

- 4단계 두뇌한국(BK)21 사업 -
미래인재 양성사업
과학기술 분야(교육연구팀)
성과평가 보고서

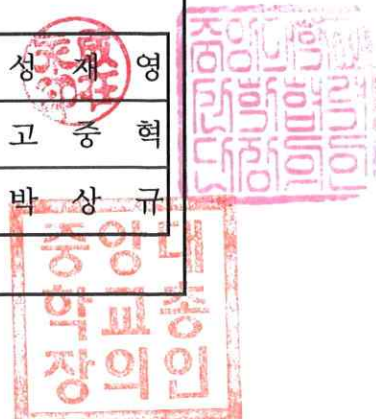
2023. 2.

교 육 부
한 국 연 구 재 단

『4단계 BK21사업』 미래인재 양성사업(과학기술 분야)

교육연구팀 성과평가 보고서

관리번호							
사업 분야	기초과학	신청분야	화학	단위	전국	구분	교육연구팀
학술연구분야 분류코드	구분	관련분야		관련분야		관련분야	
		중분류	소분류	중분류	소분류	중분류	소분류
	분류명	NC0107		LA0705		NB0901	
	비중(%)	40%		30%		30%	
학과(학부)	화학과						
교육연구 팀명	국문) 생물리광화학 창의인재양성 사업팀 영문) BK21 Education Research Team for Bio/Energy Photochemistry						
교육연구 팀장	소 속	중앙대학교 자연과학대학(원)			화학과(부)		
	직 위	교수					
	성명	국문	성재영	전화			
		영문	Sung, Jaeyoung	팩스			
				이동전화			
			E-mail	jaeyoung@cau.ac.kr			
연차별 총 사업비 (백만원)	구분	1차년도 (2019~21.2)		2차년도 (21.3~22.2)		3차년도 (22.3~23.2)	
	국고지원금	183		366		374	
총 사업기간		2020.9.1.-2027.8.31.(84개월)					
평가 대상 기간		2020.9.1.-2023.2.28.(30개월)					
본인은 『4단계 BK21』사업 성과평가 보고서를 제출합니다. 아울러, 보고서에는 사실과 다른 내용이 포함되지 아니하였으며 만약 허위 사실이나 중대한 오류가 발견될 경우에는 그에 상응하는 불이익을 감수하겠다는 서약합니다. 2023년 4 월 24 일							
작성자	교육연구팀장			성재영			
확인자	중앙대학교 산학협력단장			고중혁			
확인자	중앙대학교 총장			박상규			
한국연구재단 이사장 귀하							



〈보고서 요약문〉

중심어	생물리광화학	생명	에너지
	광화학반응	세포 화학 동력학	플라즈몬
	광촉매	광센서	기계학습
교육연구팀의 비전과 목표	- 본 교육연구팀의 목표는 4차산업혁명, 감염병확산, 에너지/환경문제로 급변하는 현 사회에 대두되고 있는 생명/의료 및 에너지 분야의 학문적 사회적 수요를 충족시킬 수 있는 생물리광화학 기초와 응용분야 전문연구인력을 균형있게 배출하고, 이 과정에서 얻어진 학술적 성과들을 응용하여 우리사회가 직면한 생물리광화학 관련 산업/사회 문제들을 해결하는데 직접적으로 기여하는 것이다. 7년간의 BK21 Four 사업 추진을 통해 생물리광화학분야를 선도하는 세계 최고 수준의 사업팀으로 성장하는 것을 비전으로 가지고 있다. BK21 Four 1단계 사업추진 후 본 교육연구팀 목표 대비 달성 정도는 교육과 연구 부분 모두 우수하다. 길어진 코로나19 상황으로 해외기관 방문을 지양하되, 온라인 학술교류 프로그램들을 활용하여 교육 연구 활동의 국제화도 활발하게 진행하였다.		
교육역량 영역	생물리광화학 특성화 교육: 대학원 교육과정에 생물리광화학 세부전공을 마련하고 인공지능응용화학, 광유기화학 및 생무기화학 등 4차산업혁명과 에너지/환경 문제 해결과 관련된 교과목을 신설 혹은 개편하여 개설하였다. 대학원 교육과정 선진화 및 학사과정 개편: 세계 우수 대학을 벤치마킹하여 논문제출자격 전공시험을 지필평가에서 구두시험으로 전환하였고, 연차 점검보고서 제도를 도입하여 대학원생 맞춤형 멘토링을 실시하였다. 아울러 과도한 대학원생 강의학점 이수 의무로 연구에 몰입할 시간이 부족한 문제도 생물리광화학 세부전공내 교육-연구 연계형 강의를 개발 및 운영하여 실질적으로 해소하였다. 우수 대학원생 확보 제도: 학부생 연구프로그램을 개편 및 활성화하고 화학과 연구인턴 프로그램을 신설 운영하였다. 아울러 대학원 입학 FAIR와 오픈랩 프로그램을 실행하였다. 우수 대학원생 유치와 대학원생 우수 연구를 장려하기 위해 BK21 우수 논문상과 Best TA 상 수상 제도를 운용하였고, 일반 BK21 장학금과 별개로 각 연구실 발전에 크게 기여한 대학원생들에게는 BK21 특별 장학금도 지급하였다. 이를 통해 본 교육연구팀의 박사 및 석박사통합과정 입학생은 계속 증가하고 있다. 평가기간 내 생물리광화학 관련 생명, 에너지 분야의 사회 문제 해결에 기여할 수 있는 전문연구인력을 박사 4명, 석사 19명을 양성했다. 과학기술·산업·사회 문제 해결을 위한 교육 프로그램 실시: 기존 정기 세미나와 더불어 생명/에너지 분야 문제해결을 위한 특별 세미나들을 개최하였다. 아울러 국내외 선도 연구기관들과 활발히 교류하며 대학원생들이 공동연구 경험을 쌓을 기회를 적극적으로 제공하였다. 다수의 해외 저명 석학들을 초빙하여 단기강좌를 개설함으로써 본 교육연구팀 소속 대학원생들에게 세계적인 수준의 연구 내용과 최신 연구 동향을 접할 기회를 제공하였다. 생물리광화학 학생 초청 특별세미나 실시 및 콜로키움 활성화: 대학원생들이 직접 전문연구자를 초청하여 주체적으로 세미나를 개최하고 멘토링을 받는 과정을 통해 연구역량 향상과 인적 네트워크를 형성할 기회를 제공하였다. 본 교육연구팀 소속 대학원 화학과 콜로키움도 활성화하여 사업 기간 중 매 학기 평균 10명의 연사를 초빙하였으며 대학원생과 연사 간의 질의응답과 활발한 토론을 장려하도록 운영하였다. BK21 대학원생 학술문화축제 개최: 본 교육연구팀 대학원생들과 본 교육연구팀 소속 학과 대학원생들이 수행한 우수 연구를 구두 발표 및 포스터 발표 형식으로 공유하고 정기적으로 교류할 수 있는 장을 마련하였다. 비교과 교육 장려: 다양한 비교과 교육 프로그램을 통해 본 교육연구팀 대학원		

	생들이 연구윤리, 논문작성법, R&D장비 교육 등 연구자로서 지녀야 할 기본 소양을 갖추 수 있도록 하였다. • 신진연구인력 지원: 신진연구인력 맞춤형 지원을 마련하였고, 대표적으로 CAU Global Ph.D Fellow 프로그램을 통한 파격적인 해외연수 지원을 실행하였다. 2차년도부터 신진연구인력 우수 연구상 제도와 BK21 최우수학위 논문상 시상 제도로 새롭게 마련하여 운영하였다. • 교육 프로그램 국제화: 다수 해외 석학 연구자 초청 강연과 해외 선도 연구기관의 인공지능 응용화학 실시간 온라인 강연을 지속적으로 운영하였다. 대학원생들의 국제학회 참가도 장려하였다.
연구역량 영역	• 연구 인프라 공유 및 구축: 본 생물리광화학 창의인재 양성 교육연구팀과 본교 관련 국책연구사업들과 연계하여 본 교육연구팀 소속 대학원생들의 연구 추진에 필요한 인프라를 추가로 확충하였다. • 해외 선도연구기관과 공동연구 활성화: 생물리광화학 분야 해외 우수 연구기관들과 함께 새로운 연구 분야를 개척하고, 세계 최고 수준의 연구 활동을 수행하였다. 이러한 노력을 통해 본 교육연구팀 논문 업적의 질적 수준과 학계 파급력을 크게 향상시킬 수 있었다. • 국내 선도 연구기관과 공동연구 활성화: 국내 선도 연구기관과의 공동연구를 통해 다양한 전문성을 보유한 교수진 및 연구자들과 함께 다양한 분야에서 연구를 수행하였다. 또한 대학과 연구소뿐 아니라 기업 관련 인사를 초청해 특별 세미나를 개최하였고, 우수 연구기관에 대학원생을 파견하여 과학기술·산업·사회 문제 해결을 위한 공동연구를 수행하였다. 동시에 타 연구기관 소속 대학원생 또는 연구원을 본 교육연구팀에 초빙하여 활발한 학술교류를 이뤘다. • 교육연구팀 공동연구 활성화: 미래 4차산업의 성장 동력으로 활용할 수 있는 인공지능, 기계학습 등의 개념이 도입된 융합연구를 활성화하였고, 현재 심각한 사회적인 문제를 일으키고 있는 COVID-19와 같은 호흡기 감염성 질환의 조기 진단이나 이산화탄소 저감과 같은 생명/에너지 분야의 사회적 문제를 해결할 수 있는 공동연구도 적극적으로 추진하였다. • 과학기술 산업 사회 문제 해결 성과: 탄소중립 및 유용산물 생산기술을 개발하여 롯데케미칼에 총 5억의 기술이전 성과, 바이오벤처 엔이에스바이오테크에 균일한 나노입자 합성기술을 이전한 성과, 산-학-병 협동연구를 통한 SARS-CoV-2 고감도 신속 진단 시스템을 개발 등 다양한 생물리광화학관련 문제 해결 성과를 거두어 내었다. • 학문적 수월성 향상: 교육연구팀 내 단순 정량지표 위주의 평가를 지양하고 독창적, 난제 해결형 연구를 장려함으로써 본 교육연구팀 연구성과의 학문적 수월성을 높이고 있다. 최근 서울대학교 나노입자 IBS 연구단과 공동연구를 통해 140년동안 베일에 가려있던 결정핵 생성 메커니즘을 규명하고 결정핵 생성 및 성장 동력학 실험결과를 정량적으로 이해하는데 세계 최초로 성공한 바 있다.
향후 계획	• 교육-연구 연계형 강좌를 확대하고 교육연구팀 내외 공동연구를 더욱 활성화함으로써 본 교육연구팀 연구성과들의 질적 수준을 세계 최고 수준으로 향상시키고, 이 과정에서 생물리광화학 분야 과학기술, 산업 사회 문제해결에 기여할 수 있는 전문인력을 양성할 계획이다. • 본 생물리광화학 창의인재 양성 사업팀을 국 내외에 적극적으로 홍보하여 학계 인지도를 높임으로써 우수 대학원생과 신진연구인력 유치 노력을 한층 더 적극적으로 펼친다. • 코로나19 상황이 종료됨에 따라 해외학회 참석, 장단기 공동 연구, 연구자 인적 교류 등의 학술 교류 사업을 전면적으로 활성화하고, 특히 해외 방문을 통한 공동 연구 및 장단기 연수를 활성화할 계획이다. • 대학원생이 주도하고 참여하는 강연, 세미나, 학술대회를 지속적으로 실시하고 확대할 계획이다.

목 차

I. 교육연구팀의 구성, 비전 및 목표	1
1. 교육연구팀 구성	2
1.1 교육연구팀장의 교육·연구·행정 역량	2
1.2 대학원 학과(부) 소속 전체 교수 및 참여연구진	3
1.3 교육연구팀 대학원 학과(부) 현황	4
2. 교육연구팀의 비전 및 목표	7
2.1 교육연구팀의 비전 및 목표 달성도	7
II. 교육역량 영역	17
1. 교육과정 구성 및 운영	18
1.1 교육과정 구성 및 운영 실적	18
1.2 과학기술·산업·사회 문제 해결과 관련된 교육 프로그램 현황과 구성 및 운영 실적	32
2. 인력양성 현황 및 지원 실적	37
2.1 평가 대상 기간 대학원생 인력 확보 및 배출 실적	37
2.2 교육연구팀의 우수 대학원생 확보 및 지원 실적	38
2.3 참여대학원생 취(창)업 현황	41
3. 대학원생 연구역량	43
3.1 참여대학원생 연구 실적의 우수성	43
3.2 대학원생 연구 수월성 증진 실적	68
4. 신진연구인력 운용	71
4.1 우수 신진연구인력 확보 및 지원 실적	71
5. 참여교수의 교육역량	77
5.1 참여교수의 교육역량 대표실적	77
6. 교육의 국제화 전략	78
6.1 교육 프로그램의 국제화 실적	78
III. 연구역량 영역	85
1. 참여교수 연구역량	86
1.1 연구비 수주 실적	86
1.2 연구업적물	87
1.3 교육연구팀의 연구역량 향상 실적	91
2. 산업·사회에 대한 기여도	96
2.1 산업·사회 문제 해결 기여 실적	96
3. 연구의 국제화 현황	100
3.1 참여교수의 국제화 현황	100

〈부록〉 첨부자료

I. 교육연구팀의 구성, 비전 및 목표

I. 교육연구팀의 구성, 비전 및 목표

1. 교육연구팀 구성

1.1 교육연구팀장의 교육·연구·행정 역량

성명	한글	성제영	영문	Sung, Jaeyoung
소속기관	중앙대학교 자연과학대학(원) 화학과(부)			

〈표 1-1〉 평가 대상 기간(2020.9.1.-2023.2.28.) 내 교육연구팀장 변경 현황

연번	성명	교육연구팀장 수행 기간 (YYYYMMDD-YYYYMMDD)	변경 사유
1			
2			

(1) 교육연구팀장 연구역량

- 본 교육연구팀장은 2015년 12월부터 한국연구재단의 리더연구자 (창의적 연구) 지원 사업을 수행하고 있다. 120년 넘게 사용되어 온 반트호프의 화학동력학이 세포 내 화학반응 동력학을 정확하게 기술하지 못하는 문제점을 극복할 수 있는 “세포화학동력학”이라는 새로운 분야를 창출했고 그 효용성을 실증하여 관련 학계의 관심을 받고 있다. 2015년에 Physical Review X에 반응속도계수가 세포 환경에 따라 확률적으로 요동치는 “역동적 반응과정(vibrant reaction process)”이라는 개념을 세계 최초로 제안하였고 2018년 Nature Communications에 세포 내 생고분자의 역동적 생성-소멸 과정에 일반적으로 적용할 수 있는 “화학요동법칙(Chemical Fluctuation Theorem)”을 제안하고 이를 수학적으로 유도해 내었을 뿐 아니라 세포 내 유전자 발현과정 실험결과와 비교하여 실증하였다. 이 과정에서 개발된 복잡동력학계 기술방법을 통해 2019년 미국학술원 회보 (PNAS)에 기존 수송방정식으로 설명되지 않던 세포환경 등 복잡 용액 내 분자 수송현상을 정확하게 기술할 수 있는 새로운 수송방정식을 제시하고 이 방정식의 해를 다양한 복잡액체계 분자수송 실험 결과와 비교하여 그 정확성을 보인 바 있다. 국내외 학계에서 연구의 독창성과 우수성을 인정받아 2015년 대한화학회 제1호 신국조 학술상, 2017년 국제 통계물리학회 SigmaPhi에서 최우수 발표상, 2021년 입재물리화학상을 수상한 바 있고 2019년 북경대학에서 개최된 국제 수리생물학회(A3 Workshop on Mathematical Life Science)와 2023년 APATCC (Asia-Pacific Association of Theoretical & Computational Chemists)의 기조 강연자로 초청받은 바 있다. 최근 지난 세기와 이번 세기를 걸쳐 난제로 남아 있는 결정핵 생성의 열역학적 원인을 규명하고 여러 가지 결정핵 생성 및 성장 동력학을 일관되게 정량적으로 설명하는 통계열역학 및 반응동력학 이론을 최초로 제시하였다.

(2) 교육연구팀장 교육역량

- 팀장 연구실 소속 인원 현황:
연구교수 1명, 박사 후 연수과정 2명; 박사과정 3명; 석박사통합과정 6명
- 팀장 연구실 배출 대학원생 취업현황:
배제현 (충남대 분석화학기술대학원 정년트랙 조교수); 박성준 (서울대학교 기초과학 연구소); 정원 (하버드대학 화학과 박사 후 연구원); 김대현 (LG 생활건강 선임연구원); 양길석 (코넬대학 화학과 박사과정); 이훈기 (막스플랑크 연구소 박사과정); 송상근 (현재: 서울대학교 기초과학 연구소, 2023

년 여름 University of California Berkeley 박사 후 연수 예정)

- 팀장 연구실 배출 연구원 취업 현황:
은창선 (한국외국어대학교 화학과 조교수); 한승수 (중앙대학교 교양학부 조교수); 김지현 (중앙대학교 세포화학동력학 창의연구단 전임 부교수)
- 팀장 연구실 방문 교육을 받은 타 교육기관 대학원생 및 연구원:
김병호 박사 (IBS 나노입자연구단); 강성수 (서울대학교 화학생물공학부); 신규진, 이은상 (광주과학기술원 화학과); 정성근 (충남대학교 화학공학과) ; 임민수 윤완석 (성균관대학교 화학과)
- 팀장 연구실 소속 대학원생 해외 방문교육:
이훈기 (석사과정 중 2018년 홍콩과학기술대학교 방문 2개월); 박성준 (박사과정 중 2011년 매사추세츠 공과대학교 공식방문 6개월)

(3) 교육연구팀장 행정역량

- 교내:
2023년~현재: 중앙대학교 신기능 이미징 연구소장
2015년~현재: 세포화학동력학 창의연구단장
2018년~현재: 중앙대학교 연구위원; 미래융합원 운영위원
2014~2016년: 중앙대학교 화학과 학과장; 2016년 교무 행정위원
- 교외:
2022년~현재: 한국연구재단 자연과학단 기획자문위원
2022년~2024년 대한화학회 총무부회장, 대한화학회 이사, 화학관련학회 연합회 이사
2016년~2018년 한국연구재단 전문위원
2018년~현재: 대한화학회 학술위원; 한성 과학상 심사위원
2019년~현재: SigmaPhi2023 Advisory Committee Member
2015년 대한화학회 물리화학분과 총무실무이사
2014년 대한화학회 학술실무이사
2013년 대한화학회 홍보실무이사

1.2 대학원 학과(부) 소속 전체 교수 및 참여연구진

〈표 1-2〉 교육연구팀 참여교수 및 참여연구진 현황

연번	성명 (한글/영문)	연구자등록번호	세부전공분야	대표연구 업적물 분야	신임교수	외국인	사업 참여 여부
1	박태정	10155278	생화학	나노바이오 재료화학	X	X	O
				분석전기화학			
				나노바이오재 료화학			
2	성재영	10114925	물리화학	반응동력학	X	X	O
				재료물리화학			
				반응동력학			
3	윤상운	10148510	물리화학	재료물리화학	X	X	O
				재료물리화학			
				재료물리화학			
4	윤성호	10182784	무기화학	촉매화학	X	X	O
				촉매화학			
				촉매화학			

5	조은진	10642021	유기화학	유기합성방법론	X	X	O
				유기합성방법론			
				유기합성방법론			
6	주재범	10104469	분석화학	분광분석화학	X	X	O
				분광분석화학			
				분광분석화학			

1.3 교육연구팀 대학원 학과(부) 현황

〈표 1-3〉 교육연구팀 참여교수 현황

(단위: 명)

평가 대상 기간	구분	총 환산 참여교수 수		
		기존교수 수	신임교수 수	합계
2020.9.1. – 2023.2.28.	임상, 건축학 인문사회계열 포함	6	0	6
	임상, 건축학 인문사회계열 제외	6	0	6

〈표 1-4〉 교육연구팀 참여교수 변동 현황

(단위: 명)

구분	2020년	2021년		2022년		비고
	2학기	1학기	2학기	1학기	2학기	
총 참여교수 수	6	6	6	6	6	
신규 참여교수 수	0	0	0	0	0	
종료 참여교수 수	0	0	0	0	0	

〈표 1-5〉 평가 대상 기간(2020.9.1.-2023.2.28.) 내 교육연구팀 참여교수 변동 내역

연번	성명	변동 학기	참여/종료	변동 사유	비고
1					
2					
3					
4					

〈표 1-6〉 교육연구팀 평균 참여대학원생 현황

(단위: 명)

구분	참여대학원생 수			
	석사	박사	석·박사통합	계
5개 학기의 평균	11.6	11.6	22.8	46

〈표 1-7〉 평가 대상 기간(2020.9.1.-2023.2.28.) 내 교육연구팀 외국인 참여대학원생 현황

연번	성명	국적	학사출신대학	공인어학성적		비고
				국어	영어	
1	Ali Hasnain	파키스탄	Government college university faisalabad Pakistan			
2	Ashraf, Awais	인도	Government college university faisalabad Pakistan			
3	Chen, Jiadong	중국	송실대학교			
4	Gul, Anam Rana	파키스탄	Quaid I Azam University Islamabad			
5	Ghosh, Shubhadeep	인도	Sardar Vallabhbhai National Institute of Technology			
6	Huynh, Thi Minh Ly	베트남	VNU University of Science			
7	Kashif Ali	파키스탄	University of Malakand			
8	Lu, Mengdan	중국	Hainan Medical University			
9	Madhura Pradeep Deshpande	인도	Shivaji University, Kolhapur		IELTS (7.5)	
10	Rohini Hanmant Shinde	인도	Shivaji University, Kolhapur			
11	Stephanie. Ruth	인도네시아	Institut Teknologi Bandung University			
12	Tambe, Shrikant	인도	Savitribai Phule Pune University, Pune			
13	Trinh, Hoa Duc	베트남	Ho Chi Minh City University of Technology			
14	Wicaksono, Wiyogo Prio	인도네시아	Universitas Indonesia			

15	Wu, Yixuan	중국	University of Jinan Quancheng College			
16	Xu, Ping	중국	Nanjing Normal University			
17	Yu, Qian	중국	Qufu Normal University			
18	Yu, Xiangdong	중국	Qingdao Agricultural University			
19	Zahara Batool	파키스탄	Islamia university Bahawalpur			

2. 교육연구팀의 비전 및 목표

2.1 교육연구팀의 비전 및 목표 달성도

■ 생물리광화학 창의인재 양성 사업팀 목표

생물리광화학은 생명(의료) 및 에너지 분야의 다양한 사회적, 산업적 수요를 충족시킬 수 있는 유용한 미래 화학 분야이다. 본 교육연구팀(생물리광화학 창의인재 양성 사업팀)의 교육, 연구, 국제화 부분별 목표는 다음과 같다.

- **교육 목표:** 4차 산업혁명 시작과 감염병 확산, 환경오염, 기후변화 등으로 급변하는 현대 사회에 새롭게 대두되는 생물리광화학 관련 과학기술 문제와 산업 및 사회 문제에 능동적으로 대처할 수 있는 생물리광화학 분야 전문연구인력들을 기초와 응용 분야에 균형 있게 배출하여 우리 사회 발전에 기여한다.
- **연구 목표:** 1) 생물리광화학 분야에 흥미롭고 중요한 기초 및 응용 문제들을 연구 및 해결함으로써 생물리광화학 분야를 학문적으로 발전시키고, 연구 결과로 얻어지는 학술성과들을 응용하여 2) 현재 우리 사회가 현재 직면하고 있거나 가까운 미래에 직면하게 될 생명/의료 관련 문제들과 에너지 관련 문제들의 해결에 기여할 수 있는 연구 성과를 얻어내고 파급시킨다.
- **국제화 목표:** 세계 유수의 대학들을 벤치마킹하여 대학원 교육 및 학사과정을 선진화하고, 연구지원 시스템을 세계적 수준으로 향상시킨다. 해외 선도연구기관들과 협력하여 생물리광화학 분야에서 학계를 선도하는 흥미롭고 중요한 연구과제들을 발굴해 내고 이 과제들을 해외 우수 연구기관들과 활발한 교류 과정을 거쳐 해결한다. 이러한 과정을 통해 해외 교류 네트워크를 확장하여 본 교육연구팀의 교육 및 연구의 질적 수준을 세계적 수준으로 높인다.

■ 생물리광화학 창의인재 양성 사업팀의 비전

위 목표들을 달성하는 과정을 통해 생물리광화학 분야에서 세계적 수준의 교육역량과 연구경쟁력 그리고 우수한 해외 공동 교육 및 연구 네트워크를 갖춘 선도 교육연구단으로 성장하는 것이 본 교육연구팀의 비전이다. 위 비전을 현실화하기 위해 본 교육연구팀은 다음과 같은 세부 목표들을 설정하고 4단계 BK21 사업 추진을 통해 이 목표들을 달성하고 있다.

■ 평가 기간 내 계획 대비 성과

본 교육연구팀의 이번 평가기간 (2020.9.1~2023.2.28) 동안 계획 대비 성과를 아래에 요약하였다.

(1) 세계적 수준의 대학원 교육과정 및 학사과정 마련

본 교육연구팀의 교육 목표를 달성하기 위해 (1) 교과과정 및 학사과정 개선, (2) 생물리광화학 특성화 교육, (3) 교육-연구 선순환 구조 구축 방안들을 마련하여 실시하였고 이 과정에서 본 교육연구팀이 소속된 중앙대 화학과 대학원 교육과정의 특징점은 강화하며 약점은 해외 우수 대학원의 교육 프로그램을 벤치마킹하여 개선하고자 하였다.

■ 교육 및 학사과정 개선

• 강의교과목 이수학점 과다 문제 개선

중앙대학교 대학원은 졸업요건 중 강의교과목 이수학점이 해외 우수 대학들에 비해 지나치게 높아 대학원생들이 연구에 몰입할 수 있는 시간이 절대적으로 부족하다는 문제가 있었다. 중앙대학교 대학원 교육지원팀 및 교무처 학사팀과 상의한 결과, 중앙대학교 자연과학 대학 타 학과들의 동의를 얻는 조건 하 대학원생 강의교과목 이수학점을 경감하는 방향으로 학사 개편을 하기로 하였다. 그러나, 중앙대학교 자연과학대학 소속 타 학과들은 본 교육연구팀이 소속된 화학과와는 이수학점 경감에 대한 견해가 달라 자연대학 대학원 학사과정을 공식적으로 개편하는 데 어려움이 있었다. 그러나, 아래에 기술한 연구-교육 연계형 대학원 강의교과목들을 활발히 개발 운영함으로써 강의교과목 이수학점 과다로 대학원생들이 연구에 몰입할 수 있는 시간이 부족한 문제를 실질적으로 해소할 수 있었다.

- **교육-연구 융합형 교육 콘텐츠 개발**

많은 강의교과목을 수강해야 하는 현 학사제도 아래서 교육의 질을 담보하는 동시에 대학원생들의 연구력을 향상시키기 위하여 강의교과목에 R&D 콘텐츠를 적극적으로 제공하였다. 특히 생물리광화학 관련 과학기술 문제나 사회 및 산업문제 해결 관련 연구 주제들을 강의 콘텐츠로 제공하고, 대학원생들에게 문제 해결형 연구 수행을 과제로 제시하며 해당 연구 수행 결과를 평가에 도입하고, 우수한 결과는 논문으로도 출판하는 등의 방식으로 교육과 연구를 연계시켰다.

- **대학원생 기본 소양 교육을 위한 비교과 교육과정 강화**

지난 1단계 사업기간 동안 본 교육연구팀 소속 대학원생들은 논문작성법, 연구윤리, 효과적인 발표 방법, 데이터 통계 처리 및 분석법 등 다양한 비교과 강좌를 수강하였다. 이와 더불어 논문 작성 시 필요한 참고문헌 정리 방법 및 관련 소프트웨어 활용교육, 논문 표절 관련 교육, 논문 저자로서의 자격과 의무, 그리고 연구실 내 연구환경에 대한 연구윤리 교육도 대학원생들을 대상으로 진행되었다. 이러한 비교과 교육과정들은 대학원생들이 논문 작성을 위해 필요한 지식과 기술을 습득하는데 큰 도움이 되었을 뿐 아니라, 연구자가 지녀야 할 자질과 연구윤리에 대한 인식을 높일 수 있었다. 이에 관해서는 [표 II-7] 평가 기간 내 비교과 교육과정 이수 실적에 상술 되어있다.

- **해외우수대학 벤치마킹을 통한 단계적, 체계적 교육과정 및 학사관리 운영**

본 교육연구팀 대학원생들에게 대학원 입학 연도부터 매년 단계적이고 체계적인 교육과정과 학사관리를 제공하여 대학원생들이 성공적인 학자와 전문연구자로 성장할 수 있는 가능성을 높이고자 하였다. 이를 위해 본 교육연구팀은 스위스 로잔공대(EPFL)와 미국 위스콘신 주립대를 벤치마킹하여 대학원 학위 이수 과정을 선진화시키기 위해 2021년 2학기, 처음으로 논문제출자격 전공시험을 기존의 지필평가에서 “Thesis Background Exam (TBE)” 라는 구두시험으로 전환하여 학생들의 배경지식을 심층적으로 평가하였다. 또 “연차 점검 보고서(Annual Report)” 를 도입하여 교수들이 학생들의 성취와 성장 과정을 지도할 수 있도록 기틀을 마련하였다.

1) 논문제출자격 전공시험 구두시험 시행: 기존 지식의 습득보다는 새로운 지식을 창출하고 문제를 해결할 수 있는 독립적인 연구자로서의 성장을 목표로 하는 박사과정의 경우, 창의적인 연구를 수행하고 그 결과를 동료 과학자와 대중에게 효과적으로 전달하는 능력이 매우 중요하다. 이 인식을 바탕으로 본 교육연구팀은 위스콘신 주립대를 벤치마킹하여 박사과정 및 석박사통합과정의 경우 기존에 있던 지필고사 형식의 전공시험을 폐지하고 논문제출자격 구술평가 (Thesis Background Examination, TBE) 제도를 도입하여 실시하였다. 이에 관해서는 [표 II-3] 평가 대상 기간 내 TBE 시험 시행 실적에 상술 되어있다.

2) 대학원생 연차 점검 보고서 (Annual Report) 도입: 기존에 본 대학원을 비롯한 많은 대학원에서 cumulative exam, qualifying exam, preliminary exam, 논문 proposal, 연구 proposal 등 다양한 형태의 중간 평가를 통해 대학원생의 학업 성취도와 연구계획을 평가하였다. 본 교육연구팀은 이와 같은 결과 위주의 대학원생 성취도 평가 방식을 지양하고 스위스 로잔 공대를 벤치마킹하여 연차 점검을 통한 ‘과정’ 중심의 평가와 지도 방식을 도입하였다. 이를 위해 연구수행에 필요한 역량과 연구자로서의 태도 등에 대한 17개 항목으로 구성된 대학원생 연차 점검 보고서(Annual Report) 양식을 만들고 이에 맞춰 대학원생이 각 항목을 스스로 평가하고 그 결과를 지도교수와 상담함으로써 더 나은 연구자로서 발전해 나갈 수 있도록 시스템을 구축하였다. 본 교육연구팀 소속 박사과정 대학원생들은 이 연차 점검 보고서 제도를 통해 스스로 본인을 평가하는 기회를 가지고 지도교수와의 상담을 통해 지난 한 해를 돌아보며 본인의 계획 대비 연구성과 성취도를 돌아볼 기회를 가질 뿐 아니라 완성된 연구자로서 갖추어야 할 연구 역량과 덕목들도 함양할 수 있는 기회를 가지고 있다. 이 연차 점검 보고서 제도는 본 교육연구팀 소속 대학원생이 스스로 부족한 점들을 깨닫고 채워나갈 수 있는 기회를 제공하여 더욱 성공적인 연구자로 성장해 나갈 수 있는 기회와 경로를 제공하는 데 큰 도움이 되고 있다. 이에 관한 대표 사례들을 [표 II-4] 평가 기간 내 대학원생 연차 점검 보고

서 시행 실적에 제시하였다.

■ 생물리광화학 특성화 교육

• 생물리광화학 세부전공 트랙 신설

생물리광화학 분야 전문 연구인력 양성을 위해 자연과학대학 및 중앙대학교 대학원의 승인 절차를 거쳐 2021년 6월에 본 교육연구팀 소속 대학원에 기존 5개의 전공에 추가로 “생물리광화학 (Bio/Energy Photochemistry)” 세부 전공 개설이 확정되었다. 개정된 대학원 화학과 요람의 생물리광화학 세부 전공으로 생물리광화학 관련 과학기술 산업 사회 문제 해결형 교과목을 신설하였으며 이에 관해서는 [표 II-1] 생물리광화학 세부전공 교과과정, [표 II-16] 평가 기간 내 생물리광화학 관련 과학기술, 산업, 사회 문제 해결형 교과목 신설에 상술 되어있다.

• ‘생물리광화학 학생초청 특별세미나’ 신설

학생들이 타 연구기관의 생물리광화학 분야 우수 연구자들을 직접 초청하여 강연을 듣는 “생물리광화학 학생초청 특별세미나” 시리즈를 개최하였다. 연사 선정 및 초청부터 세미나 진행, 이후 교류 자리까지 학생들이 주도하게 함으로써 연구 참여 의식을 고취하고 본 교육연구팀 외부의 교수 및 연구자들로부터도 멘토링을 받을 수 있는 기회를 제공하였다. 이에 관한 내용은 [표 II-11] 평가 기간 내 생물리광화학 대학원생 초청 특별세미나 실시 내역에 상술되어있다.

■ 교육-연구 선순환 구조 구축 방안

• 생물리광화학 세부전공 교육-연구연계형 교과목 운영

교육의 질을 유지하면서 대학원생들의 연구역량을 향상시킬 수 있는 교육-연구 연계형 교과과정을 개발 운영하였다. 생물리광화학 관련 과학기술, 산업 및 사회 문제 해결 관련 연구 주제를 강의 콘텐츠로 적극적으로 포함시키고 문제 해결형 연구 수행을 과제로 제시하고 평가하였다. 특히 교육의 결과가 산업 사회 문제 해결이나 논문 출판 등으로 이어질 수 있도록 운영하여 교육-연구 선순환 구조를 구축하였다. 구체적으로 본 교육연구팀은 사업 계획에 맞춰 교육-연구 연계형 과목으로 생물리화학, 고급나노플라즈모닉스, 바이오센서 및 미세소자, 인공지능응용화학, 광유기화학, 생무기화학, 바이오재료화학을 개설하여 운용하였다. 이에 관해서는 [표 II-24] 평가 기간 내 교육-연구 융합형 교육 교과목 현황에 상술 되어있다.

• 연구 인프라 교육적 활용

교육과 연구 수행 간 시너지 효과를 위하여 강의교과목 형태로 대형 R&D 장비 활용법에 대한 담당 전문인력의 특강을 제공하고자 중앙대학교 공동기기센터 야간 특강을 이용해 대형 R&D 장비에 대한 교육을 진행하였다. 이를 통해 대학원생들이 TEM, SEM, NMR, XRD, XPS 등 실험 장비에 대하여 장비 작동원리 및 사용방법에 대해 숙지하고 쉽게 접근하여 사용할 수 있었다. 이에 대한 사례는 [표 II-13] 평가 기간 내 R&D 장비 교육 현황에 상술 되어있다.

• ‘중앙대 화학과 및 BK21 대학원생 학술문화축제’ 신설

본 교육연구팀은 소속 대학원생을 연사로 하는 정기 세미나를 신설하였고, 2023년 1월에 제 1회 “중앙대 화학과 및 BK21 대학원생 학술문화축제”를 개최하였다. 대학원생들은 서로 연구 결과를 공유하고, 이를 바탕으로 생명/의료 및 에너지 관련 과학기술, 산업, 사회 문제를 해결하기 위한 토론을 진행하였다. 이에 대한 내용은 [표 II-12] 1차 중앙대 화학과 및 BK21 대학원생 학술문화축제 발표 명단에 상술 되어있다.

• ‘BK21 우수논문상’ 시상 및 ‘BK21 특별 장학금’ 제도 운영

대학원생들에게 연구 및 학술 활동에 대한 동기부여를 강화하고자, 매년 본 교육연구팀 소속 학생 중 1년 동안 우수한 연구 성과를 거둔 학생들에게 ‘우수논문상’을 시상하였다. 1년 차 연구 성과들을 토대로 2021년 8월 23일 제1회 우수논문상 시상식을 개최하여 6명의 대학원생에게 상장과 상금을 수여한 바 있고, 다음 해 성과에 대해서 2022년 7월 18일 제2회 우수논문상 시상식을 개최하여 1명의 신진연구인력과 6명의 대학원생에게 상장과 상금을 수여하였다. 그리고 2021년 12월과

2022년 12월에 교육연구팀 소속 연구실 발전에 크게 기여한 대학원생들에게 중앙대학교 BK21 대응 자금을 재원으로 ‘BK21 특별 장학금’ 제도 역시 마련하여 운영하였다.

- **국제화 교육 강화**

본 교육연구팀의 우수한 국제화 역량을 이용하여 장단기 해외연수 및 해외연구실과의 공동연구를 계획하였으나, 사업 기간 내내 지속된 코로나19 팬데믹으로 인해 대학원생들의 해외연구실 방문이 제한을 받았다. 그러나 Zoom 연구 회의 등을 통해 지속적 온라인 공동연구를 수행함으로써 대학원생들이 뛰어난 논문을 출판할 수 있었다. 이에 대한실적을 <표 2-10>에 상술 하였다. 또한, 본 교육연구팀 소속 대학원생들에게 국제학회 참가기회를 제공하여 국제적 교육 및 연구 경험을 쌓을 수 있었다. 이 중 우수한 성과에 대해 [표 II-34] 평가 기간 내 참여 대학원생 국제 학술대회 참가 대표 실적에 상술하였다.

- **인턴십 강화**

대학원생들이 에너지, 환경, 의료, 보건 등 생물리광화학 관련 문제를 해결할 수 있는 역량을 키울 수 있도록 국립 연구소 및 기업체 현장학습/인턴십 프로그램을 진행하였다. 이에 관해서는 [표 II-19] 평가 기간 내 타 연구기관 방문 성과, [표 II-21] 평가 기간 내 대학원생 산업현장 인턴십 및 현장학습 성과에 상술 되어있다.

■ **생물리광화학 분야 과학기술 산업 사회 문제 해결과 관련된 교육프로그램 구성 및 운영**

본 교육연구팀의 특성화 방향인 생물리광화학 관련 “생명” 과 “에너지” 분야에서 문제를 해결을 위해 다음과 같이 계획한 교육 프로그램들을 추진하였다.

- **과학기술 산업 사회 문제 해결형 교과과정 운영**

생물리광화학 관련 “생명” 과 “에너지” 분야에서 과학기술문제와 산업 및 사회 문제 해결을 위해 기존 교과목 외에 생무기화학, 인공지능응용화학, 광유기화학 교과목을 계획대로 신설하였다. 이에 관해서는 [표 II-2] 평가 기간 내 과학기술·산업·사회 문제 해결형 교과목 신설 현황에 상술 되어 있다.

- **과학기술·산업·사회 문제 해결형 비교과 프로그램**

4단계 BK21 사업을 통해생물리광화학 관련 과학기술문제 해결형 연구와 산업, 사회 문제 해결형 연구를 폭넓게 접할 수 있도록 다음과 같은 비교과 프로그램을 운영하였다.

1) **세포화학동력학(Cheical Dynamics in Living Cells) 특별세미나 실시:** 화학콜로키움과 병행하여, 대학원생들이 최근 이슈가 되고 있는 생물리광화학 관련 과학기술문제를 이해하고 문제해결형 연구를 모색할 기회를 폭넓게 가질 수 있도록 특별세미나 시리즈를 비교과 교육프로그램으로 운영하고 있다. 대표적 비교과 특별세미나 프로그램 예로 다음과 같이 세포화학동력학(CDLC) 세미나 시리즈를 개최하였다. 이에 대한 내용은 [표 II-17] 평가 기간 내 세포화학동력학(Cheical Dynamics in Living Cells) 창의연구단 & BK21 조인트 세미나 개최 실적에 상술 되어있다.

2) **정부출연연구소와 산업체 우수연구자 초빙 특별세미나 실시:** 과학기술·산업·사회 문제를 해결하기 위해서는 학교뿐 아니라 정부출연연구소, 산업체 등과의 협업이 절대적으로 필요하다. 이를 위해 사업기간 동안 연구소 및 산업체의 우수연구자를 초청해 특별 세미나를 가졌다. 이에 관한 내용은 [표 II-18] 평가 기간 내 정부출연연구소와 산업체 우수연구자 초빙 특별세미나 개최 실적에 상술 되어있다,

3) **국내외 우수대학 및 국책연구소 상호 방문 및 교류 프로그램 실시:** 코로나19로 제한이 많은 상황에서도 우수한 타 연구기관에 대학원생을 파견하여 과학기술·산업·사회 문제 해결을 위한 공동연구를 수행하였고, 동시에 타 연구기관 소속 대학원생 또는 연구원을 본 교육연구팀에 초청하여 교류를 이어나갔다. 이에 대한 내용은 [표 II-19] 평가 기간 내 타 연구기관 방문 성과, [표 II-20] 평가 기간 내 본 교육연구팀 방문 유치 성과에 상술 되어있다.

4) **산업현장 인턴십 및 현장학습 프로그램 실시:** 대학원생들이 산업현장에서 해결이 필요한 문제를

이해하고 이를 해결하는 역량을 키울 수 있도록 기업체 현장학습/인턴십 프로그램을 진행하였다. 이에 대한 내용은 [표 II-21] 평가 기간 내 대학원생 산업현장 인턴십 및 현장학습 성과에 상술 되어있다.

5) **국내외 석학 초빙 생물리광화학 관련 과학기술, 산업 및 사회 문제 단기강좌 개설**: 생물리광화학 분야 국내외 석학을 초빙하여 생물리광화학 분야 과학기술, 산업 및 사회문제 관련 연구에 관한 단기강좌를 개설하여 진행하였다. 이에 관한 내용은 [표 II-22] 평가 기간 내 해외 석학 초빙 단기강좌 개설 실적에 상술 되어있다.

(2) 우수 대학원생 및 신진연구인력 확보

■ 우수 대학원생 및 신진연구인력 확보

BK21 사업을 시작한 이후 중앙대학교 화학과 대학원 입학생 수가 지속적으로 증가하고 있다. 본 교육연구팀은 우수 대학원생 확보를 위해 다음과 같은 노력을 경주하고 있다.

- **생물리광화학 분야 국책연구소와 국내외 선도연구기관과 협업을 통한 교육연구팀 브랜드 가치 제고**
본 교육연구팀의 연구 프로그램을 본 대학에 소재한 생물리광화학 분야 국책연구소인 세포화학동력학 창의연구단(Creative Research Initiative Center for Chemical Dynamics in Living Cells) 및 나노-광융합 바이오의료 진단 선도연구센터(Nanophotonics-based Biomedical Diagnostics Research Center)와 연계하여 우수한 연구성과를 낼 수 있었고 이를 통해 본 교육연구팀의 연구경쟁력 브랜드 가치를 높여왔다. 아울러 해외 우수 대학들의 대학원생 연구 및 생활 지원제도들을 벤치마킹한 지원 프로그램을 마련하여 본 교육연구팀의 대학원생 연구 및 생활 지원 브랜드 가치 역시 향상시켰다. 이렇게 발전된 세계적 수준의 생물리광화학 교육연구팀의 우수성을 여러 국내외 학술대회 참가와 화학세계와 같은 국내 과학 매체를 활용하여 적극적으로 홍보함으로써 우수 대학원생을 유치한 결과 석사과정뿐 아니라 박사과정 대학원생 수를 증가시킬 수 있었다.

- **학부생 연구 프로그램을 통한 본교 우수 학부생 대학원 진학 유도**

가을학기에 진행되는 학부생 연구 실습 프로그램인 Practical Education (PE) 프로그램을 통해 본교 3, 4학년 학부생들에게 본 생물리광화학 연구팀의 생명, 에너지 분야의 기초 및 응용에 관한 연구와 실험을 체험하게 함으로써 우수 학부생들의 대학원 진학을 유도하였다. 2020년 2학기에 15명(3학년 6명, 4학년 9명)의 학부생이 대상자로 선정되어 3개월 동안 연구활동을 수행하였고, 이 중 4학년 학생의 78%에 해당하는 7명이 중앙대 화학과 대학원에 진학하였다. 2021-2학기에는 17명(3학년 10명, 4학년 7명)의 학부생이 PE프로그램 대상자로 선정되었고, 4학년 학생 중 6명이 본 대학원에 진학하여 86%의 높은 진학률을 보였다. 목표 이상의 성과를 이루면서 2022년 2학기에는 22명으로 대상자를 늘렸고, 특히 16명의 4학년 학부생들이 PE프로그램을 통해 연구활동에 적극적으로 참여하여 14명, 88%의 학생들이 대학원에 진학하는 훌륭한 성과를 이루어냈다. 이에 대한 내용은 [표 II-23] 평가 대상 기간 내 PE참여 학생 대학원 진학률에 상술 되어있다. 또한, 학부생의 지속적인 연구 참여를 유도하기 위해 학기 중에 실시되는 PE 프로그램과 연계하여 학과혁신사업의 지원으로 방학 동안 3학년 학부생들이 주 참여자인 ‘화학과 연구인턴 프로그램’을 통해 대학원 진학으로 이어질 수 있도록 지속적인 지도를 진행하였다. 2020/2021년 겨울방학과 2021 여름방학에 각각 8주 동안 중앙대 화학과 연구인턴 프로그램을 진행하여 각각 19명, 15명이 참여하여 방학기간 동안 지속적인 연구활동을 할 수 있었다.

- **대학원 입학 FAIR 행사, 비교과 강좌, 오픈랩 등 행사를 통한 대학원 홍보**

1) **대학원 입학 FAIR 행사**: 매년 학부생들에게 대학원 전공 내용과 졸업 후 진로 등을 소개하고 장학 상담과 실험실 투어 프로그램 등을 제공하는 대학원 입학 FAIR 행사가 코로나19로 인해 비대면 ‘대학원 입학 온라인 설명회’로 대체되었다. 이 행사를 통해 설명회 당일 2021-1학기 20명, 2021-2학기 3명, 2022-1학기 11명, 2022-2학기 5명이 화학과 대학원 입학을 위해 지원하여 전형료

면제 등의 혜택을 받았고, 지원자 전원 대학원 진학을 하였다.

2) 오픈 랩 프로그램: 오픈 랩 프로그램을 통해 학생들이 본 교육연구팀의 연구 프로그램 체험 기회를 제공하여 우수 대학원생 유치를 확대하고자 하였으나, 코로나19 확산으로 인해 대면/비대면 하이브리드 형식의 화학과 대학원 소개 및 각 연구실 소개/체험을 진행하였다 (2021.9.14.화, 2022.9.6.화). 이 행사에서 신설된 생물리광화학 세부전공에 관하여 홍보하여 관심 있는 학생들의 대학원 진학을 유도하고자 하였다.

3) 화학인의 밤 행사: 학과 학부생, 대학원생, 교수들이 한자리에 모여 진행하는 행사인 ‘화학인의 밤’을 통해 화학과 대학원 선배들의 강연 및 만남을 통한 진로탐색 토크콘서트를 개최하였다.

■ 국제적 수준의 대학원생 및 신진연구인력 연구 및 생활 지원

• 국제적 수준의 재정 지원

대학원생들과 신진연구인력들이 연구에 전념하기에 적절한 생활비를 지원하고자 인건비 지원에 필요한 BK21사업 예산 초과분은 본 교육연구팀 참여교수들이 수행하고 있는 정부연구개발 사업 및 산학연구개발 사업과 연계하여 조달하고 있다. 또한, 중앙대학교 대학원 차원에서의 우수 대학원생 등록금 면제 장학금(Graduate Research Scholarship)을 통해 본 교육연구팀 소속 대학원생 중 2020-2학기 12명, 2021-1학기: 18명, 2021-2학기 16명, 2022-1학기 13명, 2022-2학기 10명이 혜택받았으며, 외국인 대학원생 등록금 면제 장학금(Chung-Ang University Young Scientist Scholarship)을 통해 본 교육연구팀 소속 대학원생 중 2020-2학기 10명, 2021-1학기 9명, 2021-2학기 5명, 2022-1학기 7명, 2022-2학기 8명이 혜택받았다.

• 우수 논문 지원금

우수한 연구 성과를 내어 주저자로 논문을 발표한 대학원생에게 중앙대학교 대학원에서 2020-2학기 1명, 2021-1학기 4명, 2021-2학기 5명, 2022-1학기 5명, 2022-2학기 5명에게 우수 논문 지원금 지급하여 우수 연구자로서 자긍심을 가지게 하고 연구 동기를 높일 수 있도록 하였다.

• 행복한 대학원 생활 지원 프로그램 개발 및 운영

본 교육연구팀에서는 대학원생들에게 본교 주최 문화행사는 물론 서울시에서 제공하는 우수 문화행사들을 정기적으로 안내하고 참여를 권장하고 있다. 코로나19의 확산으로 대부분의 행사가 취소되었으나, 2022년-1학기 이후 ‘LUCAS 축제’, ‘자연과학대학 가을문화축제’, ‘대학원생 원우한마당’ 등 중앙대학교의 다양한 문화행사가 대면/비대면 형식으로 다시 마련되었다. 문화행사들을 통해 학위과정 중 받을 수 있는 스트레스들을 효과적으로 이완시키고 심리적 건강과 행복을 유지하여 성공적으로 훌륭한 연구자로 성장할 수 있도록 기회를 확대하였다.

■ 신진연구인력 안정적 연구 및 취업 지원

• 시니어 연구 스태프 제도 신설

본 교육연구팀은 생물리광화학 분야에서 우수한 연구 성과를 내고 국가 지원 연구비를 5천만원 이상 수주한 신진연구인력에 대해 기존 연구교수 대비 향상된 인건비와 안정적인 학술 및 연구활동 지원을 받을 수 있는 “시니어 연구 스태프(senior research staff) 제도”를 마련하여 운영하였다. 이에 따라 박성준 박사가 본 교육연구팀 시니어 연구 스태프로 선정되어 활동하였다.

• 해외 박사 후 연수 지원제도

중앙대학교 미래융합원에서 대학원혁신사업의 일환으로 우수한 학문 후속세대 양성을 위해 뛰어난 연구 성과를 낸 박사과정 졸업생들에 대해 해외 선도 연구기관에서 박사 후 연수를 받을 수 있도록 재정 지원을 제공하는 “CAU Global Ph.D. Fellow” 프로그램을 신설하였다. 이 프로그램은 BK21사업 참여연구원으로서 1년 이상 경력이 있는 자에게 신청 자격이 주어지며 본 교육연구팀 연구원인 이다슬 박사(2022년 2월 유기화학 박사학위 수여)가 최초의 CAU Global Ph. D Fellow 수혜자로 선정되어 University of Texas-Austin에서 박사후연수과정 지원을 받고 있다.

- **우수 신진연구인력 포상 제도 신설**

매년 심사를 거쳐 훌륭한 연구 성과를 이룬 교육연구팀 소속 신진연구인력에게 상패와 학술대회 참가비를 지원하는 제도를 신설하여 운영하고 있으며 2022년 7월에 우수한 연구 성과를 낸 최명길 박사에게 “신진연구인력 우수 논문상” 및 상금 50만원을 시상하였다.

- **신진연구인력 경력 개발 지원 프로그램**

1) 신진연구인력 연구비 수주 지원: 본 교육연구팀 신진연구인력들이 한국연구재단의 ‘창의·도전 연구 기반지원’ 사업 등 정부의 연구지원 사업에 지원 및 선정될 수 있도록, 소속 교수와 신진연구인력 간에 연구제안서 검토 및 피드백 등의 적극적인 소통을 진행하였다. 그 결과 본 교육연구팀 소속 신진연구인력인 박성준 박사가 연간 연구비 1억에 달하는 ‘2021~2026 한국연구재단 세종 사이언스 펠로우 지원 사업’에 선정되는 성과를 이루어냈다.

2) 산학협력 연구를 통한 인적 네트워크 확대 기회 제공: 이정규(브리지 바이오 CEO), 임영희(LG 화학 분석팀 연구 위원), 이진욱(삼성전기 팀장)을 초빙하여 산학협력 연구 기회를 모색하며 본 교육연구팀 소속 신진연구 인력들의 인적네트워크 확대 기회를 제공하였다. 이외에도 본 교육연구팀은 생명 및 에너지 분야 산업계 전문가와 산업·사회문제 해결을 위한 협의체를 공동 구성하고 문제 해결방안 도출을 위한 전주기적 협력연구에 참여하며, 이를 통해 신진연구인력의 취업 및 인적 네트워크 확대 기회를 제공하였다. 현재 본 교육연구팀과 협력 관계를 맺고 있어 신진연구인력들이 산학협력 연구 경험을 제공할 수 있는 협력 기관들은 [표 II-30] 평가 기간 내 본 교육연구팀 신진연구인력 산학협력 연구에 상술 되어있다.

3) 신진연구인력에게 강의 기회 제공: CAU Teaching Fellowship: 본교 신진연구인력과 박사과정 대학원생들에게 강의 기회를 제공하는 제도를 중앙대학교 대학원 차원에서 평가 기간 중 마련하여 운영하고 있다. 아울러 본 교육연구팀장 그룹 소속 김지현 박사는 BK21 사업비 지원을 직접적으로 받고 있지는 않지만 화학과 전공필수 교과목인 “물리화학(3)” 과 대학원 생물리광화학 세부전공 내 “인공지능 응용화학”을 강의하고 있다.

(3) 세계적 수준의 연구 경쟁력 확보

본 교육연구팀은 4단계 BK21 사업을 통해 우수 대학원생들을 확보하고 교육을 연구에 접목하는 선순환 구조를 구축하여 교육연구팀의 연구역량을 생물리광화학 분야 세계 최고 수준으로 발전시키고자 하였다. 본 생물리광화학 창의인재 양성 사업팀은 생명 분야와 에너지 분야로 연구 분야를 특성화하고, BK21 사업 추진을 통해 양 분야 모두에서 연구경쟁력을 강화하여 생명/에너지 분야 과학기술·산업·사회 문제 해결에 기여하고자 하였다. 이러한 목표를 달성하기 위해 마련한 세부 목표와 그에 대한 달성도를 아래에 기술하였다.

■ 연구역량 향상

- **생물리광화학 분야 교내외 국책연구소와 BK21 교육연구팀 연계 협동연구 프로그램 활성화**

코로나19로 제한이 많은 상황에서도 국내 우수 연구기관에 대학원생들을 파견하여 과학기술·산업·사회 문제 해결을 위한 공동연구를 수행하였다. 동시에 타 연구기관 소속 대학원생 또는 연구원들을 본 교육연구팀에 방문 유치하여 교류를 진행했으며 이에 관한 내용은 [표 II-19] 평가 기간 내 타 연구기관 방문 성과, [표 II-20] 평가 기간 내 본 교육연구팀 방문 유치 성과에 상술 되어있다. 또, 우수 신진연구인력을 본교 생물리광화학 분야 국책연구소인 세포화학동력학 창의연구단에 겸직시켜 BK21 사업 예산으로 부족한 인건비를 추가지원 함으로써 우수 신진연구인력들을 확보하고 지원하고 있으며 이에 관한 내용을 [표 II-28] 평가 기간 내 교육연구팀-국책연구소 연계 박사후 연수 프로그램 실적에 상술하였다.

- **교육연구팀 참여교수들 간 공동연구 활성화 및 연구 인프라 공유**

본 교육연구팀은 미래 4차산업의 성장 동력으로 활용할 수 있는 인공지능, 머신러닝 등의 개념이

도입된 융합연구를 활성화하였고, 현재 심각한 사회적인 문제를 일으키고 있는 코로나19와 같은 호흡기 감염성 질환의 조기진단이나 이산화탄소 저감과 같은 생명/에너지 분야의 사회적 문제를 해결할 수 있는 공동연구를 적극적으로 추진하였다. 이에 대한 내용은 [표 III-5] 평가 기간 내 참여교수 간 공동연구 수행 현황에 상술 되어있다.

- **교육연구팀-국내 선도연구기관 공동연구 확대 및 활성화**

본 교육연구팀은 평가 기간 동안 국내 우수연구기관과 활발한 공동연구를 수행하였다. 이를 통해 논문업적의 질적 수준과 학계 파급력을 향상시킬 수 있었다. 이에 관한 내용은 [표 III-4] 평가 기간 내 국내 우수대학 및 선도연구기관과의 대표적 공동연구 현황에 상술 되어있다.

- **교육연구팀-해외 선도기관 공동연구 네트워크 체계화 및 활성화**

지난 사업기간 내 코로나19로 인해 해외 우수연구기관과의 교류가 제한되는 상황이었음에도, 본 교육연구팀은 온라인 Zoom 회의 등을 통해 해외 선도기관과의 공동연구 및 제한적 연구자 초청을 통해 국제 교류 네트워크를 구축하기 위해 노력하였다. 이에 관한 내용은 [표 III-3] 평가 기간 내 해외 연구기관 대표적 공동연구 내용에 상술 되어있다.

■ 연구 인프라 확충

BK21 사업과 국책연구사업 및 산업체 수탁 연구사업과의 연계를 통해 연구 인프라를 추가 구축하고 연구 수월성을 증진시켰다. 평가기간 중 본 교육연구팀에서 수탁한 연구사업으로 구축된 연구 인프라는 [표 III-6] 평가 대상 기간 내 구축된 연구 인프라 현황에 상술된 바와 같다.

■ 연구의 질적 수준 향상

본 교육연구팀은 연구 기간이 오래 걸리더라도 생물리광화학 분야를 크게 발전시킬 수 있는 창의적 도전적 난제 해결형 연구를 장려하고 교육연구팀 내 연구 성과를 평가할 때 연구 성과의 학문적 혁신성과 산업 사회 문제 해결 기여도에 대한 질적 평가를 도입하되, 단순 정량 지표에 기반한 연구 성과 평가를 지양하였다. 이를 통해 지난 140년 동안 해결되지 않고 있던 난제인 모든 고체결정 생성에 앞서 일어나는 초미세 결정핵 생성과정의 열역학적 메커니즘과 비고전 결정생성 동력학을 세계 최초로 정량적으로 규명한 성과 등 학문적으로나 산업적으로 중요한 연구 성과들이 본 교육연구팀에서 창출되었다.

(4) 생물리광화학 분야 과학기술 문제와 산업 및 사회 문제 해결

■ 생물리광화학 분야 과학기술 문제와 산업 및 사회 문제 해결 기여

4단계 BK21 사업 기간 동안 본 교육연구팀 참여교수들은 생명 및 에너지 분야에서 과학기술·산업·사회 문제 해결을 위해 다음과 같은 연구를 수행하였다.

- **생명분야:** 고감도 광센서 기술을 이용한 새로운 개념의 체외 진단 기술 개발, 소 설사 바이러스 진단을 위한 특이 리셉터 및 그를 이용한 진단 기법 개발, 히스타민 검출을 위한 특이적 바이오리셉터 발굴 및 광학적 진단 기법 개발, 자성 입자 분리 장치 개발, 효소, 촉매 사이트 및 광분자 절대 개수 측정 방법 개발 등
- **에너지분야:** 온실가스 자원화를 통한 환경 문제 해결, 화학·에너지 자원 문제 해결, 금/은 나노입자에서 플라스몬에 의한 뜨거운 전자(hot carrier) 생성 원리 규명 및 고효율 광촉매 개발, 나노갭 플라스몬 커플링 원리 규명을 통한 광전자분야 과학기술문제 해결 등 대표적인 성과를 <표 3-5> 교육연구팀 참여교수의 산업·사회 문제 해결 기여 실적에 상술하였다.

(5) 대학원 교육 및 연구 국제화

■ 대학원 교육 및 학사과정 국제화

- **홍콩과학기술대학-중앙대학교 대학원 공식적 협력관계 구축**

본 교육연구팀의 국제공동연구 네트워크와 경쟁력 확장을 위하여 해외 우수 대학 중 하나인 홍콩과학기술 대학과 협력관계를 구축하였다. 본 교육연구팀 참여대학원생 박규남 학생은 홍콩과학기술대

학교와 “신경세포 내 소포체 운동 동력학 해석”을 주제로 공동연구를 진행하고 있으며, 공동연구자 Hyokeun Park을 본 교육연구팀으로 초청하여 관련 주제에 대한 강연을 진행하였다.

- **대학원생 해외연수 지원을 위한 학사제도 마련 및 대학원생 장단기 해외연수 지원**

지난 사업기간 동안 코로나19의 전 지구적 확산으로 대학원생 해외연수 지원을 위한 학사제도 마련과 대학원생들의 장단기 해외연수를 계획한 대로 실행할 수 없었다. 이러한 한계에도 불구하고 본 교육연구팀은 인공지능 분야 세계 선도기관 중 하나인 Technical University-Darmstadt, Human Resources Department의 Luke Bates 연구원이 “인공지능 기초 및 응용화학” 온라인 강의를 2021년 가을학기부터 지속적으로 제공하며 대학원생들이 이를 수강할 수 있도록 함으로써 매학기 온라인으로 인공지능 응용화학 분야 해외연수 기회를 제공하였다.

- **외국어 학위논문**

현재 본 교육연구팀은 소속 대학원생들의 학위논문을 100% 영문으로 작성하도록 하고 있으며 지난 사업기간 동안 총 학위논문 수 23건 중 외국어 작성 학위논문 수 23건으로 100% 비율을 유지하고 있다. 또한, 영어논문 작성법 등 비교과 교육과정 운영을 통하여 본 교육연구팀 소속 대학원생들의 외국어 논문작성 능력 향상을 도모하였다.

- **외국인 교수 및 신진연구인력 강좌 확대**

본 교육연구팀은 평가 기간 동안 생물리광화학 분야 국내외 교수 및 신진연구인력을 초빙하여 생물리광화학 분야 과학기술문제 및 사회문제 관련 연구에 관한 단기강좌를 개설하여 진행하였다. 이에 관한 내용은 [표 II-22] 평가 기간 내 해외 석학 초빙 단기강좌 개설 실적에 상술되어있다.

■ **외국 연구소 및 대학과 인적교류 활성화**

본 교육연구팀 참여교수들은 사업 기간 중 다수의 국제학회 수상, 기초강연 및 초청강연, 국제학술지 편집위원, 국제 학술대회 위원 실적, 국제 저술 실적과 공동연구 실적 및 외국 기관 교류실적을 달성하였다. 이에 대한 내용은 3.1 참여교수의 국제화 현황에 구체적으로 제시되어 있으며, 4단계 BK21 사업기간 동안 이와 같은 해외교류 인프라를 활용해 외국 연구소 및 대학과 인적교류를 더욱 활성화하였다.

- **해외 선도 연구자 초청 강연 확대 및 활성화**

전 세계적인 코로나19로 인해 해외 선도 연구자 초빙 강연 프로그램의 정상적인 운영이 어려웠다. 그러나 온라인 회의와 제한적 연구자 초청을 통해 선도 연구자 초청 강연을 운영하였다. 이에 대한 내용은 [표 II-31] 평가 기간 중 교육연구팀 해외 선도 연구자 초청 강연 현황에 상술 되어있다

- **대학원생 해외 대학 및 선도 연구실 교류 확대 및 활성화**

사업 기간 동안 본 교육연구팀 소속 대학원생은 온라인 국제 학술대회 참가를 통해 해외 우수한 연구자들과 교류할 수 있었다. 또한 참여 교수들의 외국 연구기관 세미나 및 해외연구자 초청 등을 통해 해외 연구기관과의 인적 교류 네트워크를 구축하고자 노력하였다. 이에 관한 내용은 [표 II-34] 평가 기간 내 참여 대학원생 국제 학술대회 참가 대표 실적, [표 III-15] 평가 기간 내 해외 연구기관 세미나 실적, [표 II-31] 평가 기간 중 교육연구팀 해외 선도 연구자 초청 강연 현황, [표 III-14] 평가 기간 내 외국 대학 연구기관 교류실적에 상술 되어있다.

■ **해외 선도연구기관과 공동연구 활성화**

4단계 BK21 사업의 지원을 통해 본 교육연구팀 소속 대학원생과 해외 우수 연구실간 학술적 교류를 지속하고 온라인 매체를 통해 공동연구를 진행하여 우수한 연구성과를 거두었다. 이에 대한 내용은 3.1.① 국제적 학술활동 참여 실적 및 현황에 상술 되어있다. 이러한 해외 공동연구의 활성화를 통하여 세계 최고 수준의 연구 프로그램을 구축해 나감으로써 출판하는 논문의 질적 수준과 학계 파급력을 향상시킬 수 있었다.

■ **국제학술활동 활성화 및 국제 생물리광화학 심포지엄 정기적 개최**

생물리광화학 발전에 기여하고 본 교육연구팀의 학계 내 위상을 제고 하기 위해 4단계 BK21 사업 기간 내에 본 교육연구팀이 주관하는 국제 생물리광화학 심포지엄을 정례화할 계획이었다. 본 계획은 코

로나19 상황으로 BK21 사업 전반기에 실행하기는 어려웠다. 다만 본 교육연구팀은 국제학회 기조강연, 국제 저명 학술지 우수 심사자 선정, 해외 선도연구기관 세미나 등 다양한 국제 학술활동을 펼쳐 본 교육연구팀의 국제적 위상을 높였다. 이에 대한 구체적인 내용은 3.1.① 국제적 학술활동 참여 실적 및 현황에 상술 되어있다.

(6) 교육연구팀 소속 대학원 혁신 지원 프로그램과의 정합성

본 교육연구팀은 4단계 BK21 사업을 소속기관에서 제공하는 다양한 대학원 지원프로그램과 연계하여 생물리광화학 기초 및 응용 분야 모두에 내실 있는 교육환경과 경쟁력을 지닌 연구 중심 교육연구팀으로 발전할 수 있었다. 생물리광화학 분야 전문인력 양성을 위해 생물리광화학 세부전공을 마련하고 관련 과학기술 및 사회상업 문제 해결하기 위해 개설된 연구-교육 연계형 강좌들을 아우르는 대학원 교육과정을 설립하였다. 대규모 신진연구인력 지원제도를 마련하여 신진연구인력의 해외연수를 지원하였고, 본 교육연구팀 소속 대학원생의 국제 역량 강화를 위한 공동연구와 인적교류 및 국제적 학술활동을 지속하였다. 이와 같은 우수 대학원생 확보를 위한 다양한 노력 (PE 프로그램, 연구인턴 프로그램, GRS, CAYSS)을 기울인 결과, 교육연구팀 내 대학원 입학 인원과 박사과정 및 석박사 통합과정 입학생 비율이 증가하였다. 사업기간 중 생물리광화학 학문분야와 이에 관련된 생명, 에너지 분야 사회문제 해결에 기여할 수 있는 전문연구인력으로 박사 4명, 석사 19명을 양성했다. 사업기간 동안 생물리광화학 분야를 크게 발전시키는 기초과학 연구 성과(<표 2-4>, <표3-2>)와 더불어 관련된 사회 및 산업 문제 해결에 실질적으로 기여(<표3-5>)하고 이에 따른 성과로서 특허, 기술이전, 창업 실적(<표 2-6>, <표 3-3>)을 이루었다.



중앙대학교 대학원 혁신 사업계획의 비전, 목표, 추진전략 (대학원 혁신사업 계획)

4단계 BK21 사업

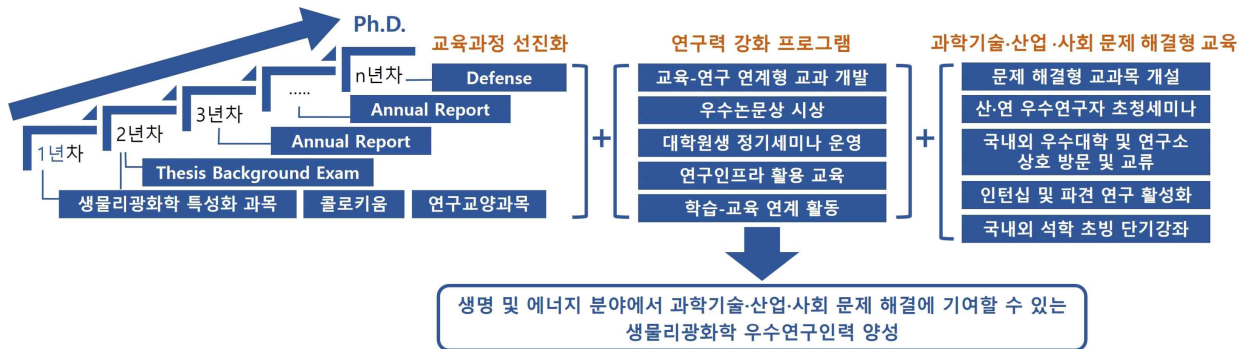
II. 교육역량 영역

II. 교육역량 영역

1. 교육과정 구성 및 운영

1.1 교육과정 구성 및 운영 실적

본 교육연구팀은 생명 및 에너지 분야에서 과학기술·산업·사회 문제 해결에 기여할 수 있는 우수한 연구인력을 양성하는 것을 교육 목표로 한다. 이와 같은 교육 목표를 달성하기 위해 아래와 같이 대학원 교육과정을 개선하고 다양한 교육 프로그램을 운영하였다.



■ 교육과정 구성 개선 실적

- **생물리광화학 세부전공 트랙 신설:** 생물리광화학 분야 전문 연구인력 양성을 위해 본 교육연구팀 소속 대학원에 기존 5개의 전공에 추가로 “생물리광화학(Bio/Energy Photochemistry)” 세부전공을 신설하였다. 2023년 3월 현재 중앙대학교 대학원 요람에 실려 있는 화학과 대학원 소개 페이지와 신설된 생물리광화학 세부전공 교과과정을 아래에 나타내었다.

[표 II-1] 생물리광화학 세부전공 교과과정

구분		생물리광화학
공통필수과목 [2과목 이수]		현대화학특론, 화학콜로키움 I, 화학콜로키움 II
세부전공 필수과목 (석사: 1 과목 박사: 1 과목 이상 이수)	석사	생물리화학, 분광학, 나노바이오분석학, 바이오재료화학 광유기화학 (신설 과목), 생무기화학 (개편) 화학분석의 원리와 실제 (팀티칭 온라인 과목)
	박사	생물리화학, 나노플라즈모닉스, 에너지소재화학 바이오센서 및 미세소자, 약물전달시스템, 인공지능융용화학 (신설) 화학분석의 원리와 실제 (팀티칭 온라인 과목)
세부전공 선택과목	석사	세포화학동역학, 나노플라즈모닉스, 에너지소재화학, 바이오센서 및 미세소자 약물전달시스템, 지속가능한화학, 인공지능융용화학 (신설)
	박사	고급세포화학동역학, 고급나노플라즈모닉스, 반도체소재화학, 나노표면화학 바이오진단센서, 나노바이오분석학, 광유기화학 (신설)

화학과

Department of Chemistry

(2023학년도 신입생부터 전면 적용)

1. 학과소개

(1) 학과사무실

- 위치: 수림과학관(104관) 413호
- 전화: 02-820-5196 (FAX: 02-825-4736)
- 홈페이지: <http://chem.cau.ac.kr>

(2) 학과소개

본 학과는 1954년 이학부 화학과로 시작하여 1958년에 대학원 석사과정이 설치되었고, 1965년에는 박사과정이 설치되어 지금까지 운영되고 있다. 중앙대학교 화학과 대학원은 70여 년의 전통과 역동성, 15여 명의 국내 최고 교수진, 90여 명의 우수한 대학원생과 연구원, 각 연구실과 공동기기센터가 보유한 최첨단 기기와 장비, 끈끈한 학과 분위기를 바탕으로 기초와 응용이 균형 잡힌 체계적이고 심도 있는 교육, 국내 최고 수준의 창의적인 연구를 수행하고 있으며, 이를 통하여 학계와 연구소 뿐 아니라 화학, 반도체, 제약, 소재, 바이오, 자동차, 화장품, 식품 등 핵심 산업에 많은 우수한 인력들을 배출하고 있다.

(3) 교육이념

중앙대학교의 창학이념이자 교훈인 '의와 창'의 정신을 바탕으로, 기초 학문인 화학을 통해 자연의 진리와 이치를 탐구하고 이를 응용하여 인류 발전에 기여하는 창의적이고 정

의로운 인재를 양성한다.

(4) 교육목적

본 학과는 화학 핵심 지식에 대한 체계적인 교육과 최첨단 분야의 실험 및 연구를 통해 학문적으로는 새로운 진리를 밝히고 사회적으로는 이를 이용해 인류의 삶의 질 향상에 기여하는 창의적인 화학 전문 인력 양성을 목적으로 한다.

(5) 교육목표

- ① 심도 있는 학문 연구와 교육을 통하여 학문 후속 세대를 육성한다.
- ② 최첨단 실험 및 연구를 통해 문제해결 역량을 지닌 창의적 화학 전문가를 양성한다.
- ③ 다양한 학문 분야와의 교류협력을 통하여 융합적 사고 능력을 지닌 전문 화학인을 양성한다.

(6) 세부전공

- ① 물리화학 (Physical Chemistry)
- ② 유기화학 (Organic Chemistry)
- ③ 무기화학 (Inorganic Chemistry)
- ④ 분석화학 (Analytical Chemistry)
- ⑤ 생화학 (Biochemistry)
- ⑥ 생물리광화학 (Bio/Energy Photochemistry)

- 생물리광화학 관련 과학기술·산업·사회 문제 해결형 교과목 신설: 생물리광화학 세부전공 안에 아래 표와 같이 새로운 과목을 신설·운영하였다.

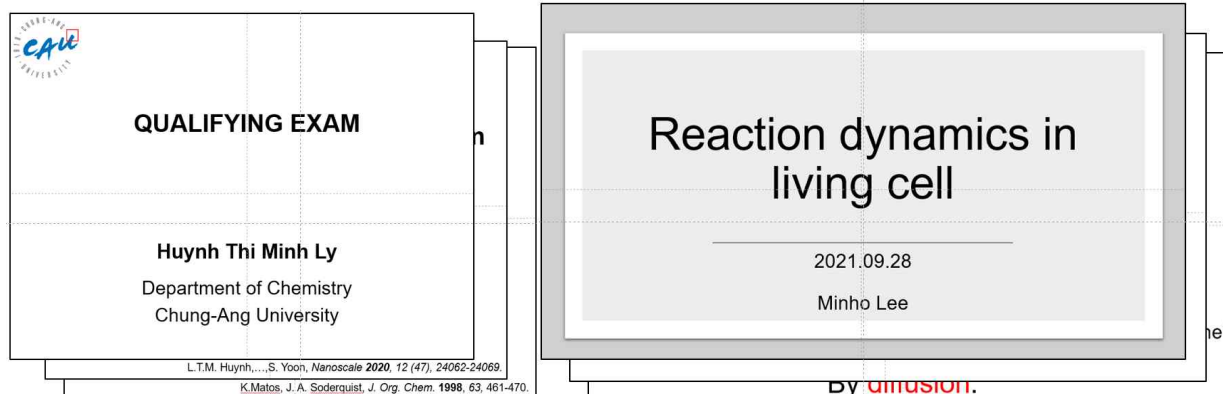
[표 II-2] 평가 기간 내 과학기술·산업·사회 문제 해결형 교과목 신설 현황

분야	교과목	신설 학기	담당 교수	수강 학생 수
생명 트랙	생무기화학	2022-1	윤성호	6
	인공지능융용화학	2021-2	성재영	5
에너지 트랙	광유기화학	2022-1	조은진	13

- 논문제출자격 전공시험 구두시험(Thesis Background Oral Exam, TBE) 도입: 본 교육연구팀은 로잔 공대(EPFL)와 위스콘신 주립대를 벤치마킹하여 대학원 학위 이수 과정을 선진화시키고자 노력하였다. 신청서에 나와 있는 계획과 일정에 따라 2021년 2학기부터 박사학위 과정 학생들의 논문제출자격 전공시험을 기존의 지필평가에서 “Thesis Background Exam (TBE)” 라는 구두시험으로 전환하여 학생들의 배경지식을 심층적으로 평가하였다. 평가 대상 기간 중 4명의 박사과정 학생을 대상으로 아래와 같이 TBE를 실시하였다.

[표 II-3] 평가 대상 기간 내 TBE 시험 시행 실적

이름	학위과정 (학기 수)	지도교수	실시 날짜
Huynh Thi Minh Ly	박사 (5)	윤상운	2021.09.24
이민호	박사 (7)	성재영	2021.09.28
Hao Chen	박사 (10)	주재범	2021.06.09
Yixuan Wu	석박통합 (9)	주재범	2022.06.16



- **연차 점검 보고서(Annual Report) 도입:** 연차 점검 보고서는 학생들이 훌륭한 연구자로 성장할 수 있도록 지도교수들이 도와주는 제도적 장치로 대상 학생은 매년 8월 또는 12월에 주어진 양식에 따라 Motivation, Workethic/Hardworking, Initiative, Spontaneous/Sacrificial, Literature, Experimental Design, Experimental Skill, Analytical Abilities, Critical Thinking, Organization/Lab Note, On Schedule to PhD, Responsibility, Participation in Lab Meetings, Presentation Skills, Writing Skill, Ability to work in a team, Honest and Respectful 등의 항목에 대해 스스로 5점 만점으로 평가하고 개선해야 할 점들을 비고란에 적는다. 그리고 지도교수와 만나 각 항목에 대해 본인의 평가 결과를 설명한다. 지도교수는 독립적으로 각 학생에 대해 같은 항목으로 평가하고 학생들이 잘 하는 부분은 칭찬하고 보완해야 할 부분은 어떻게 개선해 나갈 것인지 조언한다. 연차 점검 보고서는 2021년 1학기에 처음 시작한 이후, 아래 표와 같이 시행해왔다. 연차 점검 보고서 대표 사례를 그 아래에 제시하였다.

[표 II-4] 평가 기간 내 대학원생 연차 점검 보고서 시행 실적

이름	학위과정 (실시 시점 학기 수)	지도교수	실시 날짜
Trinh Duc Hoa	석박통합 (8)	윤상운	2021.08.17
Huynh Thi Minh Ly	박사 (4)	윤상운	2021.08.17
Subhadeep Ghosh	박사 (7)	박태정	2022.09.19
Ping Xu	석박통합 (7)	박태정	2022.09.19
박홍진	박사 (3)	윤성호	2022.09.19
윤하영	석박통합 (6)	윤성호	2022.09.19
Ali Hasnain	박사 (2)	윤성호	2022.09.19
문석영	석박통합 (4)	윤성호	2022.09.19
최인락	석박통합 (2)	윤성호	2022.09.19
강진규	박사 (7)	성재영	2022.01.19
정인춘	박사 (7)	성재영	2022.01.21

양희모	석박통합 (6)	성재영	2022.01.11
황호성	석박통합 (9)	조은진	2022.01.19
Tambe D. Shrikant	박사 (7)	조은진	2022.01.19
Trinh Duc Hoa	석박통합 (10)	윤상운	2022.08.29
Huynh Thi Minh Ly	박사 (6)	윤상운	2022.08.29
김석현	박사 (2)	윤상운	2022.12.26
당하준	석박통합 (10)	주재범	2022.11.30
김기현	석박통합 (10)	주재범	2022.11.30
박소현	석박통합 (8)	주재범	2022.11.30
정연주	석박통합 (8)	주재범	2022.11.30
Qian Yu	박사 (6)	주재범	2022.11.30

Evaluation Sheet:

- This form must be filled out by the advisor and student separately before meeting, then discussed and signed by both.
- This is to ensure that the student knows how he/she is performing overall, what you think his/her strengths and weaknesses are towards completing a PhD and what needs to be improved. It is also to ensure that career issues are discussed at least once a year between the student and mentor.
- After discussion, the final form must be filled out by the advisor, signed both by students and advisor, and submitted to the department chair.

Please rank the student's level in the following areas (add areas if needed):

	Satisfactory	Needs improvement	Comments
Motivation	3.5 / 5.0		Set more higher goals than the current ones.
Work ethic / hardworking	3.5 / 5.0		Try to develop your work ethic.
Initiative	3.0 / 5.0		Be more proactive.
Spontaneous / Sacrificial	4.0 / 5.0		
Literature	2.5 / 5.0		Read more literature, especially the latest ones.
Experimental design	4.0 / 5.0		Learn to speak clearly, etc.
Experimental skill	4.0 / 5.0		Study more molecular biology, etc.
Analytical abilities	3.0 / 5.0		Improve your analytical skills, etc.
Critical thinking	3.0 / 5.0		Learn to speak clearly, etc.
Organization / lab note	4.0 / 5.0		
On schedule to PhD	2.0 / 5.0		Plan more clearly.
Responsibility	4.0 / 5.0		
Participation in lab meetings	3.5 / 5.0		Ask more questions.
Presentation skills	3.0 / 5.0		Build the language barrier.
Writing skill	3.0 / 5.0		Read more, study and learning.
Ability to work in a team	3.5 / 5.0		Learn to work with others.
Honest and respectful	5.0 / 5.0		
Other			
Overall Performance	4.0 / 5.0	Disqualified	

We have discussed the student's performance for the year and action plans for improving any areas that are listed above. The advisor explained his/her expectation for the student's improvement and how he/she would guide the student. The student understands that his/her advisor's critical feedback is invaluable to improve his/her progress towards a PhD.

Advisor: Signed Y. J. Kim Date: 14/11/2021

Student: Signed Qian Yu Date: 14/11/2021

2

Evaluation Sheet:

- This form must be filled out by the advisor and student separately before meeting, then discussed and signed by both.
- This is to ensure that the student knows how he/she is performing overall, what you think his/her strengths and weaknesses are towards completing a PhD, and what needs to be improved. It is also to ensure that career issues are discussed at least once a year between the student and mentor.
- After discussion, the final form must be filled out by the advisor, signed both by students and advisor, and submitted to the department chair.

Please rank the student's level in the following areas (add areas if needed):

	Student's Score (S)	Advisor's Score (A)	Comments
Motivation	3.0	3	6/12/21 consider to finish your project.
Work ethic / hardworking	3.0	3	to get your motivation boosted up.
Initiative	2.5	2.5	You need to spend more time in lab.
Spontaneous / Sacrificial	3.0	3	
Literature	2.0	2	You need to read more papers.
Experimental design	2.5	3	
Experimental skill	2.5	3	
Analytical abilities	2.5	3	
Critical thinking	2.0	2	Put more time into your work.
Organization / lab note	3.0	3	
On schedule to PhD	3.0	3	Complete schedule Feb. 2024.
Responsibility	3.0	3	
Participation in lab meetings	2.0	3	
Presentation skills	2.0	2	
Writing skill	2.0	2	
Ability to work in a team	3.0	3	
Honest and respectful	3.0	3	
Other			
Overall Performance	2.5	2.5	Qualified

We have discussed the student's performance for the year and action plans for improving any areas that are listed above. The advisor explained his/her expectation for the student's improvement and how he/she would guide the student. The student understands that his/her advisor's critical feedback is invaluable to improve his/her progress towards a PhD.

Advisor: Signed Y. J. Kim Date: 14/11/2021

Student: Signed Qian Yu Date: 14/11/2021

2

- 강의교과목 이수학점 과다 문제 개선:** 현재 본 대학원은 졸업요건 중 강의교과목 이수학점이 석사과정 30학점, 박사과정 30학점, 석박사 통합과정 57학점으로 벤치마킹 대학인 위스콘신 주립대뿐 아니라 국내 경쟁 대학원에 비해서도 매우 높은 편이다. 높은 교과목 이수학점을 요구하는 학사 제도는 본교 대학원생들의 연구에 몰입할 수 있는 시간이 절대적으로 부족하다는 문제를 초래한다. 이를 해결하기 위해 졸업 요건 학점을 낮추는 방안을 모색하려 하였다. 본 교육연구팀이 소속된 중앙대학교 대학원 교육지원팀 및 교무처 학사팀과 상의한 결과 중앙대학교 자연과학 대학 타 학과들의 동의를 얻는다는 조건 하에 대학원생 강의교과목 이수학점을 경감하는 방향으로 학사 개편을 하기로 하였다. 그러나, 대학원생 강의교과목 이수학점 경감에 대해 중앙대학교 자연과학대학 타 학과들은 본 교육연구팀이 소속된 화학과와 입장이 달라 사업기간 내에 학사과정을 개편하는 데에 큰 어려움이 있었다. 그러나, 교육 연계형 대학원 강의교과목들을 집중적으로 개발하여 강의교과목 이수학점 과다로 연구에 몰입할 수 있는 시간이 부족한 문제를 실질적으로 해소하였다.

■ 교육과정 운영 실적

- 참여 교수들의 지속적이고 충실한 대학원 강의:** 본 교육연구팀 소속 교수들은 적어도 한 학기에 한 과목 이상 대학원 강의를 맡아 함으로써 학생들 교육에 적극적으로 참여하고 있다. 지난 5학기 동안 참여교수들이 개설하였던 대학원 교과목을 아래 표에 제시하였다.

[표 II-5] 평가 기간 내 참여 교수들 대학원 강의 실적

학기	과목명	담당 교수	이수 구분	영어강의 여부
2020-2	고급나노플라즈모닉스	윤상운	전공선택	영어강의
	바이오센서 및 미세소자	주재범	전공선택	영어강의
	고급무기화학	윤성호	전공필수	영어강의
2021-1	생물리화학	성재영	전공필수	영어강의
	반응속도론	윤상운	전공필수	영어강의
	유기화학특론	조은진	전공필수	영어강의
	기기분석학	주재범	전공선택	
2021-2 ⁽³⁾	물리화학연구및실험	윤상운	전공선택	영어강의
	유기분광학	조은진	전공필수	영어강의
	나노바이오분석학	주재범	전공필수	
	무기고체화학	윤성호	전공필수	
	인공지능응용화학 ⁽¹⁾	김지현 ⁽²⁾	전공선택	
2022-1 ⁽³⁾	통계열역학	성재영	전공필수	영어강의
	재료물리화학	윤상운	전공필수	영어강의
	광유기화학 ⁽¹⁾	조은진	전공필수	영어강의
	생무기화학 ⁽¹⁾	윤성호	전공필수	
	분석화학특수연구1	주재범	전공필수	
2022-2 ⁽⁴⁾	바이오센서 및 미세소자	주재범	전공선택	영어강의
	유기분광학	조은진	전공필수	영어강의
	무기화학특강2	윤성호	전공선택	
	바이오재료화학	박태정	전공선택	영어강의
	인공지능응용화학 ⁽¹⁾	김지현 ⁽²⁾	전공선택	

⁽¹⁾신설 또는 개편된 생물리광화학 세부전공 교과목

⁽²⁾본 교육연구팀 소속 연구교수

⁽³⁾박태정 교수 연구년

⁽⁴⁾윤상운 교수 연구년

- 화학콜로키움 운영:** 본 교육연구팀은 BK21 FOUR 사업이 시작된 이래로 대학원생들이 최신 연구 성과를 접하고 연구 동향을 파악할 수 있도록 외부 연구기관의 우수한 연구자들을 초청하여 정기적으로 화학콜로키움을 개최해왔다. 특히 코로나19라는 악재 속에서도 방역수칙을 준수하며 연사와 본 교육연구팀 교수들은 대면으로, 학생들은 비대면 Zoom으로 참여하는 방식으로 프로그램을 지속적으로 운영하였다. 또한, 포스터 제작을 통해 홍보 효과를 높이고 학생들에게 연사들의 대표 논문을 미리 읽어 오게 하고 적극적인 참여를 유도함으로써 활발한 콜로키움이 이루어지도록 해 방문한 연사들로부터 모범적인 콜로키움이라는 찬사를 받아왔다. 아래 표에 지난 5학기 동안의 콜로키움 연사와 제작한 포스터 예시를 나타내었다.

[표 II-6] 평가 기간 내 화학콜로키움 일정 및 연사

2020-2	2021-1	2021-2	2022-1	2022-2
9/10 서울대 권용훈	3/11 대구대 김영민	9/9 경희대 김광표	3/10 서울대 정택동	9/8 서강대 나정걸
9/17 동국대 김영관	3/18 차의과대 고성호	9/16 서울대병원	3/24 카이스트	9/15 고려대 정아람
9/24 건국대 김동은	3/25 충남대 배제현	김정민	3/31 이영민	9/22 세종대 임태규

10/08 KIST 이관희	4/01 군산대 최한규	9/30 카이스트 정용원	4/07 한양대 이준석	9/28 강원대 이필호
10/15 KBSI 이계행	4/08 한양대 김영필	10/07 성균관대 박성호	4/28 한양대 조천규	10/6 인하대 조창범
10/29 서울시립대 유권열	4/15 부산대 양해식	10/28 서울대 이윤호	5/12 DGIST 성주영	10/13 한국공학대 신영희
11/05 GIST 김준현	4/29 한양대 이상욱	11/4 서울대 이철범	5/19 서울대 남좌민	10/27 연세대 손창호
11/12 KAIST 김상규	5/06 KAIST 박기영	11/11 광운대 장홍제	5/26 숙명여대	11/3 인하대 정시원
11/19 서울대 장호원	5/13 서강대 권용석	11/25 한국세라믹기술 원 조중영	6/02 이민희	11/10 한양대 위정재
11/26 UNIST 안광진	5/20 이화여대 김현우	12/02 UNIST 민두영	6/09 이화여대 박소정	11/17 한국재료연구원 박성규
12/03 부산대 최정모	5/27 DGIST 이종찬	12/09 경희대 양성익	고려대 김웅	12/1 고려과학원 현창봉
12/10 포항공대 정규열	6/03 UNIST 나명수		고려대 이상원	12/8 UNIST 조재홍

2020년 2학기 화학과 콜로키움
매주 목요일 오후 5시, 102관 110호

9월 10일 서울대 응용생명화학부 권용훈 교수님
Functionalized Small & Medium Carbocycles

9월 17일 동국대 화학과 김영관 교수님
Laser Desorption/Ionization Time-of-Flight Mass Spectrometry Analysis of Nanomaterials and Their Applications for Small Molecule Analysis

9월 24일 건국대 융합생명과학과 김동은 교수님
Application of Graphene Oxide in Nucleic Acid Biochemistry: Genetic Diagnosis, PCR, and Gene Delivery

10월 8일 KIST 이관희 박사님
Harnessing Electrical Biosensors and Artificial Intelligence for Clinical Applications

10월 15일 한국기초과학지원연구원 이계형 박사님
Morphologically Homogeneous Gold Nanospheres

10월 29일 서울시립대 생명과학과 유권열 교수님
Free Ubiquitin: A Novel Therapeutic Target for Neurodegenerative Diseases

11월 5일 GIST 고등광물소재연구소 김준현 박사님
Gold Nanoparticles: Shape-Dependent Optical Property & Applications

11월 12일 KAIST 화학과 김상규 교수님
Excited State Reaction Dynamics of Molecules and Anions

11월 19일 서울대 재료공학부 권주 권 교수님
Resistive Switching in Halide Perovskites

11월 26일 UNIST 에너지 및 화학공학부 안광진 교수님
나노입자를 이용한 촉매 응용연구

12월 3일 부산대 화학과 최정모 교수님
Molecular Grammar of Biomolecular Phase Separation

12월 10일 POSTECH 화학공학과 정규열 교수님
Microbial Synthetic Biology: Industrial and Diagnostic Applications

중앙대학교 NBDRC 4단계 BK21 학생들은 Zoom으로 참여하세요

2021년 1학기 화학과 콜로키움
매주 목요일 오후 5시, 102관 110호

3월 11일 대구대 환경공학과 김영민 교수님
Pyrolyzer-gas chromatography/mass spectrometry를 이용한 미세플라스틱 및 고분자 구조분석

3월 18일 자외선과 바이오프로세스 및 고분자 구조분석

3월 25일 충남대 분석화학기술학과 배재원 교수님
Organ-on-chips as alternatives to animal testing for new drug development

4월 1일 KAIST 화학과 박기영 교수님
Understanding the reaction mechanisms of photo-chemical reaction with Raman spectroscopy

4월 8일 한양대 생명과학과 김영필 교수님
Self-Luminescent Photodynamic Cancer Therapy

4월 15일 부산대 화학과 양해식 교수님
Electrochemical biosensors for sensitive and simple detection

4월 29일 한양대 ERICA 화학분자공학과 이상욱 교수님
Physical and Computational Chemistry in Nano-energy Chemistry

5월 6일 KAIST 화학과 박기영 교수님
Lessons from electronic structures: light and O2 utilization for organonickel chemistry

5월 13일 서강대 화학과 권용석 교수님
Catalytic Asymmetric Control of P(H)-Stereogenic Center using Chiral Phosphoric Acids

5월 20일 이화여대 화학나노과학과 김현우 교수님
Electrifying Organic Chemistry: Old Dog New Tricks

5월 27일 DGIST 뉴바이오프로세스학과 이종찬 교수님
STED super-resolution optical microscopy: the principle and the breakthroughs

6월 3일 UNIST 화학과 나명수 교수님
Post-synthetic Modifications of Metal-Organic Frameworks

6월 10일 UNIST 바이오메디칼공학과 조승우 교수님
Epigenome editing for disease-associated regulatory elements

중앙대학교 NBDRC 4단계 BK21 학생들은 Zoom으로 참여하세요

2021년 2학기 화학과 콜로키움
매주 목요일 오후 5시, 102관 110호

09월 09일 경희대 응용화학 및 광공표 교수님
Integrating Proteomics, Genomics and Metabolomics to Unleash Biological Function

09월 16일 서울대병원 김정민 교수님
Bone and Stroke: Possible Link between the Two

09월 30일 카이스트 화학과 정용원 교수님
Artificial Protein Assembly and Protein Phase Separation

10월 07일 성균관대 화학과 박성호 교수님
Synthetic Strategy for Nanoparticle Shape-Reformation: Single Particle Surface Enhanced Raman Scattering through Near-field Enhancement

10월 28일 서울대 화학과 이윤호 교수님
Organometallic Catalysis Based on First-row Transition Metal Complexes

11월 04일 서울대 화학과 이철범 교수님
Recent Developments in Strategies and Tactics Towards Complex Secondary Metabolites

11월 11일 광운대 화학과 장홍제 교수님
Controlling Factors to Rule the Galvanic Replacement for Structural Differentiation

11월 25일 한국세라믹기술원 조중영 박사님
Structural and Physical Properties for Single Crystalline TMDs Materials Grown by Molten Flux Method

12월 02일 UNIST 화학과 민두영 교수님
Proteins on the Membrane: Unfolding Their Folding

12월 09일 경희대 응용화학 및 광공표 교수님
Photochromic Reactivity of Diarylethene Derivatives

중앙대학교 NBDRC 4단계 BK21 학생들은 Zoom으로 참여하세요

2022년 1학기 화학과 콜로키움
매주 목요일 오후 5시, 102관 106호

03월 10일 서울대 화학부 정택동 교수님
Electrochemistry at Nano Niche

03월 17일 한양대 화학과 조천규 교수님
Interplay of Methodology Development and Natural Product Synthesis

03월 24일 카이스트 화학과 이영민 교수님
On the Role of Vibrations in Excitation Energy Transfer Dynamics in Natural and Artificial Systems

03월 31일 한양대 화학과 이준석 교수님
Functional Nanomaterials for Healthcare Applications

04월 28일 DIGIST 신물질과학전공 성주영 교수님
Deciphering Hidden Charge Carrier Dynamics in Perovskite Thin Films and Quantum Dot Solids

05월 12일 서울대 화학부 남좌민 교수님
Design and Synthesis of Plasmonic Gap Nanostructures for Biomedical Applications

05월 19일 숙명여대 화학과 이민희 교수님
Fluorescent Probes for Simultaneous Monitoring of Multifactor: Rational Design, Synthesis, and Application to Living Cells

05월 26일 이화여대 화학-나노과학과 박소정 교수님
Controlled Assembly of Plasmonic Nanoparticles

06월 02일 고려대 신소재공학과 김웅 교수님
Enhancement of the Power and Energy Densities of Supercapacitors

06월 09일 고려대 화학과 이상원 교수님
Developing Core Photocatalytic Technologies to Establish Precision Oncology: Cases of Refractory Cancers

중앙대학교 NBDRC 4단계 BK21 학생들은 Zoom으로 참여하세요

2022년 2학기 화학과 콜로키움
매주 목요일 오후 5시, 102관 106호

09월 08일 서강대 생명과학과 나정열 연사님
미세 유체공학의 키워드: 탄소중립

09월 15일 고려대 바이오의공학부 정아람 연사님
Microfluidic Platforms for Cellular Engineering and Genome Editing

09월 22일 세종대 식품생명공학과 임태규 연사님
Acceleration of Skin Inflammation by Particulate Matter

09월 28일 (수) 강원대 화학과 이필호 연사님
B-H Functionalization of o-Carborane

10월 06일 인하대 화학과 조창범 연사님
Tailoring the Adsorption Property of Aluminosilicate Zeolites by Post-synthetic Functionalization

10월 13일 한국공학대 생명화학공학과 신영희 연사님
Exploration of Sequence-based Design for Helical α/β/γ-Peptide Foldamer

10월 27일 연세대 고등과학원 손창호 연사님
Frontiers in Single Cell Analysis Technologies by Sequencing and Imaging

11월 03일 인하대 화학과 정시원 연사님
Utility of the N-silyl Enamines for the Synthesis of Novel N-heterocycles and Functional Molecules

11월 10일 한양대 유기나노공학과 위정재 연사님
후후 공지

11월 17일 한국재료연구원 박성규 연사님
Highly Sensitive and Reproducible Molecular Detection Using 3D Nanoplasmonic Substrates

11월 24일 한국기초과학지원연구원 이명주 연사님
Solid State NMR Research in Renewable Energy Materials and Green Chemical Process

12월 01일 고등과학원 현창봉 연사님
Molecular Chaperones as Nonequilibrium Annealing Machines

12월 08일 UNIST 화학과 조재홍 연사님
Biospired Coordination Chemistry for Drug Development & Energy Conversion

중앙대학교 NBDRC 4단계 BK21 학생들은 Zoom으로 참여하세요

- 대학원생 기본 소양 교육을 위한 비교과 교육과정 운영 (연구교양과목): 위스콘신 주립대, 난양공대 등의 해외 우수 대학에서는 연구윤리, 논문작성법, 데이터 분석법 등 다양한 비교과 강좌를 개설하여 대학원생들이 연구자로서 기본 소양을 갖추도록 교육하고 있다. 본 교육연구팀도 지난 5학기 동안 아래 표와 같은 비교과 교육과정을 시행하였다.

[표 II-7] 평가 기간 내 비교과 교육과정 이수 실적

강좌명	수강내용	수강자	지도교수	수강년월
학술정보 활용교육 - EndNote 시작하기 (초급)	논문작성 시 필요한 참고문헌 정리 프로그램인 EndNote 활용 방법 교육	윤하영	윤성호	202011
연구윤리 사이버강좌	표절, authorship, 연구실 내 연구환경 등에 대한 연구윤리 사이버 교육	김석현 외 45인	성재영 외 5인	202011
연구윤리 사이버강좌	표절, authorship, 연구실 내 연구환경 등에 대한 연구윤리 사이버 교육	박주환 외 13인	조은진 외 5인	202105
학술정보 활용교육 - EndNote 시작하기 (초급)	논문작성 시 필요한 참고문헌 정리 프로그램인 EndNote 활용 방법 교육	박주환	윤상운	202201
연구윤리 및 논문작성법	연구실 관리 및 논문 작성에 필요한 윤리의식, 안전, 그리고 논문작성법에 관한 사이버 교육	박주환 외 3	윤상운 외 1인	202206
연구윤리 및 논문작성법	연구실 관리 및 논문 작성에 필요한 윤리의식, 안전, 그리고 논문작성법에 관한 사이버 교육	김수민 외 3	박태정	202209
영어논문 작성법	과학적인 논문 구조화 방법 및 효과적인 초록 작성법 등 국제학술지 영어 논문 작성에 대한 교육	김석현 외 2인	윤상운	202211
화학 DB: SciFinder-n(심화)	화학분야 전문 DB: SciFinder-n 심화 활용 방법에 대한 교육	김석현 외 2인	윤상운	202211
12월 영어논문 작성법 온라인 특강	논리적 연구 논문 작성법 및 국제학술지 영어 논문 작성에 대한 사이버 교육	김석현	윤상운	202212
학술정보 활용교육 - EndNote 활용(초급)	Endnot 설치와 기능 이해 및 EndNote를 활용한 내 참고문헌 관리 등 논문 작성에 대한 교육	윤석현 외 1인	윤상운	202301

■ 교육-연구 선순환 구조 구축을 통한 연구력 강화 프로그램 운영 실적

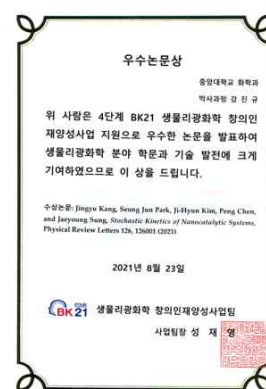
본 교육연구팀은 다양한 프로그램을 통해 학생들이 받는 교육적 내용이 연구 성과로 이어지고, 또 반대로 연구 성과가 교육에 반영되도록 하는 교육-연구 선순환 구조를 구축하고자 노력하였다.

- 교육-연구 연계형 교과목 운영:** 수업을 통해 생물리광화학 관련 과학기술 문제, 산업 및 사회 문제 해결 관련 연구 내용을 강의 콘텐츠로 제공하고 문제 해결형 연구 수행을 과제로 제시함으로써 교육 결과가 문제 해결이나 논문 출판 등으로 이어질 수 있도록 하여 교육-연구 선순환 구조를 구축하고 있다. 본 교육연구팀 계획에 맞춰 교육-연구 연계형 과목으로 2021학년도 2학기에 인공지능 응용화학을 개설하였다. 이 과목은 Technical University-Darmstadt Human Resources Department의 인공지능 분야 전문가인 Luke Bates 연구원과 이론화학분야 전문가인 세포화학동력학 연구단의 김지현 교수의 팀티칭으로 진행되었으며 이 수업을 통해 본 교육연구팀 소속 정인춘 박사과정 학생이 인공지능 패혈증 진단 시스템을 개발한 바 있다.
- “우수논문상” 시상:** 2021년 1학기 말부터 우수 논문상 시상을 시작하여 매년 가장 우수한 연구 성과를 거둔 학생들에게 “우수 논문상”을 시상하여, 학생들의 연구 동기를 고취하였다. 아래에 수상자 명단을 첨부하였다.

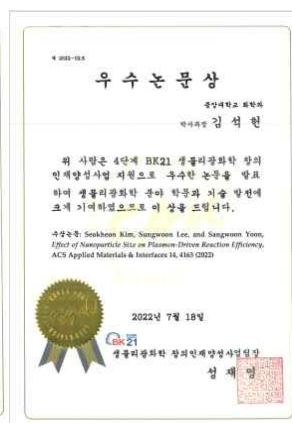
[표 II-8] 평가 기간 내 우수논문상 수상자 명단

회차	수상자 이름	학위과 정	지도 교수	논문 제목	게재 저널
제1회 (2021.8)	강진규	박사	성재영	Stochastic kinetics of nanocatalytic systems	Physical Review Letters (2021.03.24)
	당하준	석박사 통합	주재범	Reproducible and sensitive plasmonic sensing platforms based on Au-nanoparticle-internalized nanodimpled substrates	Advanced Functional Materials (2021.07.28)
	박홍진	박사	윤성호	CO ₂ hydrogenation into formate and methyl formate using Ru molecular catalysts supported on NNN pincer porous organic polymers	Inorganic Chemistry Frontiers (2020.11.10)
	황호성	석박사 통합	조은진	Complementary reactivity in selective radical processes: Electrochemistry of oxadiazolines to quinazolinones	Organic Letters (2021.07.2)
	Huynh Thi Minh Ly	박사	윤상운	Plasmon-driven protodeboronation reactions in nanogaps	Nanoscale (2020.11.24)
	Anam Rana Gul	박사	박태정	Grass-mediated biogenic synthesis of silver nanoparticles and their drug delivery evaluation: A biocompatible anti-cancer therapy	Chemical Engineering Journal (2021.03.1)
제2회 (2022.7)	윤하영	석박사 통합	윤성호	Eco-friendly and techno-economic conversion of CO ₂ into calcium formate, a valuable resource	Green Chemistry (2022.01.17)
	박소현	석박사 통합	주재범	Sensitive and reproducible detection of SARS-CoV-2 using SERS-based microdroplet sensor	Chemical Engineering Journal (2022.05.20)
	김민우	석박사 통합	박태정	Rational design of bienzyme nanoparticles-based total cholesterol electrochemical sensors and the construction of cholesterol oxidase expression system	Sensors and Actuators: B. Chemical (2021.09.13)
	김석현	박사	윤상운	Effect of Nanoparticle Size on Plasmon-Driven Reaction Efficiency	ACS Applied Materials & Interfaces (2022.01.10)
	Shrikant D. Tambe	박사	조은진	Nickel-Catalyzed Enantioselective Synthesis of 2,3,4-Trisubstituted 3-Pyrrolines	Angewandte Chemie International Edition (2022.05.04)

<제1회(2021년 8월) 우수 논문상 시상식>



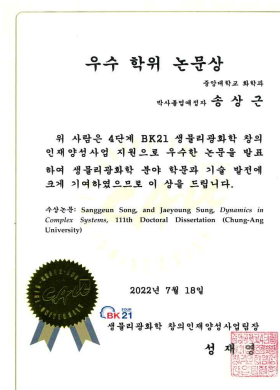
<제2회(2022년 7월) 우수 논문상 시상식>



- “우수 학위 논문상” 및 “신진연구인력 우수 논문상” 시상: 2022년 7월부터 “BK21 우수 학위 논문상”과 “BK21 신진연구인력 우수 논문상”을 신설하여 수상하였다.

[표 II-9] 평가 기간 내 우수 학위 논문상 수상자

시상일	수상자 이름	지도교수	학위 논문 제목
2022.7.19.	송상근	성재영	Dynamics in Complex Systems



[표 II-10] 평가 기간 내 신진연구인력 우수 논문상 수상자

시상일	수상자 이름	논문 제목	게재 저널
2022.7.19.	최명길	Fluorometric analysis of periodate based on the oxidation of 2-acetylnaphthol phenylselenoether: Application to the assay of regenerated periodate	Sensors and Actuators: B. Chemical (2021.9.17)



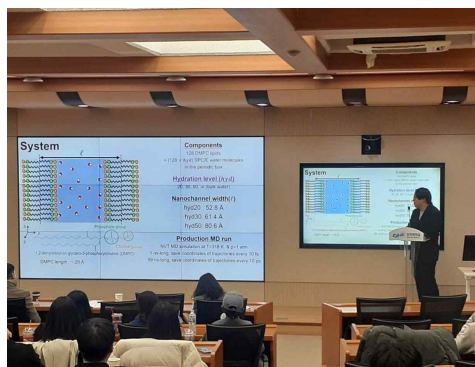
- BK21 생물리광화학 대학원생초청 특별세미나 시행: 학생들이 직접 연사를 초청하고 세미나 후 교류할 수 있는 자리를 가지며 외부 연구자로부터 멘토링 받을 수 있는 기회를 얻기 위해 다음과 같이 2022년부터 매년 여름 “생물리광화학 학생초청 특별세미나”를 개최하였다.

[표 II-11] 평가 기간 내 생물리광화학 대학원생 초청 특별세미나 실시 내역

일시	연사	발표 제목	초청 학생들	지도교수
20220714	장석복 교수 (KAIST 화학과)	Development of C-H Amidation Reactions via Nitrenoid Transfer Pathway	황호성	조은진
20220720	최정모 교수님 (부산대 화학과)	Phase Transition of Biopolymers : Application of Associative Polymer Theory	원재혁	성재영
20220818	홍석원 교수님 (GIST 화학과)	Transition-Metal Catalysts for Sustainable Chemistry	윤하영	윤성호



- ‘중앙대 화학과 및 BK21 대학원생 학술문화축제’ 신설 및 운영: 본 교육연구팀과 소속 학과 대학원생들을 연사로 하는 정기 세미나 프로그램을 신설하고 세미나 전후로 대학원생들이 모두 참여하는 학술문화축제를 개최함으로써 대학원생들간 친목과 공동 연구를 진작시키고자 하였다. 코로나19 때문에 첫 2년간 유예하였다가, 코로나19가 엔데믹으로 전환됨에 따라 2023년 1월 9일 첫 학술문화축제를 개최하였다. BK21 사업의 성과가 학과 전체로 확산시키기 위해 BK21이 후원하는 전체 학과 행사로 치러졌으며 총 82명(BK21사업 참여 대학원생 44명)이 참여하여 성황리에 진행되었다. 아래 표와 같이 5명의 대학원생이 구두발표, 18명의 대학원생이 포스터를 발표하였다.



[표 II-12] 1차 중앙대 화학과 및 BK21 대학원생 학술문화축제 발표명단

NO	구분	발표자	제목	지도교수
1	구두	이권중	Design and Synthesis of the Sequence-Variable Macrocyclic Peptides Controlled with Orthogonal Stimuli	권선범
2	구두	이민호	Hydration level dependent diffusional heterogeneity of water molecule confined between lipid bilayer membranes	성재영
3	구두	박홍진	Enhanced CO ₂ hydrogenation into methyl formate using Ru catalyst supported on NNN pincer-type porous organic polymers with post modification	윤성호
4	구두	장시욱	Production and Characterization of Salty Peptide by Yeast <i>Kluyveromyces lactis</i>	공광훈
5	구두	김형민	Geographical Discrimination of Asian Red Pepper Powders Using ¹ H NMR Spectroscopy and Artificial Intelligence: Comparison of PCA-LDA, SVM, and CNN Methods	안상두

6	포스터	김서연	Ni-catalyzed stereospecific allene synthesis through inverse selectivity enabled by ligand H-bonding	조은진
7	포스터	이우인	Nickel-Catalyzed α -Arylated Enone Synthesis of Primary Propargyl Acetate	조은진
8	포스터	정인춘	Deep learning based model for early prediction of sepsis	성재영
9	포스터	원재혁	Mathematical model of synthetic microbial consortia for improved biochemical production	성재영
10	포스터	Hoa Duc Trinh	Core-Satellite-Satellite Hierarchical Nanostructures: Assembly, Plasmon Coupling, and Gap-Selective Surface-Enhanced Raman Scattering	윤상운
11	포스터	김석현	Effect of Nanoparticle Size on Plasmon-Driven Reaction Efficiency	윤상운
12	포스터	지상민	Correlation between cell-cell interaction and membrane fluidity	고혜란
13	포스터	김형기	Single-molecule investigation of nucleic acids unwinding by SARS-CoV-2 nsp13 helicase	고혜란
14	포스터	윤하영	CO ₂ is used to kinetically resolve Mg ²⁺ ion from Ca ²⁺ ion in CaMg(CO ₃) ₂ Dolomite	윤성호
15	포스터	문석영	A study on the deactivation behavior of TBR carbon dioxide hydrogenation system catalyst by carbon monoxide	윤성호
16	포스터	신지애	Production and characterization of the sweet-tasting protein in the yeasts Kluyveromyces lactis and Saccharomyces cerevisiae	공광훈
17	포스터	김태희	Development of fluorometric aptasensor for okadaic acid with graphene oxide as a quencher	박태정
18	포스터	송경배	Nanoplastics and Microplastics could penetrate and exhibit adverse effect to skin	홍성관
19	포스터	김보경	Long-term treatment of microplastics induces metabolic disorder in mice	홍성관
20	포스터	정연주	Rapid and accurate on-site immunodiagnostics of highly contagious SARS-CoV-2 using portable SERS-LFA reader	주재범
21	포스터	박소현	Sensitive and reproducible detection of SARS-CoV-2 using SERS-based microdroplet sensor	주재범
22	포스터	여늘휘	Artificial intelligence analysis of ¹ H NMR spectra for discriminating the geographical origin of Asian red pepper powder	안상두
23	포스터	박도윤	Simultaneous Purity Assessment of Structurally Similar Substances by Quantitative ³¹ P NMR Spectroscopy	안상두

- **우수한 연구 인프라의 교육적 활용:** 강의교과목들에서 대형 R&D 장비 활용법을 담당 전문인력의 특강 형태로 제공함으로써 교육과 연구 수행 간 시너지 효과를 가질 수 있도록 하고자 하였다. 아래와 같이 중앙대학교 공동기기센터 야간 특강을 이용해 대형 R&D 장비에 대한 교육이 이루어졌다.

[표 II-13] 평가 기간 내 R&D 장비 교육 현황

	장비명	강사	수강자	지도교수	교육년월	교육시간
1차년도 (2020.9-2021.8)	FE-TEM	김민석	김석현	윤상운	202105	10시간
			박주환		202105	10시간
			문정일	주재범	202008	10시간
			박소현		202008	10시간
	XRD	한철경	문석영	윤성호	202101	2시간
	SEM	김민석	문석영		202102	2시간
	600 MHz NMR	홍태영	윤하영		202107	2시간
			문석영		202104	2시간
	FE-SEM	김민석	이성운	윤상운	202106	3시간
			김석현		202106	3시간
			박주환		202106	3시간
			Trinh Duc Hoa		202108	3시간
			Huynh Thi Minh Ly		202108	3시간
			김민우	박태정	202107	3시간
			이대연		202107	3시간
			Ruth Stephanie		202107	3시간
			박찬영		202107	3시간
			이소연		202108	3시간
2차년도 (2021.9-2022.8)	FE-TEM	김민석	당하준	주재범	202111	2시간
	FE-SEM	김민석	Mengdan Lu		202206	5시간
	FE-SEM	김민석	문석영	윤성호	202112	2시간
	300 MHz NMR	홍태영	Ali Hasnain		202207	1시간
	SC-XRD	한철경	황호성	조은진	202201	5시간
	FE-SEM	김민석	윤석현	윤상운	202203	10시간
	FE-TEM	김민석	김석현		202205	5시간
			박주환		202205	5시간
3차년도 (2022.9-2023.2)	600 MHz NMR	홍태영	Ali Hasnain	윤성호	202210	2시간
	300 MHz NMR	이한별	김수민	박태정	202301	1시간
	EDS	이한별	김태희		202302	2시간
			김수민		202302	2시간
			Ruth Stephanie		202302	2시간
			Madhura Pradeep Deshpande		202302	2시간
					202302	2시간

- **학습-교육 (Learning-Teaching) 연계 활동 성과:** 가르치는 활동은 자신이 알고 있는 지식을 공고히 할 수 있을 뿐 아니라 실험실에서의 연구를 새로운 관점에서 바라볼 수 있게 해 주는 좋은 기회를 제공한다. 본 교육연구팀은 학생들에게 실험조교로서 교육 경험을 쌓을 것을 장려하고 있으며 매 학기 Best TA Award를 시상하여 학생들을 격려하고 있다.

[표II-14] 평가 기간 내 Best TA Award 수상자

	수상자
2020-2	홍승우 권소연
2021-1	이윤정 김석윤
2021-2	김서연 이우인 홍승우
2022-1	박도운 정나희 김진형
2022-2	박찬후 김형민

제4회 (2020-2학기)
화학과 Best TA Award
Goes to




홍승우 권소연

Congratulations !

시상식: 2021년 3월 4일 목요일 5시
102관 110호

제5회 (2021-1학기)
화학과 Best TA Award
Goes to




이윤정 김석윤

Congratulations !

시상식: 2021년 9월 2일 목요일 5시
102관 110호

제6회 (2021-2학기)
화학과 Best TA Award
Goes to





김서연 이우인 홍승우
(공로상)

Congratulations !

시상식: 2022년 3월 3일 목요일 5시
102관 106호

제7회 (2022-1학기)
화학과 Best TA Award
Goes to





박도운 정나희 김진형
(공로상)

Congratulations !

시상식: 2022년 9월 1일 목요일 5시
102관 106호

제8회 (2022-2학기)
화학과 Best TA Award
Goes to




박찬후 김형민
(공로상)

Congratulations !

시상식: 2023년 3월 16일 목요일 5시
102관 106호

1.2 과학기술·산업·사회 문제 해결과 관련된 교육 프로그램 현황과 구성 및 운영 실적

■ 과학기술·산업·사회 문제 해결형 교과 프로그램 신설

본 교육연구팀이 특성화된 생물리광화학 관련 “생명” 과 “에너지” 분야에서 해결하고자 하는 과학기술·산업·사회 문제는 다음과 같다.

[표 II-15] 생물리광화학 관련 생명/에너지 분야 과학기술, 산업 및 사회 문제

문제	생명	에너지
과학기술	생명현상의 화학적 이해 방법	광 기반 전자 및 에너지 전달 이해
산업 및 사회	인공지능 의료산업 응용 방법, 코로나 및 감염병 신속대응	에너지 고갈 문제, 기후변화 등의 환경 문제

이를 위해 기존 교과목 외에 아래와 같은 3개 교과목을 계획대로 신설하였다.

[표 II-16] 평가 기간 내 생물리광화학 관련 과학기술, 산업, 사회 문제 해결형 교과목 신설

분야	교과목	신설 학기
생명 트랙	생무기화학	2022년 1학기
	인공지능응용화학	2021년 2학기
에너지 트랙	광유기화학	2022년 1학기

■ 과학기술·산업·사회 문제 해결형 비교과 프로그램

- 세포화학동력학(Chemical Dynamics in Living Cells) 특별세미나: 대학원생들이 최근 이슈가 되고 있는 생물리광화학 관련 과학기술문제를 이해하고 문제해결형 연구를 모색할 기회를 폭넓게 가질 수 있도록 특별세미나 시리즈를 콜로키움과 병행해 비교과 교육프로그램으로 운영하고 있다. 대표적 비교과 특별세미나 프로그램 예로 다음과 같이 세포화학동력학(CDLC) 세미나 시리즈를 개최하였다. 지난 5학기 동안 총 36회의 세포화학동력학 세미나를 개최함으로써 학생들이 다양한 연구 주제를 접할 기회를 제공하였다.

[표 II-17] 평가 기간 내 세포화학동력학(Chemical Dynamics in Living Cells) 창의연구단 & BK21 조인트 세미나 개최 실적

날짜	이름	소속	세미나 주제
20201012	박정원	서울대학교	Colloidal nanoparticles directly observed by multi-dimensional liquid phase TEM
20201110	김동은	건국대학교	Application of graphene oxide and liposome for molecular diagnosis and targeted drug delivery to cancer cells
20201229	손동희	Texas A&M University	What can we gain from imposing strong quantum confinement on the perovskite nanostructures?
20201222	장호원	서울대학교	Memristive materials for artificial synapses
20210219	Peng Chen	Cornell University	Single-molecule polymerization dynamics
20210420	신용대	서울대학교	Technologies to control and measure intracellular phase separation
20210702	유권열	서울시립대학교	살아있는 세포 내 protein degradation dynamics 와 signaling
20210824	김광표	경희대학교	A comprehensive multi-omics approach for biomedical researches: integrating proteomics, genomics and metabolomics to unlock biological function
20211005	최우준	중앙대학교	Imaging dynamics in living systems
20211021	양성호	한국교원대학교	Crystals in a Hydrogel
20211126	이창수	충남대학교	Microfluidic Systems for Understanding Biology

20211207	배상수	한양대학교	Current Status and Challenges in Genome Editing
20220110	민두영	UNIST	Membrane protein의 mechanical unfolding
20220609	이상원	고려대학교	Developing Core Proteogenomic Technologies to Establish Precision Oncology Cases of Refractory Cancers
20220621	손창윤	포항공과대학교	Predictive Molecular Simulations for Charged Interfaces: From Energy Materials to Biomacromolecules
20220706	성주영	DGIST	Deciphering Hidden Charge Carrier in Perovskite Thin Films by Transient Absorption Microscopy
20220712	장석주	CUNY	New advances in quantum and generalized master equation approaches for exciton and charge transport dynamics
20220715	손동희	Texas A&M University	How photoinduced halide exchange in perovskite quantum dots enables radical -based photochemistry
20220719	황성주	연세대학교	Interface- and defect-engineering for 2D nanosheet-based energy-function hybrid
20220722	박효근	HKUST	Unique Dynamics of Inhibitory Synaptic Vesicles for Fast and Efficient Synaptic Transmission
20220803	이상학	부산대학교	Neurodegenerative Diseases from the Chemical Force Point of View
20220930	장영태	포항공과대학교	Strategy for live cell distinction by fluorescent imaging probe
20221011	남좌민	서울대학교	Synthesis, Plasmonics and Biosensing Applications of Metal Nanoparticles
20221104	은창선	한국외국어대학교	Computational Studies on Molecular Transport through a Nanochannel
20221115	오한빈	서강대학교	질량분석법, 적외선 분광법 연구 및 머신러닝 기법의 다양한 분석연구에의 활용
20221122	구근호	KENTECH	Data-science accelerated catalysis and materials research
20221129	정소희	성균관대학교	InP tetrapods: Synthesis, surface chemistry, and optical properties
20221213	안태규	성균관대학교	Entanglement of Perovskite Solar Devices with Spectroscopy
20221213	박효근	HKUST	Real-time imaging of single myosin X molecules
20221220	손창호	연세대학교	Frontiers in Sequencing and Imaging-based single-cell analysis platforms
20221228	이승욱	University of California, Berkeley	Bio-inspired Material Assembly and Applications
20230107	Philip M. Kim	University of Toronto	Machine learning methods for the design and engineering of protein therapeutics
20230119	이재규	서울대학교	Catalyzed bimolecular reactions at aqueous-nonaqueous interfaces
20230209	이정규	브릿지바이오	글로벌 혁신신약, 한국에서 가능할까? 3번의 벤처 도전 (2승, 1패)와 글로벌 혁신신약
20230211	Eli Barkai	Bar Ilan university	The quantum first hitting time problem
20230228	John King	UNIST	Resolving Conformational Flexibility of Proteins with Single-Molecule Spectroscopy

- 정부출연연구소와 산업체 우수연구자 초빙 특별세미나:** 과학기술 · 산업 · 사회 문제를 해결하기 위해서는 학교 뿐 아니라 정부출연연구소, 산업체 등과의 협업이 절대적으로 필요하다. 이를 위해 지난 5학기 동안 아래와 같이 연구소 및 산업체의 우수연구자를 초청해 특별 세미나를 가졌다. 참고로 2021년 상반기에는 코로나19 여파로 국립연구소의 외부 출장이 제한됨에 따라 연사를 초청하는데 어려움이 있었다.

[표 II-18] 평가 기간 내 정부출연연구소와 산업체 우수연구자 초빙 특별세미나 개최 실적

날짜	기관명, 연사
20201008	KIST, 이관희 책임연구원
20201015	한국기초과학지원연구원, 이계행 책임연구원
20201105	GIST 고등광기술연구소, 김준현 박사
20211125	한국세라믹기술연구원 조중영 박사
20221117	한국재료연구원 박성규 박사
20230209	브릿지바이오 이정규 대표이사

- **국내의 우수대학 및 국책연구소 상호 방문 및 교류 프로그램:** 지난 2년 반 동안 코로나19로 제한이 많은 상황에서 다음과 같이 우수한 타 연구기관에 대학원생을 파견하여 과학기술·산업·사회 문제 해결을 위한 공동연구를 수행하였고, 동시에 타 연구기관 소속 대학원생 또는 연구원을 본 교육연구팀에 초청하여 교류를 이어나갔다.

[표 II-19] 평가 기간 내 타 연구기관 방문 성과

방문한 기관	참여인력	교류형태	기간	내용
GIST 고등광기술연구소	이성운	대학원생 방문연구	20210226 20210305 20210708	Depolarization ratio를 이용한 나노입자 구형 정도 측정 방법 개발
서울대학교 이론물리학 연구소 최무영 교수 연구팀	박성준	신진연구인력 방문연구	20210301 ~20260228 매주 목,금	교통을 포함하는 각종 사회현상의 동역학 및 인간 행동패턴 동역학 연구
생명공학연구원 강태준 박사 연구팀	당하준 박소현	대학원생 방문연구	20210721 20210805	코로나19 현장진단기술 개발을 위한 SARS-CoV-2 lysate 제조 및 센서 개발
중앙대학병원 이미경 교수 연구팀	정연주 김기현	대학원생 방문연구	20210721 20210811	코로나19 진단센서 검증을 위한 임상실험
재료연구원 박성규 박사 연구팀	당하준 문정일	대학원생 방문연구	2021110- 202206	고감도 나노플라즈모닉 센서 개발을 위한 플라즈모닉 기판 제작에 관한 공동연구
생명공학연구원 강태준 박사 연구팀	석지수 문정일 당하준	대학원생 방문연구	202111- 202204	CRISPR/CAS를 이용한 COVID-19 진단용 나노플라즈모닉 센서 공동연구
군산대학교 선호정 교수 연구팀	최소희 오재현	대학원생 방문연구	20210312 20210416	Zr 전구체의 ALD 증착 가능성 확인실험
KIST 청정연구센터 정광덕 박사 연구팀	박광호 문석영 박홍진	연구원/대학원생 상호 방문연구	20210611 20210709	이산화탄소 수소화 Ru 촉매 합성
연세대학교 분자설계 연구소 노경태 교수 연구팀	최명길	신진연구인력 방문연구	20220520- 20220521	카이랄 물질 및 단백질 분리용 기능성 물질 개발을 위한 DMP-cellulose 및 전구체 합성에 관한 회의 및 연구
KIST 청정연구센터 정광덕 박사 연구팀	문석영	대학원생 방문연구	202208, 202211- 202212	Ru 촉매를 활용한 이산화탄소 수소화 TBR 운전
인하대학교 허윤석 교수연구팀	Ruth Stephan ie	대학원생 방문연구	20210901 20220228	Mxene 하이브리드 슈퍼캐퍼시터 개발

[표 II-20] 평가 기간 내 본 교육연구팀 방문 유치 성과

기관	방문인력	교류형태	기간	내용
서울대학교 화학공학과	강성수	대학원생 방문유치	20200901~2021 1203	나노입자 열운동 및 융합반응 동 력학 실험결과 해석 연구
충남대학교 화학공학과	정성근	신진연구인력 방문유치	20210901~2022 0228	무중력 및 유중력 상태에서의 마 이크로미터 크기 비대칭 입자의 열회전 운동 비교 분석
기초과학지원연 구원	한도경	신진연구인력 유치 (공동연구)	20201201~2022 0131	다중 lateral flow assay strip을 이 용한 플라즈모닉 센서 개발 (공동 논문 출간, Anal. Chem., 2021)
성균관대학교 화학과	임민수 윤완석	대학원생 방문유치	20221222~2023 0207	무기 촉매 이용한 유기반응에 대 한 양자 계산프로그램을 이용한 메커니즘 분석

- **산업현장 인턴십 및 현장학습 프로그램 성과 및 계획:** 대학원생들이 산업현장에서 해결이 필요한 문제를 이해하고 이를 해결하는 역량을 키울 수 있도록 코로나19로 제한적인 상황에서도 다음과 같
이 기업체 현장학습/인턴십 프로그램을 진행하였다.

[표 II-21] 평가 기간 내 대학원생 산업현장 인턴십 및 현장학습 성과

기관	지도교수	교류형태	기간	내용
중앙대학교 병원 (진단검사의학과 이미경 교수)	주재범	임상시험	2021년 10월	SARS-CoV-2 임상검체에 대한 나노플라즈모닉 센서 전임상 평 가
롯데케미칼(주)	윤성호	산학협동연구	2021년 10월 ~2022년 03월	롯데케미칼로 기술이전(2021년 4 분기) 이후 대전 롯데케미칼 연 구소에서 Pilot 데모 연구를 공동 수행을 위하여 대학원생 파견 협 동연구
파텍(주)	윤성호	현장학습	2021년 11월 ~2021년 12월	군산산업단지에 이산화탄소 전환 포름산 생산(100kg/일 파이럿) 장 치 설치에 따른 현장 공동 연구 추진 (탄소중립)
(주)스펙클립스	주재범	산학협동연구	2021년 12월	감염병 진단용 체외진단 센서 공 동 개발
SG 메디칼 (이지철 상무 (연구소장))	주재범	GMP 견학	2022년 3월	진단 래피드키트 GMP 시설에서 키트생산 공정 학습

- **국내외 석학 초빙 생물리광화학 관련 과학기술, 산업 및 사회 문제 단기강좌 개설:** 생물리광화학
분야 국내외 석학을 초빙하여 생물리광화학 분야 과학기술문제 및 산업 및 사회문제 관련 연구에
관한 단기강좌를 아래 표와 같이 개설하여 진행하였다.

[표 II-22] 평가 기간 내 해외 석학 초빙 단기강좌 개설 실적

석학명 (소속)	초빙교수	기간	강좌 내용	비고
Olga Dudko (UCSD)	성재영	2021년 2학기	Statistical Mechanics of Viral Entry	Editor, Physical Review Letters, Editor, Review of Modern Physics
James C. Collins (MIT)	성재영	2022년 1학기	Harnessing synthetic biology to fight pathogens	Reviewing Editor of Science
Philip M. Kim (Univ. of Toronto)	성재영	2022년 2학기	Machine learning methods for the design and engineering of protein therapeutics	CEO of Oracle therapeutics and TBG therapeutics

2. 인력양성 현황 및 지원 실적

2.1 평가 대상 기간 대학원생 인력 확보 및 배출 실적

〈표 2-1〉 교육연구팀 참여대학원생 확보 및 배출 실적

(단위: 명)

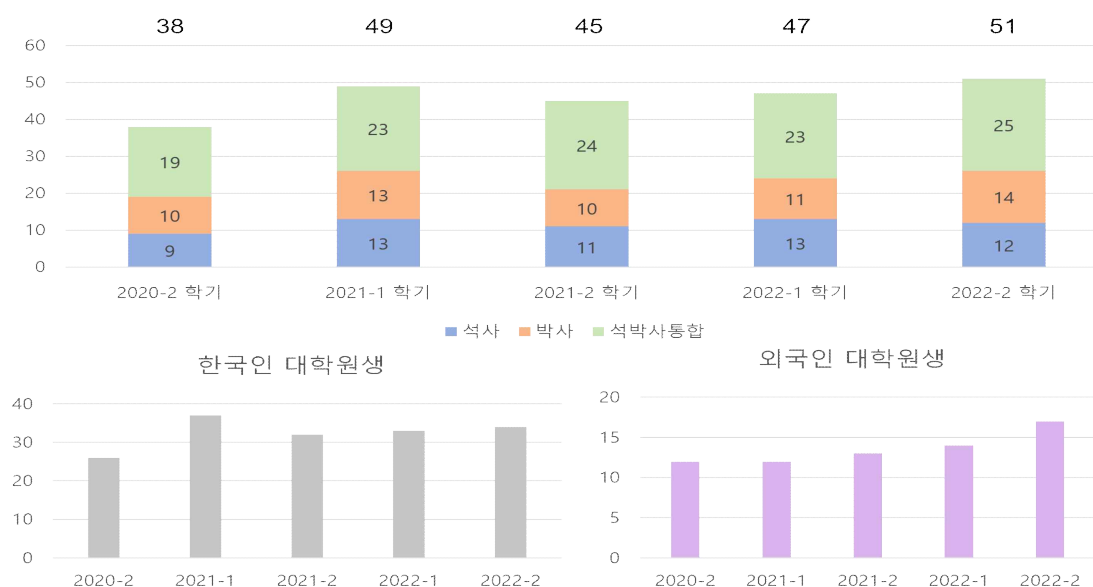
참여대학원생 확보 및 배출 실적					
실적		석사	박사	석·박사통합	계
확보 (재학생)	2020년 2학기	9	10	19	38
	2021년 1학기	13	13	23	49
	2021년 2학기	11	10	24	45
	2022년 1학기	13	11	23	47
	2022년 2학기	12	14	25	51
	계	58	58	114	230
배출 (졸업생)	2021년 2월	4	0		4
	2021년 8월	2	0		2
	2022년 2월	4	2		6
	2022년 8월	2	1		3
	2023년 2월	7	1		8
	계	19	4		23

2.2 교육연구팀의 우수 대학원생 확보 및 지원 실적

(1) 대학원생 확보 현황

- <표2-1>**에서 보이는 바와 같이 본 BK21사업을 시작한 이후 본 사업 참여 대학원생 수가 증가하였다. 2020-2학기에 총 38명의 대학원생이 사업에 참여하였고, 이후 20%이상의 증가율을 보이면서 매 학기 45명의 이상의 참여 대학원생을 확보할 수 있었다. 특히 석박사통합 및 박사과정 대학원생 확보 수가 본 교육연구팀의 적극적인 홍보를 통해 상대적으로 크게 증가하였음을 볼 수 있다.

[그림] 평가 대상 기간 내 대학원생 확보 실적



■ 생물리광화학 교육연구팀-국책연구소 연계를 통한 브랜드 가치 제고 및 적극적 홍보

- 지난 사업 기간 중 본 생물리광화학 교육연구팀의 연구 프로그램을 본 대학에 소재한 세포화학동력학 창의연구단 및 나노-광 융합 바이오의료 진단 선도연구센터와 연계함으로써 본 교육연구팀의 연구경쟁력 브랜드 가치를 높여 왔다. 또한, 생물리광화학 분야에 연구경쟁력을 확보하고 있는 참여교수들과 관련 국내외 공동연구 및 선도연구기관과의 협업을 통하여 세계적인 수준의 연구 성과를 낼 수 있었다. 아울러 해외유수대학들의 대학원생 연구 및 생활 지원제도들을 벤치마킹한 지원 프로그램을 마련하여 본 교육연구팀의 대학원생 연구 및 생활 지원 브랜드 가치 역시 향상시켜 왔다. 이렇게 발전된 세계적 수준의 생물리광화학 교육연구팀의 우수성을 국내외 학술대회 참가와 대외 프로그램을 통해 홍보함으로써 우수 대학원생 유치를 확대할 수 있었다.

■ 박사과정 생활비 보조(Stipend) 강화를 통한 우수 학부 및 석사학위생 진학 유도

- 박사과정생 및 석박통합과정생들의 연구수행을 방해하는 큰 요인 중 하나는 불안정한 생활 재정으로 인한 연구 집중도 저하이다. 본 교육연구팀 참여교수들은 수주한 정부 및 민간 출연연구비를 활용하여 본교 주위 생활권에서 거주하되 추가 생활비 확보를 위한 부업 등의 부담을 느끼지 않고 연구에 집중할 수 있도록 생활비(stipend)지원제도를 정례화하였으며, 이를 홍보하여 학업과 연구에 전념하고자 하는 우수 학부생 및 석사과정생들의 박사과정지원을 확보하였다. 특히 <표 2-1>에서도 확인할 수 있듯이 학부생들의 석박사통합과정 지원이 사업기간 중 꾸준히 증가하였다.

(2) 우수 대학원생 확보 계획 대비 실적

■ 학부생 연구 프로그램을 통한 본교 우수 학부생 대학원 진학 유도

- 가을학기에 진행되는 학부생 연구 실습 프로그램인 Practical Education (PE) 프로그램을 통해 본교 3, 4학년 학부생들에게 생물리광화학 관련 미래신기술들을 홍보하고 관련 실험을 체험하게 함으로써 우수 학부생들의 대학원 진학을 유도하였다.

2020년 2학기에 15명의 학부생이 대상자로 선정되어 3개월 동안 연구활동을 수행하였고, 4학년 학생 중 78%에 해당하는 7명이 중앙대 화학과 대학원에 진학하였다. 2021-2학기에는 17명의 학부생이 PE 프로그램 대상자로 선정되었고, 4학년 학생 중 6명(86%)이 본 대학원에 진학하였다. 목표 이상의 성과를 이루면서 2022년 2학기에는 22명으로 대상자를 늘렸고, 그중 16명의 4학년 학부생들이 PE 프로그램을 통해 연구활동에 적극적으로 참여한 후 14명의 학생이 본 대학원에 진학하였다.

[표 II-23] 평가 대상 기간 내 PE참여 학생 대학원 진학률

참여 학기	참여 학부생 수	참여 4학년 학생의 대학원 진학률
2020-2	15	78%
2021-2	17	86%
2022-2	22	88%

■ 동기유발 비교과 강연 및 계절 연구 인턴십을 통한 우수 대학원생 확보

- 지난 사업기간 중 대학원생들을 대상으로 생물리광화학분야 비교과 단기강좌를 개설([표 II-22] 평가 기간 내 해외 석학 초빙 단기강좌 개설 실적)하였으며, 해당 분야 석학들을 강사로 초빙하여 생물리광화학 분야에 대한 대학원생들의 관심을 고취할 수 있었다. 또한, 학부생의 지속적인 연구 참여를 유도하기 위해 학기 중에 시행되는 PE 프로그램과 연계하여 학과혁신사업의 지원으로 방학기간 동안 다음과 같이 ‘화학과 연구인턴 프로그램’을 진행하였다.

- (2020년도 겨울방학 8주) 제2기 중앙대학교 화학과 계절 연구인턴 프로그램 (19명 참여)
- (2021년도 여름방학 8주) 제3기 중앙대학교 화학과 계절 연구인턴 프로그램 (15명 참여)

■ 대학원 입학 FAIR 행사, 오픈랩 등 행사를 통한 대학원 홍보 개최

- 학부생들에게 대학원 전공 내용과 졸업 후 진로 등을 소개하고 장학 상담과 실험실 투어 등을 제공하는 대학원 입학 FAIR 행사가 코로나19로 인해 ‘대학원 입학 온라인 설명회’로 대체되었다.

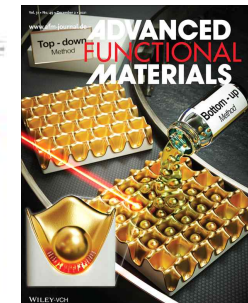
2021년 전반기 대학원 온라인 입학설명회 2020. 10. 14.(수) 10:00	2021년 전반기 대학원 온라인 입학설명회 2021. 4. 15.(목) 11:00
2022년 전반기 대학원 온라인 입학설명회 2021. 10. 14.(목) 14:00-17:00	2022년 하반기 대학원 온라인 입학설명회 2022. 4. 14.(목) 14:00-17:00
2023년 전반기 대학원 온라인 입학설명회 2022. 10. 13.(목) 14:00-17:00	

- 오픈 랩 프로그램 등을 통해 학생들이 본 교육연구팀의 연구 프로그램 체험 기회를 제공하여 우수 대학원생 유치 기회를 확대하고자 하였다. 코로나19 확산으로 대면/비대면 하이브리드 형식의 화학과 대학원 소개 및 각 연구실 소개/체험을 진행하였다 (2021.9.14.화, 2022.9.6.화). 이 행사에서 신설된 생물리광화학 세부전공에 관하여 홍보하여 관심 있는 학생들의 대학원 진학을 유도하고자 하였다.
- 매년 진행되어왔던 화학과 연간행사인 ‘화학인의 밤’을 이용하여 진로탐색 토크콘서트를 개최하였다. ‘화학인의 밤’은 화학과 학부생, 대학원생, 교수들이 한자리에 모여 진행하는 행사이며, 화학과 대학원 졸업자들의 강연 및 상담을 통해 대학원 진학 후 진로에 대해 홍보하고 대학원생 유치를 강화할 수 있었다.
- 본 교육연구팀 주관으로 2022년 6월에 화학과 대학원 제도개선사업 설명회를 주최하였다. 대학원생들의 건강하고 윤리적인 연구환경 조성을 위한 제도 개선 장치를 마련하고 학생들의 의견을 교환하는 자리를 마련하였다. 이를 통하여 동문 네트워크 강화 및 연구실간의 교류를 증진시키고 대학원 과정 진학에 대한 인식을 개선할 수 있었다.

■ 생물리광화학 교육연구팀 연구성과 홍보

- 교육연구팀과 소속 교수들의 논문, 저서, 특허, 기술이전 실적 등의 우수 연구 업적들을 다음과 같이 학회지와 대중매체에 적극적으로 홍보하여 본 교육연구팀을 홍보하고 브랜드 가치를 높였다.
 - 생물리광화학 창의인재양성 사업팀과 사업팀의 우수한 연구 및 기술이전 성과들을 국내 과학 매체와 20개 이상의 대중매체에 적극적으로 홍보

- 대한화학회 물리화학분과 심포지엄 정기적 공동주최 및 후원
- Adv. Funct. Mater., ACS Sens. Phys. Chem. Chem. Phys.와 같은 저명 학술지의 표지 논문 등을 통해 본 교육연구팀 참여 교수들의 연구 우수성을 홍보



■ 국제적 수준의 대학원생 및 신진연구인력 연구 및 생활 지원

- 대학원생들과 신진연구인력들이 연구에 전념하기에 적절한 생활비를 지원하고자 계획하였고, 이를 위해 인건비 지원에 필요한 BK21사업 예산 초과분은 본 교육연구팀 참여교수들이 수행하고 있는 정부연구개발 사업 및 산학연구개발 사업과 연계하여 조달하고 있다. 또한, 중앙대학교 대학원 차원에서의 다음과 같은 여러 혜택을 적극적으로 활용하였다.

- 우수 대학원생 등록금 면제 장학금(Graduate Research Scholarship) 수혜

2020-2학기 12명, 2021-1학기 18명, 2021-2학기 16명, 2022-1학기 13명, 2022-2학기 10명

- 외국인 대학원생 등록금 면제 장학금(Chung-Ang University Young Scientist Scholarship) 수혜

2020-2학기 10명, 2021-1학기 9명, 2021-2학기 5명, 2022-1학기 7명, 2022-2학기 8명

- 우수한 연구 성과를 내어 주저자로 논문을 발표한 대학원생에게 중앙대학교 대학원에서 ‘우수 논문 지원금’ 지급

2020-2학기 1명, 2021-1학기 4명, 2021-2학기 5명, 2022-1학기 5명, 2022-2학기 5명

■ 아세안 석사학위 교원 장학사업

- 대학교육협의회 주관 ‘아세안 석사학위 교원 장학사업 (Higher Education for ASEAN Talents, HEAT)’은 아세안 10개국의 우수한 석사학위 교원을 박사과정 학생으로 받아 연구와 교육을 지원하는 제도이다. 인도네시아의 Universitas of Islam Indonesia의 화학과에 재직하고 있는 Wiyogo Wicaksono 교수가 HEAT Program에 선정되어 2022년 가을학기부터 주재범 교수 연구 그룹에 박사과정으로 진학하였다. Wiyogo는 Universitas Indonesia 화학과에서 학사 및 석사학위를 취득하였으며 Bacteria toxin의 전기화학 센서 개발에 관한 연구를 수행하였다. 현재 전기화학과 나노광학을 접목한 electrochemistry-SERS 기반의 immunosensor와 분자진단 센서 개발에 관한 연구를 수행하고 있다.

■ 행복한 대학원생활 지원 프로그램 개발 및 운영

- 문화 프로그램 참여지원 사업

본 교육연구팀에서는 대학원생들에게 본교 주최 문화행사는 물론 서울시에서 제공하는 우수 문화행사들을 정기적으로 안내하고 참여를 권장하고 있다. 코로나19의 확산으로 대부분의 행사가 취소되었으나, 2022년-1학기 이후 ‘LUCAS 축제’, ‘자연과학대학 가을문화축제’, ‘대학원생 원우한마당’ 등 중앙대학교의 다양한 문화행사가 대면/비대면 형식으로 다시 마련되었다.

- 대학원생 생활 상담 프로그램 운영

본 교육연구팀이 소속된 중앙대학교는 학생들이 필요로 하는 경우 항상 상담을 받을 수 있도록 개별 상담 및 집단 상담 프로그램을 운영하고 있다. 중앙대학교 인권센터(홈페이지: <https://humanrights.cau.ac.kr/>)에는 대학원생들의 이야기를 경청하고 심리 상담을 해 줄 수 있는 전문상담연구원이 상주하며 각종 차별이나 부당한 대우, 인권침해 및 개인적 어려움이 발생했을 때 문제 해결을 위한 상담 서비스를 제공하고 있다. 본 교육연구팀 소속 대학원생들이 동료대학원생이나 지도교수와 상담으로 문제를 해결하지 못하는 경우 상기 상담 프로그램을 활용하였다.

2.3 참여대학원생 취(창)업 현황

① 취(창)업률

〈표 2-2〉 평가 대상 기간(2020.9.1.-2023.2.28.) 내 졸업한 참여대학원생 취(창)업률 실적

(단위: 명, %)

구 분		졸업 및 취(창)업현황									
		졸업자(A)	비취업자(B)			취(창)업대상자 (C=A-B)	취(창)업자 (D)	취(창)업률 (D/C)×100			
			진학자		입대자						
			국내	국외							
2021년 2월 졸업자	석사	4	1	0	0						
	박사	0			0						
2021년 8월 졸업자	석사	2	1	0	0						
	박사	0			0						
2022년 2월 졸업자	석사	4	0	0	0	4	3	83.33			
	박사	2			0	2	2				
2022년 8월 졸업자	석사	2	0	0	0	2	1	66.67			
	박사	1			0	1	1				
2023년 2월 졸업자	석사	7									
	박사	1									

② 참여대학원생 취(창)업의 질적 우수성 (평가 대상 기간)

<표 2-3> 평가 대상 기간(2020.9.1.-2023.2.28.) 내 졸업한 참여대학원생 중 취(창)업의 질적 우수성

연번	성명	졸업연월	수여 학위 (석사/박사)	학위취득 시 학과(부)명	현 직장(직위)		
	대표 취(창)업 사례의 우수성						
1	이다슬	2022.2	박사	화학과	University of Texas – Austin (박사후연구원)		
	이다슬 박사는 석박사통합과정 기간 동안 친환경 에너지원인 가시광을 이용하는 다양한 라디칼 짝지움 반응들을 개발하였고, 이에 관한 반응 기작 연구를 병행하였다. 학위기간 동안 습득한 합성 기술과 배경지식을 바탕으로 현재 세계적인 석학인 Krishe그룹에서 박사 후 연구원으로 천연물 전합성 연구를 수행하고 있다. 중앙대학교 해외 박사 후 연구원 지원 프로그램인 ‘CAU Global PhD Fellow Program’ 수혜자로 선정되어 지원을 받고 있다.						
2	최지현	2022.2	석사	화학과	삼성전자(사원)		
	최지현 연구원은 석사과정 기간 동안 카르복실레이트를 이용하여 코어에서 인접한 Fe(III) 이온을 연결하여 약간 꼬인 오각형 삼각형 프리즘을 형성하는 물질을 합성하는 연구를 진행하였다. 이는 계면활성제로 보호된 금속 산화물 나노입자의 표면 구조에 대한 정보가 XRD 분석에 적합한 시료 준비의 어려움으로 인해 제한적인 문제를 해결하는데 기여하였다. 이를 바탕으로 삼성전자에 취업하여 현재 반도체공정 연구 및 관리 직무를 행하고 있다.						
3	박주환	2023.2	석사	화학과	ASML(연구원)		
	ASML은 세계 1위의 최첨단 반도체 생산 장비 기업이다. 특히 반도체 생산에 반드시 필요한 극자외선 및 심자외선 리소그래피 분야에서 독보적인 1위를 달리고 있다. 1984년에 설립된 네덜란드 기업이며 전 세계 60여곳에 39,000여명의 인력이 근무하는 연구소와 생산시설을 갖추고 있다. 본 교육연구팀의 박주환 학생은 석사과정 동안 축적한 금나노입자 제조, 광촉매 개발 기술, 광학 장비에 대한 전문성을 바탕으로 ASML에 정규직 연구원으로 취업하였다.						
평가 대상 기간(2020.9.1.-2023.2.28.) 내 졸업한 참여대학원생 수				석사	19	제출요구량	3
				박사	4		

3. 대학원생 연구역량

3.1 참여대학원생 연구 실적의 우수성

① 참여대학원생 대표연구업적물의 우수성

<표 2-4> 평가 대상 기간(2020.9.1.-2023.2.28.) 내 참여대학원생 대표연구업적물

	학위과정 (석사/박사/ 석박사통합)	참여 대학원생 성명	세부전공 분야	실적구분	대표연구업적물 상세내용
1	박사	강진규	물리화학	저널논문	J. Kang, S. J. Park, J.-H. Kim, P. Chen, J. Sung
					Stochastic kinetics for nanocatalytic systems
					Physical Review Letters
					126, 126001
					2021. 03
					10.1103/PhysRevLett.126.126001
최근 상당한 발전을 이룬 단분자 이미징 기술 덕분에 산화 환원 반응의 촉매 역할을 하는 단일 나노입자에서 반응이 한 번 일어나는 데 걸리는 시간의 확률분포를 측정할 수 있었다. 이 실험을 통해 반응시간의 평균은 고전적인 반응 메커니즘으로 설명할 수 있었으나, 반응시간의 분산은 설명할 수 없었다. 본 연구는 비고전적 반응속도론을 이용하여 반응시간의 평균과 분산까지 설명할 수 있었으며 계수 통계를 통해 나노입자에 존재하는 촉매자리의 개수를 알아내는 공식 또한 제시하였다. 이 연구를 통해 여러 개의 물체임에도 불구하고 분해능이 커 하나의 물체로 보이는 물질의 개수 통계를 이용하면 몇 개의 물체가 모여 있는지 예측함으로써 단분자 이미징 없이 분자의 개수를 추산할 수 있을 것으로 기대된다. 이는 본 교육연구팀에서 제시하는 목표 중 하나인 생물리광화학 분야 문제 해결에 기여했으며 물리학 분야 최고 권위지인 Physical Review Letters (IF=9.161)에 출판되었다.					
2	석사	권소연	생화학	저널논문	S. Y. Kweon, J. P. Park, C. Y. Park, T. J. Park
					Graphene Oxide-Mediated Fluorometric Aptasensor for Okadaic Acid Detection
					BioChip Journal
					16, 207-213
					2022. 04
					10.1007/s13206-022-00056-1
본 연구에서는 GO 매개 담금질 현상을 사용하여 OA 감지 형광 측정 압타머 센서를 개발하였다. 압타머는 EIS에 의해 처음 검증된 후 FAM으로 수정되어 형광 감지 시스템을 구성하였고 GO 농도, MgCl2 농도 등 감지 조건을 최적화하였다. 개발된 센서의 LOD는 6.35 ppb로 다른 해양독소(STX, DA, TTX)에 비해 OA에 대한 반응성이 우수했다. 그러나 OA 유사체(DTX-1 및 DTX-2) 반응성은 상당한 수준으로 남아 있지만, 이는 심각한 문제(예: 거짓 양성)를 초래하지 않을 것으로 전망된다. 이전 다른 연구와 비교하여, 여기서 입증된 OA 압타머 센서는 높은 처리량 스크리닝을 지원하는 40분 내에 더 나은 단순성과 용이성을 제공할 수 있다. 또한 CRM 샘플을 시스템에 적용했을 때 센서는 낮은 CV로 높은 복구율을 나타냈다. 이것은 실생활과 식품 및 수산업에 적용하기 위한 중요한 발판이 될 것이다. 이 대표연구업적물 2는 BioChip Journal (IF=4.229)에 게재되었다.					

	학위과정 (석사/박사/ 석박사통합)	참여 대학원생 성명	세부전공 분야	실적구분	대표연구업적물 상세내용
3	석사	김경년	분석화학	저널논문	K. Kim, D. K. Han, N. Choi, S. H. Kim, Y. Joung, K. Kim, N. T. Ho, S. -W. Joo, J. Choo
					SERS-based Dual-flow Lateral Flow Assay Sensor for the Ultrasensitive Detection of Thyroid-Stimulating Hormone
					Analytical Chemistry
					93, 6673
					2021. 04
					10.1021/acs.analchem.0c05336
본 연구에서는 COVID-19과 같은 감염병 질환의 현장진단에서 진단 민감도를 획기적으로 향상시킬 수 있는 새로운 개념의 dual-flow nanoplasmonic lateral flow assay sensor를 개발하였다. Multiple paper layer로 구성된 dual-flow strip sensor를 제작하고 25 nm와 45 nm 크기의 금 나노입자들을 순차적으로 흘려주어 시그널을 증폭시킬 수 있는 hot spots을 strip내에 효과적으로 형성시킴으로써 기존 strip보다 100배정도 향상시킬 수 있는 고감도 센서를 구현하였다. 이 대표연구업적물 3는 ACS에서 출판하는 Analytical Chemistry (IF=8.008)에 게재되었으며 현재까지 Google Scholar 기준 20회 인용되었다.					
4	석박사통합	김민우	생화학	저널논문	M. W. Kim, Y. H. Kim, J. Bal, R. Stephanie, S. H. Baek, S. K. Lee, C. Y. Park, T. J. Park
					Rational design of bienzyme nanoparticles-based total cholesterol electrochemical sensors and the construction of cholesterol oxidase expression system
					Sensors and Actuators B: Chemical
					349, 130742
					2021. 12
					10.1016/j.snb.2021.130742
본 연구에서는 최초로 도입된 BENP(bienzyme nanoparticle)를 기반으로 콜레스테롤 전기화학 센서를 구성하였다. 사용된 ChOx는 P. pastoris를 발현 숙주로 하여 Streptomyces sp.의 ChOx 발현 유전자를 사용함으로써 최초로 도입된 이 시스템은 생성된 효소가 BENP 발달을 위한 구성 효소 중 하나로 사용될 수 있다는 결과를 보여주었다. 또한 BENP를 사용하여 Au-SPE를 개질할 경우, 매우 안정적이고 민감하며 특정한 콜레스테롤 전기화학 센서를 획득할 수 있었다. 구축된 콜레스테롤 전기화학 센서의 성능을 평가하여 HSA-speaked sample test에서도 낮은 검출 한계(0.18 mg/dL), 장기 안정성(> 25일) 및 긴 동적 범위를 약속하는 바람직한 결과를 입증하였다. 이는 생명/의료 분야의 발판이 될 것이다. 이 대표연구업적물 4는 Sensors and Actuators B: Chemical (IF=9.221)에 게재되었다.					

	학위과정 (석사/박사/ 석박사통합)	참여 대학원생 성명	세부전공 분야	실적구분	대표연구업적물 상세내용
5	박사	김석현	물리화학	저널논문	S. Kim, S. Lee, S. Yoon
					Effect of Nanoparticle Size on Plasmon-Driven Reaction Efficiency
					ACS Applied Materials & Interfaces
					14(3), 4163
					2022. 01
					10.1021/acsami.1c21441
금 나노입자는 가시광 영역에서 큰 흡수 단면적을 가지고 있고 가시광 흡수를 통해 뜨거운 전하를 생성함으로써 화학 반응을 일으킬 수 있어 효과적인 광촉매로 활용 가능하다. 본 연구에서는 나노입자의 크기가 뜨거운 전하 생성에 어떠한 영향을 미치는지에 대하여 Nanoparticle-on-Mirror (NPoM) 구조에서의 실험을 통해 규명하였고, 기존 연구자들의 통념이던 나노입자의 크기가 작아질수록 뜨거운 전하를 잘 생성한다는 것과 대조적으로 나노입자의 크기가 일정 수준에 다다를 때까지 크기가 증가할수록 전하를 잘 생성한다는 것을 표면 증강 라만 신호를 통하여 보였다. 본 연구 결과는 환경 및 에너지 분야 사회 문제 해결에 기여할 것으로 기대되며 그 중요성을 인정받아 나노화학 응용 관련 학술지 ACS Applied Material & Interfaces (IF: 10.383)에 게재되었다.					
6	석박사통합	당하준	분석화학	저널논문	H. Dang, S. -G. Park, Y. Wu, N. Choi, J. -Y. Yang, S. Lee, S. -W. Joo, L. Chen, J. Choo
					Reproducible and sensitive plasmonic sensing platforms based on Au-nanoparticle-internalized nanodimpled substrate
					Advanced Functional Materials
					31, 2105703
					2021. 07
					10.1002/adfm.202105703
Top-down 방식으로 제작한 Au nanodimple 기판의 구멍 안에 bottom-up 방식으로 제작한 금 나노입자를 DNA hybridization에 의하여 규칙적으로 배열함으로써 정확하고 재현성있는 분자진단을 구현할 수 있는 새로운 개념의 나노플라즈모닉 센서를 개발하였다. 본 연구에서 개발한 나노딴플 기판의 진단 유효성을 평가하기 위하여 SARS-CoV-2의 타겟 유전자들을 대상으로 SERS-PCR 에세이를 수행하였다. 또한, 본 SERS-PCR 분자진단 플랫폼의 진단 성능을 평가하기 위하여 기존 SARS-CoV-2 진단에 사용되는 표준진단방법인 RT-PCR 진단결과와 비교하였더니 진단시간이 획기적으로 단축되었다. 이 대표연구업적물 6는 재료 및 센서 분야 최고 권위지 중 하나인 Wiley 출판사의 Advanced Functional Materials (IF=19.924)에 표지논문으로 출판되었으며 Google Scholar 기준으로 현재 25회 인용되었다.					

	학위과정 (석사/박사/ 석박사통합)	참여 대학원생 성명	세부전공 분야	실적구분	대표연구업적물 상세내용
7	석사	민관홍	유기화학	저널논문	K. H. Min, N. Iqbal, E. Cho
					Ni-Catalyzed Reductive Coupling of Alkynes and Amides to Access Multi-Functionalized Indoles
					Organic Letters
					24(4), 989
					2022. 01
					10.1021/acs.orglett.1c03971
인돌 고리는 제약, 농약 및 재료과학 분야에서 다양하게 응용되는 구성성분이다. 인돌 기반 분자의 성능을 향상시키기 위해서는 특정 위치에 선택적으로 치환기를 도입하는 연구가 필요하다. 본 연구는 Ni 촉매를 이용하는 아마이드와 알카인 작용기 사이의 환원결합 반응에 의한 다치환된 인돌 고리 합성법을 소개한다. 특히 기존에 사용하지 않았던 1차 아미노포스핀 리간드를 이용하였고 아릴보론산을 이용한 B-보조 무염기 금속교환과정을 유도할 수 있었다. 이 대표연구업적물 7은 본 교육연구팀에서 제시하는 목표 중 하나인 반응의 효율성 증진에 기여했으며 유기화학 대표 저널인 Organic Letters (IF=6.072)에 출판되었다.					
8	석박사통합	박소현	분석화학	저널논문	S. Park, C. S. Jeon, N. Choi, J. -I. Moon, K. M. Lee, S. H. Pyun, T. Kang, J. Choo
					Sensitive and reproducible detection of SARS-CoV-2 using SERS-based microdroplet sensor
					Chemical Engineering Journal
					446, 137085
					2022. 10
					10.1016/j.cej.2022.137085
본 연구에서는 SARS-CoV-2 검출 LoD와 재현성을 획기적으로 개선할 수 있는 SERS 기반의 microdroplet 센서를 개발하였다. 자석이 삽입된 Microdroplet channel에서 droplet의 생성, 반응물의 주입 및 혼합, 생성물의 분리가 모두 자동으로 일어나도록 칩을 설계하였다. 라만신호 측정부에서 15초의 측정 시간 동안 약 140 개의 droplet이 지나가고, 이들로부터 평균 신호를 얻기 때문에 재현성 높은 라만신호를 얻을 수 있었다. 본 SERS 기반 microdroplet 센서는 기존 SARS-CoV-2 항원 검사 방법의 민감도와 재현성 문제를 해결할 수 있는 새로운 플랫폼으로서의 가능성을 보여준다. 이 대표연구업적물 8은 Elsevier에서 출판하는 Chemical Engineering Journal (IF=16.744)에 출판되었으며 Google Scholar 기준으로 현재 13회 인용되었다.					

	학위과정 (석사/박사/ 석박사통합)	참여 대학원생 성명	세부전공 분야	실적구분	대표연구업적물 상세내용
9	박사	박홍진	무기화학	저널논문	H. Park, K. Park, K.-D. Jung, S. Yoon
					CO2 hydrogenation into formate and methyl formate using Ru molecular catalysts
					Inorganic Chemistry Frontiers
					8, 1727
					2021. 10
					10.1039/D0QI01123A
전 세계적으로 기후변화 대응 기술에 관심이 높아지고 있으며 이산화탄소 전환을 통한 자원화 기술 개발 필요성이 제시되고 있다. 대표연구업적물 9는 비균질계 촉매를 이용한 이산화탄소를 메틸포메이트를 포함한 포름산 유도체로 전환하는 기술에 관한 논문이다. NNN 배위환경 제시 집게 리간드가 포함된 다공성 유기 폴리머(POP)는 Friedel-Crafts 반응을 통해 방향족 고리를 포함하는 피리딘 기반 리간드의 손쉬운 편직 방법을 사용하여 합성하였으며, 제조된 POPs에 Ru 이온을 담지한 촉매(Ru/N-Me-3-bpp-POP)를 활용하여 CO2 수소화를 통해 효과적으로 formate(TON=1900)와 methyl formate(TON=2200)를 합성하였다. 이 연구는 본 교육연구팀의 비전 및 목표 중 하나인 이산화탄소 배출 감소라는 환경문제 해결의 한 방편으로, 무기화학 분야 대표저널인 Inorganic Chemistry Frontiers에 게재되었다.					
10	석박사통합	원재혁	물리화학	저널논문	C. W. Kang, H. G. Lim, J. Won, S. Cha, G. Shin, J. -S. Yang, J. Sung, G. Y. Jung
					Circuit-guided population acclimation of a synthetic microbial consortium for improved biochemical production
					Nature Communication
					13, 6506
					2022. 11
					10.1038/s41467-022-34190-z
친환경 바이오합성 기술이 발전하면서, 여러 균주를 동시에 배양하여 미생물 컨소시엄을 설계하거나 대사 회로를 조절하는 연구들이 진행되고 있다. 하지만 이러한 미생물 컨소시엄에서 각 균주와 대사산물의 농도를 정확하게 예측하기 어렵다는 문제점이 있다. 이는 배양 시 각 균주의 영양분 흡수율이 시간에 따라 변화하기 때문이다. 또한, 여러 균주를 동시에 배양할 경우, 죽은 세포에서 분출된 영양분을 다른 균주가 섭취하는 등 복잡한 상호작용이 발생할 수 있다. 이에 따라 대표연구업적물 10에서는 대사산물 생산과 영양분 흡수율을 변화시킬 수 있는 능력인 수율을 이용하여 미생물 컨소시엄의 성장 동력학을 정량적으로 분석하였다. 해당 연구 결과는 친환경 바이오합성 및 생물리화학 분야의 기초 연구 결과로써 본 교육연구팀이 목표하였던 생명 관련 사회 문제를 해결하는데 기여할 것으로 기대된다. 대표연구업적물 10는 세계적인 과학 전문지인 Nature Communications(IF=17.696, Eigen score=1.297)에 출판되었다.					

	학위과정 (석사/박사/ 석박사통합)	참여 대학원생 성명	세부전공 분야	실적구분	대표연구업적물 상세내용
11	석박사통합	윤하영	무기화학	저널논문	H. Yoon, T. Yoon, H.-J. Yoon, C.-J. Lee, S. Yoon
					Eco-friendly and techno-economic conversion of CO2 into calcium formate, a valuable resource
					Green Chemistry
					24(4), 1738
					2022. 01
					10.1039/D1GC04606C
최근 온실가스 배출 억제를 위해 기술경제성이 우수하고 높은 CO2 배출 저감 능력을 갖춘 CO2 전환기술의 개발이 주목받고 있다. 본 연구는 비균질화 촉매인 Ru/bpyTN-30-CTF를 통해 CO2의 수소화를 진행하여 생성된 부산물과 CaO로부터 Ca(HCO2)2의 효율적 생산기술 개발에 관한 것이다. 경제성 확보를 위해 탈황공정 ash인 CaO/CaSO4를 공정에 적용한 결과, Ca(HCO2)2와 더불어 반응에 참여하지 않은 CaSO4를 침전으로 분리할 수 있었다. 해당 공정의 경제성과 전과정 평가를 수행한 결과, 기존 공정보다 16% 정도 낮은 생산 비용에 20% 정도 낮은 CO2 배출량을 보여, 해당 공정이 본 교육연구팀의 비전 및 목표 중 하나인 이산화탄소 배출 문제 해결에 이바지할 수 있음을 입증하였다. 이 대표연구업적물 11는 Royal society of chemistry(RSC) 출판사의 Green chemistry (IF=11.034)에 출판되었다.					
12	석박사통합	이다슬	유기화학	저널논문	D. S. Lee, V. K. Soni, S. Heo, H. S. Hwang, Y. You, E. Cho
					Sustainable photoredox chemistry of a transient ternary complex: an unconventional approach toward trifluoromethylated hydroquinones
					Green Chemistry
					24(17), 6481-6486
					2022. 08
					10.1039/D2GC01691E
하이드로퀴논(HQ)은 항바이러스 및 항진균 특성을 지닌 분자로 잘 알려져 있고, 트리플루오로메틸기(CF3)는 신진대사 안정성, 지질용해도, 생물학적 이용가능성, 결합 선택성 및 세포막 투과성을 조작하는 분자기능을 가진 특별한 치환기로 여겨진다. 위 요인들로 인하여, 트리플루오로메틸화 하이드로퀴논(CF3-HQ) 유도체들은 CF3 치환기가 없는 분자들에 비해 적은 양으로도 향상된 생물학적 활성을 나타낼 것으로 예상된다. 이 연구에서는 쉽게 사용할 수 있는 벤조퀴논(BQ)과 친핵성 CF3 시약을 이용해 소모성 전자 공여체 없이 일시적인 전자이동 복합체의 형성으로 CF3-HQ 유도체들을 합성하는 연구를 보고한다. 이 대표연구업적물 12는 친환경 광에너지원인 가시광을 효율적으로 활용했다는 점에서 본 교육연구팀에서 제시하는 목표에 부합하며, 대표적인 친환경 저널인 Green Chemistry (IF=11.034)에 출판되었다.					

	학위과정 (석사/박사/ 석박사통합)	참여 대학원생 성명	세부전공 분야	실적구분	대표연구업적물 상세내용
13	석박사통합	정연주	분석화학	저널논문	Y. Joung, K. Kim, S. Lee, B. -S. Chun, S. Lee, J. Hwang, S. Choi, T. Kang, M. -K. Lee, L. Chen, J. Choo
					Rapid and accurate on-site immunodiagnostics of highly contagious Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 using portable surface-enhanced Raman scattering-lateral flow assay reader
					ACS Sensors
					7(11), 3470-3480
					2022. 11
					10.1021/acssensors.2c01808
본 연구에서는 기존의 래피드 키트의 민감도 문제를 해결하기 위한 표면증강라만 기반의 COVID-19 현장 진단기술을 개발하였다. 개발된 SERS-LFA reader의 임상적 유효성을 보여주기 위하여 54개의 임상 샘플 테스트를 진행하였다. 그 결과 기존 래피드 키트에서는 21개의 위음성 결과가 나온 반면 SERS-LFA reader에서는 2개의 샘플만 위음성으로 분류되었다. 이를 통해 기존 래피드 키트에 비해 위음성률이 크게 개선되었음을 확인하였다. 본 연구에서 개발한 portable SERS-LFA reader는 바이러스 감염 여부를 신속하고 정확하게 판단할 수 있는 현장 진단 시스템으로 활용될 수 있는 가능성을 보여준다. 이 대표연구업적물 13는 ACS에서 출판하는 ACS Sensros (IF=9.618)에 게재되었다.					
14	석박사통합	황호성	유기화학	저널논문	J. Bae, N. Iqbal, H. S. Hwang, E. Cho
					Sustainable preparation of photoactive indole-fused tetracyclic molecules: a new class of organophotocatalysts
					Green Chemistry
					24(10), 3985-3992
					2022. 05
					10.1039/D2GC00542E
광활성이 있는 유기 화합물들은 금속 화합물들에 비해 낮은 비용, 구조 변화의 용이성, 낮은 독성 및 환경 친화적으로 인해 매력적인 감광제로 사용될 수 있다. 본 연구는 감광제로 사용가능한 인돌기반의 다중 고리 화합물의 합성에 관한 것이다. 확장된 공액효과와 다양한 치환체들을 가진 새로운 단계의 6H-isoidolo[2,1-a]indol-6-one 유도체들을 합성하는 환경 친화적이고 실용적인 방법을 소개한다. 또한, 합성된 고리 화합물의 광물리적 성질과 전기화학적 성질을 탐구하였고, 광범위한 친환경적 유기광촉매 반응을 통해 유기광촉매 응용성도 입증할 수 있었다. 대표연구업적물 14는 친환경 광에너지원인 가시광을 효율적으로 활용하도록 유도하는 가시광촉매를 개발했다는 점에서 본 교육연구팀에서 제시하는 목표에 크게 부합하며, 대표적인 친환경 저널인 Green Chemistry (IF=11.034)에 출판되었다.					

	학위과정 (석사/박사/ 석박사통합)	참여 대학원생 성명	세부전공 분야	실적구분	대표연구업적물 상세내용
15	박사	Anam Rana Gul	생화학	저널논문	A. R. Gul, F. Shaheen, R. Rafique, J. Bal, S. Waseem, T. J. Park
					Grass-mediated biogenic synthesis of silver nanoparticles and their drug delivery evaluation: A biocompatible anti-cancer therapy
					Chemical Engineering Journal
					407, 127202
					2021. 03
					10.1016/j.cej.2020.127202
대표연구업적물 15는 나노입자(AgNP)의 생물학적 합성에 초원 잔디(Poaannua)를 사용한 최초의 논문이다. 해당 식물 추출물의 경우, 플라보노이드, 페놀, 알칼로이드를 포함하고 있어 AgNP에 대한 충분한 양의 환원제 및 안정제를 포함하고 있다. 합성된 AgNPs(지름 36.66 ± 7.85nm)는 4°C에서 1개월 이상 서로 다른 용매(탈이온수, 인산염 완충 식염수 등)에서 안정한 것으로 확인되었으며, 이 AgNP는 항암제를 추가로 탑재하고 암 치료제를 위한 새로운 약물 전달 복합체로서 활용될 수 있다. 또한, 생체내 연구에서 가장 높은 용량(300mg/kg)을 가진 AgNPs는 마우스 모델에 7일동안 경구 투여한 후 유의미한 세포독성을 보이지 않았다. 본 AgNP의 생물학적 기능성과 생체적합성은 생명/의료 분야에서 약물 운반체로써 기여할 수 있다. 본 연구는 Chemical Engineering Journal (IF 13.273)에 게재되었다.					
16	석박사통합	Hoa Duc Trinh	물리화학	저널논문	H. D. Trinh, S. Kim, J. Park, S. Yoon
					Core-satellite-satellite hierarchical nanostructures: assembly, plasmon coupling, and gap-selective surface-enhanced Raman scattering
					Nanoscale
					14, 17003
					2022. 11
					10.1039/d2nr04621k
금 나노입자는 매우 유용한 플라즈몬 특성을 가지고 있으며 이러한 특성들은 나노입자 사이의 나노갭에 의해 대폭 향상된다. 따라서 나노갭의 생성 및 제어는 첨단 플라즈몬 나노물질 개발의 핵심이라 할 수 있다. 기존 금나노입자의 dimer, trimer, 코어-위성 등의 조립체는 단일 유형의 나노갭을 갖고 있다는 한계를 가지고 있다. 본 연구에서는 한 조립체 안에 두 가지 유형의 나노갭을 가질 수 있는 코어-위성-위성(CSS) 형태의 계층적 프랙탈 나노구조를 만들고 이 조립체의 플라즈몬 커플링, SERS 증강 효과 등을 측정 분석하였다. CSS 조립체는 두 가지 유형의 나노갭을 독립적으로 변경 조절할 수 있으므로 향후 색 구현, SERS를 이용한 센서 개발 등 여러 분야에서 플라즈몬 나노소재로서 중요한 역할을 하리라 예상되며 이를 통해 사회문제 해결에 기여할 수 있다. 본 연구는 이러한 중요성을 인정 받아 나노소재 분야 우수한 저널인 영국왕립화학회에서 발간하는 Nanoscale (IF= 8.307)에 게재되었다.					

	학위과정 (석사/박사/ 석박사통합)	참여 대학원생 성명	세부전공 분야	실적구분	대표연구업적물 상세내용
17	박사	Ly Thi Minh Huynh	물리화학	저널논문	L. T. M. Huynh, H. D. Trinh, S. Lee, S. Yoon
					Plasmon-driven protodeboronation reactions in nanogaps
					Nanoscale
					12, 24062
					2020. 11
					10.1039/D0NR07023H
보론산은 Suzuki 커플링 반응과 단당류 검출에 이용되는 매우 중요한 화합물이다. 이러한 보론산에서 C-B 결합이 끊어지는 반응은 Suzuki 커플링 반응과 단당류 검출을 저해하는 매우 중요한 반응 경로이다. 본 연구는 4-mercaptophenylboronic acid(MPBA)라는 벤젠고리를 갖는 대표적인 보론산이 금나노입자와 금기판 사이의 나노갭에 위치하면 빛에 의해 유도된 플라즈몬에 의해 C-B 결합이 끊어지는 탈보론 반응이 쉽게 일어남을 관찰하고 그 반응 메커니즘을 규명하였다. 특히 플라즈몬 감쇠 과정에서 발생하는 에너지가 높은 뜨거운 전자(hot electron)에 의해 반응이 일어난다는 것을 밝혀 본 교육연구팀의 연구주제인 생물리광화학분야 발전에 기여하였다. 이 논문은 영국왕립화학회(RSC)에서 발간하는 나노화학분야 권위지인 Nanoscale (IF.8.307)에 출판되었다.					
18	석사	Muhammad Awais Ashraf	유기화학	저널논문	M. A. Ashraf, Y. Lee, N. Iqbal, N. Iqbal, E. Cho
					Sustainable radical approaches for cross electrophile coupling to synthesize trifluoromethyl- and allyl-substituted tert-alcohols
					iScience
					24, 103388
					2021. 12
					10.1016/j.isci.2021.103388
3차 알코올은 천연물과 생활성 분자들에서 특징적으로 발견되는 매우 중요한 구조이고, 트리플루오로메틸기(CF3) 또한 의약화학 분야에서 물질의 성질을 바꿀 수 있는 중요한 작용기로 여겨진다. 본 연구에서는 트리플루오로화메틸기를 가지는 3차 알코올의 합성법을 개발하였다. 구체적으로 트리플루오로메틸(CF3) 케톤과 알릴 할라이드(allyl halide)를 이용하여 트리플루오로메틸기와 알릴기가 치환된 3차 알코올을 합성하는 효과적인 광촉매 반응을 개발할 수 있었다. 또한 전기화학적 접근법으로도 라디칼 결합 반응이 진행되어 동일한 결과물을 성공적으로 합성할 수 있었다. 대표연구업적물 18은 친환경 광에너지원인 가시광을 효율적으로 활용하는 반응을 개발했다는 점에서 본 교육연구팀에서 제시하는 목표에 부합하며, Cell Press 출판사의 iScience (IF=6.107)에 출판되었다.					

	학위과정 (석사/박사/ 석박사통합)	참여 대학원생 성명	세부전공 분야	실적구분	대표연구업적물 상세내용
19	석박사통합	Ping Xu	생화학	저널논문	P. Xu, S. Ghosh, A. R. Gul, J. R. Bhamore, J. P. Park, T. J. Park
					Screening of specific binding peptides using phage-display techniques and their biosensing applications
					TrAC Trends in Analytical Chemistry
					137, 116229
					2021. 04
					10.1016/j.trac.2021.116229
바이오센서 개발은 인식 요소 확대에 대한 연구가 시급하며, 표시 펩타이드 기술의 순차적인 발전은 파지 디스플레이 펩타이드 라이브러리를 파지 코트 단백질에 융합함으로써 달성되어 왔다. 파지 디스플레이를 위한 스크리닝 절차는 항체의 대안인 다양한 결합 친화성 펩타이드를 쉽게 인식할 수 있다. 파지 디스플레이 펩타이드의 출현은 인식 분자의 부족을 보완했고 생물 감지 분야에서 전혀 없는 역할을 했다. 표시 펩타이드는 높은 친화성, 낮은 비용, 높은 순도 및 대량 생산, 분자 수준에서의 용이한 설계 및 수정, 정교한 검출 환경에 대한 저항성 등의 장점 때문에 최근에 다양한 바이오 센서의 특정 수용체에 사용되고 있다. 이 논문은 주요 바이오 센서에서 표시 펩타이드의 실현 가능한 적용을 요약하고 펩타이드 센서의 뛰어난 성능과 단점을 보여준다. 대표연구업적물 19는 TrAC Trends in Analytical Chemistry (IF=14.908)에 출판되었다.					
20	석박사통합	Ruth Stephanie	생화학	저널논문	R. Stephanie, B. B. Kim, P. Xu, Y. Choi, C. Y. Park, T. J. Park
					In vitro biosynthesis of iron selenide nanoparticles for imageable drug delivery platform
					Inorganic Chemistry Communications
					145, 109973
					2022. 11
					10.1016/j.inoche.2022.109973
본 연구는 UV 조사 하에서 PpMT-AtPCS로 구성된 재조합 융합 단백질의 도움으로 FeSe 나노 입자의 성공적인 생합성을 달성하였다. 결과적으로 생성된 나노물질은 여러 방법을 통해 확인되고 특성화되었으며, 이는 개발된 생물학적 경로가 다양한 생물학적 응용에 잠재적으로 매력적인 물질인 FeSe를 합성할 수 있는 실현 가능한 방법임을 보여준다. 또한 항암제인 DOX와 전체 시스템을 캡슐화하는 생체적합성 고분자인 PGA를 추가로 로딩하여 FeSe@DOX@PGA를 생성하여 영상 가능한 DDS로 사용될 수 있는 잠재력을 입증하였다. 이후 쥐에 대한 형광 영상 분석을 통해 이 약물 전달 플랫폼의 실현 가능성을 조사하여 영상화 가능한 DDS로 개발될 수 있는 가능성을 입증했다. 이 대표연구업적물 20는 Elsevier BV에서 출판하는 Inorganic Chemistry Communications (IF=3.428)에 게재되었다.					

	학위과정 (석사/박사/ 석박사통합)	참여 대학원생 성명	세부전공 분야	실적구분	대표연구업적을 상세내용
21	박사	Subhadee p Ghosh	생화학	저널논문	S. Ghosh, A. R. Gul, C. Y. Park, M. W. Kim, P. Xu, S. H. Baek, J. R. Bhamore, S. K. Kailasa, T. J. Park
					Facile synthesis of carbon dots from Tagetes erecta as a precursor for determination of chlorpyrifos via fluorescence turn-off and quinalphos via fluorescence turn-on mechanisms
					Chemosphere
					279, 130515
					2021. 04
					10.1016/j.chemosphere.2021.130515
농작물, 동물 등을 곤충과 벌레를 포함한 해충으로부터 보호하기 위해 사용되는 살충제는 Chlorpyrifos와 Quinalphos가 주원료로 사용된다. 농약의 주원료로 쓰이는 독성 물질을 선택적으로 민감하게 분석하는 방법을 향균, 항염증, 항진균 그리고 항암 활성을 가지고 있는 T. erecta flower를 사용하여 Carbon Dots (TEF-CDs)를 합성하고 형광 감지 플랫폼을 개발하였다. 합성된 TEF-CDs는 42일동안 안정적으로 형광 검출이 가능했으며, 실험적으로 확인한 LOD는 Chlopyrifos의 경우 2.1 ng/mL, Quinalphos의 경우 1.7 ng/mL로 매우 민감하게 반응하였다. 이는 생명/의료 분야 및 환경문제의 발판이 될 것이다. 이 대표업적물 21은 환경과 관련되어 수질, 토양등의 분석, 독성 및 위험도 평가 관련 논문을 출간하는 Chemosphere (IF=8.943)에 출판되었다.					
22	박사	Tambe D. Shrikant	유기화학	저널논문	Shrikant D. Tambe, C. H. Ka, H. S. Hwang, J. Bae, N. Iqbal, E. Cho
					Nickel-Catalyzed Enantioselective Synthesis of 2,3,4-Trisubstituted 3-Pyrrolines
					Angewandte Chemie International Edition
					e202203494
					2022. 05
					10.1002/anie.202203494
3-피롤린(pyrroline)은 다양한 분야에 응용되고 있는 중요한 헤테로고리 화합물이며, 그 중요성 때문에 다양한 피롤린 합성법들이 개발되었다. 알렌을 시작물질로 사용하는 경우에는 3과 4위치에 동시에 치환기를 가지는 3-피롤린을 합성하기 힘든 제한이 있다. 본 연구에서는 아미노아크릴레이트를 치환기로 가지는 알카인을 반응물질로 이용하여, 아릴-니켈레이션과 고리형성반응을 연속적으로 진행시켜 3과 4위치에 동시에 치환기를 가지는 3-피롤린을 성공적으로 합성할 수 있었다. 특히 키랄성 P ^N 리간드를 니켈촉매와 함께 이용하는 비대칭 반응을 통해 2위치에 키랄성을 가지는 순도높은 키랄성 결과물을 얻을 수 있었다. 대표연구업적물 22은 효율적인 반응을 개발했다는 점에서 본 교육연구팀 에너지 분야에서 제시하는 목표에 부합하며, 화학분야 최고 권위지 중 하나인 Wiley 출판사의 Angewandte Chemie International Edition (IF 16.823)에 게재되었다.					

	학위과정 (석사/박사/ 석박사통합)	참여 대학원생 성명	세부전공 분야	실적구분	대표연구업적물 상세내용			
23	석박사통합	Yixuan Wu	분석화학	저널논문	Y. Wu, H. Dang, S. -G. Park, L. Chen, J. Choo			
					SERS-PCR assays of SARS-CoV-2 target genes using Au nanoparticles-internalized Au nanodimple substrates			
					Biosensors and Bioelectronics			
					197, 113736			
					2022. 10			
					10.1016/j.bios.2021.113736			
본 연구에서는 감염병의 진단 시간을 단축시키기 위해 Au 나노뎀플기판을 이용한 SERS-PCR 센서를 개발하였다. COVID-19의 타겟 유전자들을 대상으로 개발된 Au 나노기판을 이용하여 SERS-PCR 에세이를 수행한 결과 105 copies/μL 농도의 타겟 유전자에 대하여, RT-PCR의 경우 25 cycle, magnetic bead-based SERS-PCR의 경우 15 cycle이 필요한 반면 AuNDS 기반 SERS-PCR의 경우 8 cycle로 진단 시간을 획기적으로 감축시켰다. 즉, 본 AuNDS 기반 SERS-PCR 진단 방법은 기존 RT-PCR의 진단 시간을 획기적으로 줄일 수 있는 가능성을 보여준다. 이 대표연구업적물 23은 센서 분야 최고 권위지 중 하나인 Elsevier에서 출판하는 Biosensors and Bioelectronics (IF=12.545)에 출판되었으며 Google Scholar 기준 현재 22회 인용되었다.								
총 참여대학원생 수				석사	58	제출요구량	23	
				박사	58			
				석박사통합	114			
				계	230			

② 참여대학원생 학술대회 대표실적의 우수성

<표 2-5> 평가 대상 기간(2020.9.1.-2023.2.28.) 내 참여대학원생 학술대회 발표실적

연번	학위과정 (석사/박사/ 석박사통합)	참여대학원생 성명	발표 형식 (구두, 포스터)	학술대회 발표실적 상세내용
1	석사	가철현	포스터	가철현, 이다슬, 조은진
				Solvent-dependent Photochemistry for Diverse and Selective C-H Functionalization of 2-tert-1,4-Benzoquinones
				22회 유기화학분과회 하계 워크샵
				2022. 08, 속초, 대한민국
2	석사	권소연	포스터	권소연, 김성현, 박태정
				Okadaic Acid Detection Using the Fluorometric Quenching Assay with OA-Specific Bioreceptors via Phage Display
				제129회 대한화학회 학술발표회
				2022. 04, 제주, 대한민국
3	석박사통합	김민우	포스터	김민우, 이대연, 박찬영, 박태정
				Electrochemical sensor for uric acid based on the bienzyme nanoparticle
				2022 한국바이오침학회 춘계 학술대회
				2022. 05, 부산, 대한민국
4	석사	김서연	포스터	김서연, 이다슬, 황호성, 배재한, Naeem Iqbal, 조은진
				Ni-Catalyzed stereospecific allene synthesis through inverse selectivity enabled by ligand H-bonding
				22회 유기화학분과회 하계 워크샵
				2022. 08, 속초, 대한민국

연번	학위과정 (석사/박사/ 석박사통합)	참여대학원생 성명	발표 형식 (구두, 포스터)	학술대회 발표실적 상세내용
5	박사	김석현	포스터	김석현, 이성운, 윤상운
				Effect of Nanoparticle Size on Plasmon-Driven Reaction Efficiency
				제129회 대한화학회 학술발표회
				2022. 04, 제주, 대한민국
6	석박사통합	당하준	포스터	당하준, Yixuan Wu, 박성규, 주재범
				SERS-PCR assays of SARS-CoV-2 using Au nanoparticles-anchored Au nanodimple substrates
				Nature conference Bio-Inspired Nanomaterials
				2021. 11, 온라인 개최
7	석박사통합	문석영	포스터	문석영, 윤성호
				Porous organic polymer containing Phosphine rich NNN pincer motif as a catalyst support for CO ₂ hydrogenation
				2022년 한국공업화학회 춘계 학술대회
				2022. 05 제주, 대한민국
8	석박사통합	박소현	포스터 및 구두	박소현, 주재범
				Amplification-free detection of COVID-19 target genes using a SERS-based microdroplet chip
				제126회 대한화학회 학술발표회
				2020. 10, 온라인 개최
9	석사	박주환	포스터	박주환, 윤상운
				Plasmonic Catalytic Activity of Au@TiO ₂ -Au Core Satellite Nanoassemblies
				제130회 대한화학회 학술발표회
				2022. 10, 경주, 대한민국

연번	학위과정 (석사/박사/ 석박사통합)	참여대학원생 성명	발표 형식 (구두, 포스터)	학술대회 발표실적 상세내용
10	박사	박홍진	포스터	박홍진 윤성호
				Enhanced CO ₂ hydrogenation into methyl formate using Ruthenium catalyst supported on NNN pincer-type organic polymers with post modification
				2022년 한국공업화학회 추계 학술대회
				2022. 11, 대전, 대한민국
11	석박사통합	양희모	포스터	양희모, 김지현, 성재영
				Differentiation of competitive vs. noncompetitive reaction process
				제130회 대한화학회 학술발표회
				2022. 10, 경주, 대한민국
12	석박사통합	원재혁	포스터	원재혁, 김지현, 성재영
				Network model for bacterial persistence to survive in adverse conditions
				제130회 대한화학회 학술발표회
				2022. 10, 경주, 대한민국
13	석박사통합	윤하영	포스터	이길선, 윤하영, 윤택상, 이철진, 윤성호
				CO ₂ is used to kinetically resolve Mg ²⁺ ion from Ca ²⁺ ion in CaMg(CO ₃) ₂ Dolomite
				SICC-11 (Singapore International chemistry conference)
				2022. 12, 싱가포르, 싱가포르
14	석박사통합	이다슬	포스터	이다슬, Naeem Iqbal, 정희민, 조은진
				Nickel Catalyzed Exogenous Base-free Stereoselective Arylvinilation of Alkynes
				제128회 대한화학회 학술발표회
				2021. 10, 부산, 대한민국

연번	학위과정 (석사/박사/ 석박사통합)	참여대학원생 성명	발표 형식 (구두, 포스터)	학술대회 발표실적 상세내용
15	박사	이민호	포스터	이민호, 이의현, 김지현, 조민행, 성재영
				Hydration level dependent diffusional heterogeneity of water molecules confined between lipid bilayer membranes
				제129회 대한화학회 학술발표회
				2022. 04, 제주, 대한민국
16	석사	이윤정	포스터	이윤정, 배재한, 황호성, 조은진
				Development Of An Indole-fused Pentacyclic Organophotocatalyst
				제129회 대한화학회 학술발표회
				2022. 04, 제주, 대한민국
17	석박사통합	정연주	포스터	정연주, 김기현, 주재범
				Rapid and accurate immuno-diagnosis of COVID-19 using SERS-based LFA strip with a portable Raman reader
				2022 한국바이오화학회 춘계 학술대회
				2022. 05, 부산, 대한민국
18	박사	정인춘	포스터	정인춘, 김지현, 성재영
				Statistical mechanics approach to DNA nanostar phase separation
				제129회 대한화학회 학술발표회
				2022. 04, 제주, 대한민국
19	석박사통합	최인락	포스터	최인락, 윤성호
				Hydrogenation of CO ₂ to Formic Acid with a NNN Pincer Heterogeneous Catalyst
				2022년 한국공업화학회 춘계 학술대회
				2022. 05 제주, 대한민국

연번	학위과정 (석사/박사/ 석박사통합)	참여대학원생 성명	발표 형식 (구두, 포스터)	학술대회 발표실적 상세내용		
20	석박사통합	Hoa Duc Trinh	포스터	Hoa Duc Trinh, 김석현, 박주환, 윤상운		
				Core-Satellite-Satellite Hierarchical Nanostructures: Assembly, Plasmon Coupling, and Gap-Selective SERS		
				제 130회 대한화학회 학술발표회		
				2022. 10. 경주, 대한민국		
21	박사	Ly Thi Minh Huynh	포스터	Ly Thi Minh Huynh, 윤상운		
				Plasmon-Driven Protodeboronation Reactions in Nanogaps		
				11th Asian Photochemistry Conference		
				2021. 10, 온라인		
22	석박사통합	Mengdan Lu	포스터 및 구두	Mengdan Lu, 정연주, 주재범		
				Surface-enhanced Raman scattering-based lateral flow assay strip for simultaneous diagnosis of SARS-CoV-2 and influenza A infections		
				제129회 대한화학회 학술발표회		
				2022. 04, 제주, 대한민국		
23	석박사통합	Stephanie Ruth	포스터	Stephanie Ruth, 김성현, 박찬영, 김민우, 박태정		
				High sensitive gold nanourchin for rapid bovine coronavirus detection		
				2021 한국생물공학회 춘계 학술대회		
				2021. 04, 제주, 대한민국		
총 참여대학원생 수			석사	58	제출요구량	23
			박사	58		
			석박사통합	114		
			계	230		

- **학술대회 대표실적 2: Okadaic Acid Detection Using the Fluorometric Quenching Assay with OA-Specific Bioreceptors via Phage Display (권소연)**
 1. **실적의 창의성, 혁신성:** 본 연구는 오카다 산 특이 결합 바이오 리셉터를 새롭게 발굴하고 이를 FAM (5-carboxyfluorescein) 염료로 개량하고 GO (Graphene Oxide)의 소광 효과를 이용하여 오카다산을 민감하고 신속하게 정량적으로 검출하는 방법을 개발하였다.
 2. **해당전공분야의 기여:** 본 연구 결과는 실생활과 식품 및 수산업 분야에 산재한 문제의 해결에 중요한 발판이 될 것이며 이는 사회 문제 해결이라는 본 교육연구팀의 비전 목표에 부합한다.
 3. **교육연구팀의 비전과 목표와의 부합성:** 본 연구에서 제시된 정량분석은 공중 보건에 심각한 건강 위험을 야기하는 해양 독소인 오카다산을 신속하고 민감하게 검출할 수 있다. 따라서 본 연구는 감염병 확산 및 생명/의료 분야의 문제 해결에 기여 할 수 있을 것이다.
 4. **기타우수성:** 본 연구 결과는 Springer에서 출판하는 BioChip Journal (IF=4.229)에 게재되었다.
- **학술대회 대표실적 5: Effect of Nanoparticle Size on Plasmon-Driven Reaction Efficiency (김석현)**
 1. **실적의 창의성, 혁신성:** 효율적인 플라즈몬 나노촉매 개발을 위해 나노입자의 크기가 핫캐리어 형성에 미치는 영향을 체계적으로 연구한 결과로, 본 연구는 고효율 플라즈몬 광촉매 설계를 위해서는 가시광에서의 광 “흡수” 효율과 해당 파장에서의 광자당 핫캐리어 생성 효율을 동시에 고려해야 하며 구형 나노입자의 경우 90 nm 정도 크기가 가장 적절한 크기임을 밝힌 연구로서 나노입자의 크기가 작을수록 핫캐리어를 잘 형성한다는 기존 통념을 타파하였다.
 2. **교육연구팀의 비전과 목표와의 부합성:** 본 연구 결과는 광촉매 및 에너지 분야 과학기술 문제를 해결하는 인재 양성을 목표로 하는 본 교육연구팀의 비전과 목표에 잘 부합한다.
 3. **해당 전공 분야의 기여:** 본 연구 결과는 나노입자의 광학적 특성을 이해하고 적용함으로써 광촉매 개발의 청사진을 제공하여 플라즈모닉스, 광촉매 및 에너지 분야에 기여하였다.
 4. **기타 우수성:** 본 연구 결과는 제129회 대한화학회 학술대회에서 포스터 발표로 소개되었으며, 우수한 연구 결과와 뛰어난 포스터 프리젠테이션으로 “우수포스터상”을 수상하였다. 또한, 연구 결과의 우수성을 인정받아 ACS Applied Material & interfaces (IF: 10.383)에 출판되었다.
- **학술대회 대표실적 6: SERS-PCR assays of SARS-CoV-2 using Au nanoparticles-anchored Au nanodimple substrates (당하준)**
 1. **실적의 창의성, 혁신성:** 본 연구는 COVID-19의 진단시간을 획기적으로 단축할 수 있는 나노플라즈모닉 센서에 관한 것이다. 기존 COVID-19 분자진단 방법의 문제점인 진단시간을 획기적으로 감소시킬 수 있는 새로운 진단 기술을 개발하였다.
 2. **교육연구팀의 비전과 목표와의 부합성:** 본 연구 결과는 생명 분야에서 산업계에 도움이 되는 기초원천 기술의 개발 측면에서 본 교육연구팀의 비전 및 목표에 잘 부합한다고 판단된다.
 3. **해당 전공 분야의 기여:** 본 연구 결과는 생명현상의 이해와 감염병 신속대응 등 본 교육연구팀에서 제시하였던 해당 전공 분야의 발전에 기여하였다.
 4. **기타 우수성:** 본 연구 결과는 2021년 11월 17일 Nature Conference Bio-inspired Nanomaterials' 분야에서 Best poster award (Gold Medal)을 수상하였으며 재료 및 센서 분야 최고 권위지 중 하나인 Wiley 출판사의 Advanced Functional Materials (IF=19.924)에 표지논문으로 출판되었다.
- **학술대회 대표실적 13: CO₂ is used to kinetically resolve Mg²⁺ ion from Ca²⁺ ion in CaMg(CO₃)₂ Dolomite (윤하영)**
 1. **실적의 창의성, 혁신성:** 기존에 보고되어있는 백운석으로부터 Ca와 Mg 이온을 분리하는 방법은 공정이 복잡하고 열에너지가 많이 요구되는 단점이 있는 반면, 해당 포스터에서 발표한 방법은 이

산화탄소 수소화로 생성된 triethylammonium formate 부산물을 이용하여 백운석으로부터 Ca 이온을 효과적으로 분리하는 것에 관련한 내용이다. 또한, Ca 이온이 분리되면서 MgO 역시 분리되므로 추가적인 경제성을 가질 수 있는 장점이 있다.

2. 교육연구팀의 비전과 목표와의 부합성: 본 연구 결과는 이산화탄소 수소화 생성혼합물의 목표 산물인 포름산을 효율적으로 분리 정제할 수 있는 공정에 관한 것으로써, 이를 통해 사회에서 문제가 되는 이산화탄소 배출 문제와 산업 소요 에너지 절약 문제를 해결할 수 있을 것으로 기대된다.

3. 해당 전공 분야의 기여: 백운석으로부터 Ca와 Mg 이온을 분리하는 방법에 관한 연구는 1800년대부터 진행되었으나, 현재까지 Ca와 Mg 이온을 반응속도론적으로 분리하는 방법에 관한 연구는 알려진 바가 없다. 본 연구 결과를 통해 백운석에 포함된 Ca와 Mg 이온을 반응속도론적으로 분리하여 낮은 반응 온도와 짧은 반응시간 동안 포름산 칼슘과 MgO를 효과적으로 생산할 수 있다는 것을 보일 수 있었다. 이는 해당 분야에서 주로 연구되어온 열역학적 분리 방법과는 다른 반응속도론적 근거를 토대로 진행된 연구로서, 새로운 연구의 방향성을 제시하는 귀중한 예시라는 의의가 있다.

4. 기타 우수성: 이러한 연구 내용을 기반으로, 2021년에 Green Chemistry (IF = 11.03) 에 논문이 게재되었으며, 2023년 2월에 국내 특허에 등록되는 성과를 달성하였다.

• **학술대회 대표실적 14: Nickel Catalyzed Exogenous Base-free Stereoselective Arylvinilation of Alkynes (이다슬)**

1. 실적의 창의성, 혁신성: 본 연구는 알카인의 효율적인 니켈촉매 반응에 관한 것으로, P⁺N⁻형태의 두자리 리간드를 활용하여 보조제 없이 니켈의 환원 및 알케닐 이동반응을 유도하는 데 성공했다.

2. 교육연구팀의 비전과 목표와의 부합성: 본 연구 결과는 효율성을 강조하는 산업계에 도움이 되는 기초원천 기술의 개발이라는 측면에서 본 교육연구팀의 비전과 목표에 잘 부합한다고 판단된다.

3. 해당 전공 분야의 기여: 본 연구 결과는 반응의 효율성과 관련하여 등 본 교육연구팀 에너지분야에서 제시하였던 해당 전공 분야의 발전에 기여하였다.

4. 기타 우수성: 본 연구 결과를 토대로 제128회 대한화학회 학술발표회에서 체계적으로 포스터 발표를 진행하여 우수포스터상을 수상하였고, 촉매화학 분야 최고 권위지 중 하나인 ACS 출판사의 ACS Catalysis(IF=13.700)에 그 결과를 보고하였다.

• **학술대회 대표실적 15: Hydration level dependent diffusional heterogeneity of water molecules confined between lipid bilayer membranes (이민호)**

1. 실적의 창의성, 혁신성: 세포막 이중층에 갇힌 물분자들은 일반적인 경우와 확연히 다른 확산현상을 보인다. 이에 대한 이해는 생명활동의 메커니즘을 이해하는데 중요한 연구 주제지만, 기존 연구들은 물 분자의 평균적인 움직임에 초점이 맞춰져 있으며 물 분자 움직임의 비-가우시안 성질은 조명받은 바가 없었다. 본 연구는 비-가우시안 성질을 관측했을 뿐만 아니라 연구원 소속 연구실의 자체적 이론을 이용해 이를 정량적으로 분석하는 데 성공하였다.

2. 교육연구팀의 비전과 목표와의 부합성: 본 연구는 수십나노미터 정도로 좁은 세포 막 사이 영역에 있는 물 분자의 거동양상의 정량적 분석에 성공함으로써 생물리광화학 학문의 기초분야를 발전시킨 업적이므로 본 교육연구팀의 비전에 부합한다.

3. 해당전공분야의 기여: 세포막 이중층 미세 공간은 신경 세포와 신경 세포를 연결해주는 시냅스 공간, 체내에 필요한 ATP를 생성하는 미토콘드리아의 내막과 외막 사이, 모든 진핵세포에서 발견되는 세포소기관인 소포체 등 우리 체내에서 다양하게 관측된다. 따라서 해당 공간 내에서 발생하는 분자의 확산 현상에 대한 분석은 생명 활동의 메커니즘을 이해하는 데 있어 중요한 연구 주제이다.

4. 기타우수성: 본 연구 성과는 독창성을 인정받아 2022년 대한화학회 춘계 학술대회에서 우수상을 수상하였다.

- **학술대회 대표실적 17: Rapid and accurate immuno-diagnosis of COVID-19 using SERS-based LFA strip with a portable Raman reader (정연주)**
 1. **실적의 창의성, 혁신성:** 본 연구는 기존에 상용화된 COVID-19 항원 신속 진단키트의 민감도와 정확성 문제를 해결할 수 있는 현장진단용 나노플라즈모닉 진단키트 개발에 관한 연구이다.
 2. **교육연구팀의 비전과 목표와의 부합성:** 본 연구 결과는 생명 분야 산업계에 도움이 되는 기초원천 기술의 개발이나 사회 문제 해결 측면에서 본 교육연구팀의 비전과 목표에 잘 부합한다고 판단된다.
 3. **해당 전공 분야의 기여:** 본 연구 결과는 생명현상의 이해와 감염병 신속대응 등 본 교육연구팀에서 제시하였던 해당 전공 분야의 발전에 기여하였다.
 4. **기타 우수성:** 본 연구 결과는 2022년 5월 22일 한국바이오칩학회와 2021년 4월 23일 대한화학회 학술대회에서 최우수 포스터 발표상을 수상하였으며 ACS에서 출판하는 ACS Sensros (IF=9.618)에 표지논문으로 출판되었다.
- **학술대회 대표실적 21: Plasmon-Driven Protodeboronation Reactions in Nanogaps (Ly Thi Minh Huynh)**
 1. **실적의 창의성, 혁신성:** 본 실적은 플라즈몬에 의한 핫캐리어 반응으로 지금까지 알려진 산화-환원 반응 외에 C-B 결합이 해리되는 탈보론(deboronation) 반응도 가능하다는 걸 보인 연구 결과를 발표하였다. 이는 플라즈몬 유도 반응의 외연을 확장하는 중요한 결과이며, 금나노입자 표면의 보론 산에 빛을 쬔었을 때 나타나는 라만스펙트럼의 변화가 기존에 알려진 보론산의 배향에 따른 변화가 아닌 C-B 해리 반응에 의한 새로운 생성물의 출현 때문이라는 것을 밝힌 중요한 결과이다.
 2. **교육연구팀의 비전과 목표와의 부합성:** 본 연구 결과는 탈보론화 반응을 이용한 오염물질 제거를 통하여 환경문제 및 유기합성의 새로운 방법을 제시하여 생명 및 의료분야의 발전, 에너지/환경문제 해결목표로 하는 본 교육연구팀의 비전과 목표에 잘 부합한다.
 3. **해당 전공 분야의 기여:** 본 연구 결과는 나노입자의 광학적 특성을 이해하고 적용함으로써 탈보론반응 메커니즘을 밝혀 플라즈모닉스, 광촉매 및 유기 분야에 기여하였다.
 4. **기타 우수성:** 본 연구 결과는 2021년 10월 온라인으로 열린 제11회 Asian Photochemistry Conference에서 “Plasmon-Driven Protodeboronation Reactions in Nanogaps” 라는 제목으로 포스터 발표를 진행하였다. Huynh 학생은 꼼꼼한 연구 수행 결과와 잘 정리된 발표로 이 학회에서 “Best Poster Paper Award” 를 수상하였으며 연구 결과를 인정받아 영국왕립화학회(RSC)에서 발간하는 나노화학분야 권위지인 Nanoscale (IF:8.307)에 출판되었다.
- **학술대회 대표실적 23: High sensitive gold nanourchin for rapid bovine coronacirus detection (Stephanie Ruth)**
 1. **실적의 창의성, 혁신성:** 본 연구는 요산 바이오센서로 통상 사용되어 높은 선택성과 민감도를 보여주는 바이오센서 레독스 커플 ($\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-/4-}$)이 도핑된 PANI의 용도를 상세히 설명할 수 있다.
 2. **교육연구팀의 비전과 목표와의 부합성:** 본 연구는 요산 바이오센서의 쉽고 높은 신뢰도를 설명해 줄 수 있고 POC(Point-of-Care) 진단에 사용될 의료 서비스 기술의 발전에 기여할 수 있다. 따라서 기술의 개발이나 사회 문제 해결 측면에서 본 교육연구팀의 비전에 부합한다.
 3. **해당전공분야의 기여:** 본 연구는 대사물 감지에 사용될 수 있는, 쉽게 조정 가능하고 생체적합성을 가진 전도성 고분자 사용성 발전에 기여하였다.
 4. **기타우수성:** 본 연구는 마이크로 니들, 패치형 센서(데이터 미공개) 등 다른 플랫폼에서도 진행되고 있는 것으로 나타났다. 이 작품은 국내에서도 특허로 출원되었으며 Royal Society of Chemistry에서 출판하는 Analyst (IF=5.227)에 Cover 및 HOT article로 게재되었다.

③ 참여대학원생 특허, 기술이전, 창업 실적의 우수성

〈표 2-6〉 참여대학원생 특허, 기술이전, 창업 등 실적

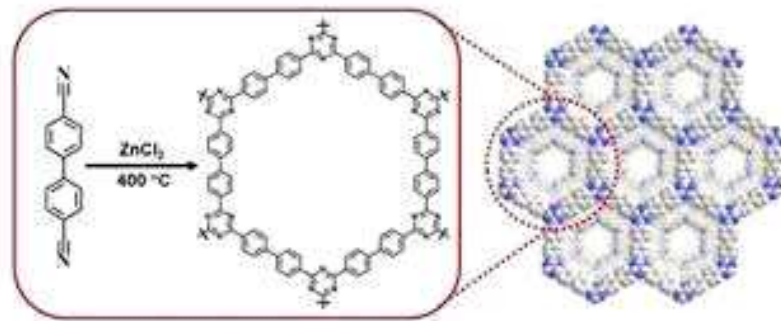
연번	학위과정 (석사/박사/ 석박사통합)	참여대학원생 성명	실적구분	특허, 기술이전, 창업 등 실적 상세내용
1	박사	박홍진	특허	발명자: 이정현, 이주연, 박홍진
				특허명: 공유결합 트리아진 구조체를 이용한 알코올 투과증발용 복합 분리막
				등록국가: 대한민국
				등록번호: 10-2433139
				등록연월: 2022. 08
2	석박사통합	윤하영	특허	발명자: 정해원, 김철현, 최현, 진정현, 윤성호, 윤하영
				특허명: 포름산 칼슘의 제조 방법 및 제조 장치
				등록국가: 대한민국
				등록번호: 10-2506565
				등록연월: 2023. 02
3	석박사통합	이다슬	특허	발명자: 조은진, 이다슬, 비닛 쿠마르 소니
				특허명: 트리플루오로메틸화된 하이드로퀴논 유도체 및 이의 제조 방법
				등록국가: 대한민국
				등록번호: 10-2483278
				등록연월: 2022. 12
4				
5				

6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				

16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
총 참여대학원생 수			석사	58	제출요구량	23
			박사	58		
			석박사통합	114		
			계	230		

• **참여대학원생 특허실적 1**

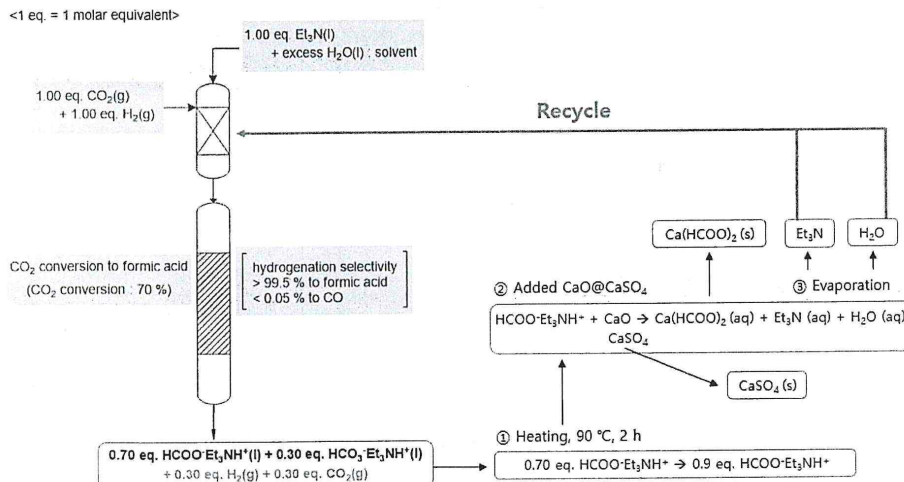
박홍진: 공유결합 트리아진 구조체를 이용한 알코올 투과증발용 복합 분리막 (특허등록:10-2433139)
공유결합 트리아진 구조체를 이용한 알코올 투과증발용 복합 분리막(10-2433139)은 2022년에 등록된 특허로, n-부탄올(n-BtOH) 회수를 위한 고성능 침투증발막 제조를 위해 PDMS(Polydimethylsiloxane)에 새로운 종류의 유기 다공성 물질인 biphenyl 기반 공유 결합 트리아진 프레임워크(CTF) 입자를 통합하였다. CTF 로딩을 증가시키면 막의 플럭스와 분리 계수가 모두 현저하게 향상되었다. 이것은 n-BuOH에 대한 투과성이 높고 우선적인 경로를 제공하는 CTF의 강한 수소성, 높은 다공성 및 mesoporous 구조에 기인한다. 기존의 미세 다공성 입자를 포함하는 다른 보고된 PDMS 기반 혼합 매트릭스 멤브레인과 비교하여 CTF 통합 PDMS(CTF/PDMS) 멤브레인이 훨씬 더 높은 플럭스와 우수한 분리 계수를 나타냈다는 것에서 진보성과 차별성을 가지고 있다. 공급 온도와 n-BuOH 농도를 높이면 투과 증발 성능이 더욱 향상되었다. 해당 특허는 침투 증발 및 가스 및 유기 용매 분리를 위한 고성능 멤브레인을 준비하는 효과적인 방법을 제안한다. 이러한 멤브레인은 bk사업의 비전 목표인 '미세먼지 및 이산화탄소 배출 문제 해결'의 한 방법을 제시할 수 있다는 점에서 중요성을 가진다. 특히, 멤브레인에 사용된 다공성 물질은 미세먼지 분리막으로 사용될 수 있을 뿐만 아니라, 이산화탄소의 고부화 가치 화합물로 전환에 이용될 수 있는 잠재력을 가지고 있다.



• **참여대학원생 특허실적 2**

윤하영: 포름산 칼슘의 제조 방법 및 제조 장치 (특허등록: 10-2506565)

포름산 칼슘의 제조 방법 및 제조 장치(10-2506565)는 2023년 2월 대한민국 특허로 등록되었으며 이산화탄소의 수소화 과정에서 제조된 포름산-아민 부가화합물과 칼슘 화합물을 반응시켜, 기존의 포름산 제조 공정에서 요구되는 복잡한 분리 공정 및 보조 염기를 배제하고 단순한 공정으로 포름산 칼슘을 제조 및 분리할 수 있다는 내용이다. 이러한 공정은 경제성 및 효율성이 매우 높다는 장점을 가진다. 포름산 및 이의 염은 산업에서 다양하게 이용될 수 있는 화합물이며, 특히, 포름산 칼슘은 독성이 매우 낮은 화합물로서 타일 첨가제, 사료 첨가제, 콘크리트 경화 촉진제 등의 다양한 분야에 사용된다. 상용 포름산 칼슘은 trimethylolpropane의 제조 시 부산물로 생성되는데, 공급량 부족으로 인한 높은 가격으로 사용처가 제한되는 문제점을 가지고 있으며, 또한, 기존에 연구되어있는 triethylamine 하에서 이산화탄소 수소화를 통한 포름산 생산 방법은 복잡한 아민 및 포름산 분리 공정이 요구되는 문제점이 있다. 따라서, 기존의 포름산 제조 공정에서 요구되는 복잡한 분리 공정 및 보조 염기를 배제하고 단순한 공정으로 포름산 칼슘을 제조 및 분리하는 경제적이면서 친환경적인 공정을 개발하였다. 해당 공정의 개발을 통해 산업 및 사회에서 문제가 되는 이산화탄소 배출 문제를 효과적으로 해결할 수 있으며, 더불어 해당 공정은 CaO를 포함하는 다양한 폐기물을 자원화하는 친환경 공정이다. 따라서 해당 공정은 기후변화 등의 환경문제에 긍정적으로 기여할 수 있으므로 본 교육연구팀의 비전과 목표에 부합한다.

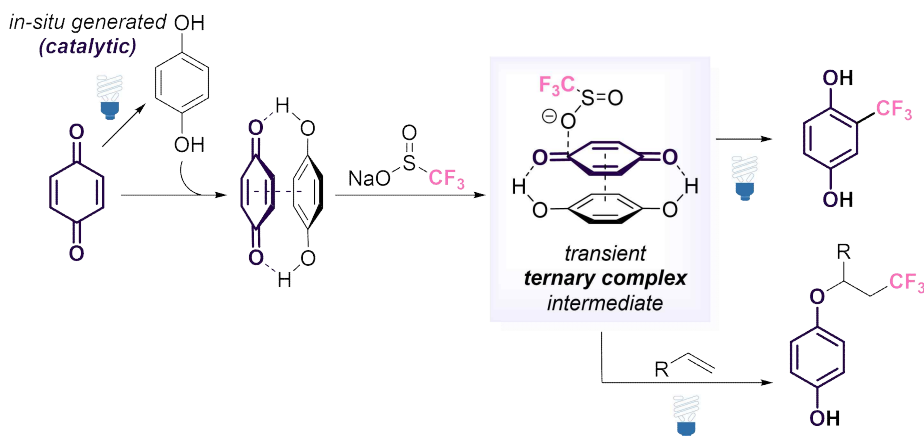


• 참여대학원생 특허실적 3

이다슬: 트리플루오로메틸화된 하이드로퀴논 유도체 및 이의 제조 방법 (특허등록: 10-2483278)

본 발명은 기능성 물질인 트리플루오로메틸화된 하이드로퀴논(HQ) 유도체의 제조방법에 관한 것이다. 하이드로퀴논(HQ)은 다양한 생물학적, 화학적 활성 때문에 잘 알려진 기능성 분자이며 특히 항바이러스 및 항진균 특성을 지닌 분자로 알려져 있다. 트리플루오로메틸기(CF₃)는 신진대사 안정성, 지질용해도, 생물학적 이용가능성, 결합 선택성 및 세포막 투과성을 조작하는 분자기능을 가진 가장 특별한 치환기로 여겨진다. 이에 트리플루오로메틸화 하이드로퀴논(CF₃-HQ) 유도체들은 CF₃ 치환기가 없는 분자들에 비해 적은 양으로도 향상된 생물학적 활성을 나타낼 것으로 예상되어 그 합성법을 개발하였다. 본 제조법에서는 가시광과 물 등의 친환경 요소를 이용하였고, 벤조퀴논(BQ)과 친핵성 CF₃ 시약을 이용해 소모성 전자 공여체 없이 일시적인 전자이동 복합체의 형성으로 CF₃-HQ 유도체들을 합성하였다. 이 제조법은 친환경 가시광을 이용하는 광반응으로 본 교육연구팀의 비전과 목표와 부합한다.

합성된 결과물은 항진균성, 항바이러스성 등 다양한 생물학적 특성을 나타내어 기대되는 기능성 후보 물질이다.



3.2 대학원생 연구 수월성 증진 실적

■ 교과 및 학위 과정 개편을 통한 연구 수월성 증진

• 교육-연구 융합형 교육 콘텐츠 개발

본 교육연구팀 대학원생들이 해외 우수 대학에 비해 많은 교과목 강의를 수강해야 하는 환경에서도 연구에 몰입할 수 있는 환경을 제공하기 위해, 본 교육연구팀 참여교수들이 개설하는 상당수 과목에서 R&D 관련 콘텐츠를 제공하였다. 아래 표에 제시한 과목들에서 생물리광화학 관련 과학기술 문제나 사회 및 산업문제 해결 관련 연구내용을 강의 콘텐츠로 제공하고 문제 해결형 연구 수행을 과제로 제시하여 그 결과가 논문 출판이나 특허등록, 기술이전 등으로 이어질 수 있도록 하였다.

[표 II-24] 평가 기간 내 교육-연구 융합형 교육 교과목 현황

과목명	개설학기	담당 교수	교육-연구 융합형 교육 콘텐츠
고급나노플라즈모닉스	2020-2	윤상운	플라즈몬 공명에 의한 나노입자 주변의 전기장 형성 원리 이해 및 FDTD를 이용한 시뮬레이션
바이오센서 및 미세소자	2020-2 2022-2	주재범	단백질과 유전자의 고감도 검출을 위한 바이오센서와 미세소자의 기본 원리와 응용
생물리화학	2021-1	성재영	세포내 상분리 현상 이해와 온도와 모노머 유입속도에 따른 나노입자 크기 조절 방법
인공지능융용화학 ⁽¹⁾	2021-2 2022-2	김지현 ⁽²⁾	기계학습 전반에 관한 내용들의 순차적 학습 및 분자 모델링, 단백질 간 상호작용, 반응 네트워크 등에 대한 활용 모색.
광유기화학 ⁽¹⁾	2022-1	조은진	광에너지를 이용하는 유기반응들과 그 반응기작을 학습
생무기화학 ⁽¹⁾	2022-1	윤성호	금속효소 및 모델화합물, 금속 기반 약물, 생체 재료 및 생체 촉매 등 생무기화학에 분야의 화학적 방법 및 미래방향 학습
바이오재료화학	2022-2	박태정	바이오재료의 디자인 및 활용을 위한 기초지식 및 다양한 응용에 대한 화학적 방법제시

⁽¹⁾신설 또는 개편된 생물리광화학 세부전공 교과목

⁽²⁾본 교육연구팀 소속 부교수

• 생물리광화학 세부전공 신설을 통한 교육-연구 융합형 교과목 개편 및 신설

위 1.1에서 상술한 바와 같이 현재 화학과 내 5개 세부전공(물리화학, 유기화학, 무기화학, 분석화학, 생화학)에 더해 생물리광화학 세부전공을 신설하였다. 또한, 생물리광화학 전공 교과과정 안에 해당 분야에서 제기되는 과학기술 문제를 해결하고, 그 성과가 논문, 특허, 기술이전 등으로 연결될 수 있는 교육-연구 융합형 교과를 다음과 같이 새로 개설하였다.

[표 II-25] 평가 기간 내 생물리광화학 세부전공 신생 교과과정

분야	교과목	담당 교수	신설 학기
생명 트랙	생무기화학	윤성호	2022-1
	인공지능융용화학	성재영	2021-2
에너지 트랙	광유기화학	조은진	2022-1

• 졸업요건 중 강의교과목 이수학점 과다 문제 개선

현재 본 대학원은 졸업요건 중 강의교과목 이수학점은 석사과정 30학점, 박사과정 30학점, 석박사통합과정 57학점으로 본 교육연구팀에서 벤치마킹한 해외 우수 대학보다 4배 이상 많다. 이처럼 많은 강의교과목 이수를 요구하는 현 졸업요건은 본 교육연구팀 대학원생들이 연구에 몰입할 수 있는

시간이 해외 우수 대학 대학원생들보다 턱없이 부족하게 되는 커다란 문제점이 있다. 본 교육연구팀은 이 문제를 개선하기 위해 현재 본교 자연과학대학 및 대학원 과정 졸업요건에서 강의이수학점을 줄이는 방향으로 개선할 것을 대학본부와 대학원 측에 건의하고 관철될 때까지 지속적으로 개선을 요구하고 있다.

- **교과 수업 접근성 확충을 통한 연구 시간 확보**

본 교육연구팀은 사업 기간 중 기존 온라인 강좌 학습효과에 주목하여 온라인 대학원 강의 확대 개선을 계획하였다. 실제 코로나19로 인한 비대면 수업이 의무화됨에 따라 지난 사업 기간 중 상당 기간 (2020-2학기, 2021-1학기, 2021-2학기, 2022-1학기)에 강좌 대부분을 온라인으로 운영하였으며 대학원생들의 연구진행 상황에 따라 탄력적인 학습시간 관리가 가능할 수 있었다.

- **대학원생 연차 점검 보고서 도입을 통한 연구 수월성 증진**

매년 연구수행 보고서와 평가 용지로 구성된 대학원생 연차 점검 보고서를 작성하게 하였다. 위 [표 II-4] 평가 기간 내 대학원생 연차 점검 보고서 시행 실적과 같이 본 사업이 시작된 이래 총 22회에 걸쳐 박사과정, 석박통합과정 학생들에게 연차 점검 보고서를 작성하도록 하고 지도교수와 함께 이를 점검함으로써 학생들은 본인의 진척 상황을 돌아보도록 하고 지도교수는 향후 지도 방향을 설정하고 학생들의 연구 수월성 증진계획을 수립할 수 있도록 하였다.

- **박사학위취득을 위한 최소 SCI 논문 요건 강화**

본 BK21 교육연구팀의 대학원생 연구 수월성 증진계획에 따라 석박사통합과정과 박사과정의 경우 본인이 주저자인 우수 SCI 논문(JCR 상위 20% 이상 혹은 세부학문분야 선도저널) 2편 이상 혹은 JCR 5% 이내 1편을 박사과정 입학 후 발표한 자에게 박사학위 논문 제출 자격을 부여하고 있다. 이에 따라 본 교육연구팀이 소속된 중앙대 화학과 대학원 내규도 2020년 9월 박사학위 수여 기준이 SCI논문 2편으로 상향 조정되어 2020년 12월 21일에 화학과 홈페이지에 공표된 바 있다. (이전 중앙대 화학과 박사학위 논문 제출 자격은 박사과정 입학 후 SCI 논문 1편)

■ 학술헌동 지원을 통한 연구 수월성 증진

- **국제 학술헌대회 참여 지원**

코로나19 종식으로 대면으로 열리는 국제학술헌대회가 많아짐에 따라 점차 지원을 확대하였다. 학술헌 발표를 통해 전공지식에 대한 견문을 넓히고, 발표 및 커뮤니케이션 능력을 향상시키며, 새로운 아이디어 도출을 위한 기회를 얻을 수 있다. 이에 우수한 연구결과를 도출한 대학원생들에 대하여 국제학술헌회의 참가를 지원하였다. 또한, 현재까지의 사업참여 중 상당 기간 국제방문 및 초청이 제한적이었음에 기인하여 학생들의 온라인 국제학술헌대회 참가를 독려하였다. 이에 대한 내용은 [표 II-34] 평가 기간 내 참여 대학원생 국제 학술헌대회 참가 대표 실적에 상술 되어있다.

- **국제 공동연구 지원 (장단기 방문연구)**

본 교육연구팀은 사업참여 중 코로나19로 인해 대학원생들이 해외연구실을 방문하여 공동연구를 수행하기에 어려움을 가졌다. 이 문제를 극복하기 위해 실시간 온라인 연구회의 등 온라인 공동연구를 진행하여 본 참여대학원생들의 세계화 역량을 강화하고 경쟁력 있는 연구결과 도출 기회를 제공하였다. 이에 공동연구에 참여한 대학원생들은 우수한 성과를 얻었으며 ACS Sensor, Angewandte Chemie International Edition 등 해외 우수 저널에 논문을 출판할 수 있었다. 참여 대학원생의 해외 연구실 대표적인 공동연구 현황은 <표 2-10>에 명시된 바와 같다.

- **영어논문 작성 교육 프로그램**

[표 II-7] 평가 기간 내 비교과 교육과정 이수 실적에서 제시한 것처럼 많은 참여대학원생이 중앙대 도서관에서 개설하는 영어논문 작성법, 논문작성법 수업에 참여하여 외국어 논문 작성 능력 향상을 위해 노력하였다. 아울러 대학원생들의 외국어 능력 향상을 위하여 Technical University-Darmstadt Human Resources Department의 외국인 연구원 Luke Bates의 지도로 비교과 외국어 수업을 진행하였다. 현재 본 교육연구팀은 소속 대학원생들의 학위논문을 100% 영문으로 작성하도록 하고 있으며 사업기간 중 총 학위논문 수 23건 중 외국어 작성 학위논문 수 23건으로 100% 비율을 유지하고 있다.

- **우수논문 선정 및 수상**

본 사업이 시작된 이후 계획한 대로 “우수논문상”을 제정하였고 매년 여름 우수논문상 시상식을 개최하여 우수한 연구실적을 거둔 학생들을 격려하고 학생들의 연구 의욕을 고취했다. 나아가 우수논문상을 확장하여 “우수 학위 논문상”과 “신진연구인력 우수 논문상”도 신설하여 학생들에게 연구 및 학술활동에 대한 동기부여를 강화하고 졸업 후 커리어 개발에도 도움을 찾을 수 있도록 하였다.

- **대학원생 정기 세미나를 통한 대학원생 교류 지원**

코로나19로 인한 집합금지 명령에 따라 첫 2년간 교류 행사를 유예하다가 상황이 엔데믹으로 전환되면서 지난 2023년 1월 첫 학술문화축제를 개최하였다. BK21 사업의 성과가 학과 전체로 확산하도록 BK21이 후원 아래 “중앙대 화학과 및 BK21 대학원생 학술문화축제”의 형태로 치러졌으며, 총 82명이 참가하고 5명의 학생이 구두발표, 18명의 학생이 포스터를 발표하는 등 성황리에 개최되었다. 본 행사를 통하여 각 대학원생이 수행하고 있는 연구 배경 및 진행상황을 교류하고 교분을 쌓는 시간을 가질 수 있었다. 이러한 대학원생 정기 세미나는 교육팀 내 대학원생 간의 연구 인프라 공유 및 공동 연구의 시작점이 될 것으로 기대된다.

■ **취업 및 진로 지도를 통한 연구 수월성 증진**

- 사업 기간 중 대다수 졸업생이 전공에 부합되게 취업 또는 진학했으며, 그 우수성을 확인할 수 있는 사례들을 <표 2-3>에서 확인할 수 있다. 본 교육연구팀 소속 학과에서는 매년 ‘화학인의 밤’ (졸업생 초청 화학과 행사)를 진행해 왔으며, 사업기간 중 제한적이거나 화학인의 밤을 개최하였다. 해당 행사는 ‘삼성전자’, ‘GC녹십자’ 등에서 활동하고 있는 선배 졸업생들의 초청 강연을 통해 학생들이 취업 정보를 얻을 수 있도록 기회를 제공하였다.

또한, 2023년 2월 브릿지바이오 테라퓨틱스의 이정규 대표이사를 초빙해 ‘국내 글로벌 혁신신약 사업의 미래’를 주제로 산학협력 세미나를 진행하였다. 실제 산업 R&D 현장의 최전선에서 활약하고 있는 연구자로부터 관련 산업의 현재 동향과약과 미래에 대해 들음으로써 참여학생들은 졸업 후 취업 및 진로 설계에 상당한 도움을 얻었을 것이라 기대한다

4. 신진연구인력 운용

4.1 우수 신진연구인력 확보 및 지원 실적

〈표 2-7〉 교육연구팀 신진연구인력 현황

(단위: 명)

구분	신진연구인력 수		
	평가 대상 기간 내 총 인원 수	총 참여 개월 수	1인당 평균 참여 개월 수
박사후 과정생	1	30	30
계약교수	1	5	5
계	2	35	18

① 우수 신진연구인력 확보 및 지원 실적

(1) 신진연구인력 확보 현황

- 평가 기간 내 본 교육연구팀에는 1명의 연구전담교수와 1명의 박사 후 연구원이 참여하고 있고, 기본적으로 BK21 기준에 준하는 급여, 4대 보험, 논문 발표에 대한 인센티브가 공동으로 지급되었다. 참여 교수별 우수 신진연구인력 확보현황과 대표실적은 아래와 같다.

■ 4단계 BK21 평가기간 내 신진연구인력 기 확보현황

[표 II-26] 평가 기간 내 신진연구인력 기 확보현황

구분	이름	참여교수	기간	대표실적/주요경력
연구전담교수 (한국연구재단 세종 사이언스 펠로우)	박성준	성재영	20200901-20210131	- 대표논문: J. Kang & S. J. Park et al., <i>Phys. Rev. Lett.</i>, 126, 126001 (2021) 2021~2026 한국연구재단 세종사이언스 펠로우
	SARS-CoV-2 바이러스의 세포 침투 동력학과 사람 간 전이 동력학 연구를 수행하고 있음. 2021년 한국연구재단 세종 사이언스 펠로우로 선정됨. 현재 서울대학교 이론물리학연구소를 방문하며 공동연구를 수행 중.			
박사 후 연구원	최명길	성재영	20200901-현재	대표논문: 1) M. G. Choi, et al. <i>Dyes Pigment.</i> 2021, 192, 109394. 2) M. G. Choi, et al. <i>Sens. Actuat. B-Chem.</i> 2021, 349, 130764. 3) M. G. Choi, et al. <i>Sens. Actuat. B-Chem.</i> 2022, 368, 132118.
	최명길 박사는 2020년 9월 본 교육연구팀에 합류한 이래로 생체 내 금속 이온 또는 생물학적 중요 물질을 검출할 수 있는 다양한 광학프robe를 개발하였으며, 이를 이용한 생물학적 응용실험을 진행하고 있음.			

(2) 우수 신진연구인력 지원 계획 대비 실적

■ 국제적 수준의 박사 후 연수 프로그램 개발

- 4단계 BK21 사업기간 동안 생물리광화학 분야에 연구경쟁력을 확보한 참여교수들과 관련 국내외 선도연구기관과의 공동연구 네트워크를 적극적으로 활용하여 세계적 수준의 경쟁력을 가진 박사 후 연수 연구프로그램들을 개발하고 이를 다시 국내외 대학에 적극적으로 홍보하였다.

- 신진연구인력들이 세계 최고 수준의 박사 후 연수 경험의 기회를 제공하기 위하여 국내외 생물리광화학 선도 연구기관들과 공동연구를 추진하고 있었지만, 코로나19 상황으로 인하여 평가 기간 내에 프로그램의 정상적인 운영이 어려웠다. 하지만 아래 표와 같이 해외 대학에 신진연구인력이 세계 최고 수준의 박사 후 연수 경험을 쌓을 수 있는 기회를 제공할 예정이다.

[표 II-27] 본 교육연구팀 소속 우수 신진연구인력 박사 후 연수 예정

이름	지도교수	해외 대학
박성준	성재영	• Center for theoretical biophysics at Rice University

■ 본교 생물리광화학 사업팀-국책연구소 연계 박사 후 연수 프로그램 운영

- 본 생물리광화학 사업팀의 연구 프로그램을 본 대학에 소재한 생물리광화학 분야 국책연구소인 세포화학동역학 창의연구단 (Creative Research Initiative Center for Chemical Dynamics in Living Cells), 나노-광 융합 바이오 의료 진단 선도연구센터 (Nanophotonics-based Biomedical Diagnostics Research Center), 탄소중립 관련 “Carbon to X” 연구단과 박사 후 연수 프로그램을 연계함으로써 본 교육연구팀의 연구경쟁력을 극대화하였다. 또한, 우수 신진연구인력을 본교 생물리광화학 국책연구소에 겸직시켜 BK21 사업 예산으로 부족할 수 있는 인건비를 추가지원 함으로써 우수 신진연구인력들을 확보 및 지원하고 있다.

[표 II-28] 평가 기간 내 사업팀-국책연구소 연계 박사 후 연수 프로그램 실적

구분	이름	지도교수	소속 국책연구단	연구 프로그램 인건비
연구전담교수	박성준	성재영	세포화학동역학 창의연구단	• SARS-CoV-2 바이러스 세포 침투 동역학 및 전파 동역학 연구 • 인건비: 세종 사이언스 펠로십 (연간 6천만원)

■ 참여 교수들이 수행하는 다양한 연구개발과제를 통한 추가지원

- 본 교육연구팀 참여교수들은 한국연구재단, 과학기술부, 보건복지부 등 정부 부처와 생명/에너지 분야 관련 기업체로부터 정부과제 및 산한협동 과제를 수주하고 있다. 이처럼 본 교육연구팀은 다양한 연구개발과제 수행을 통해 BK21 신진연구인력 지원 인건비 이외에 추가 인건비와 연구활동비를 지급하여 참여 신진연구인력에게 안정적인 생활과 학술활동을 지원하고 있다.

■ 신진연구인력 생활 지원 프로그램 개발

- **외국인 신진연구인력 초기 정착 지원 프로그램 운영:** 교내 국제교류처와 협력하여 외국 신진 연구인력들에게 초기 정착 지원 서비스와 한국어 강의 등을 전문적으로 제공하는 international scholar office를 운영하고 있다.
- 국제적 수준의 신진연구인력 및 생활 지원 프로그램을 마련함으로써 본 교육연구팀의 박사 후 연구원 생활지원 브랜드 가치도 함께 높일 수 있었다. 국내외 과학 매체 및 저널을 활용하여 신진연구인력 생활 지원 프로그램을 연구개발 프로그램과 함께 적극적으로 홍보하고, 국내외 우수대학 및 연구기관에 본 교육연구팀을 널리 알려 우수한 신진연구인력을 모집하는 데 주력하고 있다.

- **문화 프로그램 참여지원 사업:** 본 교육연구팀에서는 연구원들에게 본교 주최 문화행사는 물론 서울시에서 제공하는 우수 문화행사들을 정기적으로 안내하고 참여를 권장하고 있다. 코로나19가 완화된 2022년-1학기 이후 ‘LUCAS 축제, ‘대학원생 원우한마당, ‘자연과학대학 가을문화축제’ 등 중앙대학교의 다양한 문화행사가 대면/비대면 형식으로 다시 마련되었다. 문화행사에 참여함으로써 신진인력들이 연수과정 중 받을 수 있는 스트레스들을 효과적으로 해소하고 심리적 건강과 행복을 유지하며 연수과정을 성공적으로 마칠 수 있을 것으로 기대된다.
 - **신진인력 생활 상담 프로그램 운영:** 중앙대학교는 연구원들이 필요로 하는 경우 상담을 받을 수 있도록 개별 상담 및 집단 상담 프로그램을 운영하고 있다. 중앙대학교 인권센터(홈페이지: <https://humanrights.cau.ac.kr/>)에는 연구원들의 이야기를 경청하고 심리 상담을 해 줄 수 있는 전문 상담연구원이 상주하며 각종 차별이나 부당한 대우, 인권침해 및 개인적 어려움이 발생했을 때 문제해결을 위한 정보와 상담 서비스를 제공하고 있다. 본 교육연구팀 소속 신진연구인력들이 지도교수와의 상담으로도 문제를 해결하지 못하는 경우 이와 같은 상담 프로그램을 지속적으로 운영하여 문제를 해결하고 있다.
- **신진연구인력 경력 개발 지원 프로그램**
- **신진연구인력 국내외 학회 발표 지원:** BK21 사업 추진 기간 중 우수한 연구 성과를 거두어 낸 신진연구인력들이 국내외 학회에서 발표하는 경우 학회 등록비 및 여행 경비를 일정 부분 지원하고 있다.
 - **신진연구인력 연구비 수주 지원:** 본 교육연구팀 신진연구인력들이 정부의 연구지원 사업을 수주하는 경험을 쌓을 수 있도록 정보를 제공하고 지원을 독려할 것이다. 한국연구재단의 ‘창의·도전연구 기반지원’ 사업 등 신진연구인력이 지원 가능한 연구과제에 지원 및 선정될 수 있도록, 본 교육연구팀 소속 교수 및 신진연구인력 간에 연구제안서 검토 및 피드백 등의 적극적인 소통을 진행하여 다음의 연구비 수주실적을 달성하였다.

[표 II-29] 평가 기간 내 본 교육연구팀 소속 우수 신진연구인력 연구비 수주실적

이름	지도교수	연구비	내용
박성준	성재영	연간 1억	• 2021~2026 한국연구재단 세종사이언스 펠로우 지원 사업 수주

- **산학협력 연구 기회 제공:** 본 교육연구팀은 소속 신진연구인력들의 인적네트워크 확대 기회를 제공하기 위해서 이정규 (브리지 바이오 CEO), 임영희 (LG 화학 분석팀 연구 위원), 이진욱 (삼성전기 팀장)를 초빙하여 산학협력 연구 기회를 모색하였다. 이외에도 본 교육연구팀은 생명 및 에너지 분야 산업계 전문가와 협력하여 산업 및 사회 문제를 해결하기 위한 협의체를 구성하고, 이를 통해 지속적인 협력 연구를 수행하여 신진연구인력의 취업 및 네트워크 확대를 지원하고 있다. 현재 본 교육연구팀과 협력관계를 맺고 있어 신진연구인력들이 산학협력 연구 경험을 제공할 수 있는 협력기관들은 다음과 같다.

[표 II-30] 평가 기간 내 본 교육연구팀 신진연구인력 산학협력 연구

연구 내용 및 지원기관	산학협력기관	연구 내용
이산화탄소 전환 포름산과 같은 유용자원 생산 촉매	중앙대(주관)	촉매 원천 기술 및 성형 기술 개발

공정 시스템 개발 (과학기술부 기후변화대응사업 CtoX 연구단)	한국과학기술연구 원(KIST)	10kg/일 생산 규모 validation site 운영(키슬론)
	(주) 파텍	100kg/일 생산 규모 Pilot 실증 운영(송산산업단지)

(3) 우수 신진연구인력 안정적 학술 및 연구 활동 지원을 위한 제도적 장치

■ 차별화된 신진연구인력 지원제도 현황

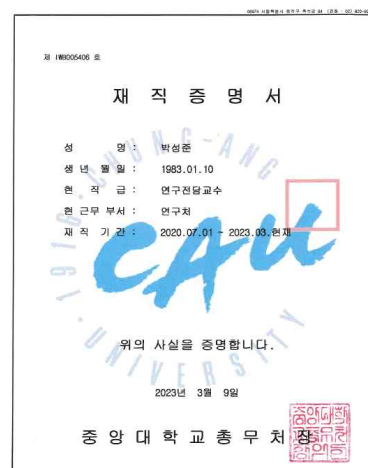
- 중앙대학교는 본 교육연구팀 소속 연구교수 중 우수한 연구 성과를 거두어 내고 중앙대학교 세포화학동력학 창의연구단 발족에 크게 기여한 우수 연구교수 1명을 2016년 창의연구단 소속 연구전임교원(조교수)으로 승진 임용하고 2022년 9월 1일부로 부교수로 승진하였다. 일반 정년트랙 조교수와 대등한 인건비를 창의연구단과 분담 지원하고 있다. 아울러 이 연구전임 교원이 2024년까지 총장이 인정하는 뛰어난 연구 성과를 일궈낼 경우 정년보장 심사를 받을 수 있게 하며, 심사를 통과할 경우 일반 전임교원과 같은 대우와 정년보장을 받게 하는 차별화된 신진연구인력 지원제도를 한국연구재단과 협약하고 운영하고 있다.
- 이외에도 본 교육연구팀 소속 대학은 신진연구인력 인건비 일부 (일 인당 최대 1500만 원)을 대학 차원에서 지원하는 제도를 시행하고 있다.
- 박사 후 연구원 중 일정 기간 이상 우수한 연구 성과를 일궈낸 경우 연구전담교수로 승진시켜 보다 안정적인 학술 및 연구활동을 할 수 있도록 지원하고 있다.

■ 우수 BK21 신진연구인력 지원제도 신설

- **시니어 연구 스태프 지원제도:** 사업팀 소속 우수 신진연구인력이 훌륭한 연구 성과를 거두어 내고 본교에서 요구하는 일정 조건들을 만족하는 경우 기존 신진연구인력 대비 상향된 인건비와 학술 및 연구활동 지원을 지원받을 수 있는 “시니어 연구 스태프(senior research staff) 지원제도”를 운영하고 있다.

시니어 연구 스태프 자격 요건 다음과 같다.

- 1) 생물리광화학 연구분야에 뛰어난 연구 성과를 거두어 낸 자
- 2) 5천만 원 이상의 국가 지원 연구비를 수주한 자
- 3) 생물리광화학 사업팀의 운영위원회에서 시니어 연구 스태프 임용을 승인받은 자



본 교육연구팀 소속 시니어 연구 스태프는 중앙대학교 연구전담교수로 추천된다. 박성준 박사는 본 교육연구팀 시니어 연구 스태프로써 본교 연구전담교수로 재직한 바 있다.

- **우수 신진연구인력 포상 제도:** 매년 심사를 거쳐 훌륭한 연구 성과를 거두어 낸 사업팀 소속 신진연구인력에게 상패와 학술대회 참가비를 지원을 포함하는 인센티브 지원제도를 신설하여 운영하고 있다.
- **CAU Global Ph.D Fellow 프로그램:** 중앙대학교 미래융합원에서 대학원혁신사업의 일환으로 우수한 학문 후속세대 양성을 위한 “CAU Global Ph.D Fellow 프로그램”을 추진하였고, BK21사업 참여연구원으로서 1년 이상 경력이 있는 자에게 신청 자격이 주어졌다. 본 교육연구팀 연구원들도 2022년

에 시행되는 이 CAU GPF 혜택을 받기 위해 지원한 상태이다. 이 사업에 선정된 연구원들은 2년간 매년 미화 2만 달러 상당의 박사 후 연수 비용을 지원받게 된다.

■ 신진연구인력 지원 실적

- 2020년 9월-박성준 박사 본교 연구전임교수 임용
- 2022년 7월-최명길 박사 “신진연구인력 우수 논문상” 및 상금 50만원 수상
- 2022년 8월-이다슬 박사 CAU Global Ph.D Fellow 프로그램 지원 수혜자로 선정되어 연간 해외 연수비 4,800만 원 + 왕복항공료 1회 전액 실비지원

(4) 신진연구인력 개인 맞춤형 지원

본 교육연구팀은 사업기간 동안 우수한 신진연구인력들이 연구능력을 최대한 발휘할 수 있도록 개인별 맞춤형 연구 활동을 다음과 같이 지원하였다.

- 2020년 9월 4단계 BK21사업 시작 당시 4단계 BK21 신진연구인력이었던 박성준 박사에 대해 당초 해외 연구기관 방문 연구는 코로나19 상황으로 이루어지지 못했다. 그러나, 박성준 박사에 대한 맞춤형 연구주제 도출을 통해 2021년 3월 한국연구재단의 세종 사이언스 펠로우로 선정이 되었다. 이 과제를 통해 박성준 박사는 매년 1억 원의 연구비를 지원받으며 SARS-CoV-2 Virus의 세포침투 동력학과 사람 간 전이 동력학을 연구하게 된다. 현재 서울대학교 이론물리센터를 매주 2회 이상 방문하며 공동연구도 수행하고 있다. 더 나아가 Center for theoretical biophysics at Rice University에 연수를 가서 연구를 수행할 예정이다.
- 최명길 박사의 경우 박사 후 연수과정에서 학제 간 융합연구를 희망하여 사업팀 소속 학과의 여러 교수와 연구할 수 있도록 자율성을 부여함으로써 신진연구인력 맞춤형 지원을 하였다. 이러한 맞춤형 지원을 통해 최명길 박사는 본 교육연구팀 성재영 교수와 차세대 enzyme 반응 동력학 연구를 진행하면서, 중앙대 화학과 권선범 교수와 공동연구를 통해 2021년 Dyes and Pigments지에 금이온 검출에 관한 논문을 발표하였으며, 2022년 본 교육연구팀 소속인 조은진 교수와 의약품 속 팔라듐 검출에 관한 연구를 진행하여 Journal of Photochemistry and Photobiology A-Chemistry에 논문을 발표한 바 있다. 최근에는 중앙대 화학과 홍성관 교수의 미세플라스틱 관련 연구에 참여하고 있다.

② 우수 신진연구인력의 대표 연구 실적

<표 2-8> 평가 대상 기간(2020.9.1.-2023.2.28.) 내 신진연구인력 대표 연구 실적

연번	구분	성명	참여 시작일	실적구분	대표 연구 실적 상세내용	
1	박사후연구원	최명길	2020.9.1	저널논문	최명길, 권현진, 김석윤, 안상두, 장석규	
					Fluorometric hypochlorite sensing by 2-acetylnaphthol phosphinothioate and its application to hypochlorite analysis in industrial effluent	
					Sensors and Actuators: B. Chemical	
					368, 132118	
					2022. 10	
					10.1016/j.snb.2022.132118	
					차아염소산염은 산업적으로 표백제 및 소독제와 같이 다양한 용도로 사용되고 있으나, 차아염소산염은 인체 내에서 산화 스트레스를 유발하여 RNA, DNA, 단백질 손상 등을 초래하며, 암 및 치매와 같은 다양한 질환을 일으킬 수 있다. 이에 본 연구에서는 기존에 알려져 있지 않은 2-아세틸-6-나프톨 포스피노티오에이트(Hyp-1)를 합성하여 차아염소산염을 선택적으로 감지할 수 있음을 확인하였다. Hyp-1은 pH 7.4의 인산염 완충 용액에서 차아염소산염에 의해 포스피노티오에이트의 가수분해 반응이 일어나면서 turn-on 형태의 형광신호가 발생되는 것으로 나타났다. 검출 한계는 27 nM으로 1분 이내에 검출할 수 있었다. 또한, 본 연구에서는 개발한 Hyp-1을 이용하여 펄프/제지 산업 폐수 속 차아염소산염을 검출할 수 있음을 확인하였다. 이 성과를 인정받아 본 연구는 Sensors and Actuators: B. Chemical (IF = 9.221) 저널에 출판될 수 있었다. 이 연구 결과는 기존에 알려져 있지 않은 창의적인 방법으로 차아염소산염을 분석할 수 있음을 강조하며, 또한 본 교육연구팀이 목표로 한 위생 및 살균 과정에서 널리 사용되는 차아염소산염에 의해 발생할 수 있는 문제를 해결하는 데 큰 도움이 될 것으로 기대된다.	
총 신진연구인력 수			박사후과정생	1	제출요구량	1
			계약교수	1		
			계	2		

5. 참여교수의 교육역량

5.1 참여교수의 교육역량 대표실적

〈표 2-9〉 교육연구팀 참여교수의 교육역량 대표실적

연번	참여교수명	참여기간 (YYYYMMDD-YYYYMMDD)	연구자등록번호	세부전공분야	대학원 교육관련 대표실적물	DOI번호/ISBN/인터넷 주소 등
참여교수의 교육관련 대표실적의 우수성						
1	성재영	20200901-20230228	10114925	물리화학	인공지능응용화학 교과목 개발	https://rpt80.cau.ac.kr/oz80/ozhViewer2.jsp?ozr_path=TIS/prof/usk&ozr_nm=pUskLei008&param_odi=year=2022,shtml=2,camp_cd=1,sust=20238,sbjt_no=56242,clss_no=01&param_form=
	최근 인공지능의 화학적 응용에 대한 과학, 기술, 사회적 수요가 높아짐에 따라 본교 화학과 대학원생들이 이 분야에 대한 기본적인 이해와 응용 능력을 갖추 수 있도록 본 교과목을 개발하였다. 이 강의는 두 부분으로 나뉘어 개발되었는데 전반부는 인공지능 및 기계학습의 기본적인 개념과 해당 분야에서 주로 사용되는 파이썬 언어에 관한 것이고 후반부는 인공지능을 응용한 화학적 응용 사례를 소개하고 실습하는 부분으로 나뉘어져 있다. 전반부는 인공지능 분야 국제 선도기관 중 하나인 Technical University-Darmstadt Human Resources Department에 박사과정으로 재학 중인 Luke Bates가 해당 과목의 조교로서 온라인으로 강연과 실습에 모두 참여하였다. 후반부는 세포화학동역학 창의연구단 전임교수인 김지현 교수가 인공지능을 응용한 신약 디자인이나 신물질 디자인 예를 소개하고 더 나아가 대학원생들이 직접 빅데이터 분석을 통한 연구를 체험하고 수행할 기회를 제공하였다.					
2	조은진	20200901-20230228	10642021	유기화학	광유기화학 교과목 개발	https://rpt80.cau.ac.kr/oz80/ozhViewer2.jsp?ozr_path=/TIS/prof/usk&ozr_nm=pUskLei008&param_odi=year=2022,shtml=1,camp_cd=1,sust=20238,sbjt_no=56572,clss_no=01&param_form=
	최근 친환경적 자원인 가시광을 이용하는 화학 반응의 개발과 응용이 높아짐에 따라 본교 화학과 대학원생들이 이 분야에 대한 기본적인 이해와 응용 능력을 갖추 수 있도록 본 교과목을 개발하였다. 이 강의를 통해 광에너지를 이용하는 유기반응들과 그 반응기작을 심도 있게 학습한다. 또한 광촉매의 개발 및 이용에 관한 내용들을 다룬다. 최근 국제 학술지에 발표된 연구 내용들을 함께 살펴봄으로써 광유기화학 분야에서의 최신 연구 동향을 이해하도록 한다.					
3	주재범	20200901-20230228	10104469	분광분석화학	Book Chapter	978-0-12-821121-2
	호주 Macquarie 대학의 Yuling Wang 교수가 편집하여 출판한“Principles and clinical diagnostic applications of surface-enhanced Raman spectroscopy”(Elsevier, 2022) 저서에서 “Surface-enhanced Raman spectroscopy-based microfluidic devices for in vitro diagnostics”란 제목으로 book chapter (Chapter 7)를 저술하였다. 이 book chapter에서는 감염병 체외진단에 활용할 수 있는 다양한 microfluidic device platform과 SERS 기반의 광학 측정 기술을 이용한 고감도 진단 기술에 관한 최근 연구동향을 보고하였다. 본 자료는 최근 전세계적으로 사회, 경제적인 문제를 일으키고 있는 코로나19와 같은 감염성 질환의 진단에 활용될 수 있는 기초자료 및 대학원 교과목인 “나노바이오분석학”, “바이오센서및미세소자” 등 대학원 과목의 교육자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.					
총 환산 참여교수 수			6		제출요구량	2~3

6. 교육의 국제화 전략

6.1 교육 프로그램의 국제화 실적

① 교육 프로그램의 국제화 실적

(1) 외국 연구소 및 대학과의 인적 교류 현황

■ 해외 선도 연구자 초청 강연 현황

- 코로나19로 인해 해외 선도 연구자 초청 강연 프로그램의 정상적 운영이 어려운 상황이었으나, 본 교육연구팀은 아래와 같이 제한적인 해외 선도 연구자 초청 강연과 실시간 온라인 강연을 운영하였다.

[표 II-31] 평가 기간 중 사업팀 해외 선도 연구자 초청 강연 현황

날짜	이름	소속	강연 제목	형식
2021.02.19	Peng Chen	Cornell University	Single-molecule polymerization dynamics	Zoom
2021.10.5	Olga Dudko	UCSD	Statistical Mechanics of Viral Entry	Zoom
2022.03.29	Philip M. Kim	Toronto Univ.	Computational and machine learning methods for the development of peptide and protein therapeutics	대면
2022.05.20	James C. Collins	MIT	Harnessing synthetic biology to fight pathogens	Zoom
2022.07.11	Suresh Kumar Kailasa	SVNIT	Synthesis of Nanostructure Materials: Characterization by Various Analytical Tools	대면
2022.07.12	Seogjoo Jang	CUNY	New advances in quantum and generalized master equation approaches for exciton and charge transport dynamics	대면
2022.07.15	Dong Hee Son	Texas A&M	Hot electrons generated via upconversion for enhancing photoinduced chemical processes	대면
2022.7.18	Kailasa Suresh Kumar	SVNIT	Nanoparticle utilization as a sensor	대면
2022.07.22	Hyokeun Park	HKUST	Unique Dynamics of Inhibitory Synaptic Vesicles for Fast and Efficient Synaptic Transmission	대면
2022.12.28	Seung-Wuk Lee	UC, Berkeley	Bioinspired Materials Assembly and Applications	대면
2023.2.11	Eli Barkai	Bar Ilan University	The quantum first hitting time problem	대면

■ 해외 대학과 인적교류 현황

- 코로나 19로 인한 제한적인 상황에서도 본 교육연구팀 소속 대학교를 방문한 해외연구자와 인적교류를 통해 참여 대학원생들과 해외 우수 연구실 간의 국제 교류 네트워크 구축에 노력하였다.

[표II-32] 평가 기간 중 사업팀 방문 해외 선도 연구자 인적 교류 현황

날짜	이름	소속	인적교류
2022.03.29	Philip M. Kim	Toronto Univ.	교류형식: 방문 유치 강연제목: Computational and machine learning methods for the development of peptide and protein therapeutics 공동연구: 기계학습과 단일분자 검출법 융합을 통한 단일분자 수준 DNA 검출 방법 개발 추진
2022.07.12	Seogjoo Jang	CUNY	교류형식: 방문유치 강연제목: New advances in quantum and generalized master equation approaches for exciton and charge transport dynamics 공동연구: light harvegsting group exciton 수송 동력학 및 에너지 전달과정 동력학 연구
2022.07.15	Dong Hee Son	Texas A&M	교류형식: 방문유치 강연제목: Hot electrons generated via upconversion for enhancing photoinduced chemical processes
2022.07.22	Hyokeun Park	HKUST	교류형식: 방문유치 강연제목: Unique Dynamics of Inhibitory Synaptic Vesicles for Fast and Efficient Synaptic Transmission 공동연구: 시냅스 영역 소포체 수송 및 신경전달 동력학 실험 결과 해석
2022.12.28	Seung-Wuk Lee	UC, Berkeley	교류형식: 방문유치 강연내용: Bioinspired Materials Assembly and Applications
2022.02.11	Eli Barkai	Bar Ilan University	교류형식: 방문유치 강연내용: The quantum first hitting time problem

■ **우수외국인 학생 유치 현황**

• **우수 외국인 대학원생 장학금 프로그램 (CAYSS) 운영**

본 교육연구팀은 소속 화학과 대학원 내 외국인 대학원생 유치를 확장하고 참여 외국인 대학원생의 연구를 지원하기 위해 CAYSS 장학금 제도를 적극적으로 활용하고 있다. 이번 평가기간 내 2020-2학기 10명, 2021-1학기 9명, 2021-2학기 5명, 2022-1학기 7명, 2022-2학기 8명의 외국인 대학원생이 혜택을 받았다. 해당 장학금 제도는 해외교류가 어려운 코로나19 팬데믹 상황에서도 꾸준한 외국인 입학생을 유치할 수 있는데 적지 않은 역할을 하였으며 코로나19가 점차 종식됨에 따라 더 많은 외국인 학생을 확보하는데 기여할 것으로 기대된다.

• **대학원 영어강좌 개설 현황**

본 교육연구팀 소속 교수들은 사업기간 중 상당수의 대학원 강의를 영어로 진행하였으며 그 자세한 내용은 [표 II-5] 평가 기간 내 참여 교수들 대학원 강의 실적에 명시되어 있는 바와 같다. 특히 외국인 학생 등록이 있는 대학원 강의의 경우 원활한 외국인 학생의 참여를 위하여 해당 강의를 전면 영어로 진행하고 있다.

• **외국어 학위논문 현황**

본 교육연구팀은 소속 대학원생들의 학위논문을 영문으로 작성하도록 하고 있으며 그 달성도는 사업기간 중 현재까지 100%이다.

[표 II-33] 평가 기간 내 외국인 학생, 외국어 강의 및 학위논문 현황

항목	구분	평가기간 내 조사					전체 기간 실적
		2020-2	2021-1	2021-2	2022-1	2022-2	
CAYSS 장학금 수혜 외국인 학생수	입학생수	1	0	2	2	2	7
	재학생수	9	9	3	5	6	32
참여교수 외국어 강의 비율	외국어 강의 수	3	3	2	3	2	7
	비율 (%)	100%	75%	50%	60%	50%	67%
외국어 학위논문 비율	외국어 작성 학위논문 수	4	2	6	3	8	23
	학위논문 수	4	2	6	3	8	23
	비율 (%)	100	100	100	100	100	100
국제학회 참여 횟수		3	21		7		31

■ 대학원생 국제 학술대회 참가 실적

- 본 교육연구팀은 참여 대학원생의 국제경쟁력 강화를 위하여 대학원생들의 국제학회 참가를 장려하고 지원하였다. 참여 대학원생들의 국제 학술대회 대표 실적은 다음과 같다.

[표 II-34] 평가 기간 내 참여 대학원생 국제 학술대회 참가 대표 실적

학위과 정	성명	장소/날짜	학술대회 발표실적 상세내용
석사	권소연	2021. 11 제주	저자: 권소연, 박찬영, 김성현, Subhadeep Ghosh, Ping Xu, 이소연, 박태정
			제목: Development of fluorometric aptasensor for okadaic acid using graphene oxide-based quenching system
			학회: 6th Asia-pacific symposium on food safety 2021
박사	김석현	2021. 11 온라인	저자: 김석현, 이성운, 윤상운
			제목: Effect of Nanoparticle Size on Plasmon-Driven Reaction Efficiency
			학회: 11th Asian Photochemistry Conference
석박사 통합	김민우	2021. 07 온라인	저자: 김민우, 김영혁, Ruth Stephanie, 박찬영, 박태정
			제목: Rational design and development of bienzyme nanoparticles-based total cholesterol electrochemical sensors
			학회: 31st Anniversary world congress on biosensors
석박사 통합	윤하영	2022. 12 싱가포르	저자: 윤하영, 이길선, 윤택상, 이철진, 윤성호
			제목: CO ₂ is used to kinetically resolve Mg ²⁺ ion from Ca ²⁺ ion in CaMg(CO ₃) ₂ Dolomite
			학회: SICC-11 (Singapore International chemistry conference)

학위과정	성명	장소/날짜	학술대회 발표실적 상세내용
석박사 통합	정연주	2022. 08 캘리포니아	저자: 정연주, 주재범
			제목: A portable SERS-based lateral flow assay strip for rapid and sensitive detection of SARS-CoV-2 antigen
			학회: The 27th International Conference on Raman Spectroscopy
박사	Anam Rana Gul	2020. 12 온라인	저자: Anam Rana Gul, Rafia Rafique, 김영혁, Jyotiranjana Bal, 박태정
			제목: Smart screening of an early-stage novel prostate cancer biomarkers
			학회: 인도, Virtual international conference on chemical sciences in sustainable technology and development (IC2S2TD-2020)
박사	Ly Thi Minh Huynh	2021. 11 온라인	저자: Ly Thi Minh Huynh, Hoa Duc Trinh, 이성운, 윤상운
			제목: Plasmon-Driven Protodeboronation Reactions in Nanogaps
			학회: Online Conference, 11th Asian Photochemistry Conference [Best Poster Paper Award]

(2) 외국인 교수 교육관련 활동

■ 외국인 강좌 개설

2021년, 2022년 2학기 개설된 생물리광화학 세부전공 인공지능응용화학을 인공지능 및 기계학습 분야 선도 연구기관 중 하나인 독일 Technical University-Darmstadt의 Luke Bates 연구원이 김지현 교수와 팀티칭(team teaching)으로 운영하였다. 또한, Luke Bates 연구원이 진행하는 기계학습 비교과 강의를 실시간 온라인 회의를 활용해 계절학기 중 지속적으로 운영하였다.

■ 외국인 석학 단기 강좌 개설

- Toronto University에 재직 중인 Philip Kim 교수를 초빙하여 Computational Drug Design 대학원 단기 강좌를 진행하였다.
- UCSD에 재직 중인 Olga Dudko 교수의 Statistical Mechanics of Viral Entry 대학원 단기강좌를 진행하였다.
- MIT에 재직 중인 James C. Collins 교수의 Harnessing synthetic biology to fight pathogens 대학원 단기강좌를 진행하였다.
- Univ. of Toronto에 재직 중인 Philip M. Kim을 초빙하여 Machine learning methods for the design and engineering of protein therapeutics 단기강좌를 진행하였다.
- Bar Ilan University에 재직 중인 Eli Barkai를 초빙하여 The Quantum first hitting time problem 단기강좌를 진행하였다.

〈표 2-10〉 참여대학원생 국제공동연구 실적

연 번	공동연구 참여자			상대국/소속기관	연구주제	연구기간 (YYYYMM-YYYYMM)
	교육연구팀		국외 공동연구자			
	참여 대학원생	지도교수				
1	강진규	성재영	Peng Chen	USA/Cornell University	나노촉매 반응속도 공동연구	20200901-20210831
2	정연주 김기현	주재범	Lingxin Chen	China/CAS	COVID-19 현장진단용 나노플라즈모닉 센서 개 발	20210901-20220831
3	박규남	성재영	Hyokeun Park	HongKong/ HKUST	신경세포 내 소포체 운 동 양상 정량분석	20200901-20230228
4	Subhadee Ghosh	박태정	Suresh Kumar Kailasa	India/SVNIT	형광나노입자를 활용한 유해물질 검출	20200901-20210831
5	Shrikant Tambe	조은진	Naeem Iqbal	UK/University of York	키랄성 3-피롤린 합성법 연구	20210901-20220131

(1) 대학원생 해외연구실 공동연구 현황

■ 대학원생의 해외연구실 방문 공동연구 수행 현황

사업기간 동안 코로나19가 종료되지 않아 대학원생들이 해외연구실을 방문하여 공동연구를 수행하기 어려웠다. 이 문제를 극복하기 위해 Zoom 연구회의 등 온라인 공동연구를 적극적으로 활용하였고 평가기간 중 참여 대학원생의 공동연구 수행 실적은 〈표 2-10〉과 같다.

■ 참여대학원생의 국제공동연구 대표실적

• 참여대학원생 국제공동연구 대표실적 1: 나노촉매 반응동력학 개발

최근 상당한 발전을 이룬 단분자 이미징 기술 덕분에 코넬대 화학과의 Peng Chen 교수 그룹은 산화 환원 반응의 촉매 역할을 하는 단일 나노입자에서 반응이 한 번 일어나는 데 걸리는 시간의 확률분포를 실험으로 측정할 수 있었다. 이 실험을 통해 반응시간의 평균은 고전적인 반응 메커니즘으로 설명할 수 있었으나, 반응시간의 분산은 설명할 수 없었다. 본 교육연구팀과 Peng Chen 교수 그룹의 지속적인 공동연구를 통해 나노 촉매 반응동력학을 개발하고 이를 통해 나노촉매 반응시간의 평균과 분산을 일관되게 설명할 수 있었다. 더 나아가, 생성분자 계수 통계를 통해 이 분야에서 난제이던 나노입자 부위별로 존재하는 촉매자리 개수를 알아내는 공식 또한 제시하였다. 이 공동연구를 통해 여러 개의 분자임에도 불구하고 분해능이 문제로 하나의 물체로 보이는 경우 분자에서 생성되는 광자의 개수 통계를 이용하면 몇 개의 분자가 모여 있는지 있어, 단분자 이미징 없이 분자의 개수를 추산할 수 있을 것으로 기대된다. 이 공동연구 성과는 물리과학 분야 최고 권위자인 Physical Review Letters (J. Kang et al, Phys. Rev. Letters 126, 126001 (2021))에 출판되었다.

• 참여대학원생 국제공동연구 대표실적 2 :COVID-19 현장진단용 나노플라즈모닉 센서 개발

SARS-CoV-2 진단 방법으로 RT-PCR는 검출 시간이 오래 걸리는 문제점이 있다. 이를 대신하여 래피드 키트 사용하는 경우가 많으나 래피드 키트는 민감도가 낮아 위음성 진단율이 높은 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 기존의 래피드 키트의 민감도 문제를 해결하기 위해 SERS-LFA 기술을

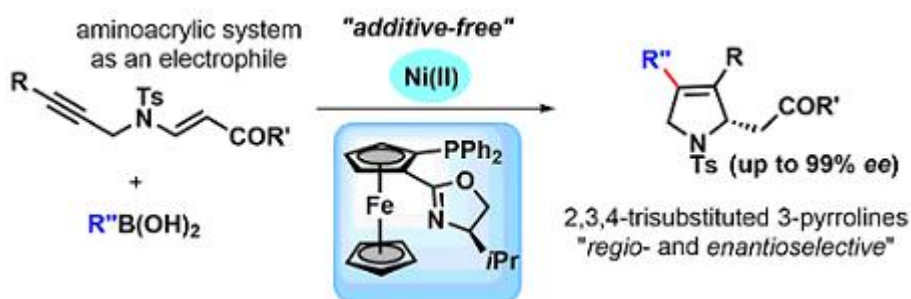
개발하였고, 현장에서 바로 진단이 가능하도록 portable Raman reader를 개발하였다. 그 결과 기존 래피드 키트보다 100배 이상의 민감도 형상을 보였다. 개발된 SERS-LFA reader의 임상적 유효성을 보여주기 위하여 54개의 임상 샘플 테스트를 진행하였다. 그 결과 기존 래피드 키트에서는 21개의 위음성 결과가 나온 반면 SERS-LFA reader에서는 2개의 샘플만 위음성으로 분류되었다. 이를 통해 기존 래피드 키트에 비해 위음성률이 크게 개선되었음을 확인하였다. 본 연구주제에 대하여 온라인 세미나 등을 통하여 공동연구를 수행하였으며, 이를 통해 개발한 portable SERS-LFA reader는 바이러스 감염 여부를 신속하고 정확하게 판단할 수 있는 현장 진단 시스템으로 활용될 수 있음을 보여준다. 본 연구결과는 ACS에서 출판하는 ACS Sensros에 표지논문으로 게재되었다.

• **참여대학원생 국제공동연구 대표실적 3 : 신경세포 내 소포체 운동 양상 정량분석**

뇌의 신경 세포가 높은 주파수의 신경 자극 하에 신경 전달이 끊기지 않고 지속적으로 유지되기 위해서는 시냅틱 소포를 지속적으로 시냅스에 보급해주는 것이 중요하다. 우리는 전시냅스 신경 세포에서 지속적인 신경 자극을 주었을 때 시냅스 소포가 충전되는 과정을 조사하기 위해 Hong Kong University of Science and Technology 생명과학과 및 물리학과에 재직 중인 Hyekeun Park 교수 그룹과 메일과 온라인 미팅을 활용한 지속적 공동연구를 수행하였다. HKUST의 H. Park 교수 그룹은 신경 세포 자극 전후로 신경 세포 내 소포체의 3차원 움직임을 실험으로 관찰하였고 본 교육연구팀은 이 실험결과를 정량적으로 해석할 수 있는 소포체 운동 방정식을 얻어내었다. 해당 공동연구를 통해 시냅틱 소포가 시냅스로 분비되기까지의 시간의 분포가 굉장히 넓다는 것을 확인했고, 이를 분석할 수 있는 직선도(Straightness)라는 물리량을 새롭게 제시했다. 또한 소포체 수송 방정식을 이용하여 시냅스 소포가 전시냅스 뉴런 안에서 신경자극이 주어짐에 따라 달라지는 시냅스 소포의 운동동력학을 설명 및 예측하고, 신경 자극 하에서 시냅스 방향으로의 평균적인 흐름이 증가함을 알아내었다. 해당 공동 연구는 생물리학 부분 선도 학술지인 미국학술원보 (Park et al., Proc. Nat. Acad. Sci. 118, e2022133118 (2021))에 게재되었으며, 현재 후속 연구도 진행되어 곧 논문 투고 예정이다.

• **참여대학원생 국제공동연구 대표실적 5 : 키랄성 3-피롤린 합성법 연구**

키랄성 3-피롤린 합성법 연구: 3-피롤린(pyrroline)은 다양한 분야에 응용되고 있는 중요한 헤테로고리 화합물 중 하나이다. 그 중요성 때문에 다양한 피롤린 합성법들이 개발되었는데, 기존에 가장 많이 이용되고 있는 알렌을 시작물질로 사용하는 경우에는 3과 4위치에 동시에 치환기를 가지는 3-피롤린을 합성하기 힘든 제한이 있다. 영국 University of York에 근무하는 Naeem Iqbal 박사와 공동연구로 진행된 본 연구에서는 아미노아크릴레이트를 치환기로 가지는 알카인을 반응물질로 이용하여, 아릴-니켈레이션과 고리형성반응을 연속적으로 진행시켜 3과 4위치에 동시에 치환기를 가지는 3-피롤린을 성공적으로 합성할 수 있었다. 특히 키랄성 P^N리간드를 니켈촉매와 함께 이용하는 비대칭 반응을 통해 2위치에 키랄성을 가지는 순도높은 키랄성 결과물을 얻을 수 있었다. 원활한 공동연구를 위해 온라인 미팅을 통해 결과 공유 및 토론을 진행하였고 연구 결과를 화학분야 최고 권위지 중 하나인 Wiley 출판사의 Angewandte Chemie International Edition에 게재하였다.



(2) 대학원생 해외연수 현황

■ 기타 장단기 대학원생 해외연수 지원

- 지난 사업기간 동안 코로나19로 종료되지 않아 대학원생들의 해외 연수를 진행하기 어려웠다. 그러나 이 문제를 극복하기 위하여 인공지능 분야 국제 선도기관 중 하나인 Technical University-Darmstadt Human Resources Department 소속 연구원인 Luke Bates가 인공지능 응용을 통한 신약, 신물질, 진단시약 개발, 단백질 구조 예측, 진단데이터와 연계한 질병 발병확률 예측 등 인공지능의 다양한 화학적 응용에 대한 온라인 연수를 진행하였다.
- 중앙대학교 미래융합원에서 대학원혁신사업의 일환으로 우수한 학문 후속세대 양성을 위한 “CAU Global Ph. D Fellow 프로그램”을 추진하였고, BK21사업 참여연구원으로서 1년 이상 경력이 있는 자에게 신청 자격이 주어졌다. 본 교육연구팀 연구원인 이다슬 박사 (2022년 2월 유기화학 박사학위 수여)가 2022년도 CAU Global Ph. D Fellow로 선정되어 매년 중앙대학교 미래융합원의 재정 지원을 받으며 현재 University of Texas-Austin에서 박사 후 연수과정 지원을 받고 있다.

Ⅲ. 연구역량 영역

Ⅲ. 연구역량 영역

1. 참여교수 연구역량

1.1 연구비 수주 실적 (별도 제출/평가)

1.2 연구업적물

- ① 참여교수 대표연구업적물지의 우수성
- ② 참여교수 저서, 특허, 기술이전, 창업 등 실적의 우수성

③ 교육연구팀의 학문적 수월성을 대표하는 연구업적물 (최근 10년)

<표 3-4> 최근 10년간 교육연구팀의 학문적 수월성을 대표하는 연구업적물

연번	대표연구업적물 설명
1	제목: The Chemical Fluctuation Theorem Governing Gene Expression 저널: Nature Communications 2018, 9(1), 2737 생명체가 어떻게 무질서한 화학반응 과정들로부터 생명기능 개발과 유지에 필요한 질서를 구현하는지는 자연과학분야의 가장 중요한 질문 중 하나이다. 최근 합성생물학 및 정량생물학 분야에서 유전자와 환경의 변화에 따른 세포 내 유전자 발현 양상 변화에 관한 실험이 급증하고 있다. 그러나 세포 내 신호전달 및 유전자 발현과정을 구성하는 화학반응 동력학을 정확하게 기술하는 모델이나 이론이 없어 이 실험 결과들을 정량적으로 이해하는 것은 불가능에 가까운 일로 여겨졌다. 현재 이 분야에서 사용하는 이론은 반트호프의 속도상수 개념에 기초한 파울리의 마스터 방정식 접근법인데, 유전자 발현과정을 비롯한 세포 내 생고분자 화학반응은 속도계수가 요동치는 복잡한 확률과정이기 때문에 반응속도를 단순히 하나의 속도상수로 나타낼 수 없어 파울리의 마스터 방정식으로 정확한 기술이 불가능하다. 위 대표연구업적에서는 세포 내 복잡한 생고분자 반응과정들의 반응속도를 정확하게 표현할 수 있는 새로운 반응속도 모델을 제안하고 이 모델을 기술할 수 있는 새로운 수학적 방법론을 개발하였다. 이를 통해 세포 내 생성되고 소멸되는 생고분자 농도의 평균과 분산의 시간에 따른 변화가 일반적으로 만족하는 화학요동법칙 (Chemical Fluctuation Theorem)을 얻어내었다. 이 화학요동법칙을 세포 유전자 발현과정에 적용하여 그동안 기존이론들로 설명되지 않던 환경변화에 따른 세포 mRNA 및 단백질 농도 평균 및 분산 값의 변화 실험 데이터들을 일관되게 정량적으로 설명하는 데 성공하였다. 더 나아가 mRNA나 단백질들의 생존시간 분포 혹은 소멸 메커니즘에 따라 이들 생 고분자들의 농도 평균과 분산의 시간에 따른 변화가 크게 달라질 수 있음을 예측하였다. 이 연구성과는 생명현상을 물리화학적 반응네트워크 모델을 사용하여 정량적으로 이해하고 예측하는 것을 목표로 하는 새로운 ‘세포화학동력학’이라는 새로운 학문 분야를 창출한 성과라는 점에서 학문적 가치가 높다. 반응속도론, 생물리학, 정량생물학과 시스템 생물학 분야에 새로운 방법론과 연구 방향을 제시한 점을 인정받아 물리화학분야 이론 논문으로는 드물게 학제 간 저널인 Nature Communications에 출판되었다. 이 논문에서 발표된 화학요동법칙을 나노입자의 확산지배 반응모델과 미시적 나노입자 모델에 적용하면 최근 액체전자투과 현미경으로 관찰된 액체상에서 성장하는 나노입자 크기의 평균과 분산의 시간에 따른 변화까지도 정확하게 설명할 수 있는 것으로 드러났다 (오른쪽 그림). 이 연구 결과는 140년 동안 받아들여져 온 고전핵생성이론 (classical nucleation theory)과 현재 알려진 다른 이론들로 설명되지 않던 초미세 나노입자의 시간에 따른 크기 분포 변화와 크기에 따른 결정 생성 동력학 변화를 최초로 설명하는 것으로 높은 학문적 가치를 가지고 있다고 볼 수 있다. The figure illustrates the multiphasic growth dynamics of nanoparticle ensembles. The left panel shows three stacked plots over time (0 to 160 seconds): Mean particle size (x10⁻³ nm), Variance of particle size (x10⁻³ nm²), and Coefficient of Variation (CV (%)). The right panel (a) shows five TEM images (I-V) at different time points (17s, 35s, 80s, 140s, 160s) with corresponding particle size distribution histograms and CV values (69.6%, 51.9%, 34.3%, 25.2%, 25.9%). The growth stages are labeled: I (Rapid growth), II (Size shrink), III (Size focusing), IV (Rapid growth), and V (Slow growth). Kim J-H, Kim et al. Multiphasic growth dynamics of nanoparticle ensembles. ChemRxiv. Cambridge: Cambridge Open Engage; (2022).

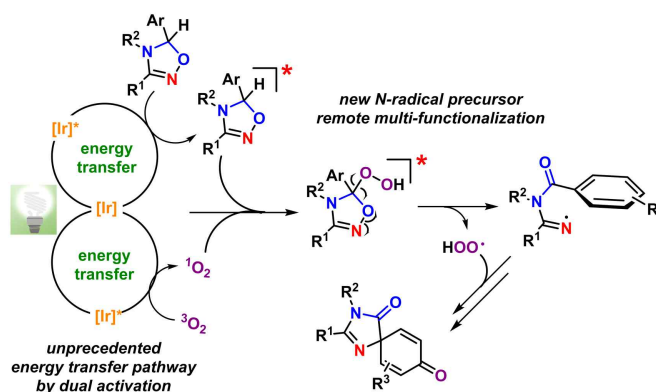
제목: Generation of N-Centered Radicals via a Photocatalytic Energy Transfer: Remote Double Functionalization of Arenes Facilitated by Singlet Oxygen

저널: Journal of the American Chemical Society, **2019**, *141*, 10538.

헤테로고리 화합물은 그 물질의 다양한 화학적, 물리적, 생물학적 성질로 인해 의약학, 재료화학 등 여러 분야에서 중요하게 다루어지는 구성 성분이다. 따라서 유기합성 분야에서 다양한 헤테로고리 화합물의 합성법을 개발하는 데 많은 노력을 기울이고 있다. 하지만 합성법 개발에 투자하는 데에 비해, 많이 존재하는 이 헤테로고리 화합물들을 반응물질로 활용하는 예는 상대적으로 매우 적다. 다른 접근 방식으로는 쉽게 합성할 수 없는 헤테로고리 화합물을 흔하게 접할 수 있는 헤테로고리 화합물을 반응물로 활용하여 합성하는 것은 매우 독창적인 접근법이다. 본 연구팀의 주요 연구 분야는 ‘가시광을 이용하는 친환경 라디칼 합성법 개발’인데, 본 연구에서 쉽게 얻을 수 있는 옥사다이하졸린 헤테로고리 화합물을 이용하여 새로운 형태의 고리화 아자락탐(spiro-azalactam) 화합물을 형성하는 가시광 반응을 개발하는 데 성공하였다.

이 반응은 옥사다이하졸린을 구성하고 있는 모든 원자를 결과물인 고리화 아자락탐 화합물을 형성하는데 이용하는 매우 원자경제적인 합성법이다. 이 연구에서 주목할 만한 것은 반응에서 광촉매가 반응물과 산소를 동시에 활성화시켜 활성화된 물질들이 서로 반응하는, 새로운 형태의 이중 활성화 반응 기작을 통해 진행된다는 것이다. 이리듐 광촉매에 의한 에너지 전달을 통해 옥사다이하졸린으로부터 질소(N)-라디칼이 생성되고, 이것이 분자 내 방향족 부분에 선택적인 입소(ipso) 추가반응을 진행, 연이어 파라위치에 산화(oxygenation) 반응이 일어나면서 최종 결과물인 고리화 아자락탐이 형성된다. 반응에서 에너지 전달에 의해 생성된 일중항 산소가 N-O 결합을 끊는데 사용되고, 산소 공급원으로도 쓰인다. 이리듐 광촉매 및 산소가 반응 내에서 여러 역할을 하게 계획함으로써, 반응 조건을 온화하고 간단하게 만들 수 있었다. 순환전압 전류 분석(Cyclic Voltammetry), 시간-상관 단광자 계수 실험(Time-correlated single-photon counting experiment), X-ray 회절 분석, 컴퓨터 계산화학(양자계산) 등의 기작연구를 병행하여 연구에서 제안된 독창적인 에너지 전달 반응기작을 증명하였다.

또한, 강조할 것은 이 연구를 통해 기존에 존재하지 않았던 새로운 형태의 헤테로고리 화합물을 형성하였다는 것이다. 고리화 아자락탐은 여러 화학적, 전기적 성질로 인해 다양한 기능성 물질의 구성 성분으로 이용되고 있는데, 본 연구에서 형성된 25개의 결과물들은 전부 기존에 존재하지 않았던 배열을 가지는 아자락탐 화합물로서, 새로운 기능성 물질의 좋은 후보가 될 것이다.



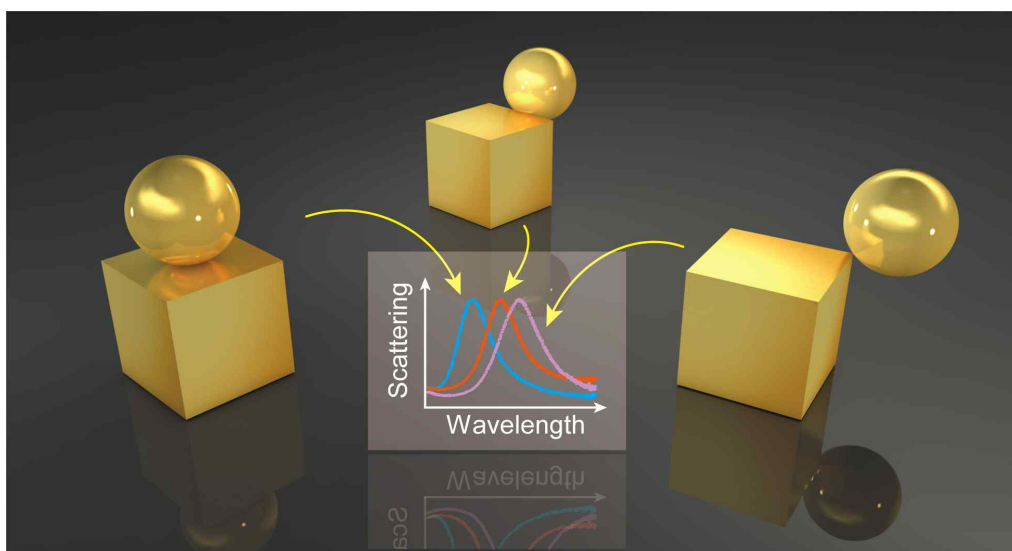
본 연구는 독창적인 접근법과 새로운 반응기작의 발견, 기능성 물질로서의 성분 등 여러 응용에서의 확장 가능성을 학계로부터 인정받아 2019년 7월, Journal of the American Chemical Society(IF 16.38)에 게재되었다.

제목: Effect of Nanogap Morphology on Plasmon Coupling

저널: ACS Nano, **2019**, 13 (10), 12100

금속 나노입자 사이의 플라즈몬 커플링은 전자광학적으로 매우 흥미로운 현상일 뿐 아니라 금속 나노입자 시스템의 공명 파장을 정밀하게 조절할 수 있는 좋은 기술적인 방법이다. 플라즈몬 커플링은 개별 나노입자의 특성(모양, 크기, 재질 등)뿐 아니라 두 나노입자 사이에 형성되는 나노갭의 특성에 따라서도 달라진다. 지금까지 많은 연구가 나노입자 사이의 거리에 따른 플라즈몬 커플링의 변화에 초점을 맞췄다면, 본 연구에서는 나노갭의 모양, 특히 곡률반경에 따라 플라즈몬 커플링이 어떻게 달라지는지 정밀하게 측정하고 이론적인 모델을 제시하였다. 실험적으로 나노갭 외의 변수를 줄이기 위해 매우 균일한, 완벽한 구에 가까운 나노구 입자와 일정한 꼭짓점 곡률반경을 갖는 나노큐브를 만들었다. 그리고 나노구 입자를 나노큐브의 면, 모서리, 꼭짓점에 분자 링커를 이용해 일정한 거리로 선택적으로 흡착시켜 큐브-구 이합체를 조립하는 방법을 개발하였다. 이렇게 만들어진 면, 모서리, 꼭짓점 큐브-구 이합체들의 플라즈몬 커플링을 암시야 단일입자 산란 분광법(dark-field single-particle scattering spectroscopy)을 이용해 측정하고, 전자현미경을 통해 측정한 이합체 구조와의 상관관계를 조사하였다. 그 결과 더 뾰족한 모양을 가진 나노갭(즉, 면 < 모서리 < 꼭짓점)에서 플라즈몬 커플링이 장파장 이동(redshift)함을 발견하였고 나노갭의 전하분포를 이용해 이를 성공적으로 설명하였다. 즉, 나노갭을 이루는 나노큐브의 구조가 뾰족할수록 고전전자기이론이 예측하듯 나노갭에서의 전하밀도가 높아지고 나노구와의 쿨롱 상호작용이 강해져 커플링 에너지를 안정화시켜 공명파장이 장파장이동하게 되며 이는 FDTD 시뮬레이션을 통해서도 재현되었다.

3



나노구를 나노큐브의 면, 모서리, 꼭짓점에 선택적으로 붙여 나노입자 이합체를 만들고 결과적으로 만들어진 서로 다른 나노갭의 모양과 곡률반경에 따른 플라즈몬 커플링의 변화를 단일 나노입자 수준에서 측정하고 그 물리적 기원을 규명하였다.

이 연구는 지금까지 많이 알려진 나노갭의 거리에 따른 플라즈몬 커플링 연구를 나노갭의 모양이라는 새로운 차원으로 확장함으로써 플라즈모닉스 학문 분야의 새로운 지평을 열었으며 디스플레이, 광촉매, 물분해를 통한 수소발생, 태양전지, 환경오염물질 분해, 표면증강분광학 등 플라즈몬을 응용한 여러 분야에서 중요한 조절 인자를 하나 추가함으로써 효율 향상에 큰 기여를 할 수 있을 것으로 기대된다. 본 연구는 독창적인 아이디어와 접근법, 새로운 현상에 대한 발견, 여러 응용에서의 확장 가능성을 학계로부터 인정받아 2019년 10월, IF 13.903의 ACS Nano에 게재되었다.

1.3 교육연구팀의 연구역량 향상 실적

- **본 교육연구팀 연구목표:** 중앙대학교 화학과 생물리광화학 창의인재 양성 교육연구팀은 생명 분야 (성재영, 주재범, 박태정)와 에너지 분야 (윤상운, 윤성호, 조은진)로 연구 분야가 특성화되어 있는데, BK21 사업을 통해 양 분야에서의 연구 역량을 향상시켜, [표 III-1]에 나열된 각 분야의 과학기술 문제와 산업 및 사회 문제를 해결할 수 있는 것이 목표이다.

[표 III-1] 생물리광화학 관련 생명/에너지 분야 과학기술, 산업 및 사회 문제

문제	생명	에너지
과학기술	생명현상의 화학적 이해 방법	광 기반 전자 및 에너지 전달 이해
산업 및 사회	인공지능 의료산업 응용 방법, 코로나 및 감염병 신속대응	에너지 고갈 문제, 기후변화 등의 환경 문제

- 4단계 BK21 사업 추진 기간 동안 위 연구 목표를 달성하고 본 교육연구팀의 연구의 질적 수준을 향상하기 위해 다음과 같은 연구경쟁력 강화 방안을 수립하였다.
 - 1) 교육연구팀 참여교수들 간 공동연구를 활성화
 - 2) 교육연구팀-국내 선도연구기관 공동연구와 국제 공동연구 확대 및 활성화
 - 3) BK21 사업과 국책연구사업 및 산업체 수탁 연구사업 연계를 통한 교육연구팀 연구 인프라 확충

(1) 연구논문 실적 현황

■ 연구논문 현황

- 본 교육연구팀은 6명의 교수로 구성되어 있는데 대표 출간 논문 실적들이 일부 교수에 집중되어 있지 않고 참여교수 전원이 우수 논문을 주저자로 출간할 수 있는 역량을 보유하고 있다.

[표 III-2] 평가 기간 내 참여교수 별 대표 출간 논문 실적

분야	참여교수명	저널명
생명	성재영	PRL, Nat. Commun., Sci. Adv. 등
	박태정	PNAS, Biosens. Bioelectron. 등
	주재범	Adv. Mater., Adv. Funct. Mater., Chem. Eng. J., Biosens. Bioelectron., ACS Sens., Anal. Chem. 등
에너지	조은진	J. Am. Chem. Soc., Angew. Chem. Int., Acc. Chem. Res. 등
	윤성호	Inorg. Chem., Front., Green Chem., J. Ind. Eng. Chem., ChemCatChem. 등
	윤상운	Adv. Mater., ACS Appl. Mater. Interfaces, ACS Photonics, Nanoscale 등

(2) 대표 연구업적물의 질적 우수성 향상 실적

■ 해외 선도연구기관과 공동연구 활성화

- 본 교육연구팀은 4단계 BK21 사업기간 동안 해외 우수 연구기관과 공동연구를 통해 세계 최고 수준의 새로운 연구 프로그램을 개발하여 본 교육연구팀 논문의 질적 수준과 학계 파급력을 향상 시키고자 했다. 지난 사업기간 중 계속된 코로나19 팬데믹으로 인해 방문 교류가 제한되는 상황이 발생했지만, 본 교육연구팀은 해외 우수 연구기관들과 온라인 학술 교류를 통한 공동연구를 활발하게 진행하였다. 이 공동연구를 통해 질적으로 우수한 연구 성과들을 거두어 낼 수 있었고, 본 교육연구팀 논문의 질적 수준과 학계 파급력을 높일 수 있었다.

[표 III-3] 평가 기간 내 해외 연구기관 대표적 공동연구 내용

국제협력자	국제협력기관명	협력연구 내용
Peng Chen	코넬대	나노 촉매 모양 및 부위별 반응성 연구 논문 출판: J. Kang et al, Phys. Rev. Letters 126, 126001 (2021).
Hyokeun Park	HKUST	신경세포 내 소포체 운동 동력학 해석 논문 출판: Park et al., Proc. Nat. Acad. Sci. 118, e2022133118 (2021).

Han Sen Soo	난양공대	탄소자원화를 통한 탄소중립 및 폐플라스틱 자원화 연구
Lingxin Chen	중국과학원	Molecular imprinting 기술 및 Plasmonic substrate를 이용한 고감도 바이오센서 개발 논문 출판: Adv. Mater. 2021, 33, 2100543; Biosens. Bioelectron. 2022, 197, 113736 외 7편
Suresh Kumar Kailasa	SVNIT	형광나노입자를 활용한 유해물질 검출 센서 연구
Jang Kyo Kim	HKUST	이온배터리를 활용한 배터리성능 고도화 연구 형광나노입자의 감쇠현상을 이용한 바이오센서 연구
Naeem Iqbal	University of York	니켈촉매 이용 헤테로사이클 합성 연구 논문 출판: Org. Lett. 2023, 25, 647-652; Angew. Chem. Int. Ed. 2022, 61, e202203494; Green Chem., 2022, 24, 3985-3992)

■ 국내 선도연구기관과 공동연구 활성화

- 본 교육연구팀은 4단계 BK21 사업기간 동안 국내 우수 연구기관과 공동연구를 더욱 활성화하여 연구의 질적 수준을 높이고자 하였다. 따라서 평가 대상기간 동안 국내 우수대학 연구자들을 초청하여 다수의 세미나를 개최하였다. 이러한 활동을 통해 국내 우수 대학 및 선도연구기관의 교수진 및 연구자들과 함께 교류 및 공동연구를 다양한 분야에서 수행하였고 연구의 질적 수준을 높이는 데에 성공하였다.

[표 III-4] 평가 기간 내 국내 우수대학 및 선도연구기관과의 대표적 공동연구 현황

기관	공동연구자	공동연구내용
서울대 IBS 나노입자연구단	현택환 박정원	액체상 전자 투과 현미경으로 관찰된 초미세 나노촉매 형성 과정의 통계열역학 및 반응속도론적 실험 해석 논문 출판: S. Kang et al., Science Advances 7, 49 (2021); Kim J-Het al. Multiphasic growth dynamics of nanoparticle ensembles. ChemRxiv. Cambridge: Cambridge Open Engage; 2022
고려대 IBS 분자분광학 및 동력학 연구단	조민행	세포막 미세 이중 층 사이 물 분자들의 특이 수송 동력학 전산모사 및 결과 해석 연구
GIST 화학과	이강택	신경세포 내 타우단백질 과인산화가 모터 단백질 소포체 복합체의 활성수송 동력학에 미치는 영향 연구 논문 출판: E. Lee et al., Nature Communications 2023, (under review)
KAIST 화학과 부산대 화학과	정용원 최정모	막없는 소기관 (MLO) 의 크기 분포 연구
서울대 기계항공공학부	신용대	세포 내 상분리 현상 및 DNA Nanostar의 상분리 연구
포항공대 화학공학과	정규열	외부 스트레스 및 화학적 자극의 박테리아 내 신호전달 및 유전자 발현 동력학 실험결과 해석 논문 출판: C.W. Kang et al., Nature Communications, 13, 6506 (2022)
한국생명공학연구원	강태준	COVID-19의 고감도 진단을 위한 센싱 시스템 개발 논문 출판: Biosens. Bioelectron. 2022, 202, 114008; Chem. Eng. J. 2022, 446, 137085; Sens. Actuat. B 355, 2022, 131324.
한국재료연구원	박성규	금 기관을 이용한 고감도 센서 개발 논문 출판: Biosens. Bioelectron. 2020, 167, 112496; Adv. Funct. Mater. 2021, 31, 2105703.
기초과학지원연구원	한도경	감상샘자극 호르몬 고감도 검출용 dual-flow lateral flow assay device 개발, 논문 출판: Anal. Chem. 2021, 93, 6673-6681.
광운대학교	박재영	비침습패치를 활용한 혈당, 콜레스테롤, 요산 센서 기술 개발
카이스트, 가천대, 한국기초과학지원연구원	박현규 김문일 홍관수	나노입자를 활용한 약물전달시스템 연구
충남대학교	김화중 이재범	나노입자를 활용한 소변내 결핵진단 기술 개발
인하대학교, 동국대학교	허윤석 한영규	MXene composite을 활용한 supercapacitor 연구
중앙대학교	박종필	파지디스플레이법을 활용한 바이오리셉터 발굴 및 바이오센서 연구

서울아산병원 중앙대학교 병원	황상현 이미경	코로나 바이러스 및 폐혈증 신속 분자진단
서울대학교 재료공학부, 서울대학교 화학과	박경수, 김성근	fcc와 hcp 두 결정성을 한 구조 내에 가지는 육각형 금나노플레이트의 합성 및 플라즈몬 특성 규명 (Advanced Materials에 논문 출판)
숭실대학교	주상우	SERS 기반 질병진단용 센서 개발 논문 출판: ACS Sens. 2021, 6, 2378-2385; Sens. Actuat. B 2022, 355, 131324.
한국재료연구원	정호상	Wearable SERS 센서 개발 논문 출판: ACS Appl. Mater. & Interfaces 2021, 13, 3024-3032.
한양대학교	정일엽	암세포에 발현된 다중 바이오마커 이미징 기술 개발 논문 출판: Biosens. Bioelectron. 2020, 164, 112326.
KIST 청정연구센터	정광덕	CtX 연구 과제를 통한 탄소중립기술 개발 CO ₂ 전환 유용 물질 생산 (CtoX 기술개발연구단 연구단장(정광덕) 총괄책임자(윤성호)로 공동연구 사업 참여)
한양대학교 화학과	신승훈	가시광 라디칼 반응 개발 및 반응기작 연구 논문 출판: ACS Catal. 2022, 12, 8833-8840; Org. Lett. 2022, 24, 1774-1779
연세대학교 화학공학과	유영민	가시광 라디칼 반응 개발 및 반응기작 연구 논문 출판: Green Chem., 2022, 24, 6481-6486; ACS Catal. 2022, 12, 6047-6059; ACS Appl. Mater. Interfaces 2021, 13, 42880-42888
성균관대학교 에너지과학과	김성웅	전자화물을 이용하는 유기합성법 개발 연구, 논문 출판: Adv. Sci. 2023, 10, 2204248
(주) LG화학	임영희 이상원	생분해 플라스틱 생분해 곡선 정량분석
(주) LG화학 연세대	이진규 김용록	단일항 산소 일상 공기중 생존시간 및 확산거리 규명 논문출판: Phys. Chem. Chem. Phys. 2020, 22, 21664 (Backcover 표지 논문)

■ 교육연구팀 공동연구 활성화

- 본 교육연구팀은 생명 분야와 에너지 분야를 중심으로 다양한 주제들로 활발한 공동연구를 수행하는 것을 목표로 하였다. 이를 위해 미래 4차산업의 성장 동력으로 활용할 수 있는 기계학습 등의 개념이 도입된 융합연구를 활성화하였고, 현재 심각한 사회적인 문제를 일으키고 있는 호흡기 감염성 질환의 조기진단이나 이산화탄소 저감과 같은 생명/에너지 분야의 사회적 문제 해결을 위한 공동연구를 적극적으로 추진하였다. 참여 교수 간 공동연구 수행 현황은 아래와 같다.

[표 III-5] 평가 기간 내 참여교수 간 공동연구 수행 현황

참여교수명	공동연구 내용
주재범	SERS-ELISA 기반 COVID-19 고감도 진단 시스템 개발
윤상운	논문 출판: Sens. Actuat. B 2023, 382, 133521
조은진	새로운 다중고리 형태의 복잡화합물 합성법 개발 및 결과물의 항암 성질 규명, 논문 출판: Org. Lett. 2023, 25, 4, 647-652
박태정	하이드로퀴논구조 기반의 항균제 개발, 특허출원 (국내 10-2021-0021513; PCT출원 PCT/KR2021/010236)
성재영 윤성호	다공성 카본구조체를 이용한 CO ₂ 전환용 수소화 촉매 개발 및 성능 분석
조은진 윤성호	Ni 다공성 CTF 또는 POP 기반 담체를 이용한 다양한 금속을 포함하는 비균질계 촉매 개발 (Ni 촉매를 이용한 Fluorine chemistry 연구)
성재영 주재범	Biofluid 분석 데이터 기계학습을 통한 폐혈증 진단 모듈 개발
성재영	나노입자 액체상 특이 수송 동력학 연구
윤상운	금 나노입자 간 거리에 따른 광학적 특성 변화 연구
박태정	상향변환나노입자의 상향변환 광학 특성 연구
성재영	

(3) 연구 인프라 구축

■ 연구 인프라 공유 및 구축

- 본 교육연구팀 내 연구 인프라를 공유하여 기 구축된 연구 인프라 활용도를 높였다.
- 본 교육연구팀 참여교수들이 수행 중이거나 새롭게 수주하는 생물리광화학관련 연구개발 사업들과 본 사업을 연계함으로써, 연구 추진에 필요한 미비 인프라를 추가로 구축하고 연구 수월성을 증진하기 위하여 [표 II-18] 평가 기간 내 정부출연연구소와 산업체 우수연구자 초빙 특별세미나 개최 실적과같이 연구소 및 기업의 우수연구자를 초청해 특별 세미나를 가졌다.

■ 공동연구장비 구축

- 공초점 형광현미경: 세포 동력학 및 진단용 바이오센서 개발에 공동 활용.
- 라만 현미경: 나노플라즈모닉스 기반 청정에너지 연구에 공동 활용.

■ 정부 연구비 수주 현황

- 본 교육연구팀 참여교수들은 평가 기간 내 한국연구재단에서 지원하는 리더연구자(창의연구) 지원사업, 중견연구과제 등의 개인 기초연구사업 과제부터 과학기술정보통신부, 보건복지부, 해양수산부, 산업통상자원부, 식품의약품안전처 등에서 지원하는 다양한 응용 연구과제까지 다양한 스펙트럼의 생명/에너지 관련 기초 및 응용연구를 수행하였다.

■ 공동연구를 통한 연구인프라 향상 및 구축

- 본 교육연구팀 참여교수들은 [표 III-3] 평가 기간 내 해외 연구기관 대표적 공동연구 내용, [표 III-4] 평가 기간 내 국내 우수대학 및 선도연구기관과의 대표적 공동연구 현황에 명시된 바와 같이 타 대학 및 국립연구소 연구진들과 활발한 공동연구를 수행해 왔다. 이를 통해 연구의 질을 향상함으로써 우수 논문을 출간하고 국책 연구사업을 수주하여 본 연구팀의 네트워크 역량 및 대외인지도를 강화할 수 있었다. 아울러 본 교육연구팀 소속 교수들이 추진하는 국책연구사업과 BK21 사업을 연계하여 다음과 같이 본 교육연구팀 연구 인프라를 향상하였다.
- 평가기간 중 본 교육연구팀에서 국책 연구 사업 및 산업체 수탁 연구사업과 연계하여 구축된 연구 인프라는 다음과 같다.

[표 III-6] 평가 대상 기간 내 구축된 연구 인프라 현황

국책 연구단	연구 인프라	내용
세포화학동력학 창의연구단(CRI)	고성능 병렬처리 전산기 (Linux Cluster) CPU 클러스터 3대 [Intel i9-10900K(총 80코어), Intel i9-12900K(총 144코어), Intel i9-12900K(총 128코어)] GPU 클러스터 1대 AMD Ryzen 5950X Nvidia GeForce RTX 3080ti (총 128코어, 단일정밀도 부동소수점 연산 속도: 272.8 TFLOPS)	세포 내 반응 동력학 전산 모사를 위한 전산기기 4대 구축을 통해 전산기 인프라 향상
	분자동력학 전산모사 프로그램(AMBER 20)	생체 내 세포막 및 단백질 분자동력학 전산모사를 위한 소프트웨어 인프라 구축
	워크스테이션 2대 i9-13900K(24코어 32스레드) AMD Ryzen 9 7950X(16코어 32스레드)	거대분자의 Ab initio 계산을 위해 2대 구축
Carbon to X 연구단	UV/VIS-analytikjena-SPECORD S 600, GC/MS-Agilent-Agilent 5977 GC/MSD system, GPC-waters-GPC Alliance 2695 System, LC/MS-waters-Qda Detector, 전기화학분석기(CV)-HS Technologies-Compactstat, 비표면분석기-MicrotracBEL-BELSORP-MAXII 글로브박스-엠오텍-글로브박스 광학현미경-Leica-Uplight Microscope DM750, 접도계-BROOKFIELD-DV2T LVCP	최근 3년간, 해당 연구단은 환경 문제 해결을 위해 온실가스 및 폐자원 선순환 전환 자원화 시스템을 개발하는데 초점을 두었음. 이를 위해 균질 및 비균질계 촉매의 정성 및 정량 분석 시스템을 구축.

나노광융합 바이오의료 진단 선도연구센터 (ERC)	- 저전력 다중 실시간 PCR 다중 채널 증폭기 및 형광 리더기 - Dual Au 나노갭 전극을 이용한 사이토카인계 단백질 분석용 초고감도 전기화학 센서 - COVID-19 진단용 표면증강라만 기반 항원신속진단키트 현장진단 시스템 - 갈바노 레이저 빔 스캐닝 기반 라만 분광 현미경 및 최적화 구동 프로그램 - Shimadzu Spectrofluorometer RF-6000 - Axygen Gel Electrophoresis System GD-1000 - Olympus High Speed Microscope Digital Camera DP-74 - Metrohm Potentiostat/Galvanostat/ Autolab PGSTAT 204	최근 3년간 심각한 사회적 문제를 일으켰던 COVID-19와 같은 호흡기 바이러스 감염병을 신속하고 정확하게 현장에서 진단할 수 있는 새로운 체외진단 시스템 개발 및 이를 위한 기반 시설 구축. 다중 실시간 PCR, 전기화학 센서, 나노플라즈모닉 현장진단 시스템, 초고속 레이저 스캐닝 현미경 등을 개발하였고 microdroplet 영상 획득용 초고속 이미징 카메라, 형광분광기, gel-electrophoresis 등과 electrochemistry 등을 위한 potentiostat 장비 등을 구축.
--	--	--

■ 산학협동 연구 및 연구비 수주 현황

- 본 연구팀은 LG화학, 한화글로벌, 삼성 바이오로직스, 삼성종합기술원 등의 대기업들과 지속적인 협력연구를 통하여 졸업생들의 취업 수준을 향상시켰다. 또한, 삼성전자와 같은 기업체 자체의 지원을 받아 생명/에너지 분야의 사회 문제 해결을 위한 다양한 산학협력연구를 추진해 왔다. 이같이 기업과 산학협력을 강화하여 생명/에너지 분야의 새로운 신기술을 창출하고 다시 연구교육팀과 기업체 간의 산학협력을 증진하는 선순환 산학협력 증진 체계를 구축하였다.
- 평가 기간 내 본 교육연구팀의 산업체 연구비 수주 총 입금액은 5.9억으로 4단계 BK21 사업이 시작된 후 증가하였다. 특히 바이오/의료진단 관련 광학 센서 개발에 대한 산학협력기술이 활성화되어 실제로 기업체가 필요로 하는 상용화 센서 기술 개발이 고도화되고 있음을 잘 보여주고 있다.

[표 III-7] 평가 기간 내 참여교수의 산학협동 연구 현황

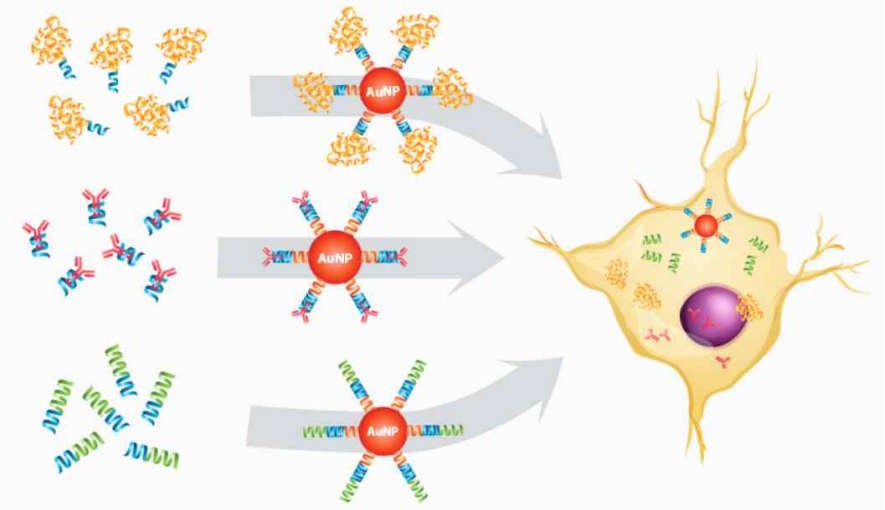
참여교수명	연구 제목	참여기관	연구 내용
성재영	일상 대기조건 하 단일항 산소의 공기중 생존시간 및 확산 거리	(주) LG화학	단일항 산소를 이용한 전자제품 멸균처리를 위해 필요한 단일항 산소 생존시간과 확산거리 규명 (Phys. Chem. Chem. Phys. 2020, 22, 21664; Back Cover 표지 논문))
윤상운	세포내유입 운반체 금나노입자의 합성 및 특성 측정 기술 개발	엔이에스 바이오테크놀로지	RNA, DNA 운반체 및 면역치료제로 응용하기 위한 금나노입자의 합성 및 표면 개질 연구
윤성호	Nitro 화합물 고부가화 기술 개발	한화글로벌	메탄, 에탄등의 화학원료를 이용한 아민 완충액등을 합성하기 위한 헨리반응, 수소화반응, 고리화반응에 대한 기초 연구
윤성호	생분해성 패키징 소재 합성용 β -Lactone 개환중합 촉매기술 개발	양영재단(삼양사)	생분해성 패키징 소재 기술 개발
윤성호	촉매를 이용한 금속 착화합물 기술 개발	씨그마알드리치코리아(유)	OLED 소재로부터 귀금속 분리 기술 개발
조은진	차세대 Blue OLED 발광 소재 개발	삼성종합기술원	Blue OLED 소재 개발을 위한 유기화합물 합성법 개발 및 이를 이용한 중간체 합성
박태정	비혈액 기반 대사증후군 모니터링용 패치형 나노 멀티센서 혁신기술 개발	(주)원바이오젠	패치형 바이오센서 개발
박태정	식중독 유발 바이러스 NGS 검출법 및 분석프로그램 개발 연구	씨모피서씨아이엔티픽	바이러스NGS패널 및 분석법 개발
주재범	표면증강라만산란 기반 체외진단시스템	(주) SG메디칼	감염성 질환 현장진단용 SERS-LFA 시스템 개발 (방역연계 범부처감염병 연구개발과제 공동수행 2020-2023)
주재범	Alzheimer 진단을 위한 나노플라즈모닉 진단 기술	(주) 스펙클립스	Alzheimer 진단을 위한 고감도 나노플라즈모닉 체외진단 기술 개발 (산학협동과제 수행 2021-2023)

2. 산업·사회에 대한 기여도

2.1 산업·사회 문제 해결 기여 실적

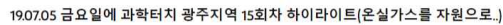
〈표 3-5〉 교육연구팀 참여교수의 산업·사회 문제 해결 기여 실적

연번	실적명	참여교수명	실적해당 분야		실적 요약
1	균일한 품질을 갖는 13 nm 금나노입자 합성 기술 이전	윤상운	기업현안해결		금나노입자를 이용한 면역치료제를 개발하는 엔이에스바이오테크놀러지에 안정하고 균일한 품질을 갖는 13 nm 크기 금나노입자 합성 기술을 전수함.
2	탄소중립 및 국내 유용산물 생산기술 동향 (대중강연)	윤성호	정책 기여		2022년 4월 29일에 열린 온라인 강연에서는 기후변화와 위기, 신경제 질서, 국내 탄소배출 현황 등에 대해 설명하며, 탄소 중립 달성을 위한 과학 기술 분야에서의 노력을 소개함. 또한, 올레핀 및 에폭사이드 과생산으로 인한 산업 수급문제를 해결하기 위해 PHA 생분해성 고분자 생산 기술을 개발하였고, 롯데케미칼과 총 5억 원의 기술이전 계약 협약을 체결하였으며, 이에 따라 공동 연구를 추진중.
			기업현안 해결		
			학문의 개방화/대중화		
3	고감도 광센서 기술을 이용한 새로운 개념의 체외진단 기술 개발	주재범	거버넌스 구축		최근 전 세계적으로 SARS-CoV-2와 같은 감염병 확산 방지가 큰 과제로 인식되고 있음. 현재 표준 진단법인 분자진단 기반의 RT-PCR 방법은 정확하지만 시간이 오래 걸리고, 면역 분석 기반의 항원 신속 진단 키트는 현장 진단이 가능하지만 정확도가 낮다는 문제점이 있음. 이를 해결하기 위해 산-학-병 협동 연구를 통해 현장 진단이 가능하고 고감도인 새로운 개념의 면역 진단 시스템을 개발함.
			기업현안 해결		
			미래/글로벌 대응		
총 환산 참여교수 수		6		제출요구량	2~3

연번	교육연구팀 참여교수의 산업·사회 문제 해결 기여 실적 설명
1	기업현안 해결: 금나노입자는 표면에 펩타이드/단백질, 항체, 다양한 종류의 핵산(엡타머, asDNA, miRNA, mRNA, dsDNA 등)을 붙여 세포기관(핵, 미토콘드리아, 세포질, 막)으로 전달함으로써 유용한 항체치료제 또는 RNA/DNA 백신으로 활용할 수 있다. 이를 위해서는 안정한 biocompatibility를 갖는 금나노입자의 합성 기술, 금나노입자의 표면 개질 기술이 절대적으로 필요하다. 본 교육연구팀의 윤상운 교수는 엔이에스바이오테크놀러지에 안정하고 균일한 품질을 갖는 13 nm 크기 금나노입자 합성 기술을 전수하였으며 이들 금나노입자의 표면 개질 기술과 측정 기술도 이전 준비 중이다.  <그림 1> 펩타이드, 항체, 그리고 핵산등으로 표면이 개질된 13 nm 금 나노입자의 세포 내 전달과정을 나타낸 모식도

(연구재단 기후환경 기술 2020년 ~ 2024년까지 RB로 활동 중)

대중화: 탄소중립을 위한 내용을 2022년 금요일의 과학터치 본강연(youtube)을 통하여 초/중/고등학생을 대상으로 대중화에 노력함



거버넌스 구축: 최근 COVID-19와 같은 호흡기 바이러스 질환이 전세계적으로 막대한 사회적, 경제적 손실을 주었다. COVID-19 진단에는 RT-PCR 기반의 분자진단법이 높은 민감도와 특이도로 인하여 표준진단 방법으로 채택되어 활용되고 있으나, 진단에 3~4시간이 소요되어 현장에서의 활용이 어려운 단점이 있다. 반면, 래피드 키트를 이용한 면역진단법을 이용하면 신속하게 15분 이내에 감염 여부를 판별할 수 있으나, 민감도의 문제 때문에 COVID-19의 확진 방법으로는 사용되지 못한다. 특히, 양성 환자를 음성으로 판별하는 ‘위음성’의 문제는 이 진단 방법이 표준진단방법으로 채택되기 어려운 이유라고 할 수 있다. 또한, COVID-19 판데믹이 종식된다고 하더라도 최근 20년간 전 세계적으로 발생한 호흡기 바이러스의 주기적인 확산은 향후 몇 년 후에 또 다른 새로운 변종 바이러스가 출현하여 확산할 것이라는 가능성을 배제할 수 없다. 따라서 기존의 진단방법의 문제점을 해결할 수 있는 새로운 개념의 감염병 바이러스 진단 방법의 개발이 절실한 실정이다. 이에 착안하여 기업체 ((주)SG메디칼)과 공동으로 새로운 진단 기술 플랫폼 개발을 위한 기반 시설을 구축하였다.

기업문제 해결: 본 연구팀 (중앙대-삼성서울병원-나노스코프시스템즈(주)-(주)SG메디칼)에서는 보건복지부 산하의 범부처 감염병 사업단의 지원 (20억원/5년, 연구책임자: 주재범)을 받아 라만 산란광 측정 기술을 이용하여 면역진단 래피드 키트의 정확도를 개선할 수 있는 감염병 현장 진단시스템을 개발하였다. 본 제품은 본 교육연구팀에서 보유한 핵심기술을 기반으로 기업체에서 진단시스템을 제작하였다.

3



미래/글로벌 대응: 본 SERS-LFA 현장진단 시스템은 기존에 상용화된 눈으로 확인하는 항원신속진단키트가 가지는 민감도 한계로 인한 정확도의 문제를 해결할 수 있을 것으로 기대된다. 본 시스템의 유효성을 평가하기 위하여 실제 환자시료에 대한 임상시험을 수행하여 현장 활용 가능성을 검증할 계획이다. 기업체 (나노스코프시스템즈(주))와 공동으로 현장에서 진단키트의 광시그널을 검출할 수 있는 portable Raman reader를 개발하여 의료기기 인증허가를 받았으며, COVID-19의 현장 진단 유효성을 평가하기 위하여 삼성서울병원에서 IRB를 거친 후 임상시험을 수행하였다. 본 연구팀에서 개발한 COVID-19 현장진단 시스템의 우수성을 인정받아 주재범 교수는 보건의료기술에 기여한 공로로 2021년 11월 23일 국무총리 표창을 받았다. 본 연구팀은 미래를 위협하는 감염병 확산을 제어할 수 있는 진단신기술을 개발함으로써 우리 사회가 안고 있는 문제점을 해결하려는 노력을 지속적으로 기울일 계획이다.

3. 연구의 국제화 현황

3.1 참여교수의 국제화 현황

① 국제적 학술활동 참여 실적 및 현황

(1) 참여교수의 국제수상 실적				
사업 참여교수의 국제수상 실적은 아래와 같다.				
[표 III-8] 평가 기간 내 국제수상 실적				
일시	수상기관	수상내역	이름	개최국
202105	Analytical Chemistry (ACS Journal)	2020 Top Reviewer	주재범	미국
202201	Thieme	Thieme Chemistry Journals Award 2022	조은진	독일
202202	Chemical Science (RSC Journal)	Outstanding Reviewer 2021	윤상운	영국
202206	Fulbright Scholarship	미국 국무부와 한국 교육부에서 공동 출연하여 한미교육위원단을 통해 선발하는 폴브라이트 방문교수에 선정됨.	윤상운	미국/한국
202301	ACS Sensors (ACS Journal)	2022 Top Reviewer	주재범	미국
(2) 참여교수의 기초강연 및 초청강연 실적				
사업 참여교수의 대표적 기초강연 및 초청강연 실적은 아래와 같다.				
[표 III-9] 평가 기간 내 기초강연 초청 실적				
일시	학술대회명	발표제목	이름	개최국
202106	Spring International Biochip Conference and Exhibition	Ultrasensitive detection of SARS-CoV-2 using nanoplasmonic biosensors	주재범	한국
202108	National Conference on Convergence BIEN 2021	Application of SERS-based platforms to improve the accuracy of currently commercialized SARS-CoV-2 immunodiagnostic kits	주재범	한국
202110	제 8회 나노융합산업전 (NANOPIA 2021)	나노센서 기술을 이용한 COVID-19 진단 신기술	주재범	한국
202111	The 11 th Asian Photochemistry Conference (APC) 2021	Ultrasensitive Detection of SARS-CoV-2 Biomarkers Using Nanoplasmonic Biosensors	주재범	한국
202112	RSC-Tokyo University International Conference 2021	Development of SERS-based assay platforms for rapid and accurate diagnosis of SARS-CoV-2	주재범	일본
202211	2022 APCE-CECE-ITP-IUPAC Conference	Recent advances in rapid and accurate diagnosis of COVID-19 using nanoplasmonic biosensors	주재범	캄보디아
202211	한국 공업화학회 추계학술대회	나노플라즈모닉 센서를 이용한 신속하고 정확한 COVID-19 현장 진단기술 개발	주재범	한국

202302	Asia-Pacific Association of Theoretical & Computational Chemists	Recent achievements and future challenges in our understanding of complex dynamical systems	성재영	베트남
[표 III-10] 평가 기간 내 국제학회 초청강연 실적				
일시	학술대회명	발표제목	이름	개최국
202010	SCIX 2020	Development of ultrasensitive SERS sensors using Au nanoparticles-anchoring nanodimple substrates	주재범	미국 (virtual)
202011	2020 Korean Physical Society Fall Meeting	Microfluidic platforms for surface-enhanced Raman sensing	주재범	한국 (virtual)
202011	The 2nd workshop on stochasticity and fluctuations in small systems	Transport dynamics of complex fluids	성재영	한국
202101	The 9th International Symposium on Functional Materials (ISFM)	Nanoplasmonic microdevice platforms for <i>in vitro</i> diagnostics	주재범	한국 (virtual)
202102	Royal Society of Chemistry (RSC) Desk-top Seminar	Application of nanodimple-based SERS sensors for ultrasensitive detection of COVID-19 biomarkers	주재범	영국 (virtual)
202106	Beijing University Seminar on Biomedical Detection and Imaging Using Raman Spectroscopy	Application of SERS-based immunodiagnostic sensors for ultrasensitive detection of SARS-CoV-2 biomarkers	주재범	중국 (virtual)
202109	SCIX 2021	Application of SERS sensors for ultrasensitive detection of SARS-CoV-2 biomarkers	주재범	미국
202112	The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2021	SERS-based immunodiagnostic sensors for COVID-19	주재범	미국
202112	The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2021	DNA hybridization-induced self-assembled nanogap arrays of gold nanoparticles in dimple nanopores	주재범	미국
202112	The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2021	Photocatalytic C-N Bond Forming Transformations	조은진	미국
202206	5 th International Conference on Organometallics and Catalysis	N-O Bond Activation by Energy Transfer Catalysis	조은진	홍콩
202111	The 11 th Asian Photochemistry Conference (APC 2022)	Plasmon-Driven Bond-Cleavage Reactions in Nanogaps	윤상운	한국

202212	SICC-11	Heterogenized Catalysts for CO ₂ conversion into formate	윤성호	싱가포르
202210	SCIX 2022	Development of SERS-based assay platforms for rapid and accurate diagnosis of SARS-CoV-2	주재범	미국
202211	Carbon Neutral International symposium	Current state of production technology of chemical raw materials from CO ₂	윤성호	한국
202212	Workshop on Catalytic Approaches for Carbon Capture, Utilization, and Renewable Energy Storage	Multi-step production process of biodegradable PHAs from olefin	윤성호	싱가포르

(3) 참여교수 학술지 편집위원 실적

- 참여교수의 학술지 편집위원 실적은 아래와 같다.

[표 III-11] 평가 기간 내 국제학술지 편집위원 실적

일시	학술지명	직위	이름	국가
2021-2022	Materials Today Chemistry	Associate Editorial Member, Elsevier	박태정	네덜란드
2018-현재	Biotechnology and Bioprocess Engineering	Editorial Board, Springer	박태정	한국
2013-현재	Bioprocess and Biosystems Engineering	Editorial Advisory Board, Springer	박태정	미국
2019-현재	Asian Journal of Organic Chemistry	Editorial Board, Wiley	조은진	독일
2021-현재	ChemPhotoChem	Editorial Board, Wiley	조은진	독일
2018-현재	Analyst	Associate Editor, Royal Society of Chemistry (RSC)	주재범	영국
2019-현재	Clinical Spectroscopy	Editorial Board, Elsevier Science	주재범	네덜란드
2011-현재	Journal of Molecular Structure	Editorial Board, Elsevier Science	주재범	네덜란드
2020-현재	Bulletin of the Korean Chemical Society	International Advisory Board, Wiley	주재범	한국
2015-현재	BioChip Journal	Advisory Editor, Springer	주재범	한국
2022-현재	ACS Sensors	Editorial Board, American Chemical Society (ACS)	주재범	미국

(4) 참여교수 학술대회 위원회 실적

- 사업 참여교수의 학술대회 위원회 실적은 아래와 같다.

[표 III-12] 평가 기간 내 국제 학술대회 위원 실적

일시	학술대회명	직위	이름	국가
----	-------	----	----	----

202101	The 9 th International Symposium on Functional Materials (ISFM)	International Advisory Board	주재범	한국
202108	The 11 th International Conference on Advanced Vibrational Spectroscopy	International Advisory Board	주재범	폴란드
202111	The 11 th Asian Photochemistry Conference (APC 2022)	Organizing Committee Member	윤상운	한국

(5) 참여교수 국제 저술활동 실적

- 사업 참여교수의 국제 저술활동 실적은 아래와 같다.

[표 III-13] 평가 기간 내 국제 저술활동 실적

일시	제목	내용	출판사	이름	ISBN
2021	Emerging Carbon Materials for Catalysis	Chapter 1 - New aspects of covalent triazine frameworks in heterogeneous catalysis	Elsevier	윤성호	9780128175613
2021	CO ₂ Hydrogenation Catalysis	Chapter 6 - Heteronized Catalyst for the Hydrogenation of CO ₂ to Formic Acid Or Its Derivatives	Wiley	윤성호	9783527824113
2021	Upconversion Nanophosphors	Chapter 13 - Upconversion luminescence nanomaterials for biomedical applications	Elsevier	박태정	9780128228425
2022	Principles and clinical diagnostic applications of surface-enhanced Raman spectroscopy	Chapter 7 Surface-enhanced Raman spectroscopy-based microfluidic devices for <i>in vitro</i> diagnostics	Elsevier	주재범	978-0-12-821121-2
2022	World Scientific Reference on Plasmonic Nanomaterials: Principles, Design and Bio-applications. Plasmonics in Diagnostics and Therapy	Chapter 7 iSERS Bioassays	World Scientific	주재범	978-981-123-513-9
2022	Heterogeneous Copolymerization of CO ₂ , Chapter 11 in "Chemical Valorisation of Carbon Dioxide	Chapter 11: Heterogeneous Copolymerization of CO ₂	RSC	윤성호	978-1-83916-765-2

② 국제 공동연구 실적

<표 3-6> 평가 대상 기간(2020.9.1.-2023.2.28.) 내 국제 공동연구 실적

연번	공동연구 참여자		상대국 /소속기관	국제 공동연구 실적	DOI 번호/ISBN 등 관련 인터넷 link 주소	
	교육연구 팀참여교 수	국외 공동연구자				
1	박태정	Shahid Waseem	파키스탄/Quaid-i-Azam University	AR. Gul et al.. Grass-mediated biogenic synthesis of silver nanoparticles and their drug delivery evaluation: A biocompatible anti-cancer therapy, Chemical Engineering Journal, 407 , 127202 (2021)	10.1016/j.cej.2020.127202	
2	성재영	Peng Chen	미국/ Cornell University	J. Kang, et al, Stochastic kinetics of nanocatalytic systems, Physical Review Letters 126 , 126001 (2021)	10.1103/PhysRevLett.126.126001	
3	조은진	Naeem Iqbal	영국/University of York	S. D. Tambe, et al, Nickel-Catalyzed Enantioselective Synthesis of 2,3,4-Trisubstituted 3-Pyrrolines, Angew. Chem. Int. Ed., e202203494 (2022)	10.1002/anie.202203494	
4	조은진	Naeem Iqbal	영국/University of York	J. Bae, et al, Sustainable preparation of photoactive indolefused tetracyclic molecules: a new class of organophotocatalysts, Green Chem., 24 , 3985 (2022)	10.1039/D2GC00542E	
5	주재범	Lingxin Chen	중국/ Chinese Academy of Sciences	H. Dnag et al., Reproducible and sensitive plasmonic sensing platforms based on Au nanoparticle -internalized nanodimpled substrate, Advanced Functional Materials, 31 , 2105703 (2021)	10.1002/adfm.202105703	
6	주재범	Lingxin Chen	중국/ Chinese Academy of Sciences	M. Arabi et al., Molecular imprinting: Green perspectives and strategies, Advanced Materials, 33 , 2100543 (2021)	10.1002/adma.202100543	
총 환산 참여교수 수				6	제출요구량	2~6

③ 외국 대학 및 연구기관과의 연구자 교류 실적

(1) 외국 대학 및 연구기관과의 연구자 교류 실적			
외국 대학 연구기관 교류 실적			
[표 III-14] 평가 기간 내 외국 대학 연구기관 교류실적			
이름	연구기관이름 (교류내용 및 실적)	참여교수	교류기간
Hyokeun Park	The Hong Kong University of Science and Technology (신경세포 내 소포체 운동 양상 정량분석, 공동연구논문 작성중)	성재영	20200901-현재
Peng Chen	Cornell University (나노촉매 반응속도 공동연구: 공동연구 논문 출판)	성재영	20200901-20210324
Aaron Lindenberg Andrey Poletayev	Stanford University (Online Seminar & Group discussion on anomalous charge transport in solid electrolytes: 해당 교류를 통해 논문 출판 (Nat. Mater. 21, 1066 (2022).))	성재영	20210622-20210625
Lingxin Chen	중국과학원 (Molecular imprinting/Plasmonic sensor 관련 공동연구 수행 및 Adv. Mater, 2021, 33, 2100543 등 7편의 공동 논문 출판)	주재범	20210326-20210401
Jean-Francois Masson	University of Montreal, ACS Sensors Associate Editor (Gordon Research Conference Bioanalytical Sensors 초청 강연 관련 논의)	주재범	20220228-20220302
Roy Goodacre	University of Liverpool (SCIX 초청강연 및 공동연구 논의)	주재범	20220223-20220312
Andrew deMello	스위스 연방 공과대학교 (ETH Zurich) (한국바이오칩학회 초청강연 및 공동연구 관련 논의)	주재범	20220927-20221103
Suresh Kumar Kailasa	인도 사르다르 발라브바이 국립공과대학	박태정	20200901-현재
Muhammed Arshad	파키스탄 국립과학기술대학교	박태정	20200901-20201231
Min Lee	University of California, Los Angeles	박태정	20200901-20211231
Jang-Kyo Kim	The Hong Kong University of Science and Technology	박태정	20200901-20211231
Naeem Iqbal	University of York (해당 교류를 통해 논문 출판 Angew. Chem. Int. Ed., e202203494 (2022) Green Chem., 24, 3985 (2022))	조은진	20210901-현재
Andrea R. Tao	University of California, San Diego (방문 연구)	윤상운	20220815-현재

• 참여교수 해외 연구기관 세미나 실적

[표 III-15] 평가 기간 내 해외 연구기관 세미나 실적

참여교수	연구기관이름	강연 날짜
성재영	Stanford University (Host: Prof. Aaron Lindenberg @ Material Science and Engineering)	20210625
주재범	중국 베이징 대학 On-line Seminar (Host: Professor Xinjing Tang)	20210627
주재범	영국 Royal Society of Chemistry-Tokyo University On-line Desk-top Seminar (Host: Professor Takehiko Kitamori)	20210223
주재범	사우디 아라비아 King Fahd University of Petroleum and Minerals, Chemistry Seminar (Professor Basheer Chanbasha)	20221010
윤상운	미국 University of California San Diego (Host: Andrea R. Tao)	20221103
윤성호	중국 DICP(Dalian institute of chemical physics)	20210824
윤성호	싱가폴 난양공대 (Host: Han sen soo)	20221217

• 해외 석학 초청 강연 실적

지난 4단계 BK21 사업기간 동안 해외 기관과의 인적 교류를 활성화하기 위해, 전술한 해외 대학 및 연구기관과의 교류 실적에 기반하여 생물리광화학 분야의 해외 석학을 초청해 세미나를 진행하였다. 이에 관한 내용은 [표 II-31] 평가 기간 중 사업팀 해외 선도 연구자 초청 강연 현황에 상술 되어있다.