록 하는 것이 중요하다는 생각이 듭니다. 그런데 화학 분야 전문가들은 대부분 가장 좋아하고 잘하는 것이 화학연구와 교육입니다. 전문 분야 이외의 사회적, 정치적 활동에 대해서 시간과 에너지를 투자하는 것이 부담스러운 경우가 많습니다. 과학 커뮤니케이션의 중요성은 인정하지만 연구 활동과 병행하기가 쉽지 않은데, 어떻게 해야 할까요?

네 무슨 말씀인지 잘 이해합니다. 한우물만 파기도 힘든 게 과학기술 전공인데, 사회적, 정치적 활동에 눈을 돌릴 여유가 없지요. 그런데 세상이 달라져서 과학기술의 영향이 너무 커졌습니다. 기술혁신뿐만 아니라 과학기술의 사회



■ Young Generation/Professional Forum (2018년)



■ 2014년 제3회 자랑스러운 자연대인 시상식(서울대학교 자연과학대학)



■ 과총회장 재임 중 연구윤리 대토론회(2018년)

문화경제적 영향, 심지어 가치관에 미치는 영향까지 고려해야 할 임무가 주어진 것입니다. 기술혁신의 가속화에 따라 과학기술계의 사회문화적, 인류사적, 윤리적, 가치관적 책임은 계속 커지고 있기 때문입니다. 기술혁신 속도 조절도 가능하지 않습니다. 이제는 인간의 가치가 기술의 가치를 제어할 수 있겠는가 의 질문을 하게 되는 상황입니다.

또한 과학기술은 사회혁신 실현에도 기여할 책무가 있습니다. ‘삶의 질 향상’, ‘공공복지 안전’, ‘기후위기 해결’, ‘따뜻한 과학’ 등이 주요 의제가 되고 있기 때문입니다. 보건, 의료, 교육, 위생, 환경, 안전 등 사회적 목표 달성에 기여하는 과학기술혁신 정책에서 과학자의 역할이 중요한 시대입니다. 과학자로서 사회, 경제, 문화, 윤리, 가치관에 이르기까지 스펙트럼을 넓혀 관심과 전문성을

갖출 필요가 있습니다. 그래서 일반 국민과 사회에 다가가는 과학기술계가 되어야 예산 지원의 기반도 튼튼해집니다.

말씀하신 것처럼, 과학 커뮤니케이션의 중요성을 인정하지 않는 과학자는 없을 것입니다. 그런데 현역에서 전문 분야 이외의 사회적, 정치적 활동에 시간과 에너지를 투자하는 것이 부담스러운 것도 사실입니다. 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 세상 전부는 아님을 인식하고 학생들을 지도하고 활동해야 할 것입니다.

11. 끝으로 지금 이 시간에도 열심히 연구와 교육에 전력을 다하고 있는 한국의 화학자들에게 한 말씀 해주시면 감사하겠습니다. 그리고 62학번으로 지금도 활발한 활동을 하고 계신 입장에서 언젠가는 정년을 맞이 하게 될 대한화학회 회원들에게도 한 말씀 부탁드립니다.

우리 후배 화학자들이 자신의 연구와 교육 활동에서 스트레스를 덜 받고 보람을 많이 느끼면서 좋은 성과를 낼 수 있기를 바랍니다. 어려운 얘기를 너무 쉽게 했어요. 과학기술인은 자율적인 연구 환경에서 자신의 전공에 몰두할 수 있고, 그래서 훌륭한 업적을 내고 인정을 받을 때 행복하게 느낄 것입니다. 그건 개인적인 행복이고, 자신의 연구가 상용화와 시장 진입을 거쳐 경제적, 사회적 효용 가치를 발휘해 사람들의 삶의 질을 향상시키고 사회 발전에 기여하게 된다면 더 큰 행복이 될 것이라고 생각합니다.

그리고 한마디 더 보태자면, 누구나 언젠가 정년퇴임을 하게 돼 있는데, 그 이후의 긴 시간을 못다 한 취미생활로 보내는 것도 새로운 낙(樂)이 되겠지요. 그러나 현역일 때부터 연관 분야에 관심을 갖고 참여한 경험이 과학자로서의 이모작 인생의 기회가 될 수 있다는 말씀을 드리고 싶습니다. 앞에서도 말씀드렸지만 정년 후에도 15~20여 년의 삶이 여러분을 기다리고 있습니다. 계속 연구비를 받아서 그때도 연구를 할 수 있다면 좋겠지만 모두가 그렇게 하지는 못할 것입니다. 그 시기를 대비하기 위해서라도 연구 관련 분야에 관심을 갖고 새로운 인생의 “dot”을 찍어나가는 것이 중요하다고 생각합니다. 재직 중에 창업을 하는 것도 좋다고 생각하고, 앞서 말씀드렸듯이 과학 커뮤니케이션에 관심을 갖는 것도 좋다고 생각합니다. 루이 파스퇴르의 경구를 자주 인용하는데, “Fortune favors the prepared mind”는 맞는 말이라고 생각합니다.

KCS 하이라이트

21 가시광선에 의한 촉매 유기합성반응 방법론 연구

이번 호에는 지난 4년간(2019-2023) 『BKCS』에 보고된 '가시광선에 의한 촉매 유기합성반응 방법론' 관련 연구논문을 소개합니다. 유기광촉매 및 유기금속광촉매 존재하에서, 혹은 광촉매를 사용하지 않은 조건에서도 가능한 유기합성법 개발에 관련한 다양한 논문들이 발표되었습니다. 회원분들의 많은 관심 부탁드립니다.

글 배한웅(성균관대학교 화학과, hybae@skku.edu)

BKCS

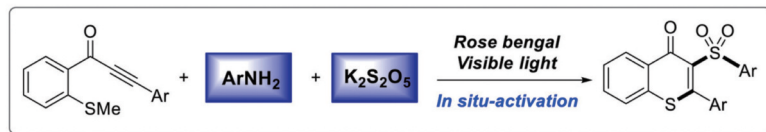
Early view / Communication

전북대 이안나 교수는 *in situ* 활성화 전략을 사용하여 3-아릴설폰닐화 싸이오플라본의 가시광선을 매개로 한 합성방법론을 개발했습니다. 이 반응은 민감하거나 가혹한 반응 조건 없이 one-pot, 삼성분 구성요소를 이용한 경로를 통해 진행됩니다. 유기광촉매를 사용하여 *in situ* 에서 생성된 아릴 디아조늄염으로부터 아릴 라디칼을 보다 효율적으로 생성했습니다. 이 방법론을 사용하면 아릴아민과 메틸싸이올화된 알카이노이드로부터 3-아릴설폰닐화 싸이오플라본을 합성할 수 있으며, 저렴한 이산화황 공급원으로서 메타아황산칼륨을 활용할 수 있습니다. 결과물은 온화한 반응 조건에서 얻어졌습니다. 이 접근법은 다양한 생리활성 화합물 중에서 널리 사용되는 싸이오플라본 유도체 합성을 위한 효율적인 대체 경로를 제공합니다. [2023년 early view, DOI: 10.1002/bkcs.12778]

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

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

Sequential one-pot, three-component reaction



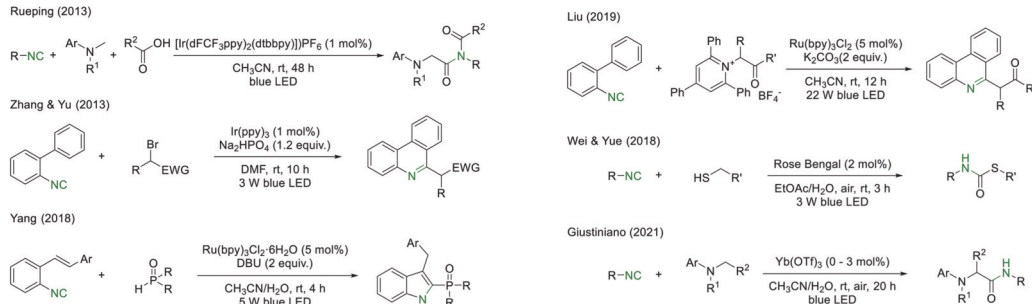
DABSO 68.60 USD / g vs. $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 0.2 USD / g

- One-pot, three-component reactions
- Visible light-mediated reactions
- Inexpensive SO_2 source: $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$
- In situ-generated aryl diazonium salts

KAIST 홍순혁 교수는 이소시아나이드의 합성에 관한 총설을 발표하였습니다. 아이소시아나이드는 중요한 화학 구조를 만들기 위해 유기합성에 광범위하게 활용되어 왔습니다. 고전적인 Ugi 4-성분 반응은 다양한 기능을 가진 펩타이드에 접근할 수 있는 우수한 방법론으로, 이를 이용하여 잘 확립된 고리화 기술을 사용하여 상업적으로 입수 가능한 화합물로부터 다양한 질소 헤테로사이클을 효율적으로 합성했습니다. 아이소시아나이드를 유용한 카르보닐 질소 신원으로 활용하기 위해 여러 전이금속촉매 공정이 개발되었습니다. 최근에 개발된 C-H 결합 활성화 및 가시광선 광촉매와 같은 합성 방법론이 아이소시아나이드 화학에 적용되어 화학공정의 효율성, 가용성 및 참신성을 향상시켰습니다. 본 리뷰에서 아이소시아나이드의 반응성을 친전자성, 친핵성 및 라디칼의 활성화 모드에 따라 분류하고 지난 10년간의 중요한 발견과 최근의 발전에 대해 요약하였습니다. [2023년 7월호, DOI: 10.1002/bkcs.12698]

Organic transformations of isocyanides classified by their activation strategies

Isocyanides have been extensively utilized in organic synthesis to construct valuable chemical structures. Classical Ugi 4-component reaction is the robust method to access diversely functionalized peptoids. By using well-established cyclization techniques, a variety of nitrogen heterocycles from commercially accessible compounds have been efficiently synthesized. Several transition metal-catalyzed processes have been developed to utilize isocyanide as a useful carbonyl nitrogen synthon. Recently developed synthetic methods, such as C-H bond activation and visible-light photocatalysis, have been adopted to the isocyanide chemistry to enhance the efficiency, availability, and novelty of the chemical processes. This review summarizes the reactivity of isocyanide classified by the activation modes of electrophilic, nucleophilic, and radical species, together with the seminal discoveries and recent advances in the past 10 years.

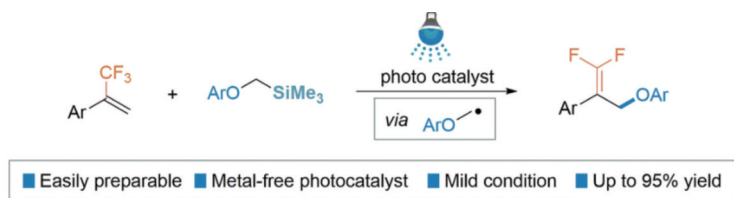


울산대 우상국 교수는 α-실릴 에테르를 아릴옥시메틸 라디칼 전구체로 사용하여 α-트라이플루오로메틸 알켄의 가시광선 광산화환원 촉매 반응에 의한 다이플루오로아릴옥시메틸화를 통해 gem-다이플루오로알켄을 합성하는 새로운 방법을 제시하였습니다. 개발한 반응은 우수한 작용기 내성을 나타내며 원하는 제품을 양호하거나 우수한 수율로 제공하였습니다. 메커니즘 연구를 바탕으로 α-실릴 에테르의 단일 전자 산화를 통해 α-아릴옥시메틸 라디칼을 생성하는 반응 메커니즘을 제안하였습니다. [2023년 1월호, DOI: 10.1002/bkcs.12633]

Synthesis of gem-difluoroalkenes via photoredox-catalyzed defluoroaryloxymethylation of α-trifluoromethyl alkenes

Herein, we present a novel method for the synthesis of *gem*-difluoroalkenes via visible-light photoredox-catalyzed defluoroaryloxymethylation of α-trifluoromethyl alkenes using α-silyl ethers as aryloxymethyl radical precursors.

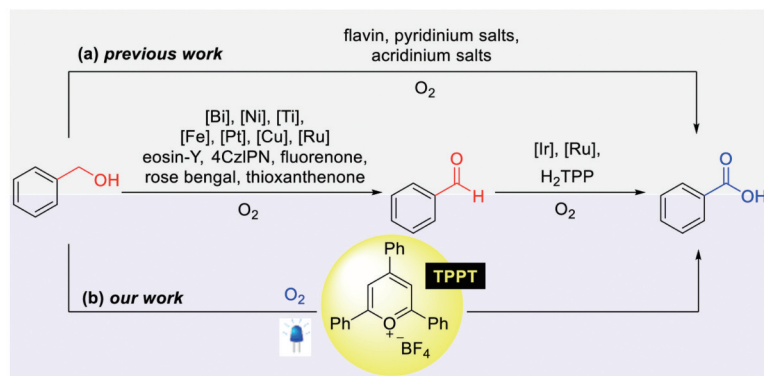
This reaction shows good functional group tolerance and provides the desired products in good to excellent yields. Based on mechanistic studies, we propose a reaction mechanism involving single-electron oxidation of an α -silyl ether to generate an α -aryloxymethyl radical.



중앙대학교 조은진 교수는 가시광선 조사를 이용한 유기광촉매 반응에서 2,4,6-트라이페닐피릴륨 테트라플루오로보레이트 (TPPT) 촉매 및 산화제로 분자 산소를 활용하여 알코올을 케톤 및 카르복실산으로 산화시키는 지속가능한 광화학 프로토콜을 개발하였습니다. [2022년 11 월호, DOI: 10.1002/bkcs.12610]

Organophotocatalytic oxidation of alcohols to carboxylic acids

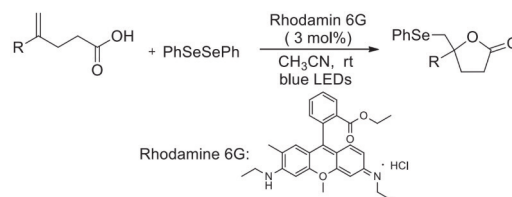
A sustainable photochemical protocol for the oxidation of alcohols to ketones and carboxylic acids has been developed by using 2,4,6-triphenylpyrylium tetrafluoroborate (TPPT) as organophotocatalyst and molecular oxygen as oxidant under visible light irradiation. The key reactive oxygen species, superoxide ($O_2^{\cdot-}$) for the first oxidation step from alcohol to aldehyde and singlet oxygen (1O_2) for the second oxidation step from aldehyde to carboxylic acid, were generated successfully by electron transfer and energy transfer pathways, respectively. A range of primary and secondary alcohols were converted to the corresponding carboxylic acids or ketones, and the optimized reaction conditions were applied to the synthesis of benzocoumarin.



순천향대학교 김대영 교수는 광산화환원 촉매에 의한 셀렌화 및 알켄 작용기를 지닌 카복시산 유도체의 고리-탄함 연속반응을 달성하였습니다. 이 반응은 가시광선 조사 하에서 저렴하게 구입 가능한 로다민 6G를 유기광촉매로 사용하여 효율적으로 가속화됩니다. 본 방법론은 높은 수율로 구조적으로 다양한 셀렌화된 γ -락톤에 효율적이고 실용적으로 접근할 수 있게 해줍니다. [2022년 7월호, DOI: 10.1002/bkcs.12545]

Synthesis of selenated γ -lactones via photoredox-catalyzed selenylation and ring closure of alkenoic acids with diselenides

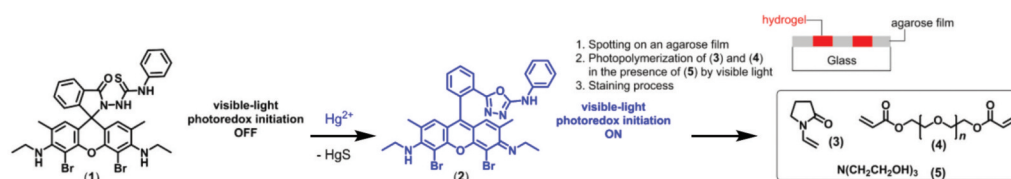
A photoredox-catalyzed selenylation and ring closure sequences of alkenoic acid derivatives are achieved. This transformation is efficiently accelerated using an inexpensive Rhodamine 6G as an organophotocatalyst under visible light irradiation. The present method affords efficient and practical access to structurally diverse selenated γ -lactones in moderate to high yields.



경북대 이정규 교수와 한림대 이정태 교수의 공동연구진은 호기성 조건에서 Hg(II) 반응성 광산화환원 개시제/촉매에 의해 개시된 가시광선 유도 중합을 통해 Hg(II) 이온의 비색 판독을 보였습니다. 사이오세미카바자이드로 기능화된 4',5'-다이브로모르도다민은 자극-반응성 광산화환원 촉매로 합성되었습니다. 사이오세미카바자이드를 함유한 로다민 유도체는 감도와 선택성이 우수한 Hg(II) 이온의 불소생성 프로브로 알려져 있습니다. 본 연구에서는 시스템 간 교차의 낮은 양자수율로 인해 낮은 촉매성능을 보이는 로다민 6G의 광산화환원반응 촉매성능을 개선하기 위해, 로다민 유도체의 잔텐 코어 고리에 Br 와 같은 무거운 할로겐 원자를 결합시켰습니다. 따라서 이 광독성 촉매는 가시광선 아래에서 1분 동안 폴리(에틸렌 글리콜) 다이아크릴레이트와 *N*-바이닐피롤리돈과 트리에탄올아민의 자유 라디칼 중합을 시작하면서 10 μ M 농도의 Hg(II) 이온이 포함된 하이드로겔을 형성했습니다. [2022년 7월호, DOI: 10.1002/bkcs.12547]

Dibromorhodamine-based photoredox catalysis under visible light for the colorimetric detection of Hg(II) ion

We demonstrated a colorimetric readout of Hg(II) ion through visible-light-induced polymerization, initiated by an Hg(II)-responsive photoredox initiator/catalyst under aerobic conditions. Thiosemicarbazide-functionalized 4',5'-dibromorhodamine was synthesized as a stimuli-responsive photoredox catalyst. The rhodamine derivatives bearing thiosemicarbazide have been known as fluorogenic probes of Hg(II) ion with excellent sensitivity and selectivity. In this work, we incorporated a heavy halogen atom (i.e., Br) onto the xantheno core ring of the rhodamine derivative to improve the photoredox catalytic performance of rhodamine 6G, which exhibits a low catalytic per-

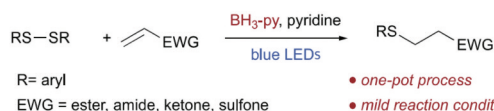


formance, presumably due to the poor quantum yield of intersystem crossing. Thus, this photoredox catalyst led to the formation of a hydrogel with Hg(II) ion in a concentration of 10 μ M, as the catalyst initiated free-radical polymerization of poly(ethylene glycol) diacrylate and *N*-vinylpyrrolidone with triethanolamine under visible light for 1 min.

DGIST 이성기 교수는 청색 가시광 조사하에서 이황화물과 피리딘-보란 복합체를 사용한 one-pot의 설파-마이클 첨가반응을 보고하였습니다. 새로운 합성 접근법은 기질의 작동 범위가 넓고 작용기 내성이 높습니다. 메커니즘 연구에 따르면, 순차적인 라디칼 및 이온에 의한 반응이 탄소-황 결합을 구성하는 실용적인 방법론을 제공합니다. [2022년 7월호, DOI: 10.1002/bkcs.12574]

One-pot sulfa-Michael addition reactions of disulfides using a pyridine-borane complex under blue light irradiation

We report a one-pot sulfa-Michael addition reaction using a disulfide and a pyridine-borane complex under blue light irradiation. This novel synthetic approach has a broad substrate scope and a high functional group tolerance. Mechanistic studies suggest that sequential radical and ionic processes provide a practical solution for constructing carbon-sulfur bonds.



- one-pot process
- mild reaction conditions
- transition-metal-free
- air- and water-stable reagents

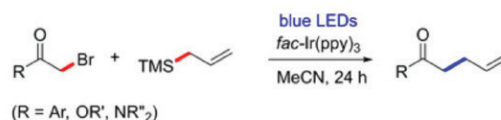
울산대 이상국 교수는 카르보닐 화합물의 α -알릴화를 위한 친환경 알릴화 시약을 개발하였습니다. 케톤, 에스테르 및 아마이드와 같은 카보닐 화합물의 광산화환원 촉매반응에 의한 α -알릴화에서, 새로운 알릴화 시약으로서 알릴트라이메틸실란을 발견하였습니다. 반응 공정은 뛰어난 작용기 내성을 나타내며, 우수한 수율의 생성물을 수득하였습니다. 반응 메커니즘은 빛에 의해 유도된 단일전자전달에 의한 라디칼 매개 반응을 제시하였습니다. [2021년 3월호, DOI: 10.1002/bkcs.12219]

Visible-Light Photoredox-Catalyzed α -Allylation of α -Bromocarbonyl Compounds Using Allyltrimethylsilane

The development of a greener allylation reagent for α -allylation of carbonyl compounds is of great necessity. Here we present allyltrimethylsilane as a novel allylation reagent in the photoredox-catalyzed α -allylation of carbonyl compounds such as ketones, esters, and amides. The reaction process shows good functional group tolerance and generates a good yield of the product. The reaction mechanism is a radical-mediated reaction by photo-induced single electron transfer.

This work

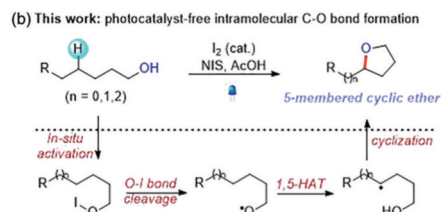
(c) visible-light photocatalyzed allylation



KAIST 홍승우 교수는 광촉매가 없는 상태에서 고리형 에테르 유도체 합성을 가능하게 하는 가시광선 촉진 분자 내 C—O 결합 형성을 위한 효율적인 전략을 개발하였습니다. 이 반응은 *in situ* 에서 생성된 O—I 결합에서 알콕시 라디칼이 생성된 후 1,5-수소 원자 이동(1,5-HAT)과, 이어지는 분자 내 고리화를 통해 C—O 결합을 형성하는 방식으로 일어날 가능성이 높습니다. 이 합성 방법론은 온화한 반응조건에서 중요한 고리형 에테르 구조에 대한 효율적인 접근법을 제공합니다. [2021년 3월호, DOI: 10.1002/bkcs.12234]

Visible Light-Induced Intramolecular C—O Bond Formation via 1,5-Hydrogen Atom Transfer Strategy

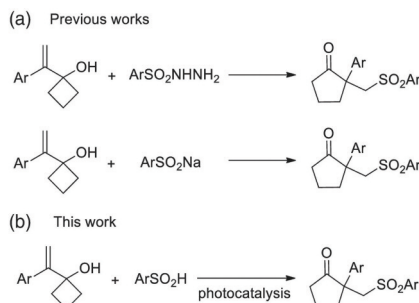
An efficient strategy for the visible-light-promoted intramolecular C—O bond formation has been accomplished, which allows the synthesis of cyclic ether derivatives in the absence of a photocatalyst. This reaction is likely to occur through the generation of alkoxy radical from *in situ* generated O—I bond, followed by 1,5-hydrogen atom transfer (1,5-HAT) and subsequent intramolecular cyclization to form a C—O bond. This synthetic approach offers an efficient tool by providing access to valuable cyclic ether scaffolds under mild reaction conditions.



순천향대 김대영 교수는 아릴 설피산과 1-(1-아릴바이닐)사이클로부탄올의 세미피나콜-타입의 재배열 연속반응을 통한 가시광선-매개 광촉매 설폰닐화 및 고리 확장반응을 개발했습니다. 이 방법론은 β-설피온화 된 사이클로 펜타논을 제조하는 편리하고 쉬운 방법입니다. 이 반응은 가시광선 매개 광산화환원 조건에서 저렴하고 쉽게 접근 가능한 설피산을 설폰닐 라디칼 소스로 사용하기 때문에 실용적인 방법론입니다. [2019년 12월호, DOI: 10.1002/bkcs.11905]

Photocatalytic Synthesis of β-Sulfonated Cyclopentanones via Sulfonylation and Semipinacol-type Rearrangement Cascades of Vinyl Cyclobutanols

Photocatalytic radical sulfonylation and semipinacol-type rearrangement of alkenyl alcohols.



「Bulletin of the Korean Chemical Society」

논문 투고 시스템 안내 (ScholarOne Manuscripts)

대한화학회가 발간하는 우리 화학회의 얼굴이자 우리 화학인의 학술지인

「Bulletin of the Korean Chemical Society」 (이하 BKCS)의 재도약을 도모하고자

본회 운영위원회와 학술지간행위원회 BKCS 편집장은 BKCS의 논문 투고 시스템을

스칼라원 논문투고시스템(ScholarOne Manuscripts)으로 변경하기로 하였습니다.

이에 논문 투고 시스템 접속 방법을 별첨으로 안내드리오니 모든 회원들께서는

BKCS의 재도약을 위한 활동에 동참하여 주시기 바랍니다.

대한화학회 회장 신석민

대한화학회 학술지간행위원회 BKCS 편집장 남원우

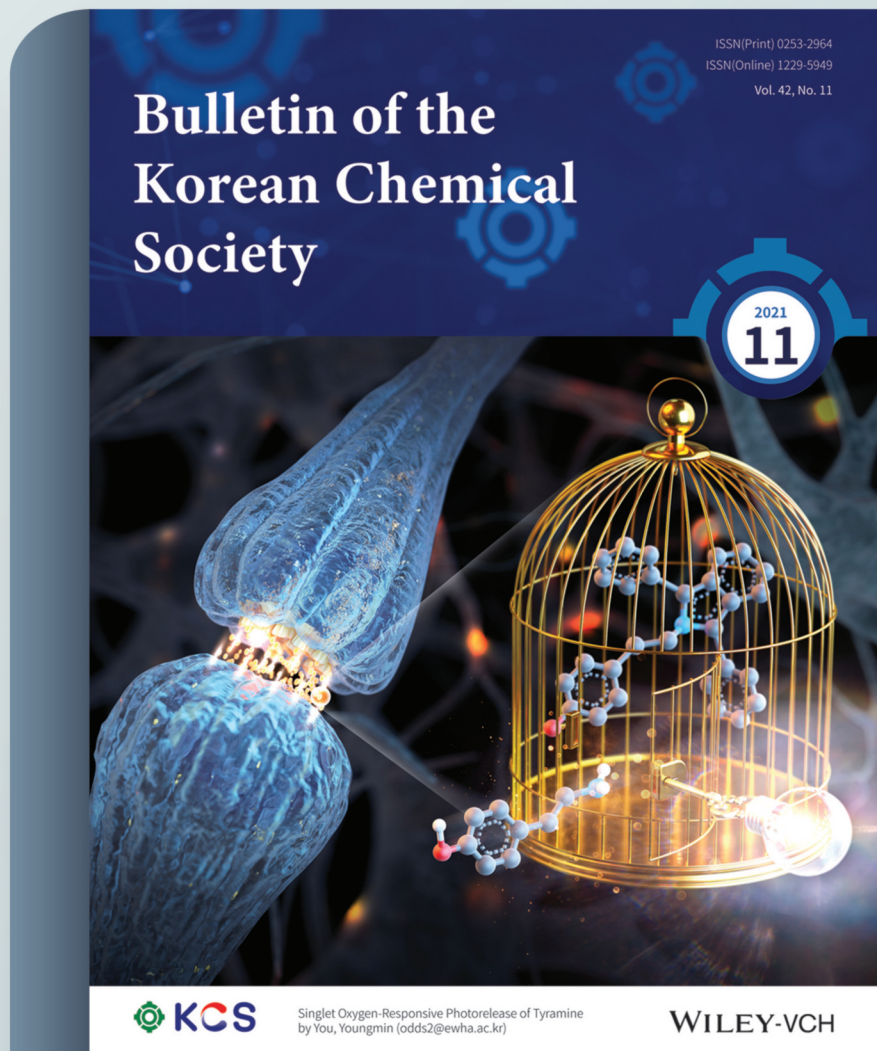
1. BKCS 논문 투고 시스템 접속

* 아래 방법 중 택 1

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

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

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



A

B

C

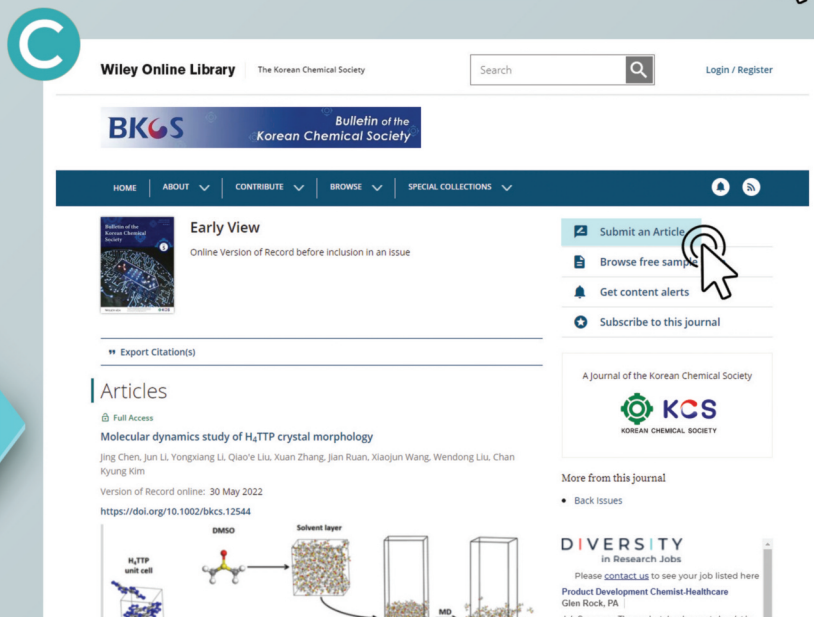
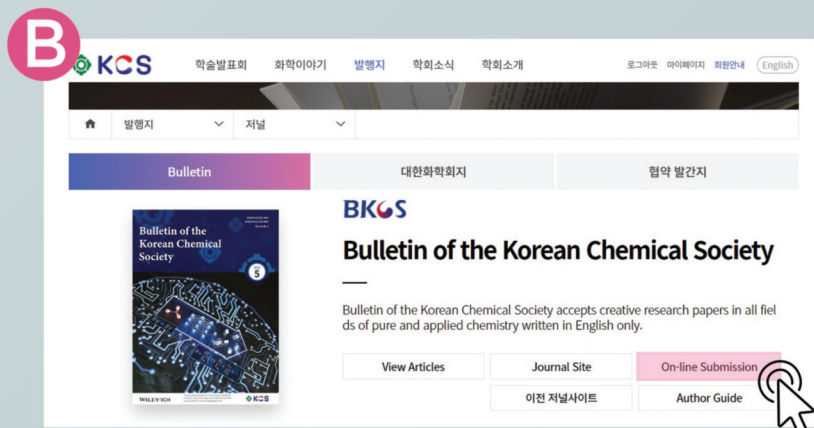
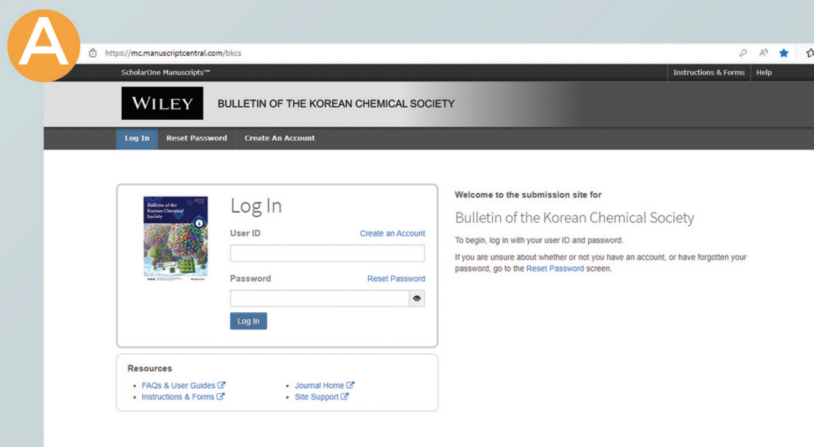
2. 계정 개설 후 로그인

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

* 외국인 심사위원은 점차적으로 늘릴 예정입니다.

* 논문 투고에 어려움이 있으실 경우 아래로 문의하여 주십시오.

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



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

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

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

우리 실험실은요!



우리 실험실은요!

지능형 무기물질 연구실 (SMART INORGANIC MATERIALS LAB)

글 | 차예지(전남대학교 화학과, chayeji3625@naver.com)

Introduction & Research Interest

저희 실험실은 2018년에 시작하여 지금까지 학문적으로, 산업적으로 유용한 무기화합물들을 합성하는 것을 목표로 하고 있습니다. 합성 이후, 이 물질의 다양한 응용성에 대한 연구와 새로운 형태의 분자를 합성하는 연구도 진행하고 있습니다. 또한, 삼각기둥부터 사각기둥 등 다양한 형태의 초분자를 레고 블록을 조립하는 것처럼 간편하게 합성하는 방법에 대한 연구를 진행하고 있습니다. 아래는 저희 실험실의 대표 연구 주제들입니다.

- 새로운 형태의 초분자 합성
- Ir, Pt 기반 OLED 용 인광 물질 개발
- CO₂를 이용한 폴리카보네이트 합성용 촉매
- SC-XRD 구조분석을 통한 화합물의 구조 분석

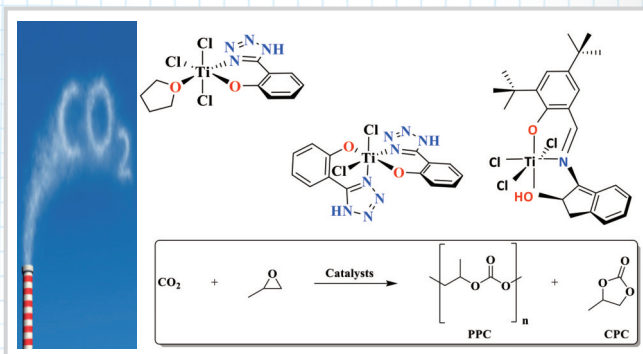


그림 2. 친환경 고분자 합성용 촉매 관련 이미지

이 주제 중 초분자 합성과 관련하여 『JACS』에 두 개의 논문이 실릴 정도로 저희 실험실은 좋은 성과를 보이고 있습니다. 성과가 두드러지는 초분자 화학뿐만 아니라 화학제품을 생산하는 정유나 화학산업 공정의 90%에 사용되는 촉매를 환경문제가 대두되고 있는 흐름을 따라 친환경 고분자 합성용 촉매를 개발하는 데 노력하고 있습니다.

About our Professor

저희 실험실의 가장 큰 자랑은 바로 교수님입니다. 저희 교수님은 무려 젊은 무기화학자상을 받으신, 무기화학계의 한 축을 담당하고 계시는 분입니다. 활발한 연구활동과 열정으로 가득 찬 교수님 밑에서 가르침을 받는다는 것은 굉장히 자랑스러운 일이지요. 그동안 교수님께서 진행하신 연구들과 우수한 연구 업적들로부터의 실험적, 학문적 지식 등을 공부하면서 얻게 되는 것들은 그 가치를 매길 수 없을 소중한 재산이라고 생각합니다. 학생이 실험실에서 얻을 수 있는 가장 값진 것은 바로 전공과 관련된 지식이 아닐까요? 이렇게 학문적 지식이 방대한 교수님 덕분에 실험하면서 생기는 궁금

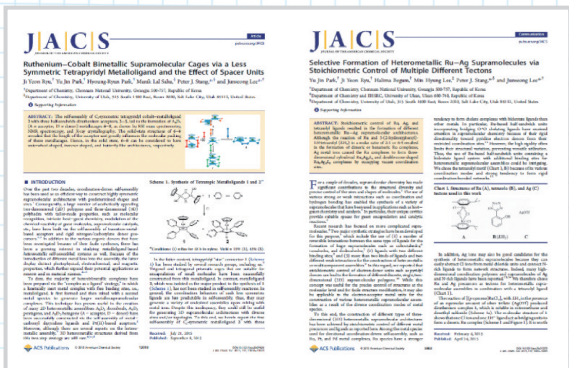


그림 1. 왼쪽은 [Selective Formation of Heterometallic Ru-Ag Supramolecules via Stoichiometric Control of Multiple Different Tectons] 논문, 오른쪽은 [Ruthenium-Cobalt Bimetallic Supramolecular Cages via a Less Symmetric Tetrapyrrolyl Metalloligand and the Effect of Spacer Units] 논문



전남대 이준승 교수 대한화학회 젊은 무기화학자 상 수상



2016년도 오사카 ISHCXX 세미나 참여



2023년도 호주 멜버른 IUCr 학회 참여

한 것들은 교수님을 통해 모두 해결할 수 있습니다. 또한 교수님께서 열정적이시기 때문에 학생들이 진행하고 있는 실험에 대해 항상 관심을 갖고 적극적으로 피드백해 주십니다. 이런 교수님의 관심은 학생들의 학문적 자극으로 이어지고, 풍부한 실험적 아이디어가 샘솟을 수 있도록 합니다. 그래서 실험에 더욱 집중할 수 있는 환경으로 조성된 실험실이라고 생각합니다.

Proficient in operating SC-XRD

저희 실험실의 또 다른 자랑거리 중 하나는 바로 SC-XRD (Single Crystal X-ray Diffraction)입니다. X-선을 이용해 화합물의 구조를 분석하는 방법은 여러 가지가 있을 수 있는데요, 저희가 사용하는 single crystal을 이용한 방법이 대중적이지는 않습니다. 비교적 자료 해석이 쉬운 powder x-ray diffraction이 가장 많이 사용된다고 할 수 있지만, 이 방법은 화합물의 절대적인 구조가 아닌 추정할 수 있는 자료를 제공할 뿐 정확한 답을 얻을 수는 없습니다. 하지만 자료 해석이 비교적 어려운 SC-XRD를 사용하게 되면 합성한 화합물의 구조를 정확히 알 수 있기 때문에 확실한 정보를 얻을 수 있습니다. 이렇게 자료 해석이 어렵다 보니, 많은 실험실에서 보유하고 있지 않아 다른 실험실에서 키운 결정 분석을 저희에게 의뢰하는 경우도 종종 있습니다. X-선 기계에서 데이터를 측정하고 결과를 분석하는 과정을 통해 새로운 공부도 할 수 있고, 또한 자부심도 느낄 수 있는 일거양득의 효과를 얻을 수 있습니다. 실험을 통해 결정을 키우고, 교수님의 도움을 받아 결정의 구조를 밝혀나가는 것이 저희 실험실의 재미 중 하나라고 할 수 있습니다.

Participation in conferences

실험을 하는 목적은 여러 가지 실험 방법과 분석 기계에 대한 경험을 쌓는 데 있다고 할 수 있습니다. 더 나아가서 저희 실험실 구성원들은 교수님이 학회에 참여하는 것을 권장하고 지원하시기 때문에 보다 학문에 대한 식견을 넓힐 기회를 얻을 수 있습니다. 학회를 통해서 내 전공 분야의 다른 연구자들은 어떤 주제를 가지고 어떤 질문을 던지고 어떤 방법으로 답을 구하고 있는지 전체적인 방향도 파악하고 새롭게 사람들의 주목을 받는 주제, 방법론들에 대해서 배울 수 있기 때문에 내 연구에 도움이 될만한 새로운 아이디어를 얻을 수 있으며 연구 활동에 큰 도움이 될 수 있습니다. 그래서 저희 실험 구성원들은 교수님의 지원 아래 국내 학회뿐만 아니라 IUCr(세계결정학회) 등 결정이나 무기화학과 관련된 여러 해외 세미나들도 참여하고 있습니다.

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

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

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

CSI에서 화학이 하는 일, 법화학

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.

법화학에서는 미지 시료, 인화성 또는 폭발성 등의 유해 화학 물질의 분석, 눈으로 식별되지 않는 작은 미세증거물의 분석, 동위원소 및 다원소(화학적 지문)를 이용한 정밀 분석, 혈중 알코올 및 휘발성 등 생체 내 유해 물질의 분석 등을 수행하고 그 외에 냄새, 먼지 등 다양한 분석을 실시하고 있다. 법화학분야에서 일하면서 느껴지는 것은 시료가, 증거물이 언제나 새로운 도전이라는 것이다. 그래서 늘 초심자의 마음으로 일을 하게 된다. 도전이고 퍼즐 같

은 사건 하나하나의 증거물은 피해자와 용의자, 진실 사이에서의 커다란 압박과 책임감이기도 하며 또한, 보람이기도 하다. 지면을 통해 소개하려는 법화학은 저자가 수행해 온 분야를 토대로 기술되며 제한된 지면으로 인해 모든 부분의 상세한 소개가 불가능하므로 간략하게 하고자 한다. 다음의 목차를 2회(10월호, 12월호)에 나누어 기술하고자 한다.

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

1. 법화학 증거물의 소개 및 화학적 지문(동위원소 및 다원소) 활용

증거물은 특성상 개별특성(individual character)과 군집특성(class character)으로 나눌 수 있다. 지문, 총기 발사흔, 공구흔, 족적, 파단면 등의 경우, 일치시에는 확률을 언급 할 필요 없이 누구든 ‘출처(오리진 origin, 근원지)가 같다(동일하다, 일치한다)’고 인정할 수 있는 것들로 ‘개별 특성이 있다’라고 한다. 군집특성이란, 증거물이 ‘동일 물질로부터 유래 되었다(출처가 같다)’고 할 수는 없지만, 어떤 집단(class, 종류)에서 나왔는지는 알 수 있는 것을 말한다. 본드, 페인트, 섬유, 테이프 등 대개의 증거물들이 군집 특성을 갖는다. 예를 들어 본드를 생각해보자 성분이 같은 본드는 같은 종류의 본드이지 바로 그것 이라고 할 수는 없다. 색상이 유사한 단일 층으로 구성된 페인트 조각이 현장에서 발견되어 그와 같은 구성층을 갖는 자동차가 있다면, 과연 그 차가 현장 페인트 조각이 유래된, 범행에 사용된 차라고 단정 지을 수 있을까? 당연히 단정 짓기란 너무 위험 부담이 있다. 그러나, 4개 층의 페인트로 구성된 페인트 조각이 현장에서 발견 되었고 4개 층의 색상, 두께, 각각의 성분이 모두 일치하는 차가 있다면 그 차는 범행에 사용되었을 가능성이 훨씬 높아진다(곱셈법칙). 증거물 하나 하나는 군집 증거물이지만 군집 증거물을 여러 개, 여러 면에서 비교 하므로써 개별화(individualization)하여 증거물의 가치(증거력)를 높이게 된다. 군집 증거물들의 취약점은 대량 생산 등에 의해 ‘동일 할 수 있는 확률’을 수학적으로 표현 하기가 어렵다는 것이다. 그렇다고 이런 군집 증거물들의

증거력이 없거나 떨어지는 것은 아니다. 예를 들어 강의실 안 학생들의 옷 중에서 빨간색의 섬유를 하나 뽑았다고 하자, 이와 같은 색을 가진 섬유가 강의실 안에 또 있는지 둘러 봤을 때 그와 똑같은 색을 찾기로 쉽지 않으며 자동차 페인트도 같은 색상의 자동차를 찾는 것이 쉽지는 않다. 검은 색 차량의 검은색도 제조사마다 아주 다양하며 펠이 있고 없고 등 자세히 눈으로 만 봐도 다양함을 알 수 있다. 게다가 법화학연구소의 경우, 색상 분석도 다양한 정밀 장비를 이용하고 여러 가지 비교 방법들(원데이터 비교, 미분값 비교, 로그값 비교 등 다양)을 이용하므로, 같은 그룹의 색상에 속한다고 판단을 하는 경우라도 이것에 대한 증거력은 매우 높으며, 색상 외에 외관검사, 성분 검사 등 다양한 검사를 실시하고 있으므로 이와 같은 감정 결과는 수사시 수사기관의 주관적인 판단이 올바른지 판단하는데 도움을 주며, 용의자나 사건 관련 진술의 진위를 확인하는데 사용되는 등 사건 해결에 도움을 주기 때문에 소소한 군집증거물이라도 법과학적으로 중요한 가치가 있다. 두 가지 이상의 군집증거를 비교하여 동일한 결과(분석 결과가 같다, 일치한다)가 나오는 경우, 한 물체로부터 나왔다는 가능성을 높일 뿐만 아니라 어떤 사람과 범죄행위의 연관성을 판단하는데 증거물의 종류가 늘어날수록 범죄와 사람 간의 연관성이 높아지게 된다. 다양한 군집증거가 일치할 수록 채취가 잘 되어야한다. 이와 같은 증거물들은 모두 물질, 화학물질이다. 그러므로 이와 같은 증거물들을 분석하는데는 습식 분석을 기본으로 유기물 분석과 무기물 분석의 지식이 요구된다. 증거물 분석에 사용되는 장비로는 IR, Raman, UV-Vis, XRF, XRD, SEM-EDS, GCMS, LCMS, ICPMS, ICMS, MCICPMS, IRMS, GC, LC, IC 및 다양한 microscope 등이 있으며 다른 유사기관과 다른 점은 거의 모든 분광학 장비에 현미경이 부착되어 있어 작은 시료들을 관찰하면서 원하는 미세 부위를 분석 할 수 있다는 점이다. 또한, 분석 전, 사진으로 증거물의 상태를 자세히 기록하고 다양한 현미경을 사용하여 증거물들을 관찰한다는 것이며 시료를 가급적 보존 하기 위해 노력하고 비파괴(non destructive method), 덜파괴(less destructive method), 파괴의 분석 순서로 실험을 실시한다.

법화학 분석의 주요 목적은 범죄 현장의 증거물에서 특정 사람 또는 지역(위치)과 관련된 정보를 얻기 위한 것으

로 증거물이 무엇인지 분석(characterization)하는 것과 현장 시료와 용의자 또는 피해자로 부터의 시료가 같은지 비교 분석(comparison)하는 것이다. 자동화 기기를 널리 사용할 수 있게 되면서 발전된 분광 및 질량 분석 기반의 분석 기술은 현재 대부분의 법화학 실험실에서 이러한 분석 목적을 달성하는 데 사용되는 가장 가치 있는 도구가 되었다. 두 화합물의 크로마토그래피 및 분광학적 데이터가 일치하면 ‘화학적으로 구별할 수 없다(chemically indistinguishable)’는 결론을 내릴 수 있다. 그러나 구별할 수 없는 시료는 화학적으로 동일(chemically identical)하지만 이것이 반드시 동일(the same)하다고 할 수는 없다. 법화학에서 A와 B가 ‘동일하다(being the same)’는 것은 A와 B가 같은 이력(history)을 공유한다거나 출처(산지)가 같은 것으로 해석 될 수 있다. 즉 같은 것으로 부터 유래된 것인지, 비교 대상 증거물들의 근원이 같은 것인지이다. ‘현장에서 수거된 테이프가 용의자가 소유하고 있는 테이프와 같은지?’는 화학적으로 성분이 동일하다는 것 이상의 의미로서 ‘현장 테이프가 용의자가 소유한 바로 그 테이프에서 유래된 것인지?’란 의미로 재판 과정에서 논쟁이 되는 경우가 종종 있다. 이와 같은 문제를 다소간이나마 해결하기 위하여 안정동위원소(stable isotopes)와 미량다원소(trace multi-elements)를 이용한 화학적 지문(chemical fingerprints)이 사용되고 있다. 화학적 지문은 추가적인 독립 변수 세트를 제공하여 구별력(discriminatory power)을 증가시킴으로써 이러한 주장을 해결할 수 있는 잠재력이 매우 큰 분석기법이다. IRMS와 (LA)ICPMS를 주로 사용하여 화학적 지문을 얻게 되는데 구별력의 향상뿐만 아니라 동위원소(비)와 미량원소의 함량이 원료와 제조 환경에 따라 독특하게 다른 화학적 지문의 형태를 보이므로 기존의 분석에서 알 수 없었던 숨은 정보를 제공함으로써 범죄수사 및 원산지 규명에 이용하게 된다. 일반 공산품, 환경오염물질, 폭발물, 마약, 식품 등 모든 물질에 적용

되며 유리, 테이프, 페인트, 플라스틱, 비닐, 종이, 잉크, 금속, 나무조각 등의 법과학적 증거물의 동일성 확인, 생체시료(땀, 치아, 모발 등)의 지리적 기원, 투기된 환경오염물질 및 유해물질의 배출원 규명, 농축수산물, 불법 마약류 및 폭발물류의 지리적 제조원 추정 등에 매우 유용하다.¹⁻⁵

2. 미지시료 및 유해화학물질(가스, 산알칼리, 인화성 및 폭발 물질 등) 분석

법화학 실험실에는 생활 속 다양한 미지 시료들이 의뢰되고 있다. ‘집 앞에 누가 유해 물질을 뿌렸다.’, ‘아파트 번 호기판에 이물질이 묻어 있다.’, ‘누군가가 집에 들어 와서 미상의 물질을 뿌리고 갔다.’, ‘된장에 이물질이 생겼는데 누군가가 넣은 거 같다.’, ‘아침에 일어나면 코에서 냄새가 난다.’, ‘누군가 자는데 유해 물질을 본인에게 가하는 거 같다.’, ‘차에 누군가가 이물질을 뿌렸다.’, ‘백색가루가 뿌려져 있다.’ 등 다양한 의뢰 내용과 함께 다양한 시료가 들어 오고 부검 시에도 변시체에 묻어 있는 이물질, 위내용물에 소화안된 이물질, 체내에서 식별되는 이물질 등과 사망의 원인을 알고자하는 위내용물이나 혈액 등의 생체 시료에서의 유해 물질, 사건 현장에서의 이물질 등 다양한 미지의 시료가 의뢰된다. 대부분의 경우 의심되는 물질의 성분이 무엇인지와 용의자가 가지고 있는 미지의 물질과 사건 현장에서 나온 물질과 같은 것인지를 물어 보는 것이다. 경우에 따라서 시간소모적인(time-consuming) 일이 될 수 있다. 노력과 결과물 사이 균형이 필요하다. 법과학에서는 언제까지 분석(감정)을 마치고 결과를 보고 해야하는 기간이 존재한다. 때 사건이 모두 빠른 감정 결과를 요구하므로 기간 내에 어떤 분석을 할 수 있는지 파악해야 한다.

증거물을 받았을 때 해야할 일은 다음과 같다. 우선 의뢰서를 꼼꼼히 읽어 사건 담당자가 요구하는게 무엇인지 알아야 한다. 증거물과 의뢰서 내용이 일치하는지 확인하고

1. Stable isotope forensics, W Meier-Augenstein, 2017

2. Forensic Chemistry, Bell, Suzanna, 2022

3. Forensic Analysis on the Cutting Edge, Edited by Robert D. Blackledge 2007

4. Forensic chemistry handbook Edited by Lawrence Kobilinsky 2012

5. The application of isotope ratio mass spectrometry for discrimination and comparison of adhesive tapes Rapid Commun. Mass Spectrom, 2008; 22: 1763-1766

기록하고 사진으로 남기도록하며 현미경을 사용해서 좀 더 자세히 외관을 관찰한다. 분석 전의 상태에 대해 자세한 기록과 사진을 남기는 것은 매우 중요하다. 그 다음에는 어떤 분석을 해야하는지 계획한 후, 실험을 진행하는데 최소량, 일부를 가지고 우선 실험을 해야 한다. 그러나 매우 적은 양의 증거물이 들어오는 경우도 있으며 이런 경우는 외관 및 비파괴 검사 후 추정되는 물질을 확인 할 수 있는 우선 순위에 따라 시험을 진행한다. 실험은 교차 검증을 통해 정확도를 올려야 한다. 모든 시험이 안전성을 고려하여야겠지 만 특히나 미지 시료의 경우, 어떤 유해물질인지 알 수 없으므로 그 물질이 무엇인지 밝혀지기 전까지는 매우 위험한 물질로 취급해야 한다. 특히나 장갑, 고글 등의 개인보호장구를 반드시 착용하여 개인을 보호하고 시료 또한 오염으로부터 보호한다. 특이한 냄새가 나는 경우, 추정되는 물질의 범위를 줄여주기도 한다.

미지(chemical unknown)시료의 경우, pH의 확인, microchemical test, test strip 등 다양한 예비 실험과 외관 검사 등으로 부터 추정 물질의 범위를 좁히고 기기분석의 우선순위를 정하도록한다. 혈액, 정액, 침, 소변 등을 판단하기 위한 예비시험으로는 상용되고 있는 키트[그림 1]를 이용하면 시간을 단축할 수 있으며, water-test, Halogen-test, sulphate test, silphite test, NO₃ test, ammonia test 등을 이용할 수 있지만, 위양성과 위음성에 대해 주의해야한다. 미지시료에 대한 일반적인 실험 과정(general procedure)[그림 2] 참고해서 추정되는 물질에 관한 정보를 얻고 어떻게 분석해야할지 계획을 세우는데 이때, 선택한 method가 적합한지 알 수 있도록 backdata를 가지고 있어야 한다. 예를 들어 테이프인 경우, 테이프가 이 방법에 대해 구별이 가능한지 등에 대한 논문을 통한 자료 또는 back data의 확인(본인이 선택 방법이 타당한지 확인한 자



그림 1. 인터넷에서 찾을 수 있는 간편하게 사용 가능한 여러 가지 키트

료)이 필요하다. 그 다음에 분석 기법은 학부 또는 대학원에서 배운 지식을 적절하게 사용하면 된다.

유해화학물질로서 유해 가스류, 산알칼리류, 중금속류 분석 업무가 있다. 유해 가스가 잔류할 수 있는 맨홀, 하수처리장 등의 공간에서 중독 및 질식 사고 와 관련하여 사건 장소의 기체 조성 분석, 유독성 가스 분석을 진행한다. 가스에 의한 사망사고가 꽤 있다. 가스 사고의 경우, 채취도 어렵고 사람들을 구하다가 사건장소 훼손이 많이 되기 때문에 사건 발생 당시의 가스상 증거물 채취가 어려워 사고 당시 가스 조성을 구하는 것이 불가능 할 때도 있으나 사건이 발생하면 사건 현장에 가서 현장에서 간단히 측정도 하고 가스 증거물을 채취해와서 실험실에서 정밀 분석을 실시한다. 폐수, 폐기물 등의 무단 방류 및 폐기, 수산물 폐사 등과 관련된 환경 사고 분석도 하고 있으며 산알칼리 등 화공약품, 중금속류 분석 업무도 수행한다. 이 분야에서는 IC(MS), GC(MS), LC(MS) 등을 주로 사용하며 경우에 따라 화학적 지문을 이용하기도 한다.

인화성 물질 분석은 방화 사건인지, 자연 발화인지 확인하는 일과 관련 된다. 화재가 발생하면 경찰과 소방관들이 화재 현장을 조사하고, 증거물을 채취해온다. 화재 현장에서 온 각종 증거물로부터 인화성 물질 분석을 통해 방화인지, 또는 자연 발화 가능성이 있는지 분석을 하게 된다. 화재 잔류물을 분석하고 방화범으로 추정되는 사람의 의류, 손 등에서 인화성 물질이 잔류되어 있는지, 또는 용융흔, 그 을음이 있는지를 확인한다. 화재 현장에서 사체가 발견된 경우에는 생체시료에서도 이와 같은 것들을 확인하고 일산

General "procedure"

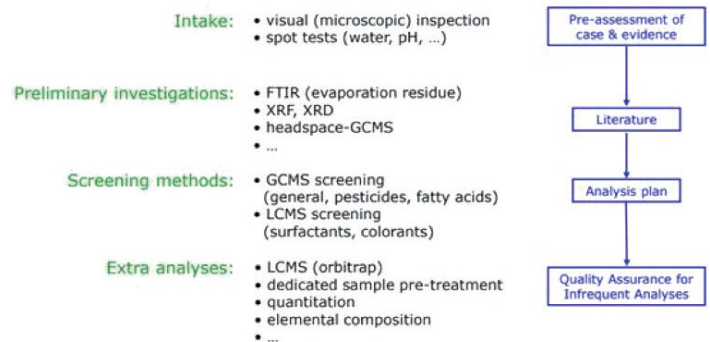


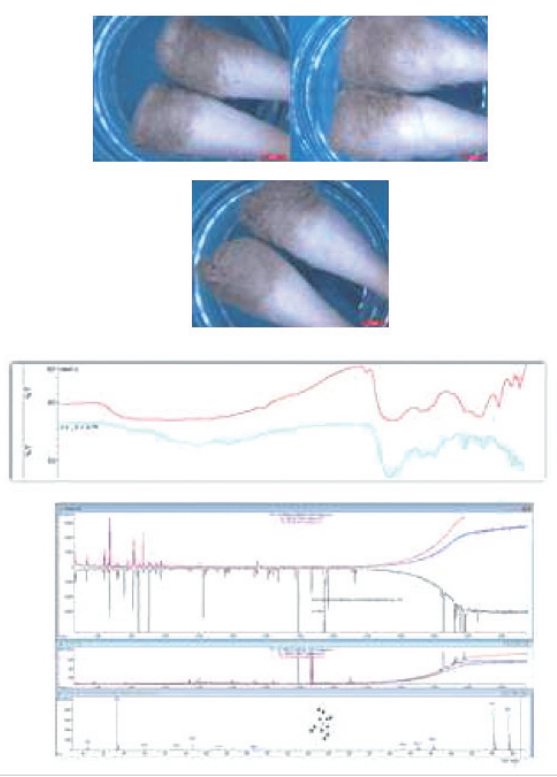
그림 2. 미지시료에 대한 일반적인 실험 과정

화탄소 헤모글로빈(CO-Hb) 등 다양한 분석도 함께 이루어진다. 사인을 밝히기 위함이다.

폭발사건 특히나 화학물질사고 관련해서는 현장에 나가, 현장도 확인하고 증거물도 채취하여 분석을 하게 되는데 폭발 및 화학물질사고의 원인을 규명하는 데에는 많은 화학적 지식과 시간이 요구된다.

이번 소개는 다음의 간단한 사례를 보며 마치기로 하겠다.

사례 1	누군가 차에 회색물질을 뿌렸다. 회색물질은?
결과	새똥(조류 배설물)로 회보



A: 접수된 증거물, B: IR 결과 C: 추출 후 TMS 유도체화 하여 uric acid 등 구성 성분 GCMS 결과

사례 2	카페에서 일어난 강도사건. 한 사람에게는 칼로 위협을 하고, 다른 한 사람에게는 돈을 요구하였다. 한 직원이 사용 중인 뜨거운 기름을 범인들에게 뿌렸고 범인들은 도망을 갔다. 용의자가 잡혔고 용의자 신발 코(앞 부분)에 이물질이 묻어 있다. 이 이물질이 기름 성분인지와 카페의 기름과 같은지?
결과	기름은 시간에 따라 변화가 일어 날 수 있다. 신발 이물질의 성분과 카페의 기름, 양쪽에서 구성성분이 같고 사용한 기름에서 검출되는 성분인 BTH(방부제 성분)가 검출



사례 3	원한관계로 인해 자동차의 연료통에 이물질을 주입하는 경우가 많다.
결과	연료구 주변에서 채취된 증거물은 끈끈한 점도가 있음을 확인하고 당을 의심하여 유도체화하여 GCMS로 구성하는 당성분들을 간단히 확인할 수 있다.





민 지 숙 Min, Ji Sook

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

화학사 돌아보기

Part.15

유기물 이해하기

최정모 | 부산대학교 화학과,
jeongmochoi@pusan.ac.kr

화학자들에게 있어 유기물의 존재는 골치 아픈 것이었습니다. 이슬람 연금술 때부터 다양한 유기물을 탐구해 왔지만, 이들은 그 정체를 쉽게 보여주지 않았기 때문입니다. 우선 유기물들은 당시의 기술로 순수하게 얻는 것이 상당히 어려웠고, 설사 순수한 물질이라 하더라도 그 형성 원리가 명백하게 보이지 않았습니다. 서로 다른 유기물들이 비슷한 원소들(탄소, 수소, 산소, 질소)로 구성되어 있다는 점도 문제를 어렵게 만들었죠. 그래서 19세기 초까지 활동했던 많은 화학자들이 유기물에 대해서는 말을 아끼고 무기물에 집중해서 연구하였습니다. 그러다가 베르셀리우스의 활동 시기와 맞물려 유기물에 대한 몇 가지 설명이 등장하고, 이를 기반으로 유기물에 대한 체계적 이해를 시도할 수 있게 됩니다. 이번 글에서는 19세기 초반, 유기물이 어떻게 화학으로 포섭되어 왔는지 그 초기 역사를 살펴보도록 하겠습니다.¹

연금술사나 화학자들이 유기물을 특별하게 취급했던 것은 아닙니다. 유기물 역시 무기물을 다루는 방식으로 연구

할 수 있었고, 다만 그 기원이 동·식물이라는 점이 차이점이었죠. 예를 들어 1801년에 출판된 화학 교재를 보면, 유기물 분석 방법으로 비중 분리법, 증류법, 연소 분석, 침출법, 산 처리, 염기 처리, 용해 분석(물, 알코올, 에터, 기름), 발효 등이 소개됩니다. 대개 무기 물질에도 적용할 수 있는 실험 기법들이었죠. 하지만 보시다시피 순물질을 분석하는 방법과 혼합물을 분리하는 방법이 섞여 있었고, 순물질 분석법들조차 대부분 정성 분석을 위한 것이었습니다. 그 결과 당시까지도 유기물은 확실한 설명 체계가 존재하기 어려웠습니다. 라부아지에는 자신의 책에서 유기물을 모두 묶어 하나의 장에서 설명하면서 원리보다는 각 물질의 성질을 간단히 소개하는 선에서 멈추었습니다.

그러다가 18세기 말에서 19세기 초에 걸쳐 많은 수의 유기물이 분리되었고, 그들의 조성이 점차 정확하게 알려집니다. 메테인(CH_4)은 오래전부터 습지 기체(marsh gas)로 알려져 있었는데, 18세기 말 베르톨레에 의해 탄소와 수소로 구성되어 있음이 밝혀졌습니다. 에틸렌(C_2H_4)은 1794년

1. 이 내용은 다음 글들에서 큰 도움을 받았습니다. Aaron J. Ihde, *The Development of Modern Chemistry* (New York, NY: Dover Publications, Inc., 1984), Chapter 7; Alan J. Rocke, "Organic analysis in comparative perspective: Liebig, Dumas, and Berzelius, 1811-1837," in *Instruments and experimentation in the history of chemistry*, eds. F.L. Holmes and T.H. Levere (Cambridge, MA: MIT Press, 2000); Alan J. Rocke, "The Theory of Chemical Structure and Its Applications" in *The Cambridge History of Science, Volume 5: The Modern Physical and Mathematical Sciences*, ed. Mary Jo Nye (Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press, 2002).

발견되었고,² 1805년 그 조성이 정확히 알려집니다. 보클랭(Louis-Nicolas Vauquelin, 1763-1829)은 이 시기에 활동한 프랑스의 약사이자 화학자로, 요소(urea, CON_2H_4), 장뇌산(camphoric acid, $\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{O}_4$), 알란토인(allantoin, $\text{C}_4\text{H}_6\text{N}_4\text{O}_3$), 아스파라진(asparagine, $\text{C}_4\text{H}_8\text{N}_2\text{O}_3$), 퀴산(quinic acid, $\text{C}_7\text{H}_{12}\text{O}_6$) 등을 분리하는데 성공합니다. 프루스트(Joseph Proust) 역시 이 시기에 식물의 즙을 연구하여 포도당, 과당, 설탕을 분리해냈고, 만니톨(mannitol, $\text{C}_6\text{H}_{14}\text{O}_6$)과 루신(leucine, $\text{C}_6\text{H}_{13}\text{NO}_2$)도 얻어냈습니다.

이내 화학자들은 유기물이 대부분 탄소, 수소, 산소로 구성되어 있음을 깨닫습니다. 게이뤼삭(Joseph Gay-Lussac)과 테나르(Louis Thenard)는 이 가정을 도입하여 1810년과 1811년에 걸쳐 19가지의 유기 물질을 원소 분석한 결과를 출판합니다. 이들은 염소산 포타슘(KClO_3)을 산화제로 사용하여 각 물질을 산화시킨 후 부피를 측정하여 탄소, 수소, 산소의 비율을 결정하였습니다. 베르셀리우스 역시 이 문제에 관심이 많았기 때문에 비슷한 기구를 고안하여 1814년 13가지 유기 물질의 분석 결과를 출판하였습니다. 관건은 생성물의 손실을 최소화하면서 산화가 완전히 일어나게 하는 것이었습니다. 이를 위해 강력한 건조 과정을 거치는데, 그 결과 많은 경우 생성물은 무수물(anhydride) 형태로 얻어지게 됩니다. 게이뤼삭은 베르셀리우스의 기구를 보고 더 정확한 측정을 할 수 있도록 개선해내죠. 결국 1815년에 이르면 게이뤼삭과 베르셀리우스의 분석 방법은 각각 충분히 안정화되어, 양측의 측정값이 잘 수렴하게 됩니다. 이렇게 유기물의 정량 분석이 체계를 갖추자, 본격적인 유기화학 연구가 시작됩니다.

게이뤼삭은 1815년 사이안화 수소(HCN)로부터 사이아노젠(C_2N_2)을 얻었고, CN이 마치 하나의 원소인 것처럼 행동한다는 기록을 남깁니다. 이 사실을 강조하기 위해 Cy라는 기호를 도입하여 CN 대신 사용하기도 하였습니다. 또한, 알코올과 에터에 대해 밀도를 측정하여 에틸렌과 물의 밀도를 더하여 그 밀도를 얻을 수 있다는 사실을 밝힙니다. 즉, 식으로 쓰면 다음과 같습니다.

1 단위 부피의 알코올 기체

= 1 단위 부피의 에틸렌 기체 + 1 단위 부피의 수증기

1 단위 부피의 에터 기체

= 2 단위 부피의 에틸렌 기체 + 1 단위 부피의 수증기

이는 유기물 내부에 무언가 구조가 있을 것이라는 것을 암시합니다. 이 “구조 가설”은 이성질 현상의 발견으로 더욱 탄력을 받습니다.¹

1810년대부터 이성질체의 존재는 어렵듯이 알려져 있었습니다. 예를 들어 포도당과 과당은 서로 다른 분자지만 동일한 조성을 가지고 있습니다. 이 점에 착안하여 베르셀리우스는 1815년 “유기 원자들³이 특정한 물리적 구조를 가지고 있을 것이라는 생각을 해볼 수 있다. (중략) 구조가 아니라면 동일한 원소로 구성된 서로 다른 생성물들을 설명할 수 없다.”라는 기록을 남겼습니다. 하지만 이성질 현상에 대한 본격적인 연구는 1826년 게이뤼삭이 라세미산(racemic acid)과 타르타르산(tartaric acid)의 조성이 동일하다는 것을 발표하면서 시작됩니다. 이후 다른 물질들에서도 이성질 현상이 발견되었고, 1830년 베르셀리우스가 여기에 이성질 현상(isomerism)이라는 이름을 붙이면서 그 존재가 확실해졌습니다.

베르셀리우스는 전기적 이원론이 물질의 내부 구조를 설명할 수 있다고 생각했고, 이를 이용해 이성질 현상을 설명하려고 하였습니다. 즉, 무기화합물의 경우와 마찬가지로 전기적으로 양성을 띤 부분과 전기적으로 음성을 띤 부분이 결합하여 유기화합물을 이룬다는 것이죠. 그러면 예를 들어 A_3B_3 와 같이 동일한 화학식에 대해 AB와 A_2B_2 가 결합한 화합물과 A_2B 와 AB_2 가 결합한 화합물이 존재할 수 있게 되어 이성질 현상을 설명할 수 있습니다. 1832년, 베르셀리우스는 실험으로 그 원소 조성이 결정된 화학식을 “실험식(empirical formula)”이라 부르고, 화학 이론에 따라 그 조성을 단위 덩어리로 풀어낸 식을 “시성식(rational formula)”이라 불러 구분하였습니다.⁴

2. 당시 이름은 olefiant gas(기름을 만드는 기체)였습니다. 혼동을 막기 위해 이후로는 오늘날의 이름으로 부르겠습니다.

3. atoms. 오늘날의 용어로는 “분자들(molecules)”이겠습니다만, 당시에는 두 용어가 구분 없이 쓰였음을 기억합니다.

베르셀리우스의 영향으로, 이 시기에 유기 물질을 두 덩어리로 쪼개서 이해하는 사조가 유행하게 됩니다. 예를 들어 뒤마(Jean-Baptiste Dumas, 1800-1884)와 불레(Felix-Polydore Boullay, 1806-1835)는 1828년 다음과 같이 에틸렌과 암모니아가 유기물 내에서 유사한 거동을 보인다는 점을 관찰하여 보고하였습니다. 이후 글에서 살펴 보겠습니다만, 이렇게 “덩어리”가 존재한다는 개념이 훗날 작용기(functional group)의 개념으로 발전하게 됩니다.

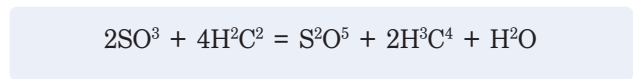
에틸렌	C ₂ H ₄	암모니아	NH ₃
알코올	C ₂ H ₄ + H ₂ O	수산화 암모늄	NH ₃ + H ₂ O
황산 에터	2C ₂ H ₄ + H ₂ O	산화 암모늄	2NH ₃ + H ₂ O
염산 에터	C ₂ H ₄ + HCl	염화 암모늄	NH ₃ + HCl
아이오딘산 에터	C ₂ H ₄ + HI	아이오딘화 암모늄	NH ₃ + HI
질산 에터	C ₂ H ₄ + HNO ₂	아질산 암모늄	NH ₃ + HNO ₂
아세트산 에터	C ₂ H ₄ + C ₂ H ₄ O	아세트산 암모늄	NH ₃ + C ₂ H ₄ O
에틸 황산염	C ₂ H ₄ + H ₂ SO ₄	중황산 암모늄	NH ₃ + H ₂ SO ₄

이러한 초기 유기화학의 발전에는 베르셀리우스의 화합물 표기법이 지대한 공헌을 하였습니다. 1813년 발표된 이 표기법은 처음에는 그다지 관심을 못 받다가 유기화학이 발전하면서 1820년대 후반부터 널리 사용되었죠. 과학사학자 우르술라 클라인(Ursula Klein)은 이 표기법을 화학 연구의 “종이 도구(paper tool)”라며 극찬하는데, 이는 베르셀리우스 표기법이 실험으로 확인할 수 없는 분자 세계의 복잡한 화학 반응을 종이 위에서 시뮬레이션해 볼 수 있는 강력한 도구였기 때문입니다.⁵

클라인이 소개한 한 가지 예를 살펴보겠습니다. 알코올과 산을 섞으면 에터가 얻어진다는 사실은 19세기 전부터 알려져 있었습니다. 그런데 19세기 초의 여러 연구를 통해 어떤 산을 섞느냐에 따라 서로 다른 에터가 얻어진다는 점이

알려졌습니다. 황산과 알코올을 섞으면 “황산 에터”가, 질산과 알코올을 섞으면 “질산 에터”가, 그리고 염산과 알코올을 섞으면 “염산 에터”가 얻어졌죠. 보클랭은 알코올과 산이 결합하면서 에터가 형성된다고 생각했고, 이 가설은 19세기 초에 널리 수용되었습니다. 그러나 일부 화학자들은 다르게 생각했습니다. “황산 에터”가 만들어지고 나면 아황산이 생성되는 것을 관찰한 것입니다. 어쩌면 황산이 아황산과 산소로 분해되고 그 산소가 알코올에 전달되어 에터가 만들어지는 게 아닐까요? 1820년에 황산 에터 생성 반응에서 에틸 황산염(ethyl sulfate, C₂H₅HSO₄)이 부산물로 발견되면서 이 대안이 급격히 인기를 끌게 됩니다. 즉, 황산의 산소 하나가 알코올과 결합하여 에터가 되고, 황산은 황산과 아황산의 중간 단계로 변한다는 것이었습니다. 이 논쟁을 종식시킨 것은 뒤마와 불레의 1827년 논문이었습니다.

뒤마와 불레는 이 논문에서 황산 에터의 생성 반응에 대한 “반응식”을 활용합니다. 하지만 오늘날 우리가 사용하는 반응식과는 조금 다른 방식으로 표현하는데, 등장 요소들을 하나씩 살펴보도록 합시다.⁶ 먼저 반응물인 황산과 알코올을 생각해 봅시다. 황산은 무수 황산의 형태로 SO³로 표기합니다. 알코올(에탄올, C₂H₆O)은 에틸렌(C₂H₄)과 물(H₂O)이 결합된 형태로 이해되고 있었으므로, 무수물은 C₂H₄가 되겠습니다. 그리고 이들은 탄소의 원자량을 6으로 보았으므로,⁷ 결국 알코올은 C²H³로 표기할 수 있습니다. 생성물은 어떤가요? 에틸 황산염은 정량 원소 분석을 통해 S²O⁵ + 2H³C⁴의 조성을 가지고 있음이 밝혀졌습니다.⁸ 마지막으로 양변을 같게 맞추기 위해 물(H²O)을 생성물에 추가하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있습니다.



이 식은 골치 아픈 유기 반응을 쉽게 이해할 수 있게 해줍니다. 반응물인 황산과 알코올이 결합하여 에틸 황산염을

4. “시성식(示性式)”이라는 번역어는 “그 구성 성분을 보여주는 식”이라는 의미로, 후대 화학의 관점이 들어가 있습니다. 베르셀리우스의 rational formula는 (empirical formula와는 상반되게) 이론을 통해 세운 식이라는 의미가 더 강합니다.

5. Ursula Klein, “Berzelian Formulas as Paper Tools in Early Nineteenth-Century Chemistry.” *Foundations of Chemistry* 3: 7-32 (2001).

6. 여기서는 뒤마와 불레의 원래 논문에 등장한 표현을 그대로 사용하겠습니다.

7. 지난 글들에서 살펴본 바와 같이, 당시 화학계는 원자량에 대한 합의를 이루지 못하고 있었습니다.

8. 오늘날 이온 결합 화합물을 표기하는 방법으로 쓰자면 (S₂O₅)(H₃C₄)₂처럼 쓸 수 있습니다. 뒤마와 불레가 베르셀리우스의 이론론을 따라 에틸 황산염이 두 가지 구성 요소, S²O⁵와 H³C⁴가 1:2로 결합된 형태라고 믿었음을 알 수 있습니다.

만들어낸다는 것이 직관적으로 드러납니다. 게다가 기존의 정성적 이론에서는 예측할 수 없었던 물의 생성을 예측한다는 장점이 있습니다. 이 실험은 수용액에서 진행되었으므로 그 동안은 물이 크게 관심을 끌지 못했지만, 이렇게 이론적 예측이 주어지면 정량 분석을 통해 반응 이후 물이 더 생겼는지 알아볼 수 있겠죠.

여기서 한 가지 주의할 점이 있습니다. 당시 반응식은 실제 반응을 기술한다고 믿어지는 오늘날의 반응식과는 달리 대수 방정식과 같은 존재로 이해되었습니다(식의 가운데에 이중 화살표 대신 등호가 사용된 것을 보세요). 지난 글들에서 살펴본 것과 같이 아직 “원자”의 개념이 확고하게 정립되지 않은 시대였기 때문에, 오늘날처럼 반응식의 계수를 분자의 몰수와 대응시킬 수 없었습니다. 그저 산술적으로 양변의 계수를 맞추면 반응을 예측할 수 있다는 실용적 의미가 강했고, 왜 이 대수식이 화학 반응을 설명하는지에 대한 합리적인 설명도 제시하기 어려웠죠. 하지만 화학자들은 이 식으로 복잡한 유기 반응을 예측할 수 있다는 데에 열광했고, 베르셀리우스의 표기법은 화학계의 표준으로 자리 잡게 됩니다.

오늘 글은 많은 오해를 불러온 개념인 생기론(vitalism)에 관한 논의로 마무리해 볼까 합니다. 글 서두에서 말씀드린 것처럼, 19세기 이전 화학자들도 유기물이 특별한 물질이 아니라는 것을 알았습니다. 유기물 자체에 초자연적인 “생기”가 포함되어 있다고 믿었던 것이 아닙니다. 다만 무기물과는 달리 유기물은 실험실에서 합성하기 어려웠기 때문에, 유기물을 만들어내기 위해서는 생명체가 꼭 필요하다고 생각한 사람들이 있었던 것이죠. 이것을 생기론이라고 부릅니다. 흔히 알려져 있는 이야기에서, 이 생기론은 1828년 쾰러(Friedrich Wohler, 1800–1882)가 사이안산과 암모니아로부터 요소를 합성하면서 한 번에 박살났다고 합니다. 하지만 이러한 “쾰러 신화”는 역사적으로 사실이 아닙니다.⁹ 1837년에 발행된 베르셀리우스의 화학 교재에서도 여전히 유기물은 생명체 안에서만 합성될 수 있다는 언급이 나옵니다. 생기론은 쾰러의 요소 합성 이후에도 계속해서 화학계에서 영향력을 행사하다가 1840년대에 와서야 그

자취를 감춥니다.

쾰러의 요소 합성 실험은 당대에도 큰 관심을 끌었습니다만, 생기론과 연관되어 관심을 받은 것이 아닙니다. 당시 쾰러가 사용한 재료인 사이안산과 암모니아는 유기물로부터 얻을 수 밖에 없었기 때문에, 이들로부터 요소를 합성했다는 사실이 유기물 합성에 생기가 필요하지 않다는 것을 증명한 예가 될 수 없었죠. 도리어 쾰러는 산과 염기를 섞어 염을 얻기를 기대했는데 염이 아닌 물질이 생성되었다는 점에 더 큰 관심을 가지고 있었고, 또 요소의 조성이 사이안산 암모늄(NH_4OCN)과 동일하다는 것을 발견하고 이성질 현상의 또다른 예로서 흥미롭게 여겼습니다. 그렇다면 쾰러 신화는 어디에서 기인한 것일까요? 1840년대에 생기론이 완전히 축출된 이후, 유기화학의 시작점을 찾고 싶었던 화학자들은 쾰러의 요소 합성에 새로운 의미를 부여합니다. 이제 이 실험은 “최초로 무기물로부터 유기물을 합성한 실험”이자 “생기론을 끝장낸 실험”이 된 것입니다.

쾰러는 베르셀리우스의 제자였고, 비슷한 시기 활동했던 뒤마, 리비히(Justus Liebig, 1803–1873)와 더불어 새로운 세대를 대표하는 화학자였습니다. 오늘 글에서 살펴본 것처럼, 이들의 스승 세대인 게이뤼삭과 베르셀리우스 세대는 일견 이해가 불가능해 보였던 유기물을 체계적으로 이해할 수 있는 입구를 만들었습니다. 그 뒤를 이어 이 젊은 세대 과학자들이 유기물에 대한 우리의 이해를 더욱 풍성하게 만들었죠. 다음 글에서는 이들의 이야기를 조금 더 자세히 해볼까 합니다. ☺

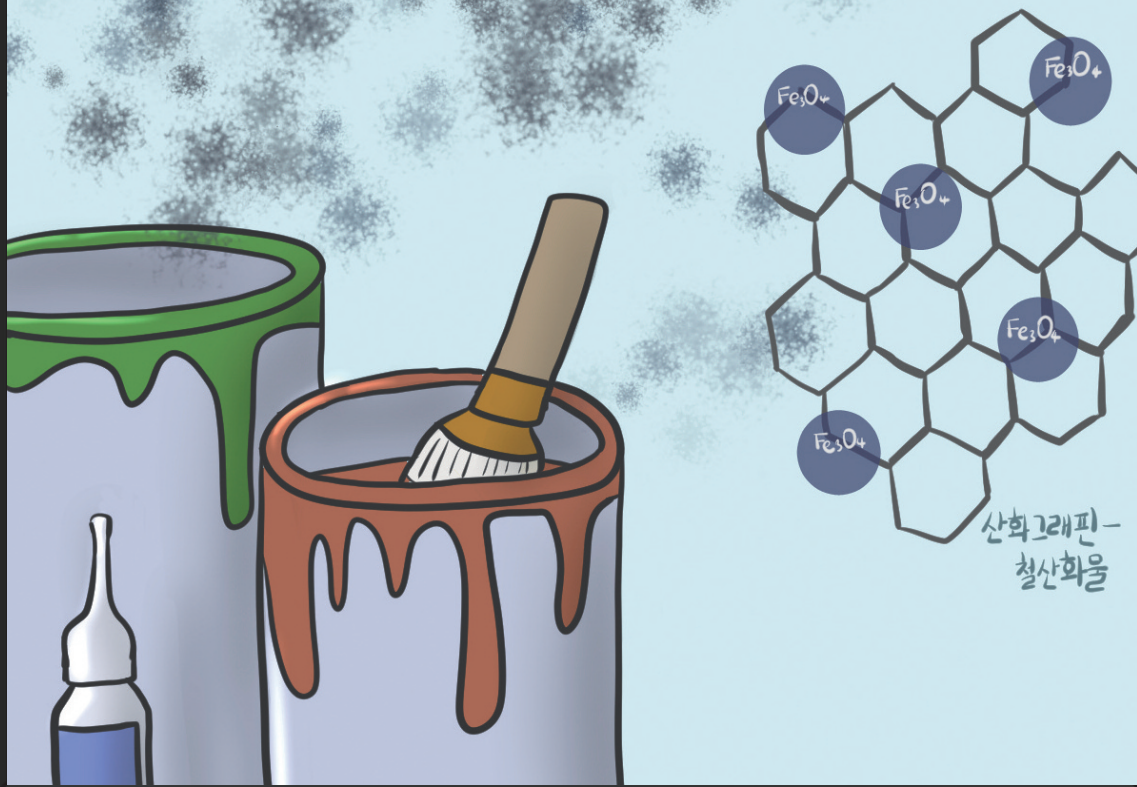


최정모 Jeong-Mo Choi

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

9. Douglas McKie, “Wohler’s ‘Synthetic’ Urea and the Rejection of Vitalism: a Chemical Legend,” *Nature* **153**: 608–610 (1944); John H. Brooke, “Wohler’s Urea, and its Vital Force?—a Verdict from the Chemists,” *Ambix* **15** (2): 84–114 (1968); Peter J. Ramberg, “The Death of Vitalism and The Birth of Organic Chemistry: Wohler’s Urea Synthesis and the Disciplinary Identity of Organic Chemistry,” *Ambix* **47** (3): 170–195 (2000).

산화 그래핀-철산화물을 이용한 흡착제의 성능 향상.
공기청정기로도 거르기 힘든 발암물질 제거에 상용화기대



132nd General Meeting of the Korean Chemical Society

October 25-27, 2023
Kimdaejung Convention Center



Plenary Lecture

13:30-14:20, October 26, Multipurpose Hall 1



▮ Sukbok Chang

KAIST / IBS

*“Catalytic C-H Amination Reactions:
Scope and Intermediacy of Metal Nitrenoids”*

Award Lecture

13:30-14:20, October 27, Multipurpose Hall 1

2023 Taikyue Ree Academic Award



▮ Cheol Ho Choi

Kyungpook National University

*“MR-SF-TDDFT: A Breakthrough in the Study of
Strongly Correlated Systems”*

KCS General Assembly

14:30-15:30, October 26, Multipurpose Hall 1

KCS Awards Winners

Award	Winner	Affiliation
Taikyue Ree Academic Award	Cheol Ho Choi	Kyungpook National University
Award for the Advancement of Industry	Kyu Young Hwang	Samsung Electronics Co., Ltd. SAIT
Award for Excellent Chemistry Teachers	Jihun Park	Busan Science High School
Award for Doctoral Dissertation	Taehee Kim	Yonsei University/ETH Zurich
	Gyeong-Geon Lee	Seoul National University
	So Yeon Chun	Korea University
	Jisu Choe	DGIST
Award for CEO in Chemistry	Chun Hyuk Lee	Dongjin Semichem Co., Ltd.
KCS-Wiley Young Scholar Award	Jongwoo Lim	Seoul National University
	Sarah Yunmi Lee	Yonsei University
KCS/Sigma-Aldrich Excellent Chemist Award	Doo-Hyun Ko	Sungkyunkwan University
	Byeong-Su Kim	Yonsei University
i-SENS Female Chemist Award	Jaesook Yun	Sungkyunkwan University
Award for Excellent Regional Chapter	Ulsan Regional Chapter	

KCS-ACS Applied Bio Materials Research Publications Summit

13:00-17:40, October 25, Room 208+209+210

Research Trends and Challenges in Nano-bio Chemistry

ACS Publications, a chemical society in the United States, holds important journals in the field of chemistry world-wide. ACS and KCS will co-host a special symposium called the ACS-KCS Applied Bio Materials Research Publications Summit at the 132nd Korean Chemical Society. Editors of the American Chemical Society who are mainly leading the fields of nanobio technology and materials science and technology, and leaders of the Korean Chemical Society have been invited to give a talk. At this symposium, we aim to share information with domestic chemists about the academic contexts, developmental processes, problems to be solved, recent research trends, and future research directions in various fields of chemistry.

**Kirk S. Schanze**

Editor-in-Chief
ACS Applied Materials & Interfaces
University of Texas at San Antonio

*Conjugated Polyelectrolytes in
Biosensing and Disinfection*

**Shikha Nangia**

Associate Editor
ACS Applied Bio Materials
Syracuse University

*Challenges of Treating Alzheimer's
Disease*



Juyoung Yoon

Advisory Board
ACS Applied Bio Materials
Ewha Womans University

*Recent Progress on
Phototherapy and Photochemistry*



Ashutosh Sharma

Associate Editor
ACS Applied Bio Materials
IIT Kanpur

*Harnessing Self-organization in
Confined Soft Materials for
Micro/Nanofabrication*



Mi Hee Lim

Advisory Board
ACS Applied Bio Materials
KAIST

*Chemical Strategies to Study
Multiple Facets in Alzheimer's
Disease*



Elisabeth Engel

Associate Editor
ACS Applied Bio Materials
The Barcelona Institute of Science
and Technology

*Unlocking the Potential of
Calcium Nanoparticles:
From Bone Repair to Beyond*



Jong Seung Kim

Associate Editor
ACS Applied Bio Materials
Korea University

*Small Molecule-based Drug
Delivery System and Its Bioimaging*



Deeksha Gupta

ACS Publications

*Resources at ACS for Career
Advancement of South Korean
STEM Professionals*

KCS-RSC Joint Symposium

10:00-12:15, 14:30-16:45, October 27, Multipurpose Hall 1

Multidisciplinary Approach to Energy Science

RSC-KCS Energy Joint Symposium will be held by inviting editors of RSC's Chemical Science and Journal of Materials Chemistry to further strengthen the world-leading initiatives of Korean chemists. With urgent needs for sustainable energy due to climate change, the speakers will discuss the challenges to be solved from a multidisciplinary perspective such as material chemistry, physical chemistry, and artificial intelligence, as well as recent research trends and future research directions.



James K. McCusker

Associate Editor
Chemical Science
Michigan State University

Tailoring the Photophysics of First-row Transition Metal-based Chromophores for Applications in Light-to-Chemical Energy Conversion: Challenges and Opportunities



Yousung Jung

Editorial Advisory Board
Chemical Science
Seoul National University

Accelerated Chemical Science Using AI



Lin X. Chen

Associate Editor
Chemical Science
Northwestern University

Excited State Trajectories in Photoactive Transition Metal Complexes Probed by Ultrafast Laser and X-ray Spectroscopies and Scattering



Martyn A. McLachlan

Associate Editor
Journal of Materials Chemistry C
Imperial College London

Facile Methods for Engineering Performance Improvements in Perovskite Photovoltaics



Natalie Stingelin

Editor-in-Chief
Journal of Materials Chemistry C
Georgia Institute of Technology

Deciphering Structure/Property Interrelations for Functional Polymer Systems Using Thermal Analysis



Yun Jeong Hwang

Associate Editor
Journal of Materials Chemistry A
Seoul National University

Understanding Catalyst-electrolyte Interfaces for Electrochemical CO₂ Conversion



Michaela Muehlberg

Executive Editor
Journal of Materials Chemistry A, B, C
Royal Society of Chemistry

Publishing with the RSC

IBS Symposium

13:00-18:00, October 25, Room 211+212+213

Carbon and Related Materials

The IBS Center for Multidimension Carbon Materials (CMCM) synthesizes and studies novel carbon and related materials (such as boron nitride). The IBS CMCM uses a range of synthetic approaches and a broad array of instrumentation to make and characterize such materials, and also state-of-the-art computational modeling methods such as quantum molecular dynamics (and others), to further delve into reaction pathways, energy landscapes, and properties. This Symposium introduces recent advances in carbon and boron nitride materials, including novel methods of synthesis such as use of liquid metals (among others).

**Rodney S. Ruoff**

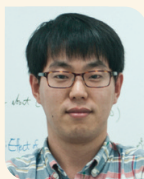
Institute for Basic Science/UNIST

How's Your Interface?**Yung Doug Suh**

UNIST

MINE-based (Molecular Integration NanoscopE-based) Closer Look into Materials and Beyond**Hyeon Suk Shin**

UNIST

Hexagonal and Amorphous Boron Nitride Thin Films**Seung Kyu Min**

UNIST

Computational/Theoretical Analysis of Various Carbon-related Materials**Geunsik Lee**

UNIST

DFT Modeling of Carbon Transformation through Dissolution in Metal**Won Kyung Seong**

Institute for Basic Science

Fractionation of Carbon Isotopes Using Electromigration in High Carbon Solubility Metals**Da Luo**

Institute for Basic Science

Interfacial Properties about Single Crystal Graphene Grown on Cu(111) Surfaces**Benjamin V. Cunning**

Institute for Basic Science

Putty-like Gallium: A Simple Approach to Forming Gallium Composites


Meihui Wang

Institute for Basic Science

The Growth Kinetics of Graphene Islands on Cu(111) Foils Using C_2H_2 , C_2H_4 , C_2H_6 , and CH_4 as Reagents

Co-organized by


KCS Symposium

13:00-17:55, October 25, Room 302+303

Special Symposium for Young Chemists

We would like to gather young chemists in various chemistry fields who will lead future chemical research in Korea and share their research topics, directions, and visions with members of the Korean Chemical Society. Through this symposium, we hope to provide a forum for active discussion and exchange among young chemists in various fields, and to discuss rapidly changing research topics, research environments, and scope of research topics at the forefront.

Physical Chemistry

Chang Yun Son

POSTECH

Controlling Charged Interfaces for Energy/Bio Applications: Insights from Predictive Molecular Simulations

Analytical Chemistry

Sungju Yu

Aju University

Manipulating Light, Matter, and Energy for Carbon Fixation

Electrochemistry

Jongwoo Lim

Seoul National University

How Interfaces Control Lithium (de)Insertion Pathway: Liquid Electrolyte and Solid Electrolyte

Material Chemistry

Munseok S. Chae

Pukyong National University

Crystallographic/Electrochemical Mechanism Analysis of Cathode Materials for Sodium-ion Batteries

Environmental Energy

Choonsoo Kim

Kongju National University

Redox Flow Deionization (RFD): Principles, Progress, and Future Directions

Chemistry Education

Byeong-Seon Kim

Gyeongsang National University

Digital Era in Chemistry Classes and Laboratories

Inorganic Chemistry



Hyunchul Oh

UNIST

A Study on the Reduction of H₂ Boil-off of Liquefied Hydrogen for Long-Range Hydrogen Transportation

Life Chemistry



Yong Woong Jun

KAIST

Elucidating DNA Damage and Repair in Cells, and Harnessing Them with In Situ Enzymatic Chemical Modification of DNA

Polymer Chemistry



Yongju Kim

Korea University

Supramolecular Chemistry for Functional Two-dimensional Materials

Organic Chemistry



Han-Yong Bae

Sungkyunkwan University

Water-Accelerated Sustainable and High-Turnover Organocatalysis for SuFEx Chemistry

Medicinal Chemistry



Hye-Jin Kim

KRICT

Harnessing Innate Immune Modulators for Therapeutic Innovation

| Sponsored by |



Chemistry Symposium for Future Innovation



13:00-17:55, October 25, Room 201+202+203

The Story of Our Lives Fashioned by Chemistry

This convergence symposium is hosted by Inorganic Division–Pharmaceutical Division–BKCS and aims to provide a forum for discussion by presenting practical research content on “The Effects of Chemistry on Human Life”. Scholars in the fields of inorganic, medicinal, and general chemistry (BKCS) gather to present the latest trends and research results. Based on this, we will discuss the direction of chemistry to improve the quality of human life in the future.



In Su Lee

POSTECH

Crafting Designer Nanoreactors for Bio-orthogonal Catalysis in Living Systems



Mi Hee Lim

KAIST

Bioinorganic Strategies to Understand Multiple Facets in Neurodegenerative Disorders



Jaeheung Cho

UNIST

A Photo-responsive Iron-nitrosyl Complex in Acute Vascular Occlusion Disease



Soo Bong Han

KRICT

Lessons from COVID-19 for the Development of Antiviral Drugs



Ki Duk Park

KIST

Discovery of Potent and Selective Keap1/Nrf2 Modulators for the Treatment of Alzheimer's Disease



Soong-Hyun Kim

K-MEDIhub

Development of Prokaryotic UMP Kinase (pyrH) Inhibitor Towards the Novel Class of Broad-Spectrum Antibiotics



Kara L. Bren

University of Rochester

Cytochrome C-based Systems for Artificial Photosynthesis



Todd C. Harrop

University of Georgia

Metal Nitrosyls That Mimic Global Nitrogen Cycle Transformations: Generation of Reduced NO_x Species



Abhishek Dey

Indian Association for the Cultivation of Science

Catalytic Oxidation of C-H Bonds with O₂ in Aqueous Solvents

| Sponsored by |



Chemistry Symposium for Future Innovation

14:25-17:15, October 25, Room 206+207

Introduction of Recent Chemistry for the Advancement of Chemistry Education in the New Era of the 4th Industrial Revolution

For the advancement of chemistry education in the new era of 4th industrial revolution, it is important to understand the recent researches in chemistry. Nowadays, various areas of chemistry have made significant contributions to addressing the diverse environmental and energy problems which humanity is currently confronted with, as well as improvement of in the field of medicine. In order to introduce these latest studies in chemistry, experts in inorganic chemistry, organometallic chemistry, bioinorganic chemistry, biochemistry, and chemistry education will deliver lectures and engage in discussions regarding the future direction of the chemistry education in the new era.



| Seung Jae Lee

Jeonbuk National University

A Multi-disciplinary Approach to the Elucidation of Protein Activities



| Sun Hee Kim

Korea Basic Science Institute (KBSI)

The Contribution of Magnetic Resonance Spectroscopy for Future Innovation



| Kiyoung Park

KAIST

Lessons from Nature and Electronic Structures: Light and O₂ Utilization for Organonickel Chemistry



| Hyuck Jin Lee

Kongju National University

Vitamins as Potent Anticancer Agents Targeting Matrix Metalloproteinase-2/9



| Jin Yeong Kim

Seoul National University

Recent Trends in Nanoporous Crystalline Materials, Metal-organic Frameworks



| Hyun Kyung Kim

Jeonbuk National University

Research Trends and Directions in Chemistry Education in the Era of the 4th Industrial Revolution

13:00-15:40, October 25, Room 214

The Role of Chemistry in Materials Innovation for Sub-nm Semiconductors

According to Moore's Law, the performance of semiconductor integrated circuits doubles approximately every 24 months while manufacturing costs are halved. This trend is primarily enabled by the ongoing miniaturization of semiconductors. It's predicted that by 2031, 1 nm node semiconductors will be developed, and by 2034, we will see the advent of sub-nm node semiconductors. However, to achieve these milestones, the development of a new concept of core semiconductor materials is critical. One significant challenge in developing new materials for ultrafine semiconductors is understanding the correlation between a material's molecular structure and its properties. In the field of EUV resist materials, the lack of a basic scientific understanding of the interactions between electrons and molecules hinders the systematic design of materials. Similarly, the need for ultra low-k materials to optimize their mechanical properties relative to their dielectric constants introduces complexities, especially given the unclear role of low-energy electrons in plasma reactions. To overcome these obstacles, collaboration is necessary among researchers in various fields, including quantum chemistry, computational chemistry, surface science, inorganic chemistry, organic chemistry, materials chemistry, solid-state physics, optics, and materials science. Specifically, researchers in the field of chemistry need to lead in establishing the mechanism of bond dissociation in molecules caused by electron-molecule collisions. Through this symposium, we aim to provide a platform for discussion where, by introducing the latest research and development status of semiconductor materials by researchers from academia, industry and research institutions, we can explore solutions to the challenges of material technology for sub-nm class semiconductors, based on the creativity, basic scientific research capabilities, and knowledge of researchers from various fields of chemistry.



Sang-Jun Choi

Chempole

Advancements and State-of-the-Art Trends in Semiconductor Photoresist Materials



Jung Hyung Kim

KRISS

Development of Selective Dissociating PECVD Process for Ultra Low-k Film



Hyo Jae Yoon

Korea University

Molecules for Electronics Applications



Chan-Cuk Hwang

Pohang Accelerator Laboratory

Optical Properties of Materials and Components Used in EUVL Materials



Hyun-Dam Jeong

Chonnam National University

Development of Materials Based on Electron-driven Chemistry for Sub-nm Node Semiconductors

| Sponsored by |



Chemistry Symposium for Future Innovation

14:00-17:50, October 25, Room 304+305+306

Convergent Understanding of Phase Transition Behaviors

Phase transition is a universal conceptual framework used to describe changes in materials, which is applicable to various chemical phenomena. It can explain diverse behaviors that currently attract chemists' interest, including the structural transformation of solids, the nucleation of nano-materials, biomolecular phase separation and fibrillation. During this symposium, researchers from various fields, working on topics related to phase transition, will come together to share their original perspectives and stimulate innovative scientific ideas.



Jaeyoung Sung

Chung-Ang University

Statistical Thermodynamics and Chemical Dynamics of Nucleus Seed Formation and Ensuing Phase Transitions in Complex Biological and Material Systems



Yongdae Shin

Seoul National University

The Organization and Function of Biomolecular Condensates Centered around RNA



Jeong-Mo Choi

Pusan National University

Network Structure and Dynamics of Biomolecular Condensates



Jae Kyo Lee

Seoul National University

Microdroplet Chemistry: Chemical Reactions at Heterogenous Phase Interfaces



Tuomas Knowles

University of Cambridge

Kinetics of Protein Phase Transitions



Kyeong Kyu Kim

Sungkyunkwan University

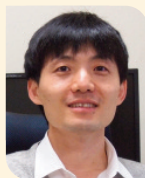
Molecular Basis for SOX2-dependent Regulation of Super-enhancer Activity



Joonkyung Jang

Pusan National University

Phase Transitions of Confined Water at the Nanoscale



Yongwon Jung

KAIST

Protein Models to Study Biomolecular Phase Separation

14:00-17:50, October 25, Room 301

High-performance Multicomponent Macromolecular Materials with an Entropy Approach

Macromolecular materials are experiencing rapid expansion in their applications and have garnered significant interest from the industry. Notably, enhancing the performance of composite materials by blending dissimilar components has been explored across various fields of study. However, achieving the desired properties through a simple binary blend remains uncommon, necessitating a more theoretical and multidimensional approach. In this presentation, we will delve into material performance enhancement via a multicomponent thermodynamic entropy approach. Specifically, we will focus on the multidisciplinary aspects of comprehending multicomponent macromolecular systems, analyzing blend morphology, and controlling phase separation.



Keewook Paeng
Sungkyunkwan University

Segmental Dynamics of a Component Polymer in Multicomponent Polymer Mixtures



Sung-Soo Kim
KIST

Understanding Chemical Reactions of Cellulose at High Temperatures and Employing Pretreatments for Carbon Fiber Production



Bong June Sung
Sogang University

Simulation Studies on Mechanical Properties of Elastomers for Various Applications



Youngjong Kang
Hanyang University

Entropy Engineering for Polymers



Doo-Hyun Ko
Sungkyunkwan University

Entropy-driven Strategy to Suppress Organic Phase Separation



Du Yeol Ryu
Yonsei University

Apex-dependent Supramolecular Assemblies from 2G Dendron Mesocrystals



Chang Yun Son
POSTECH

Ion Transport in Advanced Polymer Electrolytes: Role of Morphology and Interface

연회비/참가비/경품 추천 안내

I 학술발표회 현장 등록 안내

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

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

* 가입 당시 정회원 연회비의 20년치.

II 학회 참가비 지원 프로그램 안내

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

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

※ 비회원은 참가비 지원 불가.

* 가입 당시 정회원 연회비의 20년치.

III 환불 규정

- 초록 수정 및 삭제 기한 종료 후에는 초록의 접수 취소(삭제)는 불가하며, 발표 취소로 처리됩니다.
- 기념강연 및 특별 강연, 심포지엄, 구두발표, 포스터발표의 발표자가 초록 수정 및 삭제 기한 종료 후에 발표를 취소할 경우 연회비는 환불 불가하고, 참가비는 사전등록 마감일까지만 요청에 의하여 환불해 드립니다.
- 환불 요청 접수 : member@kcsnet.or.kr

IV 재결제 규정

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

V 영수증 출력

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

VI 경품 참여 방법 및 추천 안내

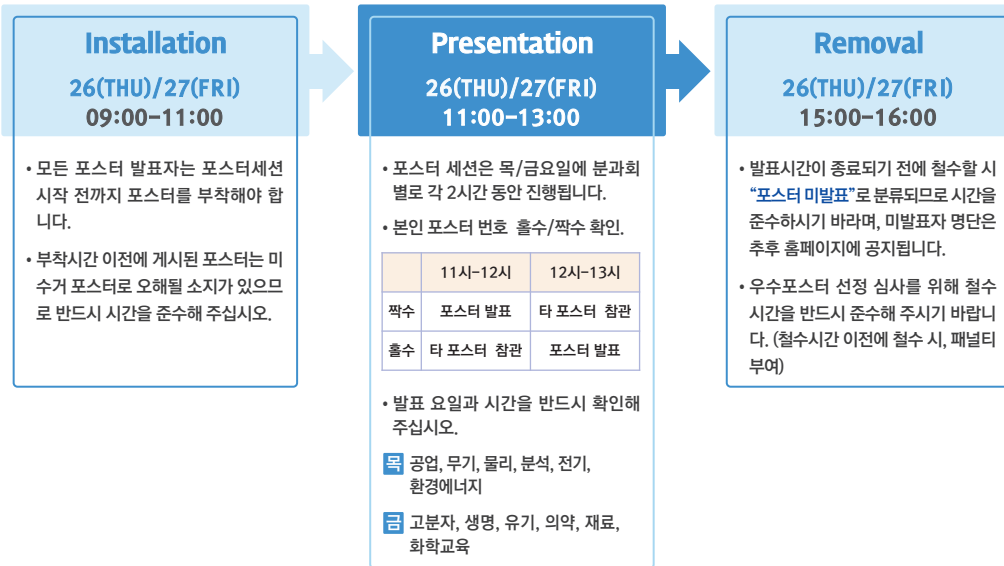
- 응모 방법 : 등록하실 때 받은 응모권에 본인의 이름과 연락처를 기입하시고, 기기전시장을 방문하실 때 각 전시부스에서 확인 도장을 10개 이상 받으신 후 기기전시장 안에 마련된 “경품함”에 넣어 주세요.
- 응모 자격 및 추천 : 대한화학회 제132회 학술발표회, 총회 및 기기전시회에 정식 등록된 모든 회원

경품추천	10월 26일(목), 18:00 1층 로비	(주의사항) 경품 추천 시 현장에서 본인확인 및 등록확인(본인임을 증명하는 사진이 부착된 신분증과 등록 명찰과 대조하여 일치 확인)을 거쳐야만 경품을 수령할 수 있습니다(다른 사람의 명찰로 대리인 상품수령 불가). 추천 현장에서 당첨된 자가 본인임을 증명하지 못하면(신분증 미제시) 당첨이 취소되고 다른 당첨자를 재 추천합니다.

VII 프로그램북(학술발표회 진행표) 배포 안내

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

포스터 발표 일정



- 발표자는 위와 같이 포스터 게시를 완료하고 발표시간에 대기하여 질문과 토의에 응해야 합니다.
- 포스터 게시와 철수 상황은 본회에서 별도로 확인할 예정이니, 시간을 엄수하여 주시기 바랍니다. 또한 본회에 별도의 연락 없이 포스터를 게시하지 않으면, 추후 본인뿐 아니라 해당 연구실의 발표를 제한받는 불이익을 당할 수 있으니 유의하시기 바랍니다.
- 철수시간에 수거되지 않은 포스터는 모두 폐기되며, 사무국에서 보관하지 않으므로 철수시간에 반드시 포스터를 수거해 가시기 바랍니다.
- 부착시간, 발표시간, 철수시간 등을 준수하지 않아 발생하는 불이익에 대한 책임은 모두 발표자 본인에게 있습니다.
- 대한화학회 제132회 학술발표회, 총회 및 기기전시회에서는 허가되지 않은 사진, 영상촬영 및 녹음을 하는 행위는 엄격하게 금지하며, 위반 시 진행요원의 제재가 있을 수 있습니다.

일정표

* Tentative Room Assignment. KCS Symposium Symposium Oral Presentation Poster Presentation Exhibition

October 25 (Wed)											
	201+202+203	206+207	208+209+210	211+212+213	214	301	302+303	304+305+306			
9:00-	[Chemistry Symposium for Future Innovation & BKCS Symposium] The Story of Our Lives Fashioned by Chemistry (13:00-17:55)	[Chemistry Symposium for Future Innovation] Introduction of Recent Chemistry for the Advancement of Chemistry Education in the New Era of the 4 th Industrial Revolution (14:25-17:15)	[KCS-ACS Applied Bio Materials Research Publications Summit] Research Trends and Challenges in Nano-bio Chemistry (13:00-17:40)	[IBS Symposium] Carbon and Related Materials (13:00-18:00)	[Chemistry Symposium for Future Innovation] The Role of Chemistry in Materials Innovation for Sub-nm Semiconductors (13:00-15:40)	[Chemistry Symposium for Future Innovation] High-performance Multicomponent Macromolecular Materials with an Entropy Approach (14:00-17:50)	[KCS Symposium] Special Symposium for Young Chemists (13:00-17:55)	[Chemistry Symposium for Future Innovation] Convergent Understanding of Phase Transition Behaviors (14:00-17:50)			
11:00-					13:00-				15:00-	17:00-	
18:00-											

October 26 (Thu)											
	201+202+203	206+207	208+209+210	211+212+213	214	301	302+303	304+305+306	Convention Hall 1	Convention Hall 2	Multipurpose Hall 1
9:00	Material Chemistry	Electro-chemistry	Physical Chemistry	Inorganic Chemistry	Analytical Chemistry 1	Environmental Energy	Polymer Chemistry	Life Chemistry	Medicinal Chemistry	Organic Chemistry	
11:00	Poster Presentation 1 (11:00-13:00, Exhibition Hall C, 1F)										
13:00	Lunch Break (13:00-13:30)										
13:30	KCS General Assembly (Multipurpose Hall 1, 1F) Part 1. Plenary Lecture (13:30-14:20) Prof. Sukbok Chang (KAIST / IBS) Part 2. General Assembly (14:30-15:30)										
15:30	Material Chemistry 1	Electro-chemistry 1	Physical Chemistry 1	Inorganic Chemistry 1	Analytical Chemistry 1	Environmental Energy 1	Polymer Chemistry 1	Life Chemistry 1	Medicinal Chemistry 1	Organic Chemistry 1	
18:00	Exhibition (Exhibition Hall C, 1F)										
9:00 - 17:00											

October 27 (Fri)												
	201+202+203	206+207	208+209+210	211+212+213	214	301	302+303	304	305+306	Convention Hall 1	Convention Hall 2	Multipurpose Hall 1
9:00	Material Chemistry 2	Electro-chemistry 2	Physical Chemistry 2	Inorganic Chemistry 2	Analytical Chemistry 2	Environmental Energy 2	Polymer Chemistry 2	Chemistry Education 1	Life Chemistry 2	Medicinal Chemistry 2	Organic Chemistry 2	[KCS-RSC Joint Symposium] Multidisciplinary Approach to Energy Science (10:00-12:15) (Continued)
11:00	Poster Presentation 2 (11:00-13:00, Exhibition Hall C, 1F)											
13:00	Lunch Break (13:00-13:30)											
13:30	Award Lecture - 2023 Taikyue Ree Academic Award (13:30-14:20, Multipurpose Hall 1, 1F) Prof. Cheol Ho Choi (Kyungpook National University)											
14:30	Material Chemistry 3	Electro-chemistry 3	Physical Chemistry 3	Inorganic Chemistry 3	Analytical Chemistry 2		Polymer Chemistry 3	Chemistry Education 2			Organic Chemistry 3	[KCS-RSC Joint Symposium] Multidisciplinary Approach to Energy Science (14:30-16:45)
16:30									Special Lecture for Gwangju Middle & High School Student (16:30-18:00)			
9:00 - 16:00	Exhibition (Exhibition Hall C, 1F)											

심포지엄 및 구두발표 주제, 조직책임자

심포지엄

분과회	No.	주제	조직책임자	이메일
고분자화학	1	고분자 합성 연구의 최신 동향	이인환(아주대학교)	ilee@ajou.ac.kr
	2	중견 고분자화학 연구자 심포지엄	서명은(한국과학기술원)	seomyungeun@kaist.ac.kr
	3	지속가능형 고분자 소재의 최신 연구동향	박재영(서강대학교)	jeypark@sogang.ac.kr
무기화학	1	무기재료화학의 최신 연구동향	임주현(강원대학교)	jlim@kangwon.ac.kr
	2	배위화학 및 유기금속화학의 최신 연구동향	김진영(서울대학교)	jykim@snu.ac.kr
	3	나노화학의 최신 연구동향	박정은(광주과학기술원)	parkje@gist.ac.kr
물리화학	1	광전기화학 연구의 최근 동향	황윤정(서울대학교)	yjhwang1@snu.ac.kr
	2	컴퓨터와 화학: 최신 연구 동향	김현우(광주과학기술원)	hwk@gist.ac.kr
	3	에너지 과학을 위한 물리화학의 최신 연구동향	손운용(충북대학교)	nun Yong@chungbuk.ac.kr
분석화학	1	산업 문제 해결을 위한 분석화학 최신 연구 동향	김기훈(한국과학기술연구원)	kihun.kim@kist.re.kr
	2	첨단 분석화학 최신 연구 동향	김민식(대구경북과학기술원)	mkim@dgist.ac.kr
생명화학	1	생체분자 응집현상 연구의 최신 동향	박종민(강원대학교)	jpark@kangwon.ac.kr
	2	바이오시스템 엔지니어링 연구의 최신 동향	고민섭(부산대학교)	mikoh@pusan.ac.kr
유기화학	1	국의 유기화학자 심포지엄	이홍근(서울대학교)	hgleee@snu.ac.kr
	2	유기화학의 최신 연구 동향	윤주영(이화여자대학교)	jyoon@ewha.ac.kr
	3	촉매유기화학의 최신 연구 동향	배한용(성균관대학교)	hybae@skku.edu

분과회	No.	주제	조직책임자	이메일
의약화학	1	의약화학인상 수상 강연	임상민(한국과학기술연구원)	smlim28@kist.re.kr
	2	최신 유전자 암호화 라이브러리 기술 동향	이규명(한국화학연구원)	kmlee@kricr.re.kr
재료화학	1	2023 BKCS의 선택-재료화학	박성진(인하대학교)	sungjinpark@inha.ac.kr
	2	배터리 응용을 위한 재료화학의 최근 동향	김종순(성균관대학교)	jongsoonkim@skku.edu
	3	양자특성을 갖는 나노소재의 합성부터 응용까지	김인영(이화여자대학교)	iykim@ewha.a.kr
전기화학	1	전기유기합성: 전기화학 그리고 유기화학	최창혁(포항공과대학교)	chchoi@postech.ac.kr
	2	탄소중립을 위한 전기촉매 화학 반응	황윤정(서울대학교)	yjhwang1@snu.ac.kr
	3	기초전기화학의 최신 연구 동향	박준희(충북대학교)	jhp@cbnu.ac.kr
화학교육	1	화학교육의 최근 이슈와 연구 동향	최원호(순천대학교)	stensil@scnu.ac.kr
	2	과학영재를 위한 화학교육	김기향(세종과학예술영재학교)	matarie@sasa.hs.kr
환경에너지	1	(초)미세플라스틱 검출 및 인체/환경영향	김은주(한국과학기술연구원)	eunjukim@kist.re.kr
	2	이산화탄소 포집·활용 알키미스트 기술: 탄소부터 액체 연료까지	박현웅(경북대학교)	hwp@knu.ac.kr
KCS	1	[미래혁신 화학심포지엄 및 BKCS 심포지엄] 화학이 만드는 우리 인생의 이야기	조재흥(울산과학기술원)	jaeheung@unist.ac.kr
	2	[미래혁신 화학심포지엄] 4차 산업혁명 시대 화학교육의 선진화를 위한 최신 화학 소개	이혁진(공주대학교)	hyuckjin@kongju.ac.kr
	3	[미래혁신 화학심포지엄] Sub-nm 급 반도체용 소재 혁신 위한 화학의 역할	정현담(전남대학교)	hdjeong@chonnam.ac.kr
	4	[미래혁신 화학심포지엄] 엔트로피 접근법을 통한 고성능 다성분계 거대분자 소재	고두현(성균관대학교)	dhko@skku.edu
	5	[미래혁신 화학심포지엄] 상 전이 거동에 대한 융합적 이해	최정모(부산대학교)	jmchoi@pusan.ac.kr
	6	[KCS-ACS Applied Bio Materials Research Publications Summit] 나노바이오 화학 분야 주요 연구 트렌드와 도전	김종승(고려대학교)	jongskim@korea.ac.kr
	7	[IBS 심포지엄] 탄소 및 탄소 관련 재료	Rodney S. Ruoff(IBS)	ruofflab@gmail.com
	8	[KCS] 젊은 화학자 특별 심포지엄	김태규(연세대학교) 이윤미(광운대학교)	tkkim@yonsei.ac.kr ymlee@kw.ac.kr
	9	[KCS-RSC Joint 심포지엄] 에너지 과학의 다학제적 접근	황성주(연세대학교)	hwangsju@yonsei.ac.kr

구두발표

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

분과회	No.	주제	조직책임자	이메일
고분자화학	1	젊은 고분자화학 과학자를 위한 구두발표	김정곤(전북대학교)	jeunggonkim@jbnu.ac.kr
무기화학	1	젊은 무기화학자를 위한 구두발표	이경훈(경상국립대학교)	kleee1@gnu.ac.kr
물리화학	1	젊은 물리화학자 구두발표	민승규(울산과학기술원)	skmin@unist.ac.kr
분석화학	1	젊은 분석화학자 구두발표	유성주(아주대학교)	sungjuyu@ajou.ac.kr
	2	후속세대 분석화학자 구두발표	하지원(울산대학교)	jwha77@ulsan.ac.kr
생명화학	1	젊은 생명과학자를 위한 구두발표	이민희(숙명여자대학교)	minheeleee@sookmyung.ac.kr
유기화학	1	젊은 유기화학자 구두발표	최이삭(충북대학교)	isaac.choi@chungbuk.ac.kr
의약화학	1	젊은 의약화학자 구두발표	김중훈(숭실대학교)	jhkim19@ssu.ac.kr
재료화학	1	젊은 재료화학자를 위한 구두발표	양지웅(대구경북과학기술원)	jiwoongyang@dgist.ac.kr
전기화학	1	젊은 전기화학자를 위한 구두발표	박준희(충북대학교)	jhp@cbnu.ac.kr
환경에너지	1	환경에너지 일반발표	김효원(한국에너지공과대학교)	hwkim@kentech.ac.kr

심포지엄 및 구두발표 주제 요약문

고분자화학분과회

| 심포지엄 1 |

고분자 합성 연구의 최신 동향

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

| 심포지엄 2 |

중견 고분자화학 연구자 심포지엄

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

| 심포지엄 3 |

지속가능형 고분자 소재의 최신 연구동향

본 심포지엄에서는 지속가능형 고분자 소재의 최신 연구동향들을 공유할 수 있는 자리를 마련하고자 한다. 최근 들어, 플라스틱의 급격한 생산량 증가에 의한 탄소배출 위기 및 폐기되는 플라스틱에 의한 환경 오염 문제가 심각해지면서 이와 같은 사회문제를 해소할 수 있는 지속가능형 고분자 소재 연구에 대한 관심이 증가되고 있다. 지속가능형 고분자 소재의 범위로 바이오매스 활용, 생분해성, 기계화학적 재활용, 업사이클링, 탄소중립 특성에 국한하지 않고 다양한 최신 고분자 소재를 소개하고 토론하는 교류의 장을 제공할 것으로 기대한다.

| 구두발표 |

젊은 고분자화학 과학자를 위한 구두발표

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

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

무기화학분과회

| 심포지엄 1 |

무기재료화학의 최신 연구동향

무기재료화학은 분자, 초분자, 그리고 고체 무기 재료에 이르는 다양한 형태의 재료 개발을 통해 현재 우리가 직면한 여러가지 문제를 해결하는 실마리를 제공한다. 본 심포지엄에서는 이러한 무기재료화학 분야의 최신 연구 결과를 공유하고 새로운 발전 방향을 모색하고자 한다.

| 심포지엄 2 |

배위화학 및 유기금속화학의 최신 연구동향

최근 무기화학 분야에서는 철저한 분석을 통해 물질에 대한 이해를 심화하고 이를 다양한 응용 분야에 적용하거나 현안을 해결하는 것이 강조되고 있다. 이번 심포지엄은 유기금속화학 및 배위화학 분야의 우수 연구자들의 최근 연구동향 및 다양한 응용 연구 결과를 공유하는 것을 목적으로 한다. 본 심포지엄을 통해 향후 융합 연구를 위한 교류 자리를 마련하고자 한다.

| 심포지엄 3 |

나노화학의 최신 연구동향

나노화학은 화학적 지식을 활용해 나노스케일의 물질을 합성하고 광학적, 화학적, 전기적 속성 등을 연구한다. 그 결과를 바탕으로 물리학, 재료 과학, 생명 과학, 의학, 에너지 등 다양한 분야로의 응용 연구도 활발히 진행 중이다. 본 심포지엄에서는 나노물질을 활용한 연구의 최근 동향과 새로운 연구 방법의 개발에 대해 소개하고자 한다.

| 구두발표 |

젊은 무기화학자를 위한 구두발표

본 세션에서는 다양한 무기화학 분야에서 연구 활동을 하고 있는 박사후연구원 및 대학원생들이 최근 연구 결과를 발표할 수 있는 기회를 제공하고 있다. 이를 통해 국내외 최신 연구 동향을 파악하고 자유로운 토론과 심도 있는 학문적 교류의 장을 갖고자 한다. 또한, 젊

은 무기화학자들의 연구 의욕을 높이고 무기화학 분야의 차세대 리더로 성장할 수 있는데 일조하고자 한다.

물리화학분과회

| 심포지엄 1 |

광전기화학 연구의 최근 동향

광 또는 전기화학 기반의 화학 반응을 제어하기 위해서는 분자의 에너지, 구조, 전자 전달, 촉매 표면과의 상호 작용 및 반응 동역학에 대한 물리화학적 이해가 중요하다. 이러한 광전기화학적 반응은 에너지 및 환경 문제를 해결하기 위한 방안으로 많은 관심을 받고 있다. 계면에서의 반응을 이해하기 위해서, 이론적 접근이나 실시간 반응 중에 특성을 관찰하기 위한 연구 방법이 적용되고 있다. 본 심포지엄에서는 광전기화학 분야의 최근 동향과 새로운 연구 방법 개발 사례에 대해 소개하고, 물리화학이 기여할 수 있는 방향에 대해서 논의하고자 한다.

| 심포지엄 2 |

컴퓨터와 화학: 최근 연구 동향

컴퓨터를 이용한 화학 연구는 실험으로 관찰된 현상을 설명하고 가설을 실현하기 쉽게 하는 귀중한 통찰력을 제공할 수 있다. 본 심포지엄은 컴퓨터를 이용한 화학 연구의 최신 경향을 탐구하는 것을 목표로 한다. 본 심포지엄은 계면에서 현상을 연구하는 데 중점을 둔 양자 화학 계산과 포텐셜 함수나 자율 실험실을 연구하기 위한 인공 지능의 응용이라는 두 가지 하위 주제를 살펴볼 것이다.

| 심포지엄 3 |

에너지 과학을 위한 물리화학의 최신 연구동향

본 심포지엄에서는 에너지 과학을 위한 물리화학 분야의 최신 연구 동향들을 공유할 수 있는 자리를 마련하고자 한다. 최근 환경오염 및 자원 고갈에 대한 이슈로 인해 대체에너지 개발 관련 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 일환으로 분광학적 기술들을 활용하여 효율 향상의 원인을 밝히고, 그 결과를 바탕으로 더 높은 효율을 갖는 디바이스 개발에 기여하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 다양한 에너지 과학을 위한 물리화학 분야의 최신 연구동향들에 대한 정보를 나눔으로써 향후 이 분야의 국내외 발전 방향을 예측할 수 있는 좋은 교류의 장을 제공할 것으로 기대한다.

| 구두발표 |

젊은 물리화학자 구두발표

이 포럼은 이론 및 실험 물리화학 전 분야의 최신 연구 동향을 공유하고, 새로운 연구 주제 발굴하고 공동 연구할 수 있는 플랫폼을 제공하고자 한다. 국내외 젊은 물리화학 연구자뿐만 아니라 박사과정 학생 및 박사 후 연구원의 최근 연구 성과 발표를 권장하며, 이를 통해 젊은 물리화학 연구자의 연구 의욕을 고취시키고 연구자 간 교류를 활성화하는데 기여하고자 한다.

분석화학분과회

| 심포지엄 1 |

산업 문제 해결을 위한 분석화학 최신 연구 동향

현대 산업에서 발생하는 다양한 문제 해결을 위해 혁신적인 분석 기술과 방법을 개발하여 산업 분야에서 발생하는 복잡한 문제를 분석하고 해결하는데 있어 분석화학의 역할이 점점 중요해지고 있다. 본 심포지엄에서는 산업 분야에 적용 가능한 분석화학 연구 동향을 학문적 관점에서 논의하고, 최신 연구 결과를 공유하고, 연구자들의 의견 교류 및 다양한 토론의 장을 마련하고자 한다. 본 심포지엄을 통해 산업 현장에서 발생하는 문제에 대한 신속하고 정확한 해결책을 모색하는데 큰 도움이 될 것으로 기대한다.

| 심포지엄 2 |

첨단 분석화학 최신 연구 동향

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

| 구두발표 1 |

젊은 분석화학자 구두발표

본 일반 구두발표에서는 분석화학 전 분야의 최신 연구 동향을 공유하고, 새로운 연구 주제 발굴과 공동 연구 모색을 위한 토론의 장을 마련하고자 한다. 특히, 분석화학을 전공하는 대학원생에게 최근 연구 성과를 발표할 수 있는 기회를 제공하고, 이를 통해 젊은 분석화학

자의 꿈을 키울 수 있도록 격려한다. 본 구두발표를 통해 분석화학의 최신 연구 동향을 파악하고, 대학원생, 신진 연구자, 중견 연구자 간 연구 교류가 활성화될 것을 기대한다.

| 구두발표 2 |

후속세대 분석화학자 구두발표

본 일반 구두발표에서는 분석화학 전 분야의 최신 연구 동향을 공유하고, 새로운 연구 주제 발굴과 공동 연구 모색을 위한 토론의 장을 마련하고자 한다. 특히, 박사학위 취득 예정자, 박사후 연구원, 연구 교수 등 신진 연구자들의 최근 연구 성과를 발표할 수 있는 기회를 제공하고, 이를 통해 학문 후속세대의 독립된 연구자로서 한 단계 더 성장할 수 있도록 한다. 본 구두발표를 통해 분석화학의 최신 연구 동향 공유와 더불어 학생, 신진 연구자, 중견 연구자간 연구 교류가 활성화될 것을 기대한다.

생명화학분과회

| 심포지엄 1 |

생체분자 응집현상 연구의 최신 동향

세포의 주요한 기능을 수행하기 위해서 핵, 미토콘드리아와 같은 세포막으로 구성 되어있는 기관들이 존재한다. 최근에는 이런 세포 소기관 이외에 막이 없더라도 생체분자들이 응집되어 생성되는 다양한 세포 구획들이 존재한다는 사실이 속속 보고되고 있다. 이런 생체 분자들의 응집체들은 다양한 세포의 기능을 조절하는 역할을 할 뿐만 아니라 다양한 질병과도 연관이 있음이 밝혀지고 있다. 본 심포지엄에서는 생체분자 응집현상에 대한 최신 연구 동향을 소개하고 심도 있는 논의를 진행하고자 한다.

| 심포지엄 2 |

바이오시스템 공학 연구의 최신 동향

이 심포지엄에서는 합성생물학 및 단백질 공학 분야를 포함하는 바이오시스템 공학 분야의 최첨단 연구를 소개하고자 한다. 합성 생물학은 유전자 및 단백질과 같은 생물학적 구성 요소를 인공적으로 설계하고 합성하여 유용한 유기 물질 또는 유기체를 만드는 학문이다. 이 기술을 활용하여 고부가가치의 대사물질 및 효소를 생성하고 바이오 연료를 생산할 수 있다. 본 심포지엄에서는 바이오시스템 공학의 새로운 화학 및 생물학적 접근법을 알아보고, 미래 연구 방향에 대한 토론의 장을 마련하고자 한다.

| 구두발표 |

젊은 생명과학자를 위한 구두발표

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

유기화학분과회

| 심포지엄 1 |

국외 유기화학자 심포지엄

이 심포지엄은 국외 유기화학 연구자의 최신 연구동향을 공유할 수 있는 자리를 마련하고자 한다. 새로운 광촉매 접목 분야, 비대칭 촉매 분야, 유기붕소화학 등에 대한 혁신적인 아이디어를 토론, 학습 및 교환하기 위한 플랫폼을 제공하는 것을 목표로 한다. 이를 통해 향후 유기화학의 국내외 발전 분야를 예측하고 연구 아이디어를 교환할 수 있는 좋은 기회가 제공될 것이다.

| 심포지엄 2 |

유기화학의 최신 연구동향

유기화합물의 효율적 합성과 다양한 응용은 현대 유기화학의 핵심을 이룬다. 이번 심포지엄에서는 우리나라의 유기화학 분야를 이끌어가고 있는 역대 유기화학분과 회장님을 연사로 초청하여 새로운 반응성의 발전과 선택성의 증가, 다양한 응용 분야를 세부 내용으로 하여 최근 연구 동향을 공유하고 유기 화학 및 관련 분야의 연구자들과 의견 교류를 할 수 있는 기회를 제공하고자 한다.

| 심포지엄 3 |

촉매유기화학의 최신 연구동향

새로운 촉매 및 합성 방법을 개발하는 화학은 다양한 분자의 효율적 합성에 직접적으로 적용되는 유기화학에서 매우 중요한 분야이다. 본 심포지엄에서는 이러한 유기합성방법론 및 촉매 반응의 최신 동향에 대해, 전문가들의 활발한 발표 및 토론의 장을 마련하여, 최근의 학문적 진보 및 미래 방향을 조명하고자 한다.

| 구두발표 |

젊은 유기화학자 구두발표

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

의약화학분과회

| 심포지엄 1 |

의약화학인상 수상 강연

의약화학분야에서 우수한 과학적 성과를 도출하신 또는 새로운 치료제 개발연구에 기여하신 의약화학자를 선정하여 의약화학인상을 수여하고 수상자의 대표 성과 또는 그간의 의약화학분야에의 기여에 대한 강의를 듣는 심포지엄을 마련하였다. 아울러 의약화학인상 수상자와 밀접한 관계를 가지고 계신 연구자 분들을 초청하여 최신 의약화학 연구동향을 공유하는 심포지엄이 될 것이다. 이 심포지엄을 통해 의약화학 연구자의 우수한 연구성과를 대내외적으로 홍보하고 신약개발 연구의 질적 향상을 모색할 것이다.

| 심포지엄 2 |

최신 유전자 암호화 라이브러리 기술 동향

본 심포지엄에서는 유전자 암호화 라이브러리(DNA-encoded library, DEL) 기술의 최신 연구동향을 공유할 수 있는 자리를 마련하고자 한다. 최근 신약개발의 연구비용을 낮추고, 성공 가능성을 높이기 위한 기반 기술의 개발은 지속적으로 요구되고 있다. 유전자 암호화 라이브러리(DEL) 기술을 이용한 유효물질 발굴은 전통적인 합성이나 스크리닝 방법들보다 획기적으로 빠른 시간 내에 저비용으로 우수한 후보물질을 도출할 수 있는 기회를 제공하고 있다. 본 심포지엄에서는 국내 의약화학분야 연구자들의 역량 제고와 아이디어를 공유를 통해서, 향후 연구 교류에 기여할 수 있는 자리를 마련하고자 한다.

| 구두발표 |

젊은 의약화학자 구두발표

신약개발을 위한 의약화학 전 분야에서, 새로운 연구 주제 발굴과 공동 연구 모색을 위한 토론의 장을 마련하고자 한다. 국내외의 젊은

연구자를 포함해 박사과정 학생 및 박사 후 연구원의 최근 연구 성과 발표를 권장하며, 본 포럼을 통해 젊은 의약화학 연구자의 연구 의욕을 증진하고 연구자간 교류를 활성화하고자 한다.

재료화학분과회

| 심포지엄 1 |

2023 BKCS의 선택-재료화학

재료화학은 고체 무기 재료를 비롯하여, 유기 및 고분자 재료, 바이오 재료 등을 아우르는 대표적인 다학제 연구 분야로 발돋움해 왔다. 재료화학 분야는 새로운 기능성 재료의 개발 및 분석 기법의 개발과 함께 새롭게 개발된 재료의 촉매, 에너지, 광학 및 바이오 분야 개척을 통해 나날이 발전을 거듭하고 있다. 본 심포지엄에서는 Bulletin of the Korean Chemical Society (BKCS) 편집인들이 선택한 국내 재료화학 분야 우수 연구진들을 초청하여 최신 재료화학 연구 결과들을 공유하고 토론할 수 있는 장을 제공하고자 한다.

| 심포지엄 2 |

차세대 이차전지를 위한 재료화학의 최근 동향

리튬이온전지는 현재 소형전자기기에서부터 전자자동차와 같은 중대형 에너지저장 매체로 까지 적용 범위가 확대되고 있습니다. 이에 따라 리튬이온전지의 고에너지밀도와 안전성을 개선하고, 생산 단가를 낮추는 차세대 이차전지의 개발에 많은 관심이 집중되고 있습니다. 이를 위해 양극, 음극, 전해질 소재 등 이차전지의 주요 구성 요소에 대한 원천 기술 연구가 전세계적으로 활발히 진행되고 있습니다. 이 심포지엄에서는 최근 연구되고 있는 차세대 이차전지인 전고체 전지, 소듐 이온전지, 금속-공기 전지 등에 적용되는 고성능 양극, 음극 및 전해질 소재에 관련된 최신 연구 결과를 공유하고, 이에 대해 연구자들이 토론할 수 있는 기회를 제공하고자 합니다.

| 심포지엄 3 |

양자특성을 갖는 나노소재의 합성부터 응용까지

양자특성은 매우 작은 크기의 나노소재들이 가지는 특징으로, 이를 이해하고 제어함으로써 전자 소자를 비롯한 다양한 분야에서 혁신적인 기술 응용의 발전을 이끌 수 있다. 본 심포지엄에서는 양자특성을 갖는 나노소재의 합성부터 물성 분석, 응용 연구를 하고 있는 연구자들을 초청하여 최첨단 나노과학기술의 연구동향을 공유하고자 한다.

| 구두발표 |

젊은 재료화학자를 위한 구두발표

●
 다양한 재료 화학 분야에서 연구하고 있는 대학원생, 박사 후 연구원 및 신진 연구 인력들의 최신 연구 결과들을 접할 수 있는 기회를 청중들에게 제공하는 것을 목적으로 한다. 특히, 재료화학분과회에서 마련한 심포지엄 연구발표 주제 이외의 다양한 재료 분야의 연구 주제를 다룰 예정이기에, 본 포럼을 통해 최신 연구동향을 배우고 연구자 간의 교류 활성화에 좋은 기회가 될 것이다.

기화학 응용 분야가 성장을 거듭하고 있으며 더불어 인접 분야 학문과의 융합을 통해 전기화학의 영역은 빠르게 확장하고 있다. 이러한 전기화학 기반 응용 산업들의 지속적인 성장과 더불어 새로운 응용 기술 개척을 위해서는 제한된 공간에서의 전기화학 반응과 전기적 이중층에서의 반응 조절, 향상된 물질 이동, 전자 전달 동역학과 같은 기초전기화학의 깊이 있는 연구와 이해가 더욱 중요하다. 본 심포지엄에서는 학제 간 토론과 협업을 통해 기초전기화학의 발전을 꾀하는 한편 기술혁신과 다양한 응용분야로의 활용 가능성을 논의하는 기회가 될 것으로 기대한다.

| 구두발표 |

젊은 전기화학자를 위한 구두발표

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

전기화학분과회

| 심포지엄 1 |

전기유기합성: 전기화학 그리고 유기화학

●
 전기화학은 이전에 전통적인 방법을 통해 접근할 수 없었던 다양한 유기 분자의 합성을 가능하게 함으로써 유기화학 분야의 새로운 가능성을 보여주고 있다. 본 심포지엄은 전기화학적 유기 합성이라는 공동의 목표를 바탕으로 유기화학과 전기화학에서 바라보는 두 개의 다른 학문적 관점 및 목표 등을 조화롭게 논의하고자 한다. 서로 간의 심도 있는 토론을 통해 유기화학과 전기화학 사이의 학문적 견해를 좁혀 나가고, 향후 본 학문의 발전을 위한 연구 방향과 통찰력 그리고 적극적인 협업의 기회를 제공하고자 한다.

화학교육분과회

| 심포지엄 1 |

화학교육의 최근 이슈와 연구 동향

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

| 심포지엄 2 |

탄소중립을 위한 전기촉매 화학 반응

●
 전기화학적 촉매 반응은 신재생 발전 기술과 융합이 용이한 친환경 촉매 반응 기술로서 관심을 높게 받고 있다. 그 대표적인 반응으로는 수전해 그린 수소 생산 반응, 이산화탄소 전환 반응, 바이오 매스 유래 분자의 고부가가치화 반응, 질소 순환 반응, 혹은 이들의 조합으로 이루어진 C-N 결합 형성 반응 등이 있다. 작은 분자의 산화/환원 반응을 통해 부가가치를 높일 수 있는 전기 촉매 반응에 대해서 다양한 각도에서 살펴보고, 향후 전기 촉매 화학이 탄소 중립 기술 개발에 기여할 수 있는 방향에 대해서 논의하고자 한다.

| 심포지엄 2 |

과학영재를 위한 화학교육

●
 초중등 및 대학에서 이루어지고 있는 과학영재를 위한 화학교육의 현황과 문제점에 대한 발표와 토론을 통하여 미래의 화학자들을 양성하기 위한 효과적인 방안을 모색한다. 발표 주제는 과학영재를 위한 화학교육 프로그램, R&E 프로그램, 탐구 프로그램, AP 프로그램, 학부생 연구 프로그램, 국제공동연구 프로그램 등 과학영재를 위한

| 심포지엄 3 |

기초전기화학의 최신 연구 동향

●
 이 세션은 기초전기화학 분야의 최신 동향과 중요한 발전을 논의하는 것을 목표로 한다. 최근 배터리, 에너지 변환, 바이오센서와 같은 전

화학교육과 관련된 다양한 분야를 폭넓게 다룬다.

환경에너지분과회

| 심포지엄 1 |

(초)미세플라스틱 검출 및 인체/환경영향

미세플라스틱(microplastics; MPs)과 나노플라스틱(nanoplastics; NPs)의 광범위한 확산은 다양한 환경 매체에서 심각한 우려를 야기하고 있다. 국내외 다양한 연구 그룹에서 미세플라스틱과 나노플라스틱의 검출, 거동 및 인체/환경영향과 관련하여 활발한 연구가 진행되고 있지만 검출과 독성 분야에서는 여전히 상당한 지식 격차가 있다. 본 심포지엄에서는 (i) 다양한 환경 매트릭스에서 미세플라스틱과 나노플라스틱의 검출 및 (ii) 수생 생물, 식물 및 인간 세포주에서 그들의 독성에 대한 최근 연구 동향 및 결과를 소개하고자 한다.

| 심포지엄 2 |

이산화탄소 포집·활용 알키미스트 기술: 탄소부터 액체연료까지

최근 이산화탄소 포집 및 전환(Carbon capture utilization, CCU) 기술에 대한 세계적인 관심이 고조되고 있다. 열, 전기, 광 등을 기본 에너지원으로 하여, 이산화탄소를 유용한 화합물로 전환하는 기술은 인류를 구원할 마지막 도전이다. 본 심포지엄은 최근 진행 중인 산업 기술알키미스트프로젝트에서 진행 중인 이산화탄소를 액체화합물로 전환하는 다양한 기술들을 소개하고, 현재 직면한 난관과 이를 극복하는 전략 등에 대해 심도 있는 논의의 장을 제공하고자 한다.

| 구두발표 |

환경에너지 일반발표

본 구두발표에서는 환경에너지화학 분야의 최신 연구동향을 살펴보고자 한다. 특히 환경 및 에너지 관련 기초화학 및 이와 관련된 응용 분야에서 다양한 연구를 수행하고 있는 석·박사 학생 및 연구원들의 최신 연구결과를 소개하며 이를 바탕으로 연구방법에 대한 아이디어를 얻고 최신 분석기술 및 실험기술들을 교류하고자 한다.

KCS

| 심포지엄 1 |

[미래혁신 화학심포지엄 및 BKCS 심포지엄]

화학이 만드는 우리 인생의 이야기

이번 융합 심포지엄은 무기화학분과-의약화학분과-BKCS가 주최하며 "화학이 인간 생활에 미치는 영향"을 실제적인 연구 내용 발표를 통해 토론의 장을 마련하고자 한다. 무기화학, 의약분야 및 화학전반(BKCS) 분야의 석학들이 모여 최신 동향과 연구 결과를 발표하며, 이를 바탕으로 미래 인간 삶의 질 향상을 위한 화학 방향에 대해 토론하고자 한다.

| 심포지엄 2 |

[미래혁신 화학심포지엄]

4차 산업혁명 시대 화학교육의 선진화를 위한 최신 화학 소개

새로운 4차 산업혁명 시대 화학 교육의 최신화를 위하여 다양한 분야에서 활용되고 있는 화학의 최신 연구를 알아가는 것은 중요합니다. 무기화학, 유기금속화학, 생무기화학, 생화학 등 화학의 여러 분야의 발전은 현재 인류가 직면하고 있는 다양한 환경 문제와 에너지 문제 해결 및 의약학분야에서의 발전에 많은 기여를 하고 있습니다. 이러한 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 대한 논의의 장을 마련하고자 합니다.

| 심포지엄 3 |

[미래혁신 화학심포지엄]

Sub-nm 급 반도체용 소재 혁신 위한 화학의 역할

무어의 법칙에 따르면, 반도체 집적 회로의 성능은 24개월마다 두 배로 증가하고 제조 비용은 절반으로 줄어들게 됩니다. 이런 변화를 가능하게 하는 것이 반도체 미세화 공정입니다. 2031년에는 1 nm 급 반도체가, 2034년에는 sub-nm 급 반도체가 개발될 것으로 예측되고 있으나 이를 구현하기 위해서는 새로운 개념의 핵심 반도체 소재 개발이 관건입니다. 초미세 반도체 용 신소재 개발이 쉽지 않은 이유는 소재 분자 구조와 그 특성의 상관 관계를 이해하는 것이 매우 어렵기 때문입니다. EUV 레지스트 소재 분야에서는 전자와 분자의 충돌에 관한 기초 과학적 이해가 부족하여 체계적인 소재 설계의 한계에 봉착해 있습니다. Ultra low-k 소재의 유전율 대비 기계 특성의 극대화가 필요하나 플라즈마 반응에서 저에너지 전자의 역할이 규명되어 있지 않아 많은 어려움을 겪고 있습니다. 이를 극복하기 위해서는 양자화학, 계산화학, 표면과학 등의 여러 물리화학 연구자와 무기화학, 유기화학, 재료화학의 연구자, 그리고 고체물리, 광학, 재료과학 분야의 연구자들이 협력하여 기초 이론 및 모델을

정립할 필요가 있으며, 특히 화학 분야의 기초 과학 연구자들이 주도적으로 전자-분자 충돌에 의한 분자 내 결합 해리 메커니즘을 정립할 필요가 있습니다. 본 심포지엄을 통하여 산학연 연구자들의 최신 반도체 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 마련하고자 합니다.

| 심포지엄 4 |

[미래혁신 화학심포지엄]

엔트로피 접근법을 통한 고성능 다성분계 거대분자 소재

거대분자 소재는 소재의 응용성으로 그 이용 범위가 급속히 확대되어 산업계의 큰 관심을 받고 있다. 특히 이종 물질의 블렌드를 통한 소재의 성능 향상은 산업계 뿐만 아니라 여러 학문 측면에서 시도가 되고 있다. 그러나 두 개의 비상용성 물질의 단순한 혼합 이성분계 블렌드를 통해 원하는 물성을 얻는다는 것은 아주 드문 경우로, 보다 이론적이고 다차원적인 접근 방법이 요구된다. 이에 본 발표에서는 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 논의하고자 한다.

| 심포지엄 5 |

[미래혁신 화학심포지엄] 상 전이 거동에 대한 융합적 이해

상 전이는 물질의 변화 현상을 보편적으로 기술할 수 있는 개념 틀로서, 다양한 화학 현상을 설명하는데 널리 활용되고 있습니다. 특히 고체 물질의 구조 변화, 나노 물질의 핵화, 생체 분자의 상 분리 및 섬유화 등 최근 연구 현장에서 높은 관심을 받고 있는 여러 현상이 상 전이를 통해 설명될 수 있습니다. 본 심포지엄에서는 분야를 막론하고 상 전이라는 개념으로 묶일 수 있는 여러 주제를 연구하는 연구자들을 모아 각 분야의 독창적인 관점을 공유하고 이를 통해 혁신적인 연구 아이디어를 창출하고자 합니다.

| 심포지엄 6 |

[KCS-ACS Applied Bio Materials Research Publications Summit]

나노바이오 화학 분야 주요 연구 트렌드와 도전

미국 화학회인 ACS Publications은 전 세계 화학 분야의 중요 저널을 보유하고 있으며, ACS-KCS Applied Bio Materials Research Publications Summit이라는 제목으로 제132회 대한화학회에서 특

별심포지엄으로 개최합니다. 나노바이오 기술과 소재과학기술 분야를 주로 리딩하고 있는 ACS Applied Materials Interfaces, ACS Applied Bio Materials 등에서 활동하고 있는 미국화학회 에디터 및 국내 대한화학회의 리더들을 초청하였습니다. 이번 심포지엄에서는 화학 각 분야의 학문적 맥락, 발전 과정, 해결해야 할 난제, 최근 연구 동향 및 미래의 연구 방향에 대한 정보를 국내 화학자들과 공유하고자 합니다.

| 심포지엄 7 |

[IBS 심포지엄] 탄소 및 탄소 관련 재료

IBS 다차원 탄소소재 연구단(Center for Multidimensional Carbon Materials, CMCM)은 새로운 탄소 및 관련 소재(예: 질화붕소)를 합성하고 연구합니다. IBS CMCM은 다양한 합성 접근법과 다양한 기기를 사용하여 이러한 물질을 합성, 분석하고, 양자 분자 역학(및 기타)과 같은 최첨단 전산 모델링 방법을 사용하여 반응 경로, 에너지 지형, 특성을 더 깊이 탐구합니다. 이 심포지엄에서는 액체 금속 사용과 같은 새로운 합성 방법을 포함하여 탄소 및 질화붕소 재료의 최근 발전 내용을 소개합니다.

| 심포지엄 8 |

젊은 화학자 특별 심포지엄

미래 한국의 화학연구를 이끌어갈 각 분야의 가장 젊은 화학자들을 모시고 이 분들의 연구주제, 방향 및 비전을 대한화학회 구성원들과 공유하고자 합니다. 본 심포지엄을 통해 발 빠르게 변화하고 있는 연구의 주요 화두, 연구환경 및 연구주제범위에 대해 다양한 분야의 젊은 화학자들간의 토론과 인적교류를 유도할 수 있는 장이 되기를 기대합니다.

| 심포지엄 9 |

[KCS-RSC Joint 심포지엄] 에너지 과학의 다학제적 접근

국내 화학계의 국제적 위상의 재도약을 위해, RSC의 Chemical Science 및 Journal of Materials Chemistry 에디터들을 초청하여, RSC-KCS 에너지 심포지엄을 개최하고자 한다. 기후 변화에 따른 지속 가능한 에너지의 필요성이 매우 중요한 상황에서, 에너지 과학을 주제로, 소재화학, 물리화학, 인공지능 등 다학제간 관점에서 해결해야 할 난제, 최근 연구동향, 그리고 미래의 연구방향에 대해 토의하고, 국내 화학자들과 공유하고자 한다.

유기화학 입문자들에게 들려주는 도란도란 탄소 이야기

윤용진 지음 | 자유아카데미 | 2022.10.19 출간
ISBN 9791158083809



책 소개

오늘날 인류는 첨단과학 덕분에 풍요로운 삶을 누리고 있습니다. 그리고 첨단과학의 중심에는 바로 화학이 있습니다. 그러한 이유로 화학을 중심 과학이라고 합니다. 생명과학, 나노과학, 재료과학과 같은 첨단과학 분야가 비약적으로 발전하면서, 화학 내에서도 이 모든 분야와 연관되는 유기화학이 차지하는 비중이 또한 더욱 높아졌습니다. 유기화학은 다른 화학 분야보다 범위가 넓고 양이 방대합니다. 따라서 화학에 관심을 가지거나 전공하려는 이들도 유기화학을 어려워합니다. 유기화학은 '탄소 화합물의 화학'이라고 정의합니다. 따지고 보면 유기화학은 탄소가 자신의 언어로 쓰고, 표현하는 '탄소의 몸짓 그 자체'입니다. 따라서 유기화학은 탄소를 이해하는 것부터 시작해야 합니다. 이 책에서는 탄소의 이해로부터 시작하여, 유기화학을 공부하면서 만나게 되는 기본적인 질문에 대해서 답하고자 합니다. 왜 탄소는 다른 원소들보다 더 특별한가?/유기화학에 필요한 기초 이론은 무엇인가?/유기물의 이름은 어떻게 붙이나?/다양한 유기 분자는 어떻게 표현하나?/유기물의 반응성은 어떻게 이해할 수 있나?/유기물의 구조는 어떻게 알 수 있을까? 유기화학을 처음 접하는 분들을 위해, 최대한 쉽게 읽을 수 있도록 서술하였습니다. 모쪼록 이 책이 유기화학을 쉽게 이해하고 좋아할 수 있는 계기를 만드는 입문서가 되길 바랍니다.

저자 소개

윤용진: 성균관대학교 화학과 졸업, 성균관대학교 이학 석사, 박사학위를 취득했다. 현재 대한화학회, 한국과학사학회 종신회원, 경상대학교 화학과 명예교수이다.

목차

제1강 삶의 중심에 유기물이 있다_ 지구상의 탄소는 순환한다 / 탄소(C)는 생명체의 중심 원소다 / 유기화학에서는 무엇을 다루나...(중략)

제2강 탄소는 특별하다_ 무엇이 탄소를 특별하게 할까? / 탄소는 어떻게 4개의 결합이 가능한가? / 탄소의 오비탈은 혼합된다 / 혼성 이론이 탄소 분자의 많은 비밀을 이해하게 한다...(중략)

제3강 유기화학에 필요한 화학의 기초 이론_ 원자의 반응은 원자가전자가 일으킨다 / 공유 결합은 어떻게 설명하나 / 공유 결합의 안정도는 결합 차수로 평가할 수 있다 / 공유 결합도 종류가 다르다...(중략)

제4강 유기 분자의 이름은 체계적이다_ 유기 화합물 이름은 세 부분으로 구성된다 / 가장 긴 연속된 탄소 사슬이 모체이다 / 계열을 접미사로 나타낸다 / 의약품은 세 가지 이름으로 불린다...(중략)

제5강 유기 분자는 다양하게 표현한다_ 유기 분자는 어떻게 표현하나 / 공유 결합도 여러 가지 방법으로 나타낸다 / 하나의 구조로 나타낼 수 없는 분자도 있다 / 이성질체는 원자 배열이나 공간 배열이 다르다...(중략)

제6강 유기화학은 작용기 화학이다_ 작용기의 반응 자리는 어떻게 예측할 수 있을까? / 벤젠은 왜 방향족성을 나타낼까? / 파이 결합 전자와 비공유 전자쌍은 친핵체로 작용한다...(중략)

제7강 탄화수소는 지방족과 방향족으로 구분한다_ 탄화수소는 탄소(C)와 수소(H)만으로 구성되었다 / 유기 할로젠화물의 작용기는 C-X 결합이다 / 알켄과 알카인은 탄소-탄소 이중 결합을 갖고 있다 / 방향족 탄화수소 반응은 독특하다

제8강 산소와 질소 작용기의 반응은 다양하다_ 아민은 질소 작용기를 포함하는 대표적 물질이다 / 알코올, 에터 및 에폭사이드는 탄소-산소 단일 결합을 포함하는 작용기이다 / 카보닐기를 포함하는 화합물은 다양하다...(중략)

제9강 생체 물질은 다작용기 분자이다_ 탄수화물은 생명체의 에너지 저장고이다 / 당류는 작용기와 구성 탄소 수로 구별한다 / 당당류 구조는 어떻게 표시하나 / 당당류는 수용액에서 다양한 반응이 가능하다 / 아미노산은 산과 염기 작용기를 함께 가지고 있다...(중략)

제10강 유기 분자가 금속을 만나다_ 유기금속 화학은 특별하다 / 새로운 탄소-탄소 결합을 만들 수 있다 / 유기물과 금속이 만나면 나노 구조를 형성한다

제11강 빛이 구조 정보를 제공한다_ 물질에 복사선을 쬐이면 다양한 구조 정보를 얻을 수 있다 / 자외선을 이용하여 불포화 결합 정보를 얻을 수 있다 / 적외선은 분자의 결합 운동 에너지와 관련이 있다...(중략)

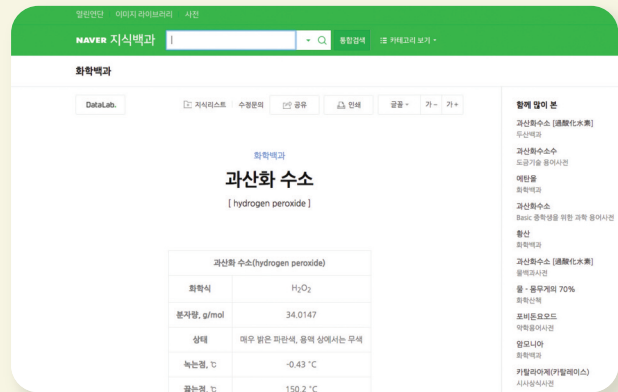
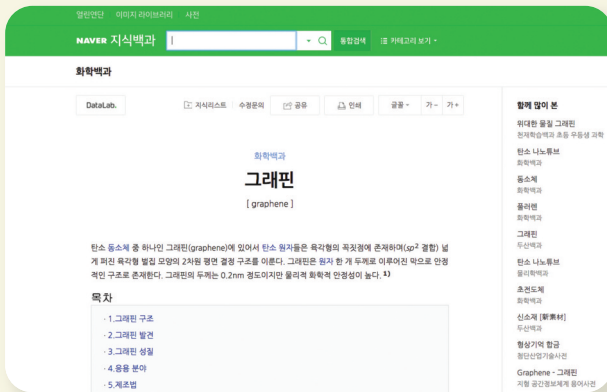
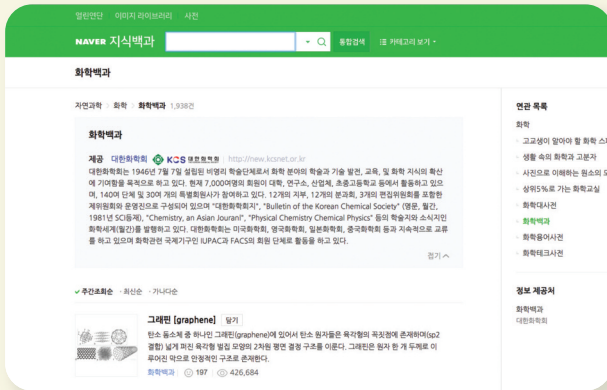
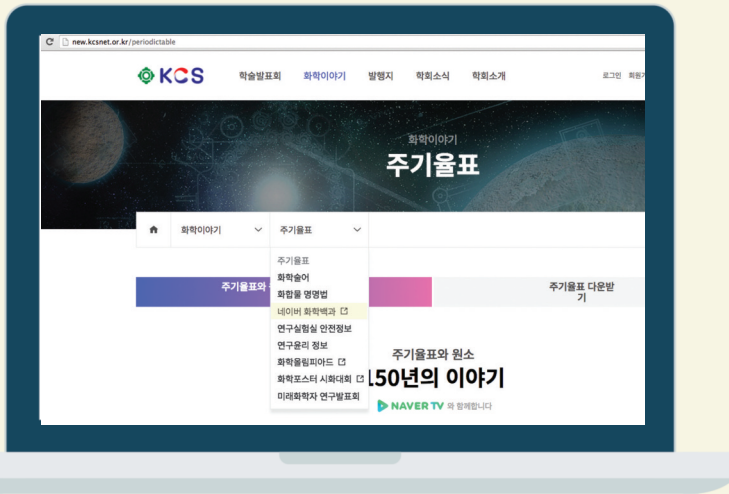


네이버 화학백과

(<https://terms.naver.com/entry.naver?docId=5662747&cid=62803&categoryId=62803>)

플랫폼 소개

이번 10월호에는 대한화학회에서 제공하는 “네이버 화학백과”를 소개해 드리고자 합니다. “네이버 화학백과”는 2017년과 2019년에 화학세계에서 상세히 소개된 적이 있지만, 학생 회원들과 신임 일반 회원들은 잘 모를 수가 있어서 이번 기회에 다시 한번 이 코너를 빌어 소개합니다. “네이버 화학백과”는 대한화학회 홈페이지나 위의 네이버 홈페이지 링크를 통해 접근하실 수 있습니다. 대한화학회는 화합물 명명법과 화학술어에 끊임없이 관심을 가지고 노력을 해왔습니다. 하지만, 화학술어만으로는 일반 대중이 화학술어의 정확한 의미와 내용을 이해하기에 어려움이 있습니다. 게다가, 일반 대중을 위해 화학술어를 자세하게 설명해 놓은 “사전”을 제작하는 것은 쉬운 일이 아닙니다. 마침, 네이버는 기초과학 분야에서 한글판 온라인 사전의 중요성을 인지하고 대한화학회와 2017년 2월 연간 500개의 화학 표제어에 대한 사전을 만들도록 사업 계약을 체결하였고, 2023년 현재 2000개의 중요한 화학 표제어에 대한 사전을 완성하였습니다. “네이버 화학백과”는 서른 명이 넘는 화학 전문가들이 모여서 완성되었으며, 내용이 매우 충실하고 일반 대중들이 알기 쉽게 작성되어 있습니다. 2,000개의 표제어는 초·중·고 및 학부 학생 수준에서 필요한 대부분의 내용을 담고 있으므로, “네이버 화학백과”는 학생 회원들이나 일반인들에게 유익한 화학 정보를 정확하게 알 수 있는 중요한 지식창고입니다. 회원 여러분들도 궁금한 화학 내용이 있으시다면, “네이버 화학백과”를 활용해 보시기 바랍니다.



>>> 운영위원회

9월 운영위원회

2023년 9월 8일에는 제12차 운영위원회가 진행되었다. 대한화학회에서는 DBpia 학술지 콘텐츠 플랫폼 이용 계획으로 향후 3년간, 대한화학회지(JKCS), 화학세계 등 총 2종에 대한 간행물을 DBpia 구독기관 및 개인회원 대상으로 원문 비독점 무상서비스를 제공하고, DBpia 메인페이지 롤링 배너를 통해 “대한화학회 서비스 개시”를 홍보하는 것을 최종 제안하기로 하였다. 지난 8월 18일부터 28일까지 네덜란드 헤이그(Hague)에서 개최된 IUPAC 학회의 general assembly에서 논의된 안건을 공유하는 시간을 갖고, 논의된 주요 안건으로 2029년 개최지로는 체코 프라하가 선정되었고, IUPAC 부회장으로 호주 Garson 교수(2026-2027 회장 취임 예정)가 선출되었으며, 2024-2027년까지 매년 7% 회비를 인상하기로 하였음을 공유하였다. 또한, 2023년 추계 대한화학회 학술발표회에서 새롭게 실시되는 ‘미래혁신 화학 심포지엄’은 동진씨미켄에서 2천만 원을 후원하기로 하였다. 화학세계 웹사이트 광고 규정 제정을 위하여 타 학회의 광고 규정을 살펴보는 시간을 가졌으나, 광고비는 화학세계 온라인화가 본격적으로 실시되는 시점인 차기 운영팀에서 최종적으로 결정하는 것으로 하였다. 또한, 대한화학회 SNS(인스타그램, 페이스북)를 통한 화학세계 온라인화 및 e-book 링크를 제공하는 것을 논의하였고, 웹진 URL 홍보 및 인쇄물 미발행 안내 시점은 홍보팀에서 향후 결정하기로 하였다. 추계 대한화학회 학술발표회에서 진행될 ACS-KCS Applied Bio Materials Research Summit과 KCS-RSC Joint Symposium에 대한 준비현황 프로그램을 공유하는 시간을 갖고, 초청연사 지원 범위를 확정하였다. 사무국에서는 추계 대한화학회 학술발표회 준비현황을 공유하였다. 현재까지 24개업체(29개 부스)가 기기전시회에 참여 예정이고, 추계 대한화학회 학술발표회에서는 첫째 날인 25일 수요일에도 많은 행사가 진행되므로 회원들의 참석을 독려하기 위하여 당일 기념품을 지급하기로 하였다.

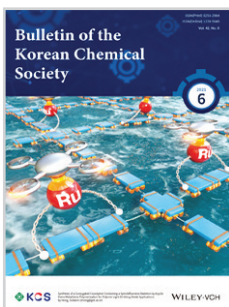
2023년 9월 22일에는 제13차 운영위원회가 진행되었다. 현재 추진 중인 연세대학교 화학과 김동호 교수님의 Scientific Writing 튜토리얼 영상을 대한화학회 홈페이지에 공유 시 발생할 수 있는 저작권 이슈를 논의하였다. 이에 저작권 관련 전문가의 자문으로부터 저작권 문제 회피 방안을 향후 찾기로 하였다. 2023년 8월 8일-8월 12일, 이화여자대학교에서

실시된 International Conference on Soft Matter (ICSM) 2023 위성학회 결과를 보고하는 시간을 갖고 참석인원(137명), 등록비 수입, 지출내용 등을 공유하였다. 또한, 지난 인턴사원 신규 채용 진행 결과로 1명의 사원이 10월4일부터 사무국에서 근무하기로 하였다. 화학세계 웹사이트화 홍보를 위한 카드뉴스 초안을 보고하는 시간을 갖고, 디자인관련 제작업체에서 최종 진행 후 이를 회원들에게 홍보하기로 하였다. 추계 대한화학회 학술발표회를 위한 준비현황으로 포스터 발표 일정 및 우수 포스터 시상 계획 등을 논의하였으며 기기전시회(27개 업체, 32개 부스) 및 초록접수(총 1226편) 현황 등을 공유하였다. 또한, 이달의 과학기술인상 후보자로 홍승우(KAIST 화학과), 임종우(서울대학교 화학과) 교수를 추천하기로 하였다.

>>> 부 고

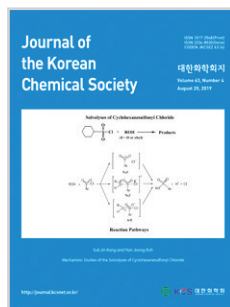
- 2023.9.30 김동욱(한국화학연구원 화학데이터기반연구센터) 회원 빙모상
- 2023.9.12 임동철(제마넷) 회원 모친상
- 2023.9.4 황기준(전북대학교 화학과 명예교수) 회원 모친상
- 2023.9.3 강영수(한국에너지공과대학 에너지공학) 회원 빙부상
- 2023.9.1 이진화(1ST Biotherapeutics Inc.) 회원 빙부상

대한화학회 발간(참여) 학술지



Bulletin of the Korean Chemical Society

- 월간
- SCI 저널
- 언어: 영어



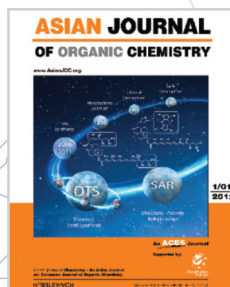
Journal of the Korean Chemical Society

- 격월 간행
- 언어: 한글, 영어



Chemistry - An Asian Journal

- 월간
- ACES와 Wiley-VCH 공동발행



Asian Journal of Organic Chemistry

- Wiley-VCH에서 발행하는 Chemistry, An Asian Journal 자매지



ChemNanoMat

- Wiley-VCH에서 발행하는 Chemistry, An Asian Journal 자매지



Physical Chemistry Chemical Physics

- 대한화학회를 포함한 18개국 화학회에서 공동 발행하는 RSC 저널

지면광고 안내

화학세계

- 광고 마감일 : 전월 10일 까지 (매월 1일 발간)
- 원고 마감일 : 전월 5일 까지
- 광고 크기
가로 210mm, 세로 270mm(바탕색이 있을경우 상하좌우 여백 3mm씩 추가[216mm*276mm], 해상도 300dpi 이상)
- 광고 파일 보내실 곳 : 웹하드 <http://www.webhard.co.kr>

구분		단가	비고
화학세계	표지	10,000,000 원	칼라
지면광고	내지	1,000,000~5,000,000 원	칼라
웹사이트	배너	100,000 원	칼라

- ※내지 및 배너 6개월 이상 광고 계약 시 별도 협의 요청 바랍니다.
- ※화학세계에 광고 게재 시 1개월 동안 대한화학회에 홈페이지에서 업체명과 URL을 홍보해드립니다.

광고의뢰 및 문의 : 대한화학회 사무국(office@kcsnet.or.kr)
서울 성북구 안암로 119 한국화학회관 4층 (02856) / 전화 : 02-953-2095 / 팩스 : 02-953-2093

회비 및 구독료 안내

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

2023년도 본회 회비 및 각종 간행물의 구독료는 다음과 같습니다.

(단위: 원)

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

■ 회비납부 관련문의

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

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

회원확인 → ID 변경 → 회원 로그인 → 결제 및 영수증 출력

매 순간
자신있게



케어센스® 에어 연속혈당측정시스템

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

지속적인 기술 혁신을 지향하는 동우화인켐은

대한민국 IT산업의 중심에 서 있습니다!

START

TOP PARTNER

CHALLENGE

DONGWOO
FINE-CHEM

SUMITOMO CHEMICAL

5G

디스플레이 전자 재료 및 화학 분야의
GLOBAL COMPANY

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

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

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