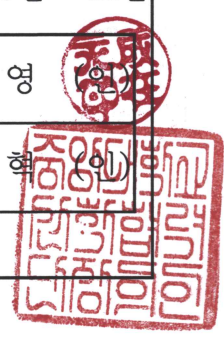


『4단계 BK21사업』 미래인재 양성사업(과학기술 분야)
교육연구팀 자체평가보고서

접수번호	-								
사업 분야	기초과학	신청분야	화학	단위	전국	구분	교육연구팀		
학술연구분야 분류코드	구분	관련분야		관련분야		관련분야			
		중분류	소분류	중분류	소분류	중분류	소분류		
	분류명	화학	물리화학	화학	분석화학	화학	화학일반		
	비중(%)	60%		20%		20%			
교육연구 팀명	국문) 생물리광화학 창의인재 양성사업팀 영문) BK21 Education Research Team for Bio/Energy Photochemistry								
교육연구 팀장	소 속	중앙대학교 자연과학대학 화학과							
	직 위	교수							
	성명	국문	성 재 영	전화	[REDACTED]				
				팩스	[REDACTED]				
		영문	Sung Jaeyoung	이동전화	[REDACTED]				
				E-mail	[REDACTED]				
연차별 총 사업비 (백만원)	구분	1차년도 (2019~212)	2차년도 (213~222)						
	국고지원금	183,150	366,300						
총 사업기간		2020.9.1.-2027.8.31.(84개월)							
자체평가 대상기간		2020.9.1.-2021.8.31.(12개월)							
본인은 관련 규정에 따라, 『4단계 BK21』사업 관련 법령, 귀 재단과의 협약에 따라 다음과 같이 자체평가보고서 및 자체평가결과보고서를 제출합니다. 2021년 9월 14일									
작성자	교육연구팀장				성 재 영				
확인자	중앙대학교 산학협력단장				고 중 혁				



〈자체평가 보고서 요약문〉

중심어	생물리광화학	생명	에너지
	광화학반응	세포 화학 동력학	플라즈몬
	광촉매	광센서	기계학습
교육연구팀의 비전과 목표 달성정도	본 교육연구팀의 목표는 4차산업혁명, 감염병확산, 에너지/환경문제로 급변하는 우리 사회에 대두되고 있는 생명/의료 및 에너지 분야의 학문적 사회적 수요를 충족시킬 수 있는 생물리광화학 기초와 응용분야 전문연구인력을 균형있게 배출하고 이 과정에서 생물리광화학을 발전시키고 얻어진 학술적 성과들을 응용하여 우리사회가 직면한 생물리광화학 관련 산업/사회 문제들을 해결하는데 기여하는 것이다. 7년간의 BK21사업 추진을 통해 생물리광화학분야를 선도하는 세계 최고 수준의 교육연구팀으로 성장하는 것을 비전으로 가지고 있다. 최근 1년간 본 사업팀 목표 대비 달성 정도는 전반적으로 우수하나 코로나 상황으로 국제화 목표달성도가 낮은 편이다.		
교육역량 영역 성과	• 생물리광화학 특성화 교육: 생물리광화학 세부전공, 인공지능융용화학 과목 신설 • 교육-연구 선순환 구조 구축: 연구-교육 연계 강화 운영, BK21 우수논문상 제정 • 우수 대학원생 확보제도: 학부생 연구프로그램 활성화, 화학과 연구인턴 프로그램 신설 운영, 대학원 입학 FAIR, 우수대학원생 장학금 제도 활성화, BK21사업 우수논문 지원금 제도 실시, 박사과정 및 석박사 통합과정 대학원 입학생 증가 • 신진연구인력 지원: CAU Global Ph.D Fellow 프로그램 추진 (BK21사업 참여경력 1년 이상 경력자 대상) • 최근 1년간 석사 19명, 박사 1명 배출, 신입생 석사과정 21명 박사과정 7명 입학		
연구역량 영역 성과	• 정량지표로 파악되는 본 사업팀의 연구역량은 최근 1년간 크게 향상되었다. - 최근 1년간 참여대학원생이 발표한 총 논문편수는 30편이고 영향력지수 총합은 224이며 대학원생 1인당 논문 환산편수와 환산보정 IF는 0.390과 1.20으로 사업 시작 당시값들 (0.336, 0.83)에 비해 각각 16%, 44% 증가함. - 최근 1년간 참여교수 6명이 발표한 총 논문 수는 61편, 영향력지수 합은 483.4인데 사업 시작 당시에 비해 크게 증가하였다. - 본 사업팀 참여교수들의 정부연구비 총 수주액은 53.15억원, 산업체 연구비 1.53억원으로 교수 1인당 1년간 연구비 수주액이 9.1억원으로 사업당시에 1년간 1인당 연구비 수주액 3.6억원에 비해 약 3배가량 증가하였다. - 대학원생 특허 출원 5건, 등록 1건, 참여교수 특허 출원 16건, 등록 5건, 기술이전 1건으로 사업 시작 당시에 비해 크게 향상되었다. • 대표연구 성과들의 내용과 인지도도 우수한 편이나 4단계 BK21사업 추진을 통해 더욱 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.		
미흡한 부분 / 문제점 제시	• 코로나19로 인해 모임이나 방문이 필요한 대학원생 주최 행사나 해외 선도기관과의 교류가 미흡하였다. • 우수 연구 인력유치를 위한 대외 홍보 노력이 부족한 것으로 파악되었다.		
차년도 추진계획	• 대표 논문의 질적 수준을 더욱 향상 시킨다. • 본 생물리광화학 창의인재 양성 사업팀을 적극적으로 홍보하여 우수 대학원생과 신진연구인력 유치를 위한 노력을 더욱 적극적으로 펼친다. • 코로나19 팬데믹이 종료되면 해외학회 참석, 장단기 연구, 연구자 교류 등의 학술 교류 사업을 활성화 한다. • 코로나 19 팬데믹이 계속될 경우 온라인 국제 학술 활동을 보다 적극적으로 시행한다. • 대학원생이 주도하고 참여하는 강연, 세미나, 학술대회를 활성화 한다.		

1. 교육연구팀장의 교육·연구·행정 역량

성명	한글	성제영	영문	Jaeyoung sung
소속기관	중앙대학교 자연과학 대학(원)			화학과(부)

(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)” 개념을 제안하였고 2018년 Nature Communications에 세포 내 생고분자의 역동적 생성-소멸 과정에 일반적으로 성립하는 “화학요동법칙(Chemical Fluctuation Theorem)”을 기존 반응속도론과는 다른 수학적 방법론을 개발하여 얻어내고 이가 세포 내 유전자 발현과정에 일반적으로 성립하는 것을 실험결과와 비교하여 실증하였다. 이 과정에서 개발된 복잡동력학계 기술방법을 통해 2019년 미국 학술원 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)의 기조 강연자로 초청받은 바 있다.

(2) 교육연구팀장 교육역량

- 팀장 연구실 소속 인원 현황:
연구교수 1명, 박사 후 연수과정 1명; 박사과정 3명; 석박사통합과정 5명; 석사 연구원 1명
- 팀장 연구실 배출 대학원생 취업현황:
배제현 (충남대 분석화학기술대학원 정년트랙 조교수); 박성준 (세포화학동력학 창의연구단 박사 후 연구원); 정원 (하버드대학 화학과 박사 후 연구원); 김대현 (LG 생활건강 선임연구원); 양길석 (코넬대학 화학과 박사과정); 이훈기 (막스플랑크 연구소 박사과정)
- 팀장 연구실 배출 연구원 취업 현황: 은창선 (한국외국어대학교 화학과 조교수); 한승수 (중앙대학교 교양학부 조교수); 김지현 (중앙대학교 세포화학동력학 창의연구단 전임 조교수)
- 교육연구팀장 연구실 방문 교육을 받은 타 교육기관 대학원생 및 연구원:
김병효 박사 (IBS 나노입자연구단); 강성수 (서울대학교 화학생물공학부); 신규진, 이은상 (광주과학기술원 화학과); 정성근 (충남대학교 화학공학과)
- 팀장 연구실 소속 대학원생 해외 방문교육: 이훈기 (석사과정 중 2018년 홍콩과학기술대학교 공식 방문 2개월); 박성준 (박사과정 중 2011년 매사추세츠 공과대학교 공식방문 6개월)

(3) 교육연구팀장 행정역량

- 교내:
2015년~현재: 세포화학동력학 창의연구단장
2018년~현재: 중앙대학교 연구위원; 미래융합원 운영위원
2014~2016년: 중앙대학교 화학과 학과장; 2016년 교무 행정위원

- 교외:
2022년~2024년 대한화학회 총무부회장
2016년~2018년 한국연구재단 전문위원
2018년~현재: 대한화학회 학술위원; 한성 과학상 심사위원
2019년~현재: SigmaPhi2020 Advisory Committee Member
2015년 대한화학회 물리화학분과 총무실무이사
2014년 대한화학회 학술실무이사
2013년 대한화학회 홍보실무이사

2. 대학원 학과(부) 소속 전체 교수 및 참여연구진

<표 1-1> 교육연구팀 대학원 학과(부) 전임 교수 현황

(단위: 명, %)

대학원 학과(부)	학기	전체교수 수	참여교수 수	참여비율(%)	비고
화학과	20년 2학기	13명	6	46%	
	21년 1학기	13명	6	46%	

<표 1-2> 최근 1년간(2020.9.1.~2021.8.31.) 교육연구팀 대학원 학과(부) 소속 전임 교수 변동 내역

연번	성명	변동 학기	전출/전입	변동 사유	비고
1					변동없음

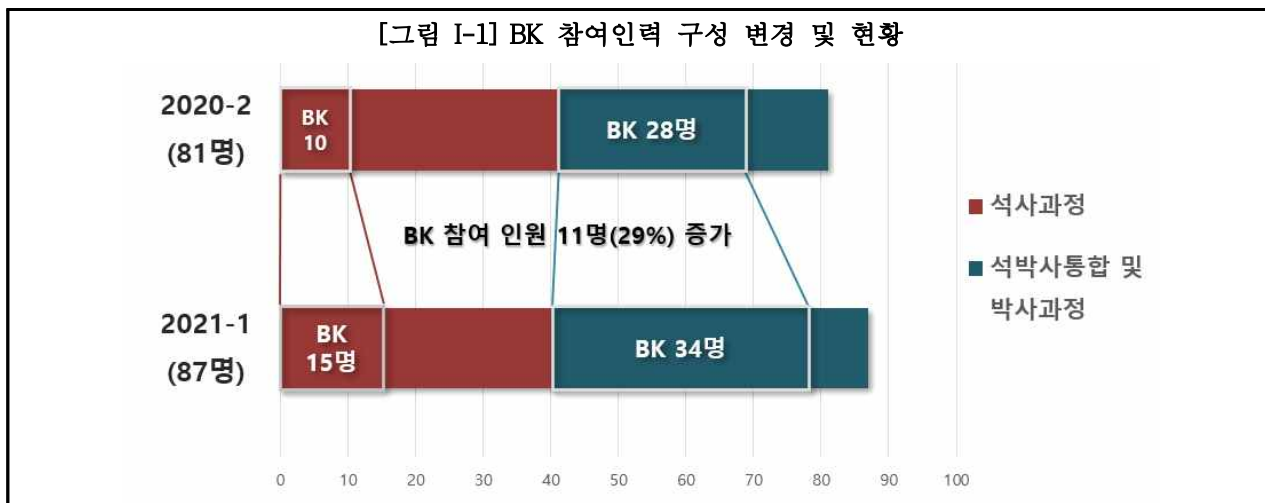
<표 1-3> 교육연구팀 대학원 학과(부) 대학원생 현황

(단위: 명, %)

대학원 학과(부)	참여 인력 구성	대학원생 수											
		석사			박사			석·박사 통합			계		
		전체	참여	참여 비율 (%)	전체	참여	참여 비율 (%)	전체	참여	참여 비율 (%)	전체	참여	참여 비율 (%)
화학과	20년 2학기	41	10	24	21	9	43	19	19	100	81	38	47
	21년 1학기	40	15	38	25	12	48	22	22	100	87	49	56
참여교수 대 참여학생 비율					교수 1인당 7.2명								

■ 최근 1년간 교육연구팀 참여인력 구성 변경 및 현황

본 교육연구팀 소속 학과의 지난 1년간 전체 교수 수(13명)와 참여교수 수(6명)는 변동이 없다. 사업 시작 시점인 2020년 2학기에는 총 81명(석사과정 41명, 석박통합 및 박사과정 40명)의 대학원생이 지도를 받았고, 이 중 47%인 38명(석사과정 10명, 석박통합 및 박사과정 28명)이 본 교육연구팀 소속 대학원생이었다. 2021년 1학기에는 대학원생 총 87명(석사과정 40명, 석박통합 및 박사과정 47명), 이 중 56%인 49명(석사과정 15명, 석박통합 및 박사과정 34명)이 본 사업팀 소속 대학원생이다. 총 대학원생 수는 큰 변화가 없었지만 (7% 증가) 사업팀 소속 대학원생 수는 29%의 큰 증가율을 보여 그 참여비율이 증가한 것을 볼 수 있다. 또 하나의 주목할 만한 사항은 석박사통합 과정에 있는 대학원생 전원이 본 사업팀에 속해 있다는 것이다. 박사학위과정 학생들의 안정적 확보를 통해 본 사업팀의 교육과 연구에 대한 비전 및 목표를 실현할 수 있으리라 기대된다.



3. 교육연구팀의 비전 및 목표 달성정도

가. 생물리광화학 창의인재양성사업팀 비전 및 목표 대비 실적

- 본 사업팀은 선정 당시 4단계 BK21 사업단 평가 기준에 따라 교육, 연구, 국제화 각 부분 모두에서 대표업적의 우수성 향상을 목표로 하였기 때문에 각 부분 정량 지표 상승을 목표로 수립하지는 않았다. 이로 인해 최근 1년간 본 사업팀의 각 부분 목표 달성 정도를 수치로 나타내는 것은 불가능한 일이다. 그러나, 이 자체평가를 위해 정량적 비교가 가능한 성과들은 사업 시작 당시에 비해 얼마나 변화되었는지를 파악하여 비전 및 목표 달성 정도를 가늠하였다. 정량적 지표로 평가하기 어려운 성과들도 그 내용을 기술하여 성과의 우수성을 가늠할 수 있도록 하였다.

(1) 교육목표 달성 실적

- 본 사업팀은 4단계 BK21사업 기간에 걸쳐 달성할 교육연구팀의 전체 교육 목표의 상당 부분을 첫째에 이미 달성하였다. 사업 시작 첫째 교육 목표 달성도는 만족스러운 수준으로 판단된다. 대표적 교육 실적으로 사업 시작 후 첫째에 생물리광화학 세부 전공 교과과정을 신설한 것과 이 세부 전공에 새로운 생물리광화학 전공과목으로 인공지능 응용화학을 신설하였고, 우수 논문을 발표한 대학원생을 대상으로 BK21 최우수 연구상을 수상하였다. 또 스위스 로잔 공대를 벤치마킹하여 대학원생들이 자기 점검과 과정 중심의 교육을 경험할 수 있도록 Annual Report 제도를 도입하여 시범적으로 실시한 바 있다. 우수한 대학원생과 신진연구인력 확보를 위해 다양한 지원 제도를 실시하였다. 아래에 대표적인 교육 목표 달성 성과를 요약하여 기술하였다.

(1) 세계적 수준의 대학원 교육과정 및 학사과정 마련

■ 생물리광화학 특성화 교육

- 본 교육연구팀은 4단계 BK21사업 신청 당시 생물리광화학 관련 “생명” 과 “에너지” 분야에서 최근 이슈가 되고 있는 과학기술, 산업, 사회 문제를 생명/의료 관련 분야와 에너지 분야로 구분하여 구체화한 바 있다. 사업 시작 당시 이 문제들의 해결을 위해 다음과 같은 교육 프로그램들을 구성하고 운영할 계획을 수립하였었다.
- 과학기술 산업 사회 문제 해결형 교과과정 운영계획:** 생물리광화학 세부 전공 트랙을 마련하여 과학기술 관련 산업 및 사회 문제 해결형 교과과정으로는 생명 분야와 에너지 분야로 기존 과목들을 개편하고 이들 기존 교과목에 더해 생무기화학과 인공지능응용화학을 생명 분야에, 광유기화학을 에너지 분야에 신설할 계획이었다.

• 실적

1. **생물리광화학 세부전공 트랙 신설:** 생물리광화학 분야 전문 연구인력 양성을 위해 본 교육연구팀 소속 대학원에 기존 화학 세부 전공에 추가로 생물리광화학 세부 전공을 신설하고 본 사업팀 소속 화학과, 자연과학대학 및 중앙대학교 대학원의 승인 절차를 거쳐 2021년 6월에 생물리광화학 (Bio/Energy Photochemistry) 세부 전공 개설이 확정되었다. 개정된 대학원 화학과 요람의 생물리광화학 세부 전공 교과과정은 다음과 같다.

[표 I-1] 생물리광화학 세부 전공 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 과목) 화학분석의 원리와 실제 (팀티칭 온라인 과목)
	박사	생물리화학, 나노플라즈모닉스, 에너지소재화학 바이오센서 및 미세소자, 약물전달시스템, 인공지능응용화학 (신설 과목) 화학분석의 원리와 실제 (팀티칭 온라인 과목)
세부전공 선택과목	석사	세포화학동역학, 나노플라즈모닉스, 에너지소재화학, 바이오센서 및 미세소자 약물전달시스템, 지속가능한화학, 인공지능응용화학 (신설 과목)
	박사	고급세포화학동역학, 고급나노플라즈모닉스, 반도체소재화학, 나노표면화학 바이오진단센서, 나노바이오분석학, 광유기화학 (신설 과목)

2. 생물리광화학 관련 과학기술 산업 사회 문제 해결형 교과목 신설

[표 1-2] 생물리광화학 과학기술 산업 사회 문제 해결형 교과목 신설 현황 및 계획

분야	교과목	신설 예정 학기
생명 트랙	생무기화학	2022년 1학기 개편 예정
	인공지능응용화학	2021년 2학기 신설됨.
에너지 트랙	광유기화학	2022년 1학기 신설 예정

3. 생물리광화학 관련 과학기술 산업 사회 문제 해결형 비교과 프로그램 운영

■ 교육-연구 선순환 구조 구축 방안

- ‘최우수 연구상’ 시상: 연차 말 교육연구팀 소속 학생 중 1년 동안 가장 우수한 연구 성과를 거둔 학생들에게 ‘최우수 연구상’을 시상하여, 대학원생들에게 연구 및 학술활동에 대한 동기부여를 강화하고자 계획하였다. 1년차 연구 성과들을 토대로 2021년 8월 23일 제1회 우수논문 시상식을 개최하여, 6명의 대학원생에게 상장과 상금을 수여하였다.

■ 과학기술 산업 사회문제 관련 비교과 프로그램 운영 계획대비 실적

[표 1-3] 비교과 프로그램 운영 실적 및 계획

항목	시행 내용	계획
세포화학동력학 특별세미나	총 9회 실시	연간 12회 이상으로 활성화
연구소 및 기업체 우수연구자 초청 세미나	총 3명의 연사 초청 (코로나19로 출장 제한)	팬데믹 종료 후 확대 실시
국내외 대학 및 연구소 상호 방문 및 교류	1개 기관 총 3회 방문	팬데믹 종료 후 확대 실시
산업현장 인턴십 및 현장학습 프로그램	코로나19로 미시행	팬데믹 종료 후 실시
국내외 석학 초빙 단기강좌 개설	코로나19로 미시행	팬데믹 종료 후 실시

(2) 우수 대학원생 및 신진연구인력 확보

■ 우수 대학원생 확보

• 학부생 연구 프로그램을 통한 본교 우수 학부생 대학원 진학 유도:

- 학부생 연구 실습 프로그램인 Practical Education (PE) 프로그램을 통해 본교 학부생들에게 생물리 광화학 관련 미래신기술들을 홍보하고 관련 실험을 체험하게 함으로써 우수 학부생들의 대학원 진학을 유도하고자 계획하였다. 2020년 2학기에 15명의 3, 4학년 학부생들을 대상으로 PE 프로그램을 진행하였고, 4학년 학생 9명 중 78%에 해당하는 7명(2021-1: 6명, 2021-1: 1명)이 2021년 2학기에 중앙대 화학과 대학원에 진학하여 목표 이상의 성과를 이룰 수 있었다.

- 학부생의 지속적인 연구 참여를 유도하기 위해 학기 중에 실시되는 PE 프로그램과 연계하여 학과혁신사업의 지원으로 방학 기간 동안 ‘화학과 연구인턴 프로그램’을 진행하였다. 3학년 학부생들이 주참여자인데, 2022년도 대학원 진학으로 이어질 수 있도록 지속적인 지도를 진행하고 있다.

(2020/2021년 겨울방학 8주) 제2기 중앙대 화학과 연구인턴 프로그램 (19명 참여)

(2021 여름방학 8주) 제3기 중앙대 화학과 연구인턴 프로그램 (15명 참여)

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

- 매년 학부생들에게 대학원 전공 내용과 졸업 후 진로 등에 대해 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 입학을 위해 20명, 2021-2학기 입학을 위해 3명이 지원하여 전형료 면제 등의 혜택을 받았다.

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

- 오픈 랩 프로그램 등을 통해 학생들이 본 교육연구팀의 연구 프로그램을 체험할 수 있는 기회를 제공하여 우수 대학원생을 유치할 수 있는 기회를 확대하고자 하였으나, 1년차에는 코로나19 확산으로 실행하지 못하였다. 이에 2021-2학기에는 대면/비대면 하이브리드 형식의 화학과 대학원 소개 및 각 연구실 소개/체험을 진행하였다 (2021.9.14.화).

■ 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 적극 활용하였다.

- 우수 대학원생 등록금 면제 장학금(Graduate Research Scholarship)

본 교육연구팀 소속 대학원생 중 GRS 장학금 수혜자 2020-2학기 12명, 2021-1학기 18명

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

본 교육연구팀 소속 대학원생 중 CAYSS 장학금 수혜자 2020-2학기 9명, 2021-1학기 8명

- 우수한 연구 성과를 내어 주저자로 논문을 발표한 대학원생에게 중앙대학교 대학원에서 ‘우수 논문 지원금’ 지급: 2020년 2학기 1명, 2021년 1학기 4명

■ 신진연구인력 안정적 연구 및 취업 지원

- 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 사업팀 연구원들도 2021년에 처음 시행되는 이 CAU GPF 혜택을 받기 위해 지원한 상태이다 (접수 마감: 2021. 07. 26.).

(2) 연구목표 달성 실적

자체평가 결과 본 사업팀은 1차년도 각종 지표로 파악되는 연구 목표는 초과 달성한 것으로 파악되었다. 정성적으로도 기초 분야와 응용 분야 모두에서 뛰어난 수준의 논문과 특허들을 발표하였다. 신규 연구비 수주 부분에서는 전례를 찾기 힘들 정도로 뛰어난 성과를 거두었다. 아래에 연구 성과들을 요약하였다.

■ 대학원생 우수 논문

최근 1년간 대학원생들이 주저자로 발표한 30편의 논문들 중 다음 6편의 논문이 우수논문으로 선정되었다.

- J. Kang, S. J. Park, J. -H. Kim, P. Chen, J. Sung, “Stochastic kinetics of nanocatalytic systems” , *Physical. Review Letters* **126**, 126001 (2021).
- 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).
- H. S. Hwang E. J. Cho, “Complementary reactivity in selective radical processes: Electrochemistry of oxadiazolines to quinazolinones” , *Organic Letters* **23**(13), 5148-5152 (2021).
- L. T. M. Huynh, H. D. Trinh, S. Lee, S. Yoon, “Plasmon-driven protodeboronation reactions in nanogaps” , *Nanoscale* **12**(47), 24062-24069 (2020).
- 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).
- H. Park, K. Park, K. -D. Jung, S. Yoon, “CO₂ hydrogenation into formate and methyl formate using Ru molecular catalysts supported on NNN pincer porous organic polymers” , *Inorganic Chemistry Frontiers* **8**(7), 1727-1735 (2021).

위 대학원생 논문들의 내용적 우수성에 대한 소개는 자체평가서 교육역량 부분 3. 참여대학원생 연구실적의 우수성에 상술되어 있다. 위에 소개한 대학원생 우수논문들의 평균 영향력 지수는 10.268이며 대다수가 JCR 상위 10% 이내 저널에 출판되었다.

■ 참여 대학원생 전체 논문 정량지표

- 1차년도 본 사업팀 참여 대학원생들은 총 30편의 논문을 출판하였고 1인당 논문 환산 편수는 약 0.4편으로 매우 높은 편으로 판단된다. 이 기간 모든 대학원생들이 발표한 총 논문들의 논문 1편당 환산보정 영향력지수의 평균은 0.35로 사업 시작 당시 최근 3년간 졸업생 대상 대표 우수논문들 10편의 논문 1편당 환산보정 영향력지수 (0.25) 에 비해 40% 향상되었다. 1차년도 대학원생들이 출판한 모든 논문들의 1편당 환산보정 Eigenfactor Score와 대학원생 1인당 환산보정 Eigenfactor Score는 1.3과 1.2로 사업시작 당시 최근 3년간 졸업생 대표 우수논문 10편에 대한 값들 (0.83, 0.83) 각각 56.6%, 44.6%씩 크게 향상되었다.

[표 1-4] 최근 1년간 전체 참여대학원생 논문 대표 정량지표

구 분		최근 1년간 실적		전체기간 실적
		2020년 9월~2020년 12월	2021년 1월~2021년 8월	
논문 편수	논문 총 편수	12	18	30
	논문의 환산 편수의 합	5.4259	7.2417	12.6676
	참여대학원생 1인당 논문 환산 편수			0.38977
Impact Factor (IF)	IF=0이 아닌 논문 총 편수	12	18	30
	IF의 합	68.618	156.319	224.937
	환산보정 IF의 합	4.3831	6.1189	10.502
	논문 1편당 환산보정 IF			0.35
	참여대학원생 1인당 환산보정 IF 합			0.3231
Eigenfactor Score (ES)	ES=0이 아닌 논문 총 편수	12	18	30
	ES의 합	1.0781	2.41662	3.49472
	환산 보정 ES의 합	23.1383	16.0909	39.2292
	논문 1편당 환산보정 ES			1.3076
	참여대학원생 1인당 환산보정 ES 합			1.2070
지도교수 최근 1년간 환산 참여대학원생 수		28.5	36.5	32.50

■ 참여교수 대표 우수 논문

- J. Kang, S. J. Park, J.-H. Kim, P. Chen, J. Sung, “Stochastic kinetics of nanocatalytic systems”, *Physical. Review Letters* **126**, 126001 (2021).
- 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).
- L. T. M. Huynh, H. D. Trinh, S. Lee, S. Yoon, “Plasmon-driven protodeboronation reactions in nanogaps”, *Nanoscale* **12**(47), 24062-24069 (2020).
- 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).
- N. Iqbal, D. S. Lee, H. Jung, E. J. Cho, “Synergistic effects of boron and oxygen interaction enabling nickel-catalyzed exogenous base-free stereoselective arylvinilation of alkynes through vinyl transposition”, *ACS Catalysis* **11**(9), 5017-5025 (2021).
- S. Padmanaban, G. H. Gunasekar, S. Yoon, “Direct heterogenization of the Ru-macho catalyst for

the chemoselective hydrogenation of α , β -unsaturated carbonyl compounds”, *Inorganic Chemistry* **60**(10), 6881-6888 (2021).

이위 대표 논문들 내용의 우수성 대한 소개는 Ⅲ 연구역량 ② 교육연구단의 학문적 수월성을 대표하는 연구업적물 부분에 상술되어 있다. 위 대표 논문의 평균 영향력 지수는 11.214이고, 환산보정 ES는 0.1988로 거의 모두 JCR 상위 10% 이내 저널에 출판되었다.

■ 참여교수 전체 논문 정량지표

- 1차년도 본 사업팀 참여교수들은 총 61편의 논문을 출판하였고 1인당 논문 환산 편수는 약 3.6934편으로 매우 높은 편으로 판단된다. 이 기간 참여교수가 발표한 총 논문의 논문 1편당 환산보정 영향력지수의 평균은 0.2883으로 사업 시작 당시 최근 5년간 참여교수가 출판한 논문 총 254편의 논문 1편당 환산보정 영향력지수 (0.1857)에 비해 괄목할 만큼 (55%) 향상되었다. 1차 연도 참여교수들이 출판한 모든 논문들의 1편당 환산보정 Eigenfactor Score와 참여교수 1인당 환산보정 Eigenfactor Score는 0.5742과 5.8386으로 사업 시작 당시 최근 5년간 참여교수가 출판한 논문 총 254편에 대해 1편당 환산보정 Eigenfactor Score (0.3591), 평균 1년간 참여교수 1인당 환산보정 Eigenfactor Score (3.0402)보다 각각 59.8%, 92%씩 크게 향상되었다.

[표 1-5] 최근 1년간 참여교수 전체논문 대표 정량지표

구 분		최근 1년간 실적		전체기간 실적
		2020년 9월~2020년 12월	2021년 1월~2021년 8월	
논문 편수	논문 총 편수	17	44	61
	논문의 환산 편수의 합	6.0604	16.1	22.1604
	참여교수 1인당 논문 환산 편수			3.6934
Impact Factor (IF)	IF=0이 아닌 논문 총 편수	17	44	61
	IF의 합	119.011	364.4	483.411
	환산보정 IF의 합	5.1686	12.42	17.5886
	논문 1편당 환산보정 IF			0.2883
	참여교수 1인당 환산보정 IF 합			2.9314
Eigenfactor Score (ES)	ES=0이 아닌 논문 총 편수	17	44	61
	ES의 합	1.4526	6.313	7.7656
	환산 보정 ES의 합	11.6119	23.42	35.0319
	논문 1편당 환산보정 ES			0.5742
	참여교수 1인당 환산보정 ES 합			5.8386
참여교수 수				6

■ 참여교수 연구비 수주 실적

- 본 사업팀에 참여한 6명의 교수들이 중앙대 소속으로 최근 1년간 수주한 정부 연구비는 총 53.1억 원으로 사업 시작 당시 최근 3년간 정부 연구비 수주액(12.1억, 20.2억, 24.4억)보다 크게 향상되었다. 본 사업팀 참여교수 1인당 연간 평균 정부 연구비는 사업 시작 당시 3.2억원에서 현재 8.8억으로 무려 175% 증가하였다.

(3) 국제화 실적

- 전 세계적인 코로나19 창궐로 인해 해외여행이 위험해짐에 따라 국제 학술 활동과 교류에 제약이 있었다. 그러나, 본 사업팀은 온라인 학술 교류 등을 통해 국제화 실적을 일정 정도 거두어 내었다. 다음에 국제화 실적과 미흡한 부분을 요약하였다.

■ 참여교수 국제적 학술활동 실적

- 본 연구팀은 코로나19로 인해 제한적인 상황에도 불구하고 국제수상 2건의 실적을 달성하였으며, 온라인 국제 학술대회 참가를 통해 실시된 기조강연 2건, 초청강연 5건의 실적을 달성했다. 그 외에 학술지 편집위원 9건, 학술대회 위원회 실적 2건, 그리고 국제 저술활동 4건의 실적을 달성하였다.

■ 참여교수 국제 공동연구 실적

- 1차년도 기간 동안 세계 유수 대학과 공동연구를 진행하였으며 총 8건의 국제 공동연구 실적을 거두었다. 또한 외국대학 연구기관과의 교류실적 15건, 외국대학 연구기관 세미나 실적 3건을 달성하였다. 이와 같은 국제화 활동을 통해 본 교육연구팀의 연구경쟁력을 향상시켰으며 국제학계 위상과 연구성과의 학계 파급 효과를 극대화할 것으로 예상된다.

■ 참여대학원생 국제화 실적

- 사업 시작 기간 동안 코로나19로 인해 해외여행이 위험해져 대학원생 해외 연수 및 해외연구실 방문 공동연구는 이루어지지 않았다.

나. 저명대학 벤치마킹 대상과 비교 분석

■ 교육 및 학사 과정 개선 계획

본 사업팀은 사업 신청 당시 위스콘신 주립대와 본 대학원의 교육영역을 벤치마킹하여 본 대학원 교육과정을 개선하고자 하였다. 위스콘신 주립대와 중앙대 대학원 교육과정을 석박사 통합과정 기준으로 비교하면 다음과 같다.

[표 1-6] 위스콘신 주립대와 중앙대 석박통합 교육과정 비교

	위스콘신 주립대	중앙대
세부전공	물리화학, 유기화학, 무기화학, 분석화학, 생화학, 재료화학 총 6개 분야	물리화학, 유기화학, 무기화학, 분석화학, 생화학 총 5개 분야
강의교과목 이수학점	필수(core): 6학점 선택(minor): 9학점 세미나: 2학점	필수: 6학점 선택: 51학점 (석박사 통합과정 기준)
연구교과목 이수학점	6학점	6학점
논문제출자격 요건	① 2년차 학기 종료 2개월 전까지 TBE(Thesis Background Examination)를 합격해야 함: 연구주제의 배경, 방법, 결과, 계획에 대해 4500 단어의 Report를 양식에 따라 작성하여 제출하고, 20-25분간의 공개 발표 후, 3명의 심사위원으로부터 비공개 구두시험을 치름.	① 중앙대학교 자체 영어시험 60점 이상 혹은 이에 준하는 공인 영어 시험 성적 ② 논문제출자격 전공시험 응시 (3과목 응시, 각 100점 만점에 80점 이상 취득 시 합격) ③ 논문 proposal 발표: 학위논문심사 1학기 전 발표 및 심사

	② 3년차 학기 종료 전까지 Research Proposal(RP)을 합격해야 함: 본인의 연구 외 주제에 대해 새로운 연구를 3000 단어 이내의 문서로 제출하고, 비공개로 20-25분 발표 후, 3명의 심사위원으로부터 구두심사를 받음. ③ 학위논문 작성 및 발표	④ 학위논문 작성 및 발표
졸업요건		SCI 주저자 논문 1편 이상

이 벤치마킹을 통해 다음 네 가지 교육 및 학사 과정 개선 계획을 수립한 바 있다.

- **강의교과목 이수학점 과다 문제 개선:** 벤치마킹 대학원으로 설정한 위스콘신 주립대는 물론 본 교육연구팀이 조사한 해외 우수 대학들은 모두 석박사통합과정 강의교과목 이수학점이 6~15 학점인데 비해 현재 본 대학원은 졸업요건 중 강의교과목 이수학점이 석사과정 30학점, 박사과정 30학점, 석박사 통합과정 57학점으로 4배 이상 높다. 이같이 높은 교과목 이수학점을 요구하는 학사제도 때문에 본교 대학원생들은 연구에 몰입할 수 있는 시간이 해외 우수 교육기관에 비해 절대적으로 부족하다. 본 교육연구팀은 자연과학 분야를 다른 인문·사회분야와 계열 분리함으로써 졸업요건 학점을 낮추는 방안을 본교 대학원과 협의 중이며 개선을 지속적으로 요구할 계획이다.
- **교육-연구 융합형 교육 콘텐츠 개발:** 많은 강의교과목들을 수강해야 하는 현 학사제도 하에서 교육의 질을 담보하며 대학원생들의 연구력도 향상시키기 위해 강의교과목에 R&D 콘텐츠를 적극적으로 제공하고자 한다. 특히 생물리광화학 관련 과학기술 문제나 사회 및 산업문제 해결 관련 연구 내용을 강의 콘텐츠로 제공하고 문제 해결형 연구 수행을 과제로 제시하며 이 연구 수행 결과를 평가에 도입하고 논문으로도 출판하는 등의 방식으로 교육과 연구를 연계하여 시너지 효과를 창출할 계획이다.
- **대학원생 기본 소양 교육을 위한 비교과 교육과정 강화:** 위스콘신 주립대, 난양공대를 포함하는 해외 우수 대학에서는 다양한 비교과 강좌를 통해 대학원생들의 기본 소양 교육 기회를 제공하고 있다. 현재 중앙대학교에서도 논문작성법, 연구윤리, 효과적인 발표 방법, 데이터 통계 처리 및 분석법 등 연구자의 기본 소양을 쌓을 수 있는 단기 비교과 강좌를 개설하고 있기는 하나 아직 활성화되어있지 않다. 본 4단계 BK21사업 추진을 통해 본 교육연구팀 소속 대학원생들에게는 논문작성법과 연구윤리를 포함한 실용적 단기 비교과 강좌들을 의무적으로 수강하게 함으로써 연구자로서 기본 소양을 갖춘 인재로 양성하고자 한다.
- **단계적, 체계적 교육과정 및 학사관리 운영계획:**

[그림 I-2] 단계적, 체계적 교육과정 및 학사관리 모식도



본 교육연구팀 대학원생들에게 대학원 입학년도부터 매년 단계적이고 체계적인 교육과정과 학사관리를 제공하여 이들이 우리 사회 발전에 기여할 수 있는 학자와 연구자로 성장할 수 있는 가능성을 극대화할 계획이다. [그림 I-2]은 박사과정 연차에 따라 본 교육연구팀 소속 대학원생들이 거치게 될 교육과정을 모식도로 나타내었다. 이 모식도에 나타난 단계적, 체계적 교육과정 및 학사관리 운영계획의 구체적인 내용은 다음과 같다.

(1) 논문제출자격시험 구두평가 전환: 본 대학원은 현재 논문제출자격시험으로 지필평가인 전공시험을 보도록 하고 있다. 그러나 기존 지식의 습득보다는 해결되지 않은 문제를 해결할 수 있는 독립적인 연구자로서의 성장을 목표로 하는 박사과정의 경우, 지필평가보다 경쟁력 있는 연구를 수행하여 자신의 연구 내용을 논리적인 문장으로 표현하고 이를 구두로 발표하는 능력 혹은 자신이 아는 것을 동료 과학자와 대중에게 효과적으로 전달하는 능력이 매우 중요하다. 이 인식을 바탕으로 본 교육연구팀과 소속 대학원은 위스콘신 주립대를 벤치마킹하여 박사과정 및 석박사통합과정의 경우 지필고사 형식의 현 전공시험을 폐지하고 논문제출자격 구술평가 (Thesis Background Examination) 제도를 아래와 같이 도입할 계획이다.

논문제출자격 구술평가 (Thesis Background Examination, 이하 TBE로 줄임)

- 대상: 박사과정, 석박사통합과정
- 시기: 3차 또는 4차 학기에 선택하여 실시하되 늦어도 4차 학기 개시 후 1개월 안에 완료해야 한다.
- 심사위원회 구성: 지도교수 1인과 해당 분과 교수를 중심으로 한 교수 2인, 총 3인으로 구성한다. 심사위원은 꼭 해당 분과에 국한되지 않으며 지도교수가 지정하되 심사위원장은 지도교수가 맡을 수 없다.
- 방법:
 - 실시 학기 초에 대상 학생은 심사위원들과 상의하여 심사 날짜를 정해야 하며 대체할 전공시험 과목 3개를 지정해야 한다. 대체할 전공시험 과목은 가급적 심사위원이 담당했던 교과목으로 한다.
 - 대상 학생은 그동안 본인이 수행한 연구의 결과를 요약한 20분 분량의 발표 자료 및 초록을 심사위원들과 학과 사무실에 심사 날짜 1주일 전까지 제출하여야 한다.
 - 대상 학생은 발표 1주일 전 본인 발표 제목과 초록 그리고 발표 일시 및 장소를 학과 게시판에 미리 공지하여야 한다.
 - 대상 학생은 20분 동안 그동안 수행한 연구의 배경, 방법, 결과, 의의를 발표한다. 발표 형식은 공개 발표를 원칙으로 하며 참석자들로 부터 질문을 받을 수 있다.
 - 대상 학생은 20분 발표 후, 1시간여 동안 심사위원으로부터 비공개로 구두시험을 치른다. 심사 범위는 본인의 연구 내용과 배경 지식 이해 여부, 박사과정을 수행하는데 필요한 전공 기초 지식 모두를 포함한다.
- 평가: 구두발표가 끝난 직후, 심사위원장은 심사위원들의 의견을 수렴하여 합격/불합격 (pass/fail) 여부를 결정하고 대상 학생에게 심사 결과를 바로 통보하여야 한다. 결정된 pass/fail 결과는 전공시험 3과목 모두에 똑같이 적용된다. 심사 후 심사위원장은 심사보고서 (자유양식)를 작성하여 심사위원 모두의 서명을 받은 후, 1주일 내에 과사무실에 제출하여야 한다.

(2) 대학원생 연차 점검 보고서 (Annual Report) 도입: 현재 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 평가하고 있다. 그러나 이 기존 평가방식들은 학위과정에서 가장 중요한 부분인 연구 진행 과정을 점검하여 대학원생의 연구능력과

발전 정도를 측정하는 데에 한계가 있다. 이 문제 해결을 위해 본 생물리광화학 교육연구팀은 스위스 로잔 공대에서 시행하고 있는 ‘과정’ 중심의 평가와 지도 방식을 도입하여 대학원생들이 매년 본인의 연구수행 상황을 점검하고 평가하는 기회를 가짐으로써 학위과정을 통해 성공적인 연구자로 발전해 갈 수 있는 가능성을 극대화 할 수 있는 새로운 학사제도를 도입하여 운영할 계획이다. 구체적으로 매년 연구수행 보고서(Research Progress Report)와 평가 용지(Evaluation Sheet)로 구성된 대학원생 연차 점검 보고서(Annual Report)를 작성하게 할 계획이다. 연구수행 보고서 작성을 통해 한 해 동안의 연구 진척 상황을 점검하게 하고, 지도교수는 물론 본인 스스로도 이를 평가하게 하되 연구 진척 상황 뿐 아니라 연구자로서의 자발성, 성실성, 책임감, 협동정신, 봉사정신 등도 자체 평가하게 한다. 그리고 문제가 있을 경우 지도 교수와 상담을 통해 해결방안을 함께 모색하는 기회를 갖도록 할 계획이다.

대학원생 연차 점검 보고서 (Annual Report)

- 대상: 박사과정, 석박사통합과정
- 시기: 논문제출자격 구술평가(TBE)를 마친 후 매년 제출한다.
- 방법:
 - 연차 점검 보고서는 ‘연구진행 보고서(Research Progress Report)’와 ‘평가용지(Evaluation Sheet)’로 구성된다.
 - 연구진행 보고서는 지정된 양식에 따라 1년 동안의 연구 결과와 차년도 연구 계획 등을 1~2페이지 분량으로 작성한 후, 지도교수와 학과장에게 제출한다. 주저자로 출판된 논문(accepted 포함)이 당해 연도에 있으면 출판된 논문으로 대체할 수 있고 이 경우 반 페이지 분량의 차년도 계획을 첨부한다.
 - 평가용지는 지정된 양식의 항목에 지도교수와 학생이 각각 체크한 후 서로 모여 진척 상황과 개선 방향을 논의한 후, 통과/탈락 중 택일 하여 결과를 결정하고 이를 교육연구팀장과 학과장에게 제출한다.
 - 평가용지에 다음 평가 항목들에 대해 ‘만족’과 ‘개선요함’으로 평가하고 필요한 경우 간단한 코멘트를 적도록 한다: △연구의지가 있는가, △주도적으로 열심히 일하는가, △실험실 일에 봉사하는가, △논문을 꾸준히 읽고 정리하는가, △실험을 논리적으로 구성할 수 있는가, △실험을 수행할 수 있는 기술이 향상되었는가, △데이터를 분석하는 능력이 성장했는가, △주어진 일을 책임감 있게 수행하는가, △실험노트를 작성하는가, △그룹미팅이나 회의에 늦지 않는가, △실험실 동료를 존중하는가, △데이터조작/표절/저자문제 등에 있어 연구윤리를 준수하는가, △발표능력이 향상되었는가, △논문작성 능력이 향상되었는가, △여러 사람과 팀으로서 일할 수 있는 자세와 능력이 있는가.
 - 탈락 평가를 받은 학생들에 대해 교육연구팀장 혹은 학과장이 지정한 학과 내 3인의 교수(지도교수 배제)로 이루어진 학술위원회에서 재심하며 재심 결과도 탈락인 경우 학위과정을 계속할 수 없다.

■ 벤치마킹 대학과 비교를 통한 교육 및 학사 과정 개선 현황 및 계획

• 교육-연구 융합형 교육 콘텐츠 개발

- (1) 중앙대학교 화학과 대학원 교과과정에 “생물리광화학 세부전공”을 신설하고 여기에 교육-연구 융합형 교과목으로 인공지능 응용화학을 개발하여 개설하였다.
- (2) 생물리화학 등 기존 교과목들을 교육-연구 융합형 과목으로 개편하여 운영하였거나 개편이 진행되고 있다.

이에 대한 자세한 내용은 아래 II. 교육역량 1. 교육과정 구성 및 운영 현황과 계획 ■ 생물리광화학 특성화 교육 부분과 ■ 교육-연구 선순환 구조 구축 방안 부분에 기술되어 있다.

- **대학원생 기본 소양 교육을 위한 비교과 교육과정 강화:**

논문작성법, 연구윤리, 효과적인 발표 방법, 데이터 통계 처리 및 분석법 등 다양한 비교과 강좌를 통해 대학원생들이 연구자로서 기본 소양을 갖추도록 노력하였다. 예를 들면 최근 1년 동안 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 교육 등이 이루어졌다. 이에 관해서는 아래 II. 교육역량 ■ **교육역량 대표 우수성과**에 상술 되어있다.

- **강의교과목 이수학점 과다 문제 개선:**

중앙대학교 대학원 졸업요건 중 강의교과목 이수학점이 지나치게 높아 대학원생들이 연구에 몰입할 수 있는 시간이 절대적으로 부족한 문제를 해결하기 위해 중앙대학교 대학원에 개선 방향을 논의하고 있다. 그러나 현행 대학원 학사제도를 선호하는 단과대학들이 있어 대학원 행정을 본 사업팀 학사 과정 개선 요구에 따라 바꾸기 쉽지 않은 상황이다. 이를 개선하기 위해 자연과학 대학원을 타 단과대학과 행정적으로 분리할 것을 중앙대학교 대학원측에 제안하는 등 학사과정 개선을 지속적으로 요구할 계획이다.

- **단계적 체계적 교육과정 및 학사관리 운영:**

(1) 대학원생 논문제출 자격시험 구두평가 도입 (위스콘신 대학 벤치마킹)은 중앙대학교 대학원 시행체계를 바꿔야 하는데 단과대학과 학과마다 입장이 달라 제도 도입이 쉽게 이루어지지 않고 있다.

(2) 대학원생 연차점검 보고서 도입 (스위스 로잔공대 벤치마킹)은 박사과정 6학기 이상 학생에 대해 연구진행 과정을 점검하는 것으로 2021년 1학기에 시범적으로 시행된 바 있다. 이에 대해서는 II. 교육역량 1. 교육과정 구성 및 운영 현황과 계획 ■ **교육 및 학사 과정 개선 방향 및 계획**에 자세히 설명하였다.

■ **연구 및 국제화 부분**

- 본 사업팀은 연구 부분에 대해서는 벤치마킹 대상을 정하지는 않았다. 그러나, 본 사업팀에서 출판하는 논문 편수와 영향력 지수, 특허 건수와 참여교수들의 연구비 수주액 등 정량지표는 국내외 선도 연구기관들에 비해서도 크게 뒤처지지 않는 수준으로 판단된다.
- 정량지표로 파악되지 않는 본 사업팀 대표 연구실적들의 수준과 해외 인지도는 아직도 향상될 여지가 많이 남아 있는 것으로 판단된다. 남은 4단계 BK21사업 기간에 사업 시작 당시 도출되었던 연구수월성 증진계획들과 국제화 계획들을 실행하여 연구경쟁력과 해외 인지도를 끌어올릴 것이다.

다. 비전 및 목표 달성 애로사항

- 강의교과목 이수학점 과다 문제나 대학원생 논문 제출 자격시험 구두평가 도입 등 일부 학사과정 개선 계획은 여러 단과대학의 요구를 수용하여 오랫동안 유지되어온 중앙대학교 대학원 행정에 큰 변화를 요구하는 것이다 보니 선뜻 이루어지지 않고 있다. 본 사업팀은 본 사업팀이 계획한 대학원생 교육 및 학사과정 개선을 위해 앞으로도 중앙대학교 대학원과 자연과학대학원과 타 대학원의 행정적 분리를 포함한 다각적 협의를 진행할 것이다. 아울러 가능한 경우 위에 언급한 학사과정 개선 계획 중 일부는 사업단 내규를 마련하여 추진할 계획이다.

□ 교육역량 대표 우수성과

중앙대학교 생물리광화학 창의인재양성 사업팀은 2020.9~2021.8 동안 목표했던 교육역량 강화 사업을 충실히 수행하였다. 그 중 대표 우수성과를 아래에 소개하고자 한다.

■ 교육과정 구성 및 운영 대표 우수 성과

[표II-1] 생물리광화학 창의인재 양성 사업팀 교육과정 특성화 대표 성과

성과	내용
화학콜로키움 지속적 운영	코로나19라는 사상 초유의 팬데믹 상황에서도 대면/비대면 혼합 방식으로 매주 목요일 콜로키움을 정기적으로 개최하여 대학원생들에게 지속적인 교육의 기회 제공. 1년 동안 총 25명의 외부연사 초청
최우수 논문상 신설	대학원생들의 연구 의욕 고취를 위해 “최우수 논문상”을 신설하고 6명에게 시상
“생물리광화학” 세부 전공 트랙 신설	화학과 대학원에 생물리광화학 세부 전공을 신설하여 특성화 교육의 발판을 마련함.

■ 대학원생 대표 연구실적

본 사업팀은 2021년 8월 31일 현재 48명의 대학원생이 연구에 매진하고 있으며 지난 1년 동안 소속 대학원생들이 제 1저자로 발표한 논문은 총 30편이며, 이들의 총 impact factor 합은 225로 양적인 측면과 질적인 측면 모두에서 우수한 성과를 이루었다. 대학원생 1인당 논문 환산 편수와 대학원생 1인당 환산보정 영향력지수가 각각 16%와 44% 씩 증가하였다. 아래 표에 대표 우수 성과 두 편을 골라 그 내용을 요약하였다.

[표II-2] 대학원생 대표 연구실적

성과	내용
당하준 (석박통합 8학기) Advanced Functional Materials에 논문 발표	나노갭에서의 전자기적 증강효과를 극대화하기 위해 bottom up과 top down 방법을 융합한 새로운 구조체를 만들었다. 평면 위에 움푹 패인 나노딴폴 구조를 만들고 그 안에 나노구를 넣음으로써 넓은 영역에서 나노갭을 형성하여 강한 플라즈모닉 증강효과를 얻었고, 코로나19의 고감도 검출 가능성을 살펴볼 수 있었다.
강진규 (박사 4학기) Physical Review Letters에 논문 발표	이 연구는 촉매역할을 하는 나노입자가 생성물을 반응물로 전환하는데 걸리는 전환 시간의 통계학에 관한 것으로 효소와는 다른 나노입자의 특징들을 고려한 비교전적 반응속도론을 통해 전환시간의 평균 뿐만 아니라, 상대분산의 실험적 결과들을 설명할 수 있는 새로운 방법을 제시하였다. 또한 촉매반응의 메커니즘이 무엇이든 상관없이 두 개의 다른 초기 조건 하의 계수 통계를 이용하여 나노입자에 존재하는 촉매자리의 개수를 알아내는 식을 제시하였다. 본 연구를 통해 효소의 반응속도론과는 다른 나노촉매에 대한 비교전적 반응속도론에 기여할 뿐만 아니라, 여러 개의 물체임에도 불구하고 분해능이 커 하나의 물체

로 보이는 물질 내에 몇 개의 물체가 모여 있는지 추산하거나 단분자 이미징을 하지 않고도 단일 분자의 특성을 얻어내는데 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

■ 참여교수 교육 대표 실적

본 사업팀의 참여교수는 두 학기 동안 총 9과목의 대학원 과목을 맡아 꾸준히 대학원 교육에 참여하고 있으며 그 중 7개 과목은 영어로 수업을 진행해 교육의 국제화에도 힘쓰고 있다. 그 외 다음과 같은 활동을 통해 대학원 교육에 기여하였다.

[표II-3] 참여교수 대표 교육실적

참여교수명	성과	내용
주재범	Book Chapter 저술	감염병 체외진단에 활용할 수 있는 다양한 microfluidic device platform과 SERS 기반의 광학 측정 기술을 이용한 고감도 진단 기술에 관한 최근 연구동향을 정리하여 대학원 교과목인 “나노바이오분석학”, “바이오센서및 미세소자” 등 대학원 과목의 교육자료로 활용할 수 있도록 하였다.
윤성호	Book Chapter 저술	Emerging Carbon Materials for Catalysis를 주제로 한 촉매 관련 책의 1장 “New aspects of covalent triazine frameworks in heterogeneous catalysis”를 저술하였으며 향후 무기 및 탄소중립 관련 대학원 교과목 교육자료로 활용될 수 있을 것이라 기대한다.
박태정	Book Chapter 저술	Upconversion Nanophosphors를 주제로 다양한 상향변환 나노물질에 대한 책의 제13장 “Upconversion luminescence nanomaterials for biomedical applications”를 저술하였으며 향후 바이오이미징 및 약물전달시스템에 대한 대학원 과목의 교육자료로 활용될 수 있을 것이라 기대한다.
성재영	신규 교과목 개발	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. 전반부는 인공지능 및 기계학습의 기본적인 개념과 해당 분야에서 주로 사용되는 파이썬 언어를 배우고, 후반부는 인공지능을 응용한 화학적 응용 사례를 소개하고 실습하도록 구성하였다.

1. 교육과정 구성 및 운영

1.1 교육과정 구성 및 운영 현황과 계획

2020.9 ~ 2021.8 기간 동안 계획서 대비 본 교육연구팀이 이룩한 성과를 정리하고 이에 기반하여 향후 발전 방향을 모색하고자 한다. 시행 내용과 차년도 계획을 아래 표에 요약하였으며 이하 상술하였다.

[표II-4] 시행내용 및 차년도 계획

항목	시행 내용	계획
■ 교육과정의 충실성		
교육 과정의 지속성, 다양성	두 학기동안 참여교수 총 9 강좌 개설	지속적으로 대학원 교육에 참여할 계획
교육 과정의 국제화	9개 과목 중 7개 과목 영어강의	지속적으로 시행할 계획
화학콜로키움 활성화	2020-2에 12회, 2021-1에 13회 콜로키움 실시	지속적으로 시행할 계획
학습-교육 연계 활동	2020-2, 2021-1에 각 2명씩 Best TA Award 수여	지속적으로 시행할 계획
■ 교육 및 학사 과정 개선		
이수학점 과다 문제	대학원과 논의 중	단과대 차원에서 해결 모색
연구 기본 소양 교육	연구윤리 사이버 강좌 수강	EndNote 활용법 등 프로그램 확대
논문제출자격시험 구두시험 전환	상위규정인 대학원 시행세칙에 막혀 실시하지 못함	시행세칙 개정 노력
Annual Report 도입	2명의 박사과정 학생들에 대해 실시	시행 확대
■ 생물리광화학 특성화 교육		
“생물리광화학” 세부전공 신설	대학원에 공문 제출	실시
학생초청 특별세미나 신설	코로나19로 미시행	팬데믹 종료 후 실시
■ 교육-연구 선순환 구조 구축		
교육-연구 연계형 교과목 운영	“인공지능융용화학” 과목 신설	추가로 2개 교과목 신설 또는 개편 예정
연구 인프라 교육적 활용	미시행	분석화학 강의에 특강 개설
대학원생 발표 정기 세미나 신설	코로나19로 미시행	팬데믹 종료 후 실시
최우수연구상 시상	6명의 학생들에게 시상	지속적으로 시행할 계획
국제화 교육(학회, 기관 파견)	코로나19로 미시행	팬데믹 종료 후 실시
인턴십 강화(연구소, 기업 파견)	코로나19로 미시행	팬데믹 종료 후 실시

■ 교육과정의 내실화

- **교육과정의 충실성, 지속성, 다양성:** 2020년 2학기와 2021년 1학기에 본 교육연구팀 소속 교수들이 가르쳤던 대학원 교과목은 아래와 같다.

[표II-5] 최근 1년간 참여교수 대학원 강의 현황

학기	과목명	담당 교수	이수 구분	영어강의 여부
2020-2	고급나노플라즈모닉스	윤상운	전공선택	영어강의
	유기분광학	조은진	전공필수	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
	고급분석화학	주재범	전공필수	

참여교수 6명중 학기당 평균 4.5명이 대학원 강의를 하고 있어 대학원 교육에 적극 참여하고 있으며 다양한 과목을 개설해 대학원생들의 학문적 스펙트럼을 넓히는데 도움을 주고 있다.

- **교육과정의 국제화:** 본 교육연구팀 소속 교수들이 강의한 전체 교과목의 78%에 해당하는 과목을 영어 강의로 진행해 교육의 국제화에 힘쓰고 있다.
- **화학콜로키움 활성화:** 최근 두 학기 동안 다음과 같이 콜로키움을 열어 대학원 학생들이 다양한 연구 내용을 접하고 연사와의 토론을 통해 학문적으로 발전할 수 있는 토대를 제공하고 있다. 또한 콜로키움을 운영하는데 있어 코로나19라는 악재 속에서도 방역수칙을 준수하며 연사는 대면으로 본 교육연구팀 교수들이 참석한 가운데 강연을 진행하고 학생들은 zoom으로 참여하는 하이브리드 방식을 취함으로써 인적교류를 지속하기 위해 노력했다. 또한 포스터 제작을 통해 홍보 효과를 제고하고 매 학기 해 왔던 것처럼 학생들에게 연사들의 대표 논문을 미리 읽어 오게 함으로써 활발한 질의/응답이 이루어지도록 환경을 조성하였다.

[표II-6] 최근 1년간 화학콜로키움 일정

2020-2		2021-1	
9/10	서울대 권용훈	3/11	대구대 김영민
9/17	동국대 김영관	3/18	차의과대 고성호
9/24	건국대 김동은	3/25	충남대 배제현
10/08	KIST 이관희	4/01	군산대 최한규
10/15	KBSI 이계행	4/08	한양대 김영필
10/29	서울시립대 유권열	4/15	부산대 양해식
11/05	GIST 김준현	4/29	한양대 이상욱
11/12	KAIST 김상규	5/06	KAIST 박기영
11/19	서울대 장호원	5/13	서강대 권용석
11/26	UNIST 안광진	5/20	이화여대 김현우
12/03	부산대 최정모	5/27	DGIST 이종찬
12/10	포항공대 정규열	6/03	UNIST 나명수
		6/10	UNIST 조승우

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 Spectrometric Analysis of Nanomaterials and Their Applications for Small Molecule Analysis

9월 24일 건국대 융합생명공학과 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 이계행 박사님
Morphologically Homogeneous Gold Nanospheres

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

11월 5일 GIST 고등광기술연구소 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 장호원 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 나노-광융합바이오의료전단 ERC 생물리광화학 창립인재양성사업팀

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 차의과대 바이오공학과 고성호 교수님
Organs-on-chips as alternatives to animal testing for new drug development

3월 25일 충남대 분석화학기술학과 배제현 교수님
nanoscale electrochemistry

4월 1일 군산대 화학과 최한규 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(III)-Stereogenic Center using Chiral Phosphoric Acids

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

5월 27일 DGIST 뉴바이올로지학과 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 바이오메디컬공학과 조승우 교수님
Epigenome editing for disease-associated regulatory elements

중앙대학교 나노-광융합바이오의료전단 ERC 생물리광화학 창립인재양성사업팀

- **학습-교육 (Learning-Teaching) 연계활동:** 지난 두 학기 동안에도 최우수 실험조교 상(Best TA Award)을 수여하여 학생들이 연구자뿐 아니라 교육자로서도 성장할 수 있는 동기를 부여하기 위해 노력하고 있다.

	수상자
2020-2	홍승우 권소연
2021-1	이윤정 김석윤



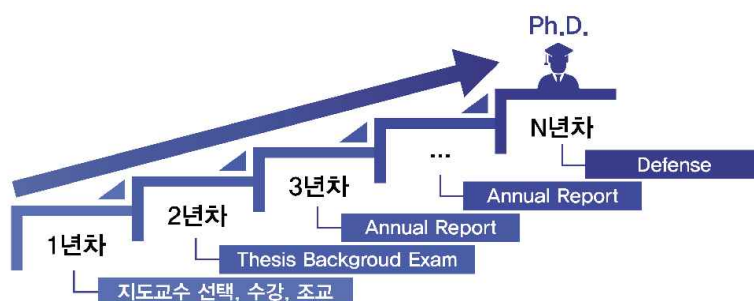
- **대학원생 기본 소양 교육을 위한 비교과 교육과정 강화:** 논문작성법, 연구윤리, 효과적인 발표 방법, 데이터 통계 처리 및 분석법 등 다양한 비교과 강좌를 통해 대학원생들이 연구자로서 기본 소양을 갖추도록 노력하였다. 지난 1년 동안 시행했던 비교과 교육과정은 아래와 같다.

[표II-7] 최근 1년간 비교과 교육과정

강좌명	수강내용	수강자	지도교수	수강년월
학술정보 활용교육 - EndNote 시작하기 (초급)	논문작성 시 필요한 참고문헌 정리 프로그램인 EndNote 활용 방법 교육	문석영 외 7인	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	윤상운 외 5인	202105

■ 교육 및 학사 과정 개선 방향 및 계획

- **강의교과목 이수학점 과다 문제 개선:** 현재 본 대학원은 졸업요건 중 강의교과목 이수학점이 석사 과정 30학점, 박사과정 30학점, 석박사 통합과정 57학점으로 벤치마킹 대학인 위스콘신 주립대 뿐 아니라 국내 경쟁 대학원에 비해서도 매우 높은 편이다. 이같이 높은 교과목 이수학점을 요구하는 학사 제도 때문에 본교 대학원생들은 연구에 몰입할 수 있는 시간이 절대적으로 부족하다. 본 교육 연구팀은 자연과학 분야를 다른 인문·사회분야와 계열 분리함으로써 졸업 요건 학점을 낮추는 방안을 본교 대학원과 협의 중이며 개선을 지속적으로 요구할 계획이다.
- **단계적, 체계적 교육과정 및 학사관리 운영계획:**



(1) **논문제출자격시험 구두평가 전환:** 본 대학원은 현재 논문제출자격시험으로 지필평가인 전공시험을 보도록 하고 있다. 그러나 기존 지식의 습득보다는 해결되지 않은 문제를 해결할 수 있는 독립적인 연구자로서의 성장을 목표로 하는 박사과정의 경우, 지필평가보다 경쟁력 있는 연구를 수행하여 자신의 연구 내용을 논리적인 문장으로 표현하고 이를 구두로 발표하는 능력 혹은 자신이 아는 것을 동료 과학자와 대중에게 효과적으로 전달하는 능력이 매우 중요하다. 이 인식을 바탕으로 본 교육연구팀과 소속 대학원은 위스콘신 주립대를 벤치마킹하여 박사과정 및 석박사통합과정의 경우 지필고사 형식의 현 전공시험을 폐지하고 논문제출자격 구술평가 (Thesis Background Examination, 이하 TBE) 제도를 도입하고자 하였다. 하지만 지난 1년 동안 중앙대학교 대학원과 협의한 결과 상위 규정인 대학원 시행세칙을 바꿔야 하는 문제에 직면해 제도 도입이 답보상태에 머물고 있다.

(2) **대학원생 연차 점검 보고서 (Annual Report) 도입:** 박사과정 6학기부터 한 해 동안의 연구 진행 과정을 여러 항목에 걸쳐 스스로 점검해 보고 이를 지도교수와 논의함으로써 부족한 부분을 채워 나가는 Annual Report 제도를 도입하고자 하였다. 2021년 8월 아래 학생들에 대해 시범적으로 이를 적용하여 실시하였다. 시기적으로 12월이 한 해를 마무리 짓는 의미가 강해 올해 말부터 본 교육연구팀의 박사과정 해당 학생들에게 확대 실시하고자 한다.

[표II-8] 대학원생 연차 점검 보고서

이름	박사과정 학기 수	지도교수	실시 날짜
Hoa Duc Trinh	8	윤상운	2021.8.17
Ly Thi Minh Huynh	8	윤상운	2021.8.17

■ 생물리광화학 특성화 교육

위에 제시한 중앙대 화학과 대학원 교육과정 개선과 함께 본 교육연구팀이 지향하는 생물리광화학 분야 전문 연구인력 양성을 위해 다음과 같은 특성화 교육을 시행하고자 한다.

- **생물리광화학 세부전공 트랙 신설:** 현재 화학과에 개설되어 있는 물리화학, 유기화학, 무기화학, 분석화학, 생화학에 더해 “생물리광화학”을 세부 전공으로 추가 요청하는 공문을 대학원에 제출하였고 대학원에서 심의 중이다.
- **생물리광화학 학생초청 특별세미나 신설:** 학생들이 직접 연사를 초청하고 세미나 후 함께 저녁식사를 하며 외부 연구자로부터 멘토링 받을 수 있는 기회를 갖기 위해 한 학기에 한 번 “생물리광화학 학생초청 특별세미나”를 개최하고자 하였으나 코로나19로 인한 사회적 거리두기 방침에 따라 유예되었다.

■ 교육-연구 선순환 구조 구축 방안

- **교육연구연계형 교과목 운영:** 수업을 통해 생물리광화학 관련 과학기술 문제, 산업 및 사회 문제 해결 관련 연구 내용을 강의 콘텐츠로 적극 제공하고 문제 해결형 연구 수행을 과제로 제시함으로써 교육 결과가 문제 해결이나 논문 출판 등으로 이어질 수 있도록 하여 교육-연구 선순환 구조를 구축하고자 하였다. 이에 원래 계획에 맞춰 교육-연구 연계형 과목으로 2021년 1학기 생물리광화학을 개설하였고 2021학년도 2학기에는 인공지능 응용화학을 개설하였다.

- **생물리화학:** 최근 생물리학 연구분야에서 가장 큰 주목을 받고있는 세포 내 생고분자 상분리 현상에 대한 이해는 아직 걸음마 단계이다. 이 난제를 해결할 수 있는 전문 지식을 대학원 강의 시간에 제공하고 기말고사로 현재 설명되지 않고 있는 생 고분자들의 상분리 실험결과를 해석하는 문제를 출제하고 이를 해결한 대학원생과 논문을 작성하는 방식으로 대학원 교육과 연구를 연계하였다.

- **인공지능융용화학** (신설): 4차 산업혁명의 핵심인 기계학습 혹은 인공지능의 기초 및 코딩 방법을 소개한 후 인공지능 응용을 통한 신약, 신물질, 진단시약 개발, 단백질 구조 예측, 진단데이터와 연계한 질병 발병확률 예측 등 인공지능의 다양한 화학적 응용을 다룬다. 이 과목은 인공지능 분야 전문가와 이론화학분야 전문가의 팀티칭으로 진행될 예정이다.

- **우수한 연구 인프라 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.

[표II-9] 최근 1년간 R&D 장비 교육 현황

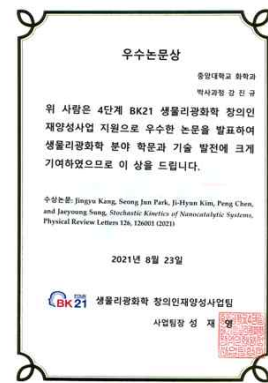
장비명	강사	수강자	지도교수	교육년월	교육시간
TEM	김민석	김석현	윤상운	202105	10시간
		박주환		202105	10시간
		문정일	주재범	202008	10시간
		박소현		202008	10시간
SEM	이윤희	이성운	윤상운	202106	3시간
		김석현		202106	3시간
		박주환		202106	3시간
		Trinh Duc Hoa		202108	3시간
		Huynh Thi Minh Ly		202108	3시간
		김민우	박태정	202107	3시간
		이대연		202107	3시간
		Ruth Stephanie		202107	3시간
		박찬영		202107	3시간
		이소연		202108	3시간
		윤하영	윤성호	202012	3시간

- **‘BK21 대학원생 정기 세미나’ 신설:** 본 교육연구팀 소속 대학원생들을 연사로 하는 정기 세미나 프로그램을 신설하고 세미나 전후로 대학원생들이 모두 참여하는 다과모임도 마련하여 대학원생들 간 친목과 공동연구를 진작시킬 계획이었으나 코로나19로 유예하였다.
- **‘최우수 연구상’ 시상:** 매 연차 말 교육연구팀 소속 학생들 중 1년 동안 가장 우수한 연구 성과를 거둔 학생들에게 ‘최우수 연구상’을 시상하여, 대학원생들에게 연구 및 학술활동에 대한 동기부여를 강화하고자 계획하였다. 1년차 연구 성과들을 토대로 2021년 8월 23일 제1회 우수논문 시상식을 개최하여, 6명의 대학원생들에게 상장과 상금을 수여하였다.

[표II-10] 제1회 우수논문상 수상자

수상자 이름	학기	지도교수	논문 제목	게재 저널
강진규	박사 4학기	성재영	Stochastic kinetics of nanocatalytic systems	Physical Review Letters (2021.3.24.)
당하준	석박통합 8학기	주재범	Reproducible and sensitive plasmonic sensing platforms based on Au-nanoparticle-internalized nanodimpled substrates	Advanced Functional Materials (2021.7.28)
박홍진	박사 2학기	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	석박통합 8학기	조은진	Complementary reactivity in selective radical processes: Electrochemistry of oxadiazolines to quinazolinones	Organic Letters (2021.7.2.)

Ly Thi Minh Huynh	박사 4학기	윤상운	Plasmon-driven protodeboronation reactions in nanogaps	Nanoscale (2020.11.24.)
Anam Rana Gul	박사 8학기	박태정	Grass-mediated biogenic synthesis of silver nanoparticles and their drug delivery evaluation: A biocompatible anti-cancer therapy	Chemical Engineering Journal (2021.3.1.)



- **국제화 교육 강화:** 본 교육연구팀의 우수한 국제화 역량을 이용하여 학생들도 글로벌 인재로 성장시키기 위해 해외학회 발표 기회 제공, 해외 연구기관 파견 연구 등을 실시할 계획이었으나 코로나19로 인해 유예하였다.
- **인턴십 강화:** 사회문제 해결형 인재 양성을 위해 연구소, 기업 등에 학생들을 파견해 연구를 수행할 계획이었으나 코로나19로 인해 유예하였다.

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

2020.9 ~ 2021.8 기간 동안 계획서 대비 본 교육연구팀이 이룩한 성과를 정리하고 이에 기반하여 향후 발전 방향을 모색하고자 한다. 시행 내용과 차년도 계획을 아래 표에 요약하였으며 이하 상술하였다.

[표II-11] 과학기술·산업·사회 문제 해결과 관련된 교육 프로그램 현황과 구성 및 운영 계획

항목	시행 내용	계획
■ 문제해결 교과 프로그램		
기 개설 과목 운영 성과	두 학기동안 총 6과목 개설 운영	지속적으로 시행할 계획
관련 교과목 신설	“인공지능응용화학” 과목 신설	추가로 2개 교과목 신설 또는 개편 예정
■ 문제해결 비교과 프로그램		
세포화학동력학 특별세미나	두 학기동안 총 9회 실시	지속적으로 시행할 계획
연구소 및 기업체 우수연구자 초청 세미나	두 학기동안 총 3명의 연사 초청 (코로나19로 출장 제한)	팬데믹 종료 후 확대 실시
국내외 대학 및 연구소 상호 방문 및 교류	1개 기관 총 3회 방문	팬데믹 종료 후 확대 실시
산업현장 인턴십 및 현장학습 프로그램	코로나19로 미시행	팬데믹 종료 후 실시
국내외 석학 초빙 단기강좌 개설	코로나19로 미시행	팬데믹 종료 후 실시

■ 과학기술 산업 사회 문제 해결형 교과 프로그램

본 교육연구팀은 4단계 BK21 사업 신청 당시 생물리광화학 관련 “생명”과 “에너지” 분야에서 최근 이슈가 되고 있는 과학기술, 산업, 사회 문제를 다음과 같이 구분하여 구체화한 바 있다.

[표II-12] 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

사업시작당시 이 문제들의 해결을 위해 다음과 같은 교육 프로그램들을 구성하고 운영할 계획을 수립 하였었다.

- **과학기술 산업 사회 문제 해결형 교과과정 운영계획:** 생물리광화학 세부전공 트랙에 현대화학특론, 화학콜로키움 I, II를 공통필수 문제해결형 교과목으로 운영하고, 과학기술문제 해결 관련 교과목으로 생명분야 1) ‘세포화학동력학’과 2) ‘단분자 분광학 및 이미징’을 개설하고 에너지분야 3) ‘나노플라즈모닉스’를 개설한다. 산업 및 사회 문제 해결형 교과과정으로는 생명분야 4) ‘바이오센서 및 미세소자’ 5) ‘약물전달 시스템’을 개설하고 에너지 분야 ‘에너지 소재화학’과 ‘지속가능한화학’을 개설한다. 이들 기존 교과목에 더해 생무기화학과 인공지능응용화학을 생명분야에 광유기화학을 에너지 분야에 신설할 계획이었다.

• 성과:

- ▷ **기 개설 과목 운영 성과:** 위 계획에 따라 다음 기존 교과목들을 과학기술 및 산업 및 사회 문제 해결형 교과목으로 개설하였다.

[표II-13] 기 개설 과목 운영 성과

	교과목명 (개설 학기)	
공통필수	현대화학특론 (2021-1), 화학콜로키움 I (2021-1), 화학콜로키움 II (2020-2)	
과학기술 문제 해결 관련 교과목		산업·사회 문제 해결 관련 교과목
생명	세포화학동력학 (미개설)	바이오센서 및 미세소자 (2020-2)
	단분자분광학 및 이미징 (미개설)	약물전달시스템 (미개설)
에너지	나노플라즈모닉스 (미개설)	에너지소재과학 (2021-1)
		지속가능한화학 (2021-1)

- ▷ **생물리광화학 관련 과학기술, 산업, 사회 문제 해결형 교과목 신설:** 위에 제시한 기 개설되어 운영하고 있는 과학기술, 산업, 사회문제 해결형 교과목에 더해 아래와 같이 생물리광화학 관련 “생명”과 “에너지” 관련 문제해결형 교과목 신설을 목표로 하였으며 이 중 인공지능응용화학을 개설하였다. 기타 과목들도 2022학년도부터 신설할 계획이다.

[표II-14] 생물리광화학 관련 과학기술, 산업, 사회 문제 해결형 교과목 신설

분야	교과목	신설 예정 학기
생명 트랙	생무기화학	2022년 1학기 개편 예정
	인공지능응용화학	2021년 2학기 신설됨.
에너지 트랙	광유기화학	2022년 1학기 신설 예정

■ 과학기술·산업·사회 문제 해결형 비교과 프로그램

- **세포화학동역학(Chemical Dynamics in Living Cells) 특별세미나:** 대학원생들이 최근 이슈가 되고 있는 생물리광화학 관련 과학기술문제를 이해하고 문제해결형 연구를 모색할 수 있는 기회를 폭넓게 가질 수 있도록 특별세미나 시리즈를 콜로키움에 병행해 비교과 교육프로그램으로 운영하고 있다. 대표적 비교과 특별세미나 프로그램 예로 다음과 같이 세포화학동역학(CDLC) 세미나 시리즈를 개최하였다.

[표II-15] 최근 1년간 세포화학동역학(Chemical Dynamics in Living Cells) 특별세미나

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
20201217	장호원	서울대학교	Memristive materials for artificial synapses
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	단백질 분해 조절을 통한 세포 보호 전략
20210824	김광표	경희대학교	A comprehensive multi-omics approach for biomedical researches: integrating proteomics, genomics and metabolomics to unlock biological function

- **CDLC Workshop on Theoretical Chemistry and Machine Learning:** 최근 전 세계적인 인공지능 및 기계학습 분야에 대한 학문 및 기술 수요에 대응하기 위해 인공지능 및 기계학습의 화학적 응용을 주제로 해당 분야 국내 전문가들 워크숍을 개최하였다.

[표II-16] 최근 1년간 CDLC Workshop on Theoretical Chemistry and Machine Learning

날짜	이름	소속	발표 제목
20210701	황현석	강원대학교	Exploring the behavior of proteins and surfactants on biological interfaces using molecular dynamics simulations
20210701	장락우	서울시립대학교	Chlorosulfolipid (Danicalipin A) membrane structure: hybrid molecular dynamics simulation studies
20210701	정유성	KAIST	Accelerated chemical science using machine learning
20210701	김준수	이화여자대학교	Sequence-dependent twist-bend coupling in minicircle DNA
20210701	성봉준	서강대학교	A single colloid heat engine in active particle medium
20210701	이주용	강원대학교	Finding multiple transition pathways with QM potentials by combining action minimization and Gaussian process

- **정부출연연구소와 산업체 우수연구자 초빙 특별세미나:** 지난 1년 동안 아래와 같이 연구소 및 산업체의 우수연구자를 초청해 콜로키움을 실시하였다. 참고로 2021년 상반기에는 코로나19 여파로 국립연구소의 외부 출장이 제한됨에 따라 연사를 초청하지 못했다.

[표II-17] 최근 1년간 정부출연연구소와 산업체 우수연구자 초빙 특별세미나

날짜	기관명, 연사
20201008	KIST, 이관희 책임연구원
20201015	한국기초과학지원연구원, 이계행 책임연구원
20201105	GIST 고등광기술연구소, 김준현 박사

- **국내외 우수대학 및 국책연구소 상호 방문 및 교류 프로그램:** 코로나19로 외부인의 출입을 제한하는 연구기관이 많은 가운데 아래와 같이 제한된 수의 연구기관들과 교류 프로그램을 이어갔다.

▷ 타 연구기관 방문 성과

[표II-18] 최근 1년간 타 연구기관 방문 성과

기관	참여인력	교류형태	기간	내용
GIST 고등광기술연구소	이성운	대학원생 방문연구	20210226 20210305 20210708	Depolarization ratio를 이용한 나노입자 구형 정도 측정 방법 개발
생명공학연구원 강태준 박사 연구팀	당하준 박소현	대학원생 방문연구	20210721 20210805	코로나19 현장진단기술 개발을 위한 SARS-CoV-2 lysate 제조 및 센서 개발
중앙대학병원 이미경 교수연구팀	정연주 김기현	대학원생 방문연구	20210721 20210811	코로나19 진단센서 검증을 위한 임상실험
KIST 청정연구센터 정광적 박사 연구팀	박광호 문석영 박홍진	연구원/대학원생 상호 방문연구	20210611 20210709	이산화탄소 수소화 Ru 촉매 합성
군산대학교 선호정 교수 연구팀	최소희 오재현	대학원생 방문연구	20210312 20210416	Zr 전구체의 ALD 증착 가능성 확인실험
서울대학교 이론물리학 연구소 최무영 교수 연구팀	박성준	신진연구인력 방문연구	20210301 ~20260228 매주 목,금	교통을 포함하는 각종 사회현상의 동역학 및 인간 행동패턴 동역학 연구

▷ 본 교육연구팀 방문 유치 성과

[표II-19] 최근 1년간 본 교육연구팀 방문 유치 성과

기관	방문인력	교류형태	기간	내용
서울대학교 화학공학과	강성수	대학원생 방문유치	20200901~현재	나노입자 열운동 및 융합반응 동역학 실험결과 해석 연구
충남대학교 화학공학과	정성근	신진연구인력 방문유치	20210901~현재	무중력 및 유중력 상태에서의 마이크로미터 크기 비대칭 입자의 열회전 운동 비교 분석

- **산업현장 인턴십 및 현장학습 프로그램 성과 및 계획:** 대학원생들의 기업체 현장학습 및 인턴십 프로그램을 통해 산업현장에서 해결이 필요한 문제를 이해하고 이를 해결하는 연구를 수행할 수 있는 기회를 제공하고자 하였으나 코로나19로 지난 1년 동안 실시하지 못하였다. 차년도 산업현장 인턴십 및 현장학습 프로그램 계획은 다음과 같다.

[표II-20] 대학원생 산업현장 인턴십 및 현장학습 계획

기관	지도교수	교류형태	기간	내용
중앙대학교 병원 (진단검사의학과 이미경 교수)	주재범	임상시험	2021년 10월	SARS-CoV-2 임상검체에 대한 나노플라즈모닉 센서 전임상 평가
SG 메디칼 (이지철 상무 (연구소장))	주재범	GMP 견학	2022년 3월	진단 래피드키트 GMP 시설에서 키트생산 공정 학습
롯데케미칼(주)	윤성호	현장학습	2021년 10월 ~ 2022년 03월	롯데케미칼로 기술이전(2021년 4분기) 이후 대전 롯데케미칼 연구

				소에서 Pilot 데모 연구를 공동 수행을 위하여 대학원생 파견 협동 연구
파택(주)	윤성호	현장학습	2021년 11월 ~2021년 12월	군산산업단지에 이산화탄소 전환 포름산 생산(100kg/일 파이럿) 장치 설치에 따른 현장 공동 연구 추진 (탄소중립)

• **국내외 석학 초빙 생물리광화학 관련 과학기술, 산업 및 사회 문제 단기강좌 개설:** 방학 기간을 이용하여 생물리광화학 분야 국내외 석학을 초빙하여 생물리광화학 분야 과학기술문제 및 산업 및 사회문제 관련 연구에 관한 단기강좌를 개설할 계획이었으나 코로나19로 실시하지 못하였다. 차년도 국내외 석학 초빙 단기강좌 개설 계획은 다음과 같다.

[표II-21] 해외 석학 초빙 단기강좌 개설 계획

석학명 (소속)	초빙교수	기간	강좌 내용	비고
Olga Dudko (UCSD)	성재영	2022년 1학기 혹은 2학기	Statistical Mechanics of Viral Entry	Editor of Physical Review Letters

2. 인력양성 계획 및 지원 방안

2.1 최근 1년간 대학원생 인력 확보 및 배출 실적

<표 2-1> 교육연구팀 소속 학과(부) 참여대학원생 확보 및 배출 실적

(단위: 명)

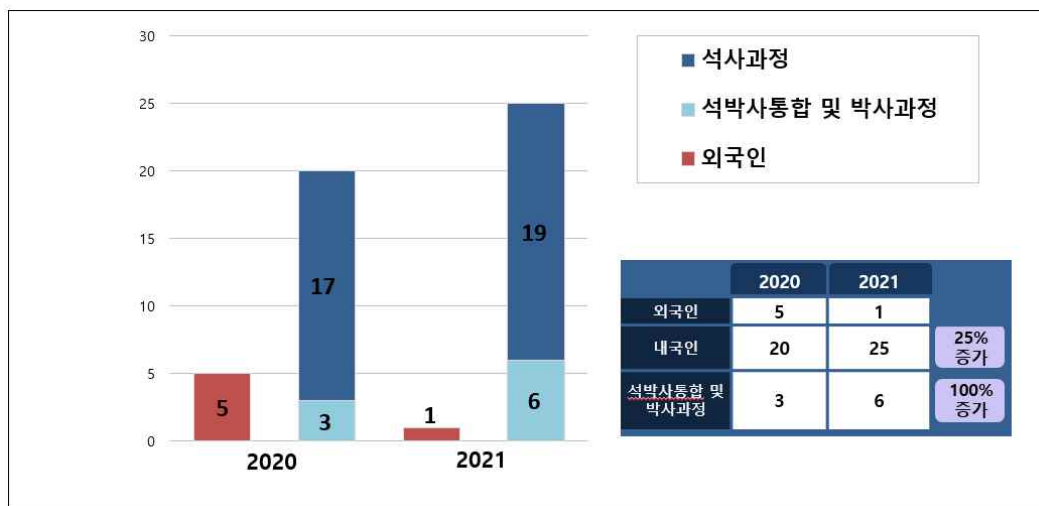
대학원생 확보 및 배출 실적					
실적		석사	박사	석·박사 통합	계
확보 (재학생)	2020년 2학기	6	1	1	8
	2021년 1학기	15	2	3	20
	계	21	3	4	28
배출 (졸업생)	2020년 2학기	12	0		12
	2021년 1학기	7	1		8
	계	19	1		20

2.2 교육연구팀의 우수 대학원생 확보 및 지원 계획

(1) 대학원생 확보 현황

- 최근 중앙대학교 화학과 대학원은 입학생 수가 지속적으로 늘고 있다. 본교에서 제공하는 다양한 이공계 대학원생 등록금 지원 제도와 BK21사업을 통하여, 계속해서 대학원생 수 증가 추세를 이어가고자 계획하였다.
- 위 <표2-1>에서 보이는 바와 같이 본 사업팀에서는 2020-2학기에 8명(석사과정 6명, 석박사통합 및 박사 과정 2명), 2021-1학기에 20명(석사과정 15명, 석박사통합 및 박사과정 5명)의 신입생을 확보하여, 1년차 기간 동안 총 28명의 신입생을 확보하였다. 반면 졸업생은 2020-2학기에 12명(석사 12명), 2021-1학기에 8명(석사 15명, 박사 1명)의 총 20명이다. 즉, 1년차 기간 동안의 신입생과 졸업생의 비율을 통해서도 본 사업팀 소속 화학과 대학원생 수의 증가를 살펴볼 수 있다.

- 참고로, 다음 그림은 2020년(1, 2학기 통합)과 2021년(1, 2학기 통합)의 화학과 대학원 수의 변화를 보여준다. 코로나19 확산이 본격화된 2021년에는 외국인 유학생이 5명에서 1명으로 감소하였지만, 내국인 대학원생은 20명에서 25명으로 25%의 증가율을 보였다. 본 교육연구팀에서는 석박사통합 및 박사과정 대원학생의 유치를 위해 적극적인 홍보를 하고 있는데, 3명에서 6명으로 100% 크게 증가하였음을 볼 수 있다. 박사학위과정 학생들의 안정된 확보를 통해 사업팀의 교육과 연구에 대한 비전 및 목표를 더 체계적이고 심도 있게 실현할 수 있으리라 기대된다.



(2) 우수 대학원생 확보 계획 대비 실적

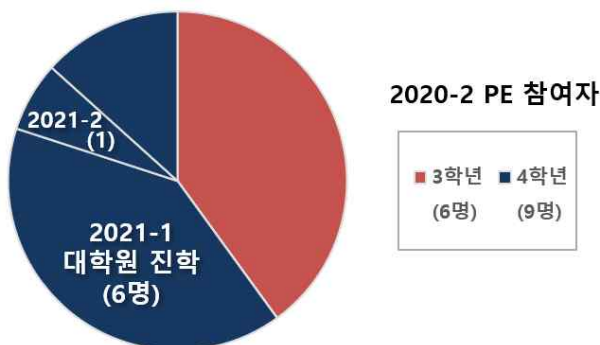
■ 생물리광화학 교육연구팀-국책연구소 연계를 통한 브랜드 가치 제고 및 적극적 홍보

- 본 생물리광화학 교육연구팀의 연구 프로그램을 본 대학에 소재한 생물리광화학 분야 국책연구소인 세포화학동력학 창의연구단(Creative Research Initiative Center for Chemical Dynamics in Living Cells) 및 추진 중인 나노-광 융합 바이오의료 진단 선도연구센터(Nanophotonics-based Biomedical Diagnostics Research Center)와 연계함으로써 본 교육연구팀의 연구경쟁력 브랜드 가치를 높일 것이다. 또 생물리광화학 분야에 연구경쟁력을 확보하고 있는 참여교수들과 관련 국내외 공동연구 및 선도연구기관과의 협업을 통해 세계적 수준의 경쟁력을 가진 연구 프로그램들을 개발해 낼 계획이다. 아울러 해외 우수대학들의 대학원생 연구 및 생활지원 제도들을 벤치마킹하고 국제적 수준의 국책연구소 연계 대학원생 연구 및 생활 지원 프로그램을 마련하여 본 교육연구팀의 대학원생 연구 및 생활 지원 브랜드 가치도 함께 높일 계획이다. 이렇게 개발된 세계적 수준의 생물리광화학 연구개발 프로그램들과 대학원생 연구 및 생활 지원 프로그램을 국내외 우수대학 및 연구기관에 적극적으로 홍보하여 우수 대학원생을 확보할 계획이다. 대한화학회에서 발간하는 ‘화학세계’ 2021년 10월 호에 본 교육연구팀-국책연구소 연계 프로그램을 홍보할 예정이다.

■ 학부생 연구프로그램을 활용한 본교 우수 학부생 대학원 진학 유도

- 본 교육연구팀 소속 화학과에서는 학부 3, 4학년생 대상으로 하는 연구 참여 프로그램이 활성화되어 있다. 이 프로그램을 적극 활용하여 본교 우수 학부생들에게 생물리광화학 분야 연구개발을 통하여 구현될 수 있는 미래사회 신기술 (생명현상의 화학적 이해, 머신러닝 적용 예측진단, 코로나 바이러스와 같은 감염병 신속 대응, 신재생 에너지 개발, 에너지 고갈 문제 해결, 기후 변화 등의 환경 문제 해결)을 홍보하고 우수 학생들에게 본 교육연구단 참여 교수들의 연구실에서 관련 실험을 체험하게 함으로써 우수 학부 학생들의 대학원 진학을 유도하고자 계획하였다. 다음은 1년차에 실행된 학부 연구생 프로그램의 구체적인 내용이다.
- Practical Education (PE) 프로그램:** 가을학기에 진행되는 학부생 연구실습 프로그램인 PE 프로그램을 통해 학부 3, 4학년 연구생에게도 이론을 응용하여 실습에 주도적으로 참여하게 함으로써, 연구

에 흥미를 느끼는 학생의 대학원 진학을 유도하고자 하였다 (PE프로그램 참여 학부생 장학금 학기당 100만원). 다음 그림에 보이는 바와 같이, 2020-2학기에 15명(3학년 6명, 4학년 9명)의 학부생이 PE프로그램 대상자로 선정되어 3개월 동안 연구활동을 수행하였고, 4학년 학생 중 총 7명(2021-1학기 6명, 2021-2학기 1명)이 본 대학원에 진학하는 78%의 높은 진학률을 보였다.



- **중앙대 화학과 방학 연구인턴 프로그램:** 학부생의 지속적인 연구 참여를 유도하기 위해 학기 중에 실시되는 PE 프로그램과 연계하여 학과혁신사업의 지원으로 방학 기간 동안 ‘화학과 연구인턴 프로그램’을 진행하였다(100만원의 참가활동비 지원). 2020/2021년에는 겨울방학 8주 동안 19명의 3, 4학년 학부생들이 참여하였고, 2021년 여름방학에는 코로나19 확산세가 커져 프로그램 대상자를 15명으로 줄여 실시하였다. 3학년 학부생이 주 참여자인데, 2022년도 본 화학과 대학원 진학으로 이어질 수 있도록 지속적인 지도를 진행하고 있다.

<2021.여름 연구인턴 프로그램 결과보고서 발췌>

○ 참여 소감

- 비록 짧은 기간이었지만 스스로 많이 성장한 것을 느낄 수 있었던 기간이었다. 매일 실험실에 출근하여 실험과 관련된 이론을 공부하고, 논문을 읽고, 실험에 직접 참여해 볼 수 있었다. 생화학(2) 과목에서 digestion, ligation, recombination 등 이론으로만 배웠던 내용을 직접 실험해보고 그 결과를 내가 직접 확인해볼 수 있어서 신기했다. 또한 실험실에 있는 몇몇의 장비들을 접해보고 손에 익힐 수 있었다. 모든 게 신기하고 처음 이어서 그런 것인지, 실험하는 과정과 실험 결과에 대해 토의해보는 과정이 모두 재미 있어서 대학원 진학에 대해 확신을 가지게 되었다. 그리고 내가 바이오 실험에 대해 더욱 흥미를 가진다는 사실도 알게 되었다. 내가 직접 경험해보지 못했다면 아직 알지 못했을 것이다. 교수님은 물론이고 대학원생분들 모두가 인턴학생을 잘 이끌어주시고 챙겨주셔서 수월하게 인턴을 마무리할 수 있었다. 항상 대학원은 어떤 곳일지에 대해 궁금했는데 이번 기회를 통해 대학원 생활에 대해 많이 알아갈 수 있어 정말 뜻깊은 경험이 되었다.



■ 대학원 입학 FAIR 행사 개최

- 본교 및 타교 학부생들의 본 대학원 진학을 독려하기 위해 2017년 2학기에 중앙대학교 대학원에서 시작한 행사로 학부생들에게 대학원 전공 내용과 졸업 후 진로 등에 대해 상담하고, 장학 상담, 실험실 투어 프로그램 등도 함께 운영해왔다. 하지만 2020-2021년에는 코로나19 확산으로 대면으로 행사를 비대면 ‘대학원 입학 온라인 설명회’로 대체하였다. 이 행사를 통해 설명회 당일 2021-1학기 입학을 위해 20명, 2021-2학기 입학을 위해 3명이 지원하여 전형료 면제 등의 혜택을 받았고, 지원자 전원 대학원 진학을 하였다.

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

■ 동기유발 비교과 강연 및 오픈랩 행사를 통한 우수 대학원생 확보

- 화학과 대학원 선배들의 강연 및 만남을 통한 진로 상담: 매년 진행되어왔던 화학과 연간행사인 ‘화학인의 밤’을 이용하여 2020년 11월 20일(금)에 진로탐색 토크콘서트를 개최하였다. 화학과 학부생, 대학원생, 교수들이 한 자리에 모여 진행하는 행사이지만 2020년도에는 코로나19로 사회적 거리두기가 시행됨에 따라 대면+비대면 혼합 방식으로 진행하였다.

〈2020 진로탐색 토크콘서트 연사 리스트 및 진행 장면〉

[표II-22] 진로탐색 토크콘서트 연사 리스트

이름	현 소속	학번	최종학위	전공
배제현	충남대학교	03	박사	전기화학
김미소	삼성전자	14	석사	분석화학
오승룡	삼성전자	14	학사	



- 오픈 랩 프로그램 등을 통해 학생들이 본 교육연구팀의 연구 프로그램을 체험할 수 있는 기회를 제공하여 우수 대학원생을 유치할 수 있는 기회를 확대하고자 하였으나, 1년차에는 코로나19 확산으로 실행하지 못하였다. 이에 2021-2학기에는 대면/비대면 하이브리드 형식의 화학과 대학원 소개 및 각 연구실 소개/체험을 진행하였다 (2021. 09. 14. (화), 19:00, Zoom). 이 행사에서 신설된 생물리광화학 세 부전공에 관하여 홍보하여 관심 있는 학생들의 대학원 진학을 유도하고자 하였다.



■ 생물리광화학 교육연구팀 연구성과 홍보 계획

- 정기적으로 교육연구팀 교수들의 논문, 저서, 특허, 기술이전 실적 등의 우수 연구 업적들을 본 사업단 홈페이지와 대중매체에 적극적으로 홍보할 계획이다.

(3) 우수 대학원생 지원 계획

■ 참여 교수들이 수행하는 다양한 연구개발과제를 통한 추가지원

- 본 교육연구팀 참여 교수들이 한국연구재단 리더연구자(창의연구) 지원사업, 중견연구과제, 과학기술부, 보건복지부, 산업통상자원부, 농림축산식품부, 농촌진흥청 등으로부터 지원받은 정부과제(교수 1인당 연평균 3.2억원)와 생명/에너지 분야에서 관련 기업체들로부터 수주 받은 산학협동 과제들로부터 BK21 장학금 이외에 추가 인건비를 지급하여 참여 대학원생 전원에게 전액 등록금 및 생활비를 지급하고 있다.

■ Graduate Research Scholarship (GRS) 프로그램

- 우수 국내(자교, 타교) 대학원생을 유치하기 위한 장학금으로 학부 성적이 우수한 학생들에게 2년(석박통합은 3년) 동안 등록금 전액 면제 혜택을 주는 제도이다. 본 교육연구팀 소속 대학원생 중 GRS장학금 수혜자는 2020-2학기 12명, 2021-1학기 18명에 해당한다.

[표II-23] 최근 1년 GRS 장학금 수혜자

이름	지도교수	학위과정	입학연월	2020년-2학기 수혜	2021년-1학기 수혜
김동희	성재영	석박통합	2021.03	×	○
김진형	성재영	석박통합	2021.03	×	○
강진규	성재영	박사	2019.09	○	○
김경우	성재영	석사	2020.03	○	○
박규남	성재영	석박통합(수료)	2018.03	○	×
양희모	성재영	석박통합	2020.03	○	○
이민호	성재영	박사	2020.03	○	○
정인준	성재영	박사	2017.03	×	○
박주환	윤상운	석사	2021.03	×	○
최지현	윤성호	석박통합	2020.03	○	○
박홍진	윤성호	박사	2021.03	×	○
정연주	주재범	석박통합	2019.03	○	○
박소현	주재범	석박통합	2019.03	○	○
김경년	주재범	석사(졸업)	2019.03	○	×
이강민	주재범	박사	2021.03	×	○
이소연	박태정	석사	2020.03	○	○
이혜은	박태정	석사	2021.03	×	○
황호성	조은진	석박통합	2018.03	○	×
강지희	조은진	석사(졸업)	2019.03	○	×
가철현	조은진	석사	2021.03	×	○
김서연	조은진	석사	2021.03	×	○
이윤정	조은진	석사	2021.03	×	○
전체 수혜자 수				12	18

■ Chung-Ang University Young Scientist Scholarship (CAYSS) 프로그램

- 우수 외국인 대학원생을 유치하기 위한 장학금으로 학비 전액장학금 제도이다. 본 교육연구팀이 속한 학과에 본 교육연구팀 소속 대학원생 중 CAYSS 장학금 수혜자는 2020-2학기 9명, 2021-1학기 8명이다.

[표II-24] 최근 1년 CAYSS 장학금 수혜자

이름	지도교수	학위과정	입학연월	2020년-2학기 수혜	2021년-1학기 수혜
Ly Thi Mihn Hyunh	윤상운	박사	2019.09	○	○
Hoa Duc Trinh	윤상운	석박통합	2017.09	×	×

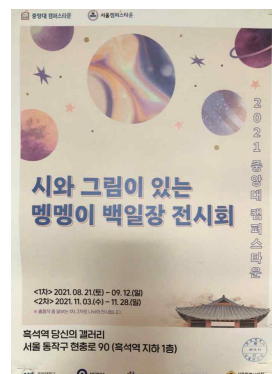
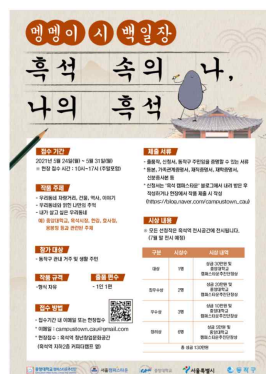
Xiangdong Yu	주재범	박사	2019.09	0	0
Qian Yu	주재범	박사	2019.09	0	0
Mengdan Lu	주재범	석박통합	2019.09	0	0
Subhadeep Ghosh	박태정	박사	2019.09	0	0
Ping Xu	박태정	석박통합	2019.09	0	0
Ruth Stephanie	박태정	석박통합	2020.09	0	0
Tambe Shrikant Dattatraya	조은진	박사	2019.03	0	×
Muhammad Awais Ashraf	조은진	석사	2020.03	0	0
전체 수혜자 수				9	8

■ 대학원생 연구 성과 지원금

- 중앙대 대학원에서는 우수 연구결과를 발표한 대학원생에게 우수 논문 당 50~150만원의 장학금을 수여하여 대학원생이 꾸준히 우수한 연구 활동을 진행할 수 있도록 독려하고 있다. 본 연구팀 소속 대학원생들 중 2020-2학기에 1명 (송상근), 2021-1학기에 4명의 대학원생이 연구 성과 지원금을 받았다.
- BK사업팀 ‘최우수 연구상’ 시상: 연차 말 교육연구팀 소속 학생들 중 1년 동안 가장 우수한 연구 성과를 거둔 학생들에게 ‘최우수 연구상’을 시상하여, 대학원생들에게 연구 및 학술활동에 대한 동기부여를 강화하고자 계획하였다. 1년차 연구 성과들을 토대로 2021년 8월 23일 제1회 우수논문 시상식을 개최하여, 6명의 대학원생들에게 상장과 상금을 수여하였다. 사업 기간 중 매 연차 최소 1회 이상씩 최우수 연구상을 시상할 계획이다.

■ 행복한 대학원생활 지원 프로그램 개발 및 운영

- 본 교육연구팀에서는 대학원생들에게 본교 주최 문화행사는 물론 서울시에서 제공하는 우수 문화행사들을 정기적으로 안내하고 참여를 권장하고 있다. ‘문화예술아카데미’와 ‘LUCAS 축제’ 등 중앙대학교의 다양한 문화예술계 학과들의 행사가 2020-2021년에는 코로나19의 확산으로 대부분의 행사가 취소되었으나, 다음 예시와 같이 비대면 혹은 소수의 모임으로 진행되는 문화행사가 안내되었다. 작은 행사들이지만 관심있는 대학원생들이 학위과정 중 받을 수 있는 스트레스들을 효과적으로 이완시키고 심리적 건강과 행복을 유지하는데 도움이 되리라 기대한다.



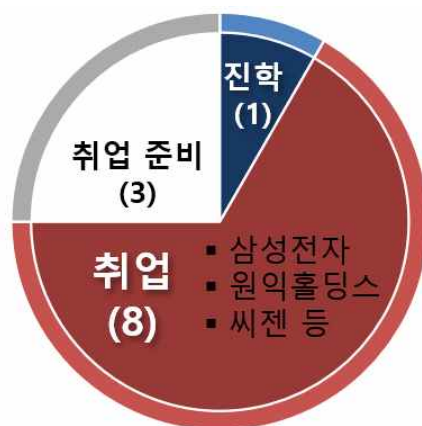
- 대학원생 생활 상담 프로그램 운영: 본 교육팀이 소속된 중앙대학교는 학생들이 필요로 하는 경우 항상 상담받을 수 있도록 개별 상담 및 집단 상담 프로그램을 운영하고 있다. 중앙대학교 인권센터 (홈페이지: <https://humanrights.cau.ac.kr/>)에는 대학원생들의 이야기를 경청하고 심리 상담을 해 줄 수 있는 전문상담연구원이 상주하며 각종 차별이나 부당한 대우, 인권침해 및 개인적 어려움이 발생했을 때 문제 해결을 위한 상담 서비스를 대면/비대면으로 제공하고 있다.

2.3 참여대학원생의 취(창)업의 질적 우수성

〈표 2-2〉 2020.2월 졸업한 교육연구팀 소속 학과(부) 참여대학원생 취(창)업률 실적

구 분		졸업 및 취(창)업현황 (단위: 명, %)						취(창)업률% (D/C)×100
		졸업자 (G)	비취업자(B)			취(창)업대상자 (C=G-B)	취(창)업자 (D)	
			진학자		입대자			
			국내	국외				
2021년 2월	석사	12	1	0	0	11	8	73%
졸업자	박사	0						

(1) 대학원생 취업 현황



- 2021년 2월 본 화학과에 소속된 졸업한 대학원생 12명의 취업률은 73%이다. 본 교육연구팀에 소속된 졸업생 4명은 100% 취업(진학 1명 포함)을 달성하였다.
- 진학:** 졸업생 중 1명(8%)은 본 교육연구팀 소속 대학원생으로 박사과정으로 진학하였다.
- 취업:** 졸업생 중 8명(67%)은 삼성전자, 코스맥스, 한국콜마, 씨젠, 원익 홀딩스 등 국내 유수의 화학 관련 기업에 연구원으로 취업하였다.

(2) 취업 및 진학의 질적 우수성

- 본 교육연구팀 소속 졸업생 4명 전원이 본교 대학원에 재학 중 수행했던 연구와 관련되는 연구와 업무를 대학과 기업에서 수행하고 있다.
- 졸업생별로 학위과정에서 연구내용과 진학기관 및 취업기관에서의 업무 내용을 다음 표에 상세히 기술하였다.

[표II-25] 교육연구팀 참여교수의 지도학생 (2021.02 졸업생) 취업 사례

졸업생 이름	취업 (진학) 사례
김경년	- 취업기관: (주)씨젠 - 학위과정 연구내용: 석사과정에서 기존의 진단키트보다 전립선 호르몬을 고감도로 진단할 수 있는 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 연구결과는 제1저자로 Anal. Chem. 2021, 93, 6673-6681에 보고되었다. - 현재 직무내용: 코로나19 진단관련 센서 개발

최소희	- 취업기관: 삼성전자 - 학위과정 연구내용: 석사과정에서 기존의 ALD(atomic layer deposition) ZrO_2 전구체인 $CpZr(NMe_2)_2$와 비교하여 저가, 안정성, 광폭 ALD Window의 측면에서 우수성이 높은 (O,N) 킬레이트 리간드(L)를 포함하는 $L_2Zr(NMe_2)_2$ 유기 전구체를 합성하고 실험실 수준에서 ALD를 추진하여 미래 전구체로의 가능성을 보고하였다. 더불어 차세대 반도체 공정으로 인식되고 있는 EUV 공정에 적용 가능한 유기금속 전구체 전반에 관한 Review를 수행하여 졸업논문에도 보고하였다. - 현재 직무내용: (반도체 사업부) ALD 및 EUV 관련 전구체 개발
강지희	- 취업기관: 원익홀딩스 - 학위과정 연구내용: 물질의 생물학적, 화학적, 물리적 성질을 바꿀 수 있는 기능성 질소작용기의 도입 연구는 유기합성 분야 뿐 아니라, 여러 분야에서 관심을 받고 있다. 석사 기간 동안 친환경 에너지원인 가시광을 이용하는 다양한 C-N 결합 짝지움반응 개발 연구를 진행하였다. 합성법 개발과 아울러 반응 기작 연구를 병행하여 그 결과를 세 편의 논문 (ACS Catalysis 2019, 9, 10454-10463, Org. Lett. 2020, 22, 1130-1134, Org. Lett. 2020, 22, 6112-6116)에 게재하였다. - 현재 직무내용: 합성 빛 분석기술 대응/새로운 가스 시스템 도입 및 신소재 발굴
박홍진	- 진학기관: 중앙대학교 박사과정 - 학위과정 연구내용: 석사과정 동안 이산화탄소를 수소화하여 포름산 유도체를 생산할 수 있는 세계 최고 수준의 촉매를 개발하였으며, 개발된 촉매를 활용하여 상업적 포름산 생산의 기본 정보 축적을 위하여 10kg/일 규모의 데모플랜트 구동에 참여하였다. 더불어 균질계 촉매로부터 Friedel Craft 반응을 활용하여 직접 비균질화하여 새로운 촉매를 개발하는 방법을 연구하여 미래 연료전지에 적용 가능한 저온 구동 메탄올 탈수소화 촉매를 개발하였다. 그 결과를 Inorg. Chem. Front., 2021, 8, 1727-1735에 게재하였다. - 현재 연구내용: 이산화탄소로부터 포름산 대량생산을 위한 저가 성형촉매를 개발하기 위하여 기존 촉매의 표면을 개질하는 기술을 개발

(3) 대학원생 취업 및 진학의 질적 우수성 향상 계획

- **해외 박사 후 연수 지원 및 중앙대 교수 임용 제도:** 해외 박사 후 연수 지원제도와 본 교육연구팀 참여교수의 우수 해외 공동연구 네트워크를 적극적으로 활용하여 본 교육연구팀에서 뛰어난 연구 성과를 거두어 낸 박사과정 졸업생들에 대해 해외 선도 연구기관에서 박사 후 연수를 받을 수 있도록 재정 지원을 제공한다. 이에 필요한 재정은 본교 대학원 차원에서 상당 부분 지원할 계획이다.
- 본 사업팀은 LG화학, 한화솔루션, 삼성 바이오로직스, 삼성종합기술원 등의 대기업들과 지속적인 협력연구를 통하여 졸업생들의 취업의 질을 향상시키는 동시에, 중소/중견기업과 산학협력을 강화하여 생명/에너지 분야의 새로운 신기술을 창출하여 다시 연구교육팀과 기업체 간의 산학협력을 증진하는 선순환 산학협력 증진 체계를 구축할 예정이다.

3. 참여대학원생 연구실적의 우수성

① 참여대학원생 저명학술지 논문의 우수성

(I) 참여교수 지도학생 대표연구업적물

최근 1년간 참여교수 지도학생의 대표연구업적물을 정리하면 다음과 같다.

[표II-26] 최근 1년간 참여교수 지도학생 대표연구업적물

연번	학위 (박사/석사)	성명	세부 전공 분야	실적 구분	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 10.1103/PhysRevLett.126.126001															
					2	박사	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 10.1002/adfm.202105703										
										3	박사	HUYNH THI MINH LY	물리화학	저널논문	L. T. M. Huynh, H. D. Trinh, S. Lee, S. Yoon Plasmon-driven protodeboronation reactions in nanogaps Nanoscale 12, 24062 2020 10.1039/D0NR07023H					
															4	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 10.1016/j.cej.2020.127202
																				5
6	박사	황호성	유기화학	저널논문																

위의 대표연구업적물에 대한 구체적인 실적 내용은 아래와 같다.

(1) 대표연구업적물 1: J. Kang et al., *Phys. Rev. Lett*, 126, 126001 (2021)

최근 상당한 발전을 이룬 단분자 이미징 기술 덕분에 산화 환원 반응의 촉매 역할을 하는 단일 나노입자가 반응을 한 번 일으키는데 걸리는 시간의 확률분포를 측정할 수 있었다(W. Xu et al. *Nat. Mater.* 7, 992(2008)). 이 실험을 통해 단일 나노입자가 반응을 한 번 일으키는데 걸리는 시간의 평균은 Langmuir-Hinshelwood 메커니즘으로 설명할 수 있었으나, 반응시간의 분산을 평균의 제곱으로 나눈 상대분산은 설명할 수 없었다(W. Xu et al. *Phys. Chem. Chem. Phys.* 11, 2767(2009)). 이는 나노입자에 다수의 촉매자리가 존재한다는 것과 각 촉매자리의 촉매활성도가 불균일하고, 촉매자리 사이에 상호작용을 하며, 나노입자마다 촉매자리의 개수가 다르다는 것을 고려하지 않았기 때문이다. **대표연구업적물 I**은 상기한 내용을 고려한 비고전적 반응속도론을 이용하여 반응시간의 평균과 상대분산까지 설명할 수 있었다. 이러한 연구가 가능하기 위해서는 나노입자에 존재하는 촉매자리의 개수를 알아야 하는데 **대표연구업적물 I**에서는 촉매 반응의 메커니즘이 다르더라도 두 개의 초기 조건 하에서의 계수 통계를 이용하여 촉매자리의 개수를 알아내는 식을 제시하였다. **대표연구업적물 I**에서는 나노입자에 존재하는 촉매자리의 개수를 추산하는데 그쳤지만, 다른 연구에도 확장될 가능성을 가지고 있다는 점에서 학술적으로 중요한 가치를 지닌다. 예를 들어, 여러 개의 물체임에도 불구하고 분해능이 커 하나의 물체로 보이는 물질의 계수 통계를 이용하면 몇 개의 물체가 모여 있는지 추산하거나 단분자 이미징을 하지 않고도 단일 분자의 특성을 얻어낼 수 있을 것으로 기대된다.

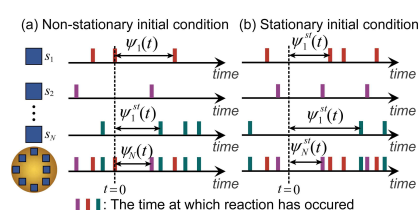


FIG. 1. Nanocatalyst consisting of N catalytic sites (a) under non-stationary initial condition and (b) under the stationary initial condition

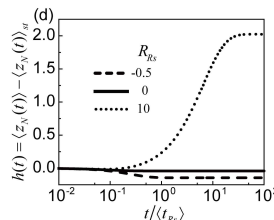
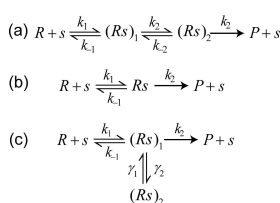


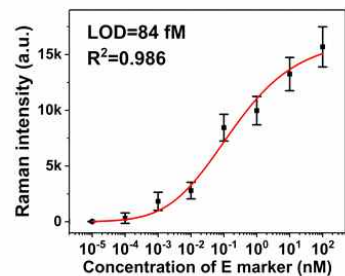
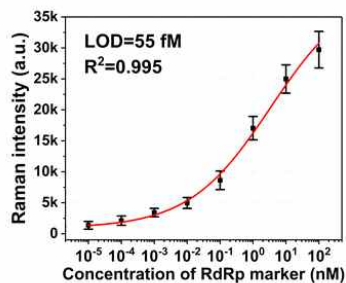
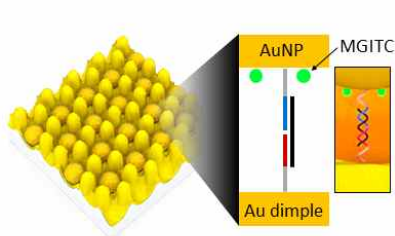
FIG. 2. (a-c) Three different mechanism of catalytic reaction at single site. (d) The difference of mean product number under non-stationary and stationary initial condition. (e) Measure for the number of catalytic sites.

(Fig. 1) (a) 비정류 상태 및 (b) 정상 상태 개념도; (Fig. 2) (a-c) 단일 촉매자리에서 일어나는 세 개의 메커니즘의 도식. (d) 메커니즘에 따라 다른 양상을 보이는 측정값 (e) 메커니즘이 다르더라도 촉매자리의 개수를 추산하는 식은 같은 값을 예측한다는 것을 보여주는 그래프.

이 **대표연구업적물 I**은 물리학 분야 최고 권위지인 Physical Review Letters에 출판되었다. 영향력지수와 Eigen Score는 각각 9.161, 0.40804 이다.

(2) 대표연구업적물 2: H. Dang et al., *Adv. Funct. Mater.*, 31, 2105703 (2021)

최근 nanoplasmonics 현상을 이용한 바이오센서 개발에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이 현상은 측정분자가 작은 나노갭에 존재할 때 플라즈몬 공명을 통한 전자기장 증진에 의하여 광 신호가 증폭되는 현상이 나타나는데, 이를 효과적으로 바이오센서에 적용하면 현재의 광학측정방식으로 구현할 수 없는 바이오물질의 초고감도 검출이 가능하다. 본 연구에서는 top-down 방식으로 제작한 Au nanodimple substrate의 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 금 나노입자가 삽입된 나노딴플 기판의 진단 유효성을 평가하기 위하여 SARS-CoV-2의 타겟 유전자인 RdRp 유전자와 E 유전자를 대상으로 SERS-PCR 에세이를 수행하였다. 그 결과 RdRp gene의 경우 55 fM, E gene의 경우 84 fM까지 신뢰도있는 측정이 가능하다는 것을 보였다. 또한, 본 SERS-PCR 분자진단 플랫폼의 진단 성능을 평가하기 위하여 기존 SARS-CoV-2 진단에 사용되는 표준진단방법인 RT-PCR 진단 결과와 비교하였다. 각각 10^5 copies/ μ L의 RdRp와 E gene에 대하여 RT-PCR을 수행하였을 때 24-25 thermocycle 수행 후 시그널측정이 가능하였으나 SERS-PCR의 경우에는 고감도 특성 때문에 7-8 cycle 이후에 시그널 측정이 가능하였다. 즉, 본 SERS-PCR 방법은 기존 RT-PCR의 진단시간을 획기적으로 줄일 수 있는 가능성을 보여준다.



금 나노입자가 삽입된 나노딴플 기판을 이용한 SARS-CoV-2 타겟 유전자 에세이 결과가 대표연구업적물 2는 재료 및 센서 분야 최고 권위지 중 하나인 Wiley 출판사의 Advanced Functional Materials (IF=18.808)에 출판되었다.

(3) 대표연구업적물 3: L. T. M. Huynh et al., *Nanoscale*, 12, 24062 (2020)

보론산(boronic acid, $\text{RB}(\text{OH})_2$)은 Suzuki 커플링 반응과 당당류 검출에 이용되는 매우 중요한 화합물이다. 이러한 보론산에서 C-B 결합이 끊어지는 반응은 Suzuki 커플링 반응과 당당류 검출을 저해하는 매우 중요한 반응 경로이다. 대표연구업적물 3은 4-mercaptophenylboronic acid(MPBA)라는 벤젠고리를 갖는 대표적인 보론산이 금나노입자와 금기판 사이의 나노갭에 위치하면 빛에 의해 유도된 플라즈몬에 의해 C-B 결합이 끊어지는 탈보론(deboronation) 반응이 쉽게 일어남을 관찰하고 그 반응 메커니즘을 규명하였다. 특히 플라즈몬 감쇠 과정에서 발생하는 에너지가 높은 뜨거운 전자(hot electron)에 의해 반응이 일어난다는 것을 밝히고 대기 중 산소에 의해서도 반응이 유도되지만 산소가 없는 환경에서도 직접적인 전자 전달에 의해 반응이 일어남을 보였다.

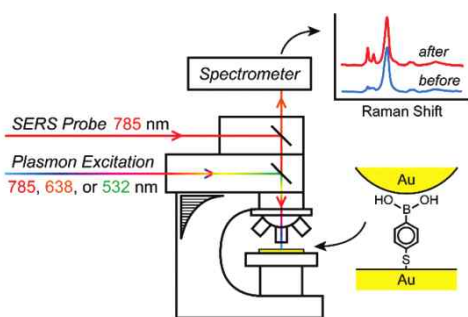


그림 1. 나노갭에서 플라즈몬에 의한 화학반응을 유도하고 생성물을 SERS로 관찰하는 실험 모식도

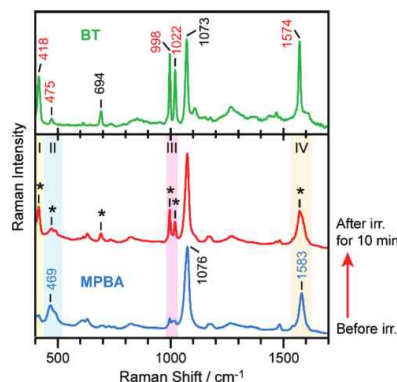


그림 2. 나노갭 구조에 785 nm 레이저를 10분간 쬔 때 나노갭 안의 MPBA가 C-B 결합이 끊어지면서 benzenethiol(BT)로 전환됨을 보여주는 스펙트럼

(4) 대표연구업적물 4: A. R. Gul et al., *Chem. Eng. J.*, 407, 127202 (2021)

생물학적으로 합성되는 나노입자는 독성면에서 화학적으로 가공되는 경우에 비해 대안이 되고 있다. 대표연구업적물 4는 나노입자(AgNP)의 생물학적 합성에 초원 잔디(Poa annua)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 $36.66 \pm 7.85\text{nm}$)는 4°C에서 1개월 이상 서로 다른 용매(탈이온수, 인산염 완충 식염수, 디메틸 아황산염)에서 안정한 것으로 확인되었으며, 이러한 생체 발생성 AgNP는 항암제를 추가로 탑재하고 암 치료제를 위한 새로운 약물 전달 복합체로서 활용될 수 있다. 생체분자로 코팅된 합성 AgNP의 구형 형태론과 균질 산포를 확인하였으며 항산화제 분석과 용혈 분석 및 암 세포에 대한 MTT 분석을 통해 생체적합성과 항암 효과가 입증되었다. 또한, 생체내 연구에서 가장 높은 용량(300mg/kg)을 가진 AgNPs는 마우스 모델에 7일동안 경구 투여한 후 유

의미한 세포독성을 보이지 않았다. 본 AgNP의 생물학적 기능성과 생체적합성은 치료 분야에서 잠재적 약물 운반체로서의 전도유망한 역할을 할 것을 시사하고 있다. 이 연구 결과는 Elsevier에서 출판하는 Chemical Engineering Journal (IF 13.273)에 게재되었다.

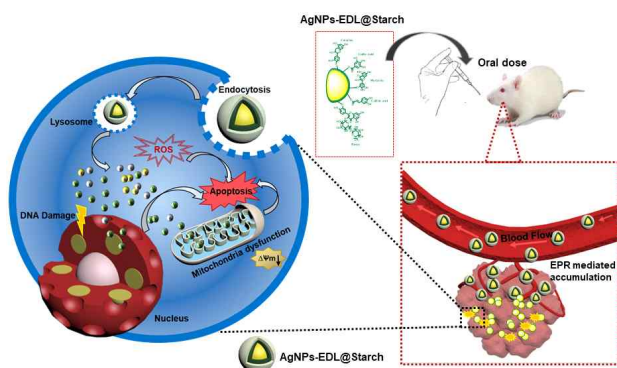


그림 1. 나노입자복합체 캡슐을 이용한 경구 투여 및 암 치료 메커니즘의 모식도

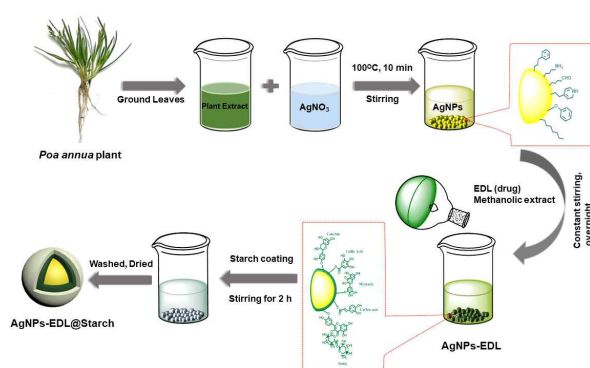


그림 2. 식물 추출물의 성분을 사용하여 생체 적합성 나노 약물 전달 시스템을 형성하는 친환경 및 저비용 접근법의 체계도

(5) 대표연구업적물 5: H. Park et al., *Inorg. Chem. Front.*, 8 , 1727-1735 (2021)

전 세계적으로 기후변화 대응 기술에 관심이 높아지고 있으며 특히 이러한 기술 중 이산화탄소 전환을 통한 자원화 물질 생산기술인 CCU 기술 개발 필요성이 높아지고 있다. 대표연구업적물 5는 비균질계 촉매를 이용한 이산화탄소를 메틸포메이트를 포함한 포름산 유도체로 생산하는 기술에 관한 논문이다. NNN 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 지지된 Ru계 분자 촉매를 활용하여 CO₂ 수소화를 통하여 효과적으로 formate와 methyl formate를 합성할 수 있었다. 특히, 불균일 Ru/N-Me-3-bpp-POP 촉매는 CO₂를 1900 turnover로 포름산염으로, 메틸 포름산염으로 TON이 2200로 최대 촉매 전환율을 나타냈다. Ru/N-Me-3-bpp-POP 촉매의 안정성은 Ru leaching에서 비롯될 수 있는 촉매 효율의 약간의 감소와 함께 5회의 연속 실행에 걸쳐 입증되었다. 이 연구 결과는 무기화학 분야 대표저널인 Inorganic Chemistry Frontiers에 게재되었다.

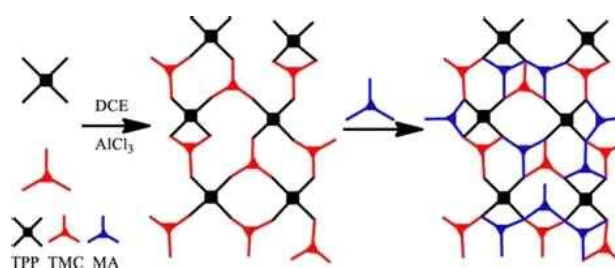


그림 1. Friedel Craft 반응을 통한 방향족 고리를 포함하는 화학물의 비균질화 모식도

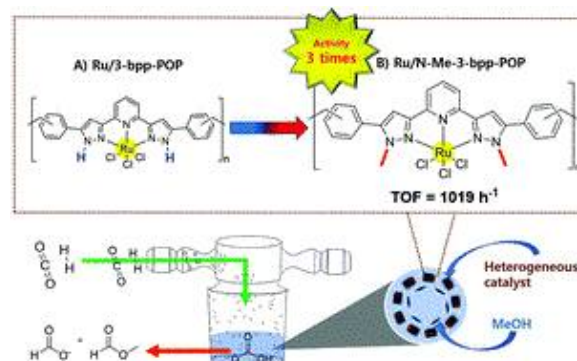
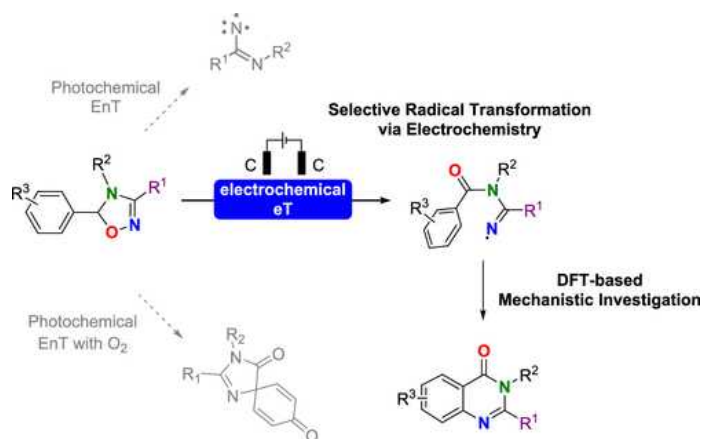


그림 2. 비균질계 촉매를 이용한 이산화탄소 전환 포름산 유도체 생산 개념도

(6) 대표연구업적물 6: H. S. Hwang, E. J. Cho, *Org. Lett.* 23, 5148 (2021)

최근 친환경적인 라디칼 반응 개발에 관한 연구가 크게 관심을 받고 있다. 특히 가시광에너지를 이용하는 광반응 연구와 전기에너지를 이용하는 전기화학반응 연구가 활발히 진행되고 있다. 라디칼을 매개로 진행된다는 점에서는 비슷하지만 가시광반응과 전기화학 반응은 그 반응성에서 큰 차이를 보일 수 있다. 광반응은 그 조건에 따라 옥사다이아졸린 헤테로고리 화합물을 고리화 아자락탐, 벤즈이미다졸, 설

폭시민 등으로 전환시킬 수 있었지만 퀴나졸리논으로 변환시킬 수는 없었다. 이에 본 연구에서는 전기화학을 이용하여 옥사다리아졸린으로부터 이미닐 라디칼을 형성하고, 이 N-라디칼이 분자 내 방향족 부분에 추가반응을 진행하여 최종 결과물인 퀴나졸리논이 선택적으로 형성되었다. 이 연구 결과는 ACS에서 출판하는 Organic Letters (IF 6.005)에 게재되었다.



(2) 참여대학원생 전체 연구실적

1차년도에 본 사업팀 대학원생들은 총 30편의 논문을 출판하였고 1인당 논문 환산 편수는 약 0.4편으로 매우 높은 편으로 판단된다. 이 기간 모든 대학원생들이 발표한 총 논문의 논문 1편당 환산보정 영향력지수의 평균은 0.35로 사업시작 당시 최근 3년간 졸업생 대상 대표 우수논문들 10편의 논문 1편당 환산보정 영향력지수 (0.25) 에 비해 괄목할 만큼 (40%) 향상되었다. 1차년도 대학원생들이 출판한 모든 논문들의 1편당 환산보정 Eigenfactor Score와 대학원생 1인당 환산보정 Eigenfactor Score는 1.3과 1.2로 사업시작 당시 최근 3년간 졸업생 대표 우수논문 10편에 대한 값들 (0.83, 0.83) 각각 56.6%, 44.6%씩 크게 향상되었다. 대표연구업적물을 포함하여 1차년도 동안 참여대학원생 전체의 연구 업적실적물의 계량적인 수치는 아래의 표와 같다.

[표II-27] 최근 1년간 전체 참여대학원생 논문 환산 편수, 환산보정 피인용수(FWCD), 환산보정 IF 및 환산보정 ES

구 분		최근 1년간 실적		전체기간 실적
		2020년 9월~2020년 12월	2021년 1월~2021년 8월	
논문 편수	논문 총 편수	12	18	30
	논문의 환산 편수의 합	5.4259	7.2417	12.6676
	참여대학원생 1인당 논문 환산 편수			0.38977
피인용수	보정 피인용수(FWCD) 값이 있는 논문의 총 편수	10		10
	보정 피인용(FWCD)수의 합	29.71		29.71
	환산보정 피인용수(FWCD) 합	14.4203		14.4203
	논문 1편당 환산보정 피인용수(FWCD)			1.44203
	참여대학원생 1인당 환산보정 피인용수(FWCD) 합			0.4437
Impact Factor (IF)	IF=0이 아닌 논문 총 편수	12	18	30
	IF의 합	68.618	156.319	224.937

	환산보정 IF의 합	4.3831	6.1189	10.502
	논문 1편당 환산보정 IF			0.35
	참여대학원생 1인당 환산보정 IF 합			0.3231
Eigenfactor Score (ES)	ES=0이 아닌 논문 총 편수	12	18	30
	ES의 합	1.0781	2.41662	3.49472
	환산 보정 ES의 합	23.1383	16.0909	39.2292
	논문 1편당 환산보정 ES			1.3076
	참여대학원생 1인당 환산보정 ES 합			1.2070
지도교수 최근 1년간 환산 참여대학원생 수		28.5	36.5	32.50

(3) 참여대학원생의 저명학술지 논문 연구실적 향상 계획

대학원생들의 논문의 양적 실적은 국내외 선도 연구기관에 버금가는 정도이나 대표 논문의 질적 수준은 더욱 향상되어야 하는 것으로 파악되었다. 참여대학원생의 우수한 연구성과를 거두어 내는 것을 장려하기 위해 ‘최우수 학술상’ 및 ‘연구성과지원금’의 제도를 적극 활용하고 우수 논문성과는 홍보를 적극적으로 할 예정이다.

② 참여대학원생 학술대회 대표실적의 우수성

2020년 9월 1일~2021년 8월 31일 기간 동안 총 32회에 걸쳐 대학원생들의 학술대회 발표가 이루어졌으며 그 중 국제학술대회 발표 건수는 13건, 국내학술대회 발표 건수는 19건이었다. 코로나19로 학술교류가 제한적인 상황에서도 대학원생들이 활발하게 학술대회에 참가하였으며 온라인 발표임에도 불구하고 아래의 표와 같이 우수한 발표 실적을 거두었다.

[표II-28] 평가 기간 내 참여대학원생 학술대회 발표 건수

기간	국제학술대회 발표 (건)	국내학술대회 발표 (건)
2020.9.1.~2021.8.31	13	19

[표II-29] 참여대학원생 학술대회 발표 대표실적

연번	학위과정	발표자 성명	발표년월	발표 형식 (구두, 포스터)	학술대회 발표실적 상세내용
1	석사	김석현	202107	포스터 및 구두	김석현, 윤상운 Effect of Nanoparticle size on Plasmon-Driven Reaction Efficiency 제134차 물리화학분과 심포지엄 우수포스터상 수상 2021, 제주, 대한민국

2	석박통합	박소현	202010	포스터 및 구두	박소현, 주재범
					Amplification-free detection of COVID-19 target genes using a SERS-based microdroplet chip
					2020년 대한화학회 춘계학술대회
					우수포스터상 수상
					2020, 수원, 대한민국
3	석박통합	정연주	202011	포스터	정연주, 김기현, 김경년, 주재범
					Development of SERS-based Lateral Flow Assay Strip for Simultaneous Detection of Seasonal Influenza Viruses (A/H1N1, A/H3N2, and B)
					2021년 한국바이오칩학회 춘계학술대회
					우수논문 발표상 수상
					2020, 제주, 대한민국
4	석박통합	정연주	202104	포스터 및 구두	정연주, 주재범
					Development of a portable SERS-based lateral flow assay system for on-site diagnosis of SARS-CoV-2
					2021년 대한화학회 춘계학술대회
					우수동영상 수상
					2021, 수원, 대한민국
5	석박통합	정연주	202106	포스터	정연주, 김기현, 주재범
					Highly Accurate Diagnosis of SARS-CoV-2 using a Portable SERS-based Lateral Flow Biosensor
					2021년 한국바이오칩학회 춘계학술대회
					우수포스터상 수상
					2021, 홍천, 대한민국

김석현 학생은 나노입자의 hot carrier를 이용한 촉매 반응 연구에서 나노입자의 크기와 반응성과의 상관관계를 규명하여 제134차 물리화학분과 여름 심포지엄에서 우수포스터상을 수상하였으며 정연주 학생은 고감도 SERS 기반 코로나19 바이러스 검출 방법에 대한 발표로 대한화학회와 한국바이오칩학회 학술대회에서 3차례에 걸쳐 우수발표상을 수상하였다.

이러한 성과를 계승하여 2차년도에도 학생들의 학술대회 발표를 적극 독려하여 연구 성과를 확산하고, 발표력을 향상시킴과 동시에 인적교류를 통해 학생들이 연구자로서 성장할 수 있도록 많은 기회를 제공할 계획이다.

③ 참여대학원생 특허, 기술이전, 창업 실적의 우수성

2020년 9월 1일~2021년 8월 31일 기간 동안 총 5건의 특허를 출원하고, 1건의 특허를 등록하였다. 해당 실적들의 상세 내용은 아래와 같다.

[표II-30] 교육연구팀 참여교수 지도학생 중 대학원생 특허실적

연번	학위과정	이름	입학연월	실적구분	특허 실적 상세내용
1	석박통합	이다슬	2016.03	출원	발명자: 조은진, 이다슬, 비닛 쿠마르 소니 특허명: 트리플루오로메틸화된 하이드로퀴논 유도체 및 이의 제조 방법 출원국가: 대한민국 출원번호: 10-2020-0117450 출원연도: 2020
2	석박통합	이다슬	2016.03	출원	발명자: 조은진, 박태정, 이다슬, 비닛 쿠마르 소니 특허명: 트리플루오로메틸화된 하이드로퀴논 유도체를 포함하는 항균제 출원국가: 대한민국 출원번호: 10-2021-0021513 출원연도: 2021
3	석박통합	이다슬	2016.03	출원	발명자: 조은진, 박태정, 바닛 쿠마르 소니 특허명: 트리플루오로메틸화된 하이드로퀴논 유도체를 포함하는 항균제 출원국가: 대한민국 출원번호: PCT/KR2021/010236 출원연도: 2021
4	박사	송상근	2016.09	출원	발명자: 성재영, 김지현, 송상근, 김용록, 왕강균, 정승진 특허명: 대기 환경 하에서 기체의 생존 시간 및 확산 거리를 측정하는 방법 출원국가: 대한민국 출원번호: 10-2021-0042467 출원연도: 2021
5	박사	김민우	2017.09	출원	발명자: 박태정, 박종필, 김민우, 박찬영 특허명: 소 설사 바이러스 결합 펩타이드 및 이를 이용한 소 설사 바이러스 검출 키트 출원국가: 대한민국 출원번호: 10-2020-0142006 출원연도: 2020
6	석사	김동인	2017.03	등록	발명자: 조은진, 김동인, 탄매이채터지 특허명: 치환된 또는 비치환된 4-브로모-2-플루오로 퀴놀린 화합물, 이의 제조 방법 및 이를 포함하는 2,4 치환된 퀴놀린 화합물 등록국가: 대한민국
		박도담	2018.03		등록번호: 10-2242238 등록연도: 2021

(1) 대표실적 I

1) 발명자 : 박태정, 박종필, 김민우, 박찬영

김민우 군은 현재 박태정 교수 연구실 소속 박사과정 재학중이며, 박찬영 박사는 동 연구실에서 박사과정을 마치고 현재 박사후연구원으로 일하며 각종 나노입자 합성 및 바이오센서에 대한 연구를 진행하고 있다.

2) 특허명 : 소 설사 바이러스 결합 펩타이드 및 이를 이용한 소 설사 바이러스 검출 키트

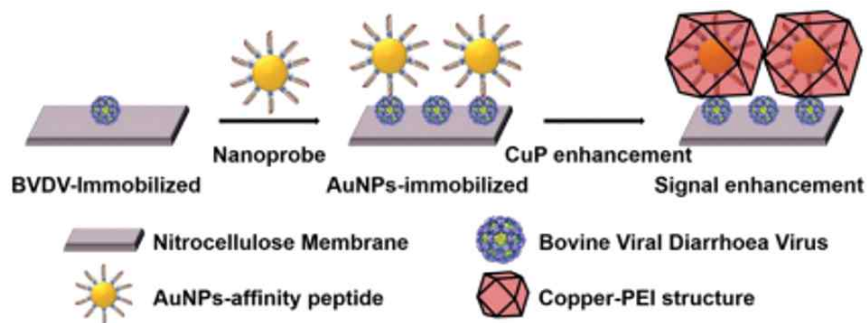
3) 출원국가 : 대한민국

4) 출원번호 : 10-2020-0142006

5) 출원연도 : 2020

6) 특허내용:

- 소 설사 바이러스 (Bovine Viral Diarrhea Virus, BVDV)는 플라비비리대(Flaviviridae)과의 페스티바이러스(Pestivirus)속에 속하며 돼지열병바이러스(CSFV)와 양의 보더병바이러스(BDV) 등이 이 바이러스에 포함된다. BVDV는 감염된 소에서 다른 소에게 전염되거나, 임신 중 감염시기에 따라 감염 모우로부터 태어난 송아지가 지속적으로 바이러스를 배출하여 다른 소에게 전염시키는 매개체(carrier)가 될 수 있다.



(그림설명) 본 발명에 따른 소 설사 바이러스의 검출의 기전을 나타낸 모식도. 특이결합 펩타이드는 소 설사 바이러스에 특이적으로 결합하는 것으로서, 금 나노 입자의 표면에 부착되었을 때, 시료에 소 설사 바이러스가 있는 경우 존재하는 소 설사 바이러스와 금 나노 입자 표면의 펩타이드가 결합하고, 구리-고분자물질과 반응하면서 금 나노 입자 구리 결정을 성장시켜 육안으로도 확인 가능하게 된다.

본 발명은 소 설사 바이러스인 Bovine Viral Diarrhea Virus (BVDV)를 펩타이드 리셉터를 이용하여 검출하는 펩타이드 서열 및 이를 이용한 검출 방법에 대한 특허로서 기술이전(양도)되었다. 펩타이드 및 이를 포함하는 소 설사 바이러스 검출 키트는 낮은 농도의 소 설사 바이러스에서도 특이적으로 결합할 수 있어, 이를 이용하여 높은 민감도로 소 설사 바이러스를 검출할 수 있다. 현재 이 특허 기술을 기반으로한 체외진단 기술을 활용하여 상용화 준비 중에 있다.

(2) 대표실적 2

1) 발명자 : 조은진, 김동인, 박도담, 탄매이채터지

2) 특허명 : 치환된 또는 비치환된 4-브로모-2-플루오로퀴놀린 화합물, 이의 제조 방법 및 이를 포함하는 2,4 치환된 퀴놀린 화합물

3) 등록국가 : 대한민국

4) 등록번호 : 10-2242238

5) 등록연도 : 2021

7) 특허등록내용:

본 발명은 대표적 기능성 헤테로사이클인 퀴놀린, 구체적으로 4-브로모-2-플루오로퀴놀린 화합물, 이의 제조 방법에 관한 것이다. 두 개의 다른 할로젠 Br과 F이 치환되어 있어 반응 조건에 따라 선택적으로 짝지움 반응을 유도해 복잡한 기능성 퀴놀린을 효율적으로 합성하는 데에 발명의 결과물을 효율적으로 이용할 수 있다.

4. 신진연구인력 현황 및 실적

(I) 신진연구인력 확보 현황

- 1차년도 연구에서는 본 교육연구팀에 3명의 연구전담교수 그리고 13명의 박사후연구원이 참여하고 있고 (참여교수 1인당 평균 2.0명 임용), 기본적으로 BK21 기준에 준하는 급여, 4대 보험, 논문 발표에 대한 인센티브가 공동으로 지급되었다. 참여 교수별 우수 신진연구인력 확보현황과 대표적 실적은 아래와 같다.

■ 4단계 BK21 사업시작 시점 신진연구인력 기 확보현황

[표II-31] 4단계 BK21 사업시작 시점 신진연구인력 기 확보현황

구분	이름	참여교수	기간	대표실적/주요경력
연구전담교수 (한국연구재단 세종 사이언스 펠로우)	박성준	성재영	20200901-20210831	- 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	20200901-20210831	- 대표논문: Choi et al., <i>Dyes Pigment</i>, 192 109394 (2021) - 중앙대 총장상 수상 - 특허 출원 16건 - BK21 연구교수
	형광 또는 비색 특성을 띠는 기능성 유기나노프로브를 이용해 중금속, 유해화합물과 같은 환경오염 물질 또는 생물학적으로 중요한 물질을 검출하는 연구와 효소 반응 속도 연구를 수행 중.			
박사 후 연구원	Anupam Das	주재범	20200901-202104	대표논문: 1) A. Das et al., <i>J. Raman Spectrosc.</i> 52, 506 (2021); 2) A. Das et al., <i>Biosens. Bioelectron.</i> 192, 113525 (2021)
	MOF 합성 기술을 이용하여 새로운 나노플라즈마닉 구조체를 합성한 후 이를 박테리아 고감도 센서 재료로 활용하여 고감도 진단을 구현하는 연구 수행. 2021년 5월 뉴욕주립대학 연구교수로 채용되었음.			
박사 후 연구원	Liyan Bi	주재범	20200901-202012	대표논문: 1) L. Bi et al., <i>Talanta</i>, 220, 121397 (2020); 2) L. Bi et al., <i>Nanoscale</i>, 12, 21560 (2020)
	SERS imaging 기술과 유방암 세포주를 이용한 형광 기반 assay 기술과는 차별화된 SERS-based high throughput drug screening 기술을 개발하였음. 2020년 12월 원래 소속기관인 중국 Binzhou Medical School로 복귀하였음.			
박사 후 연구원	최남현	주재범	20200901-20210831	대표논문: 1) N. Choi et al. <i>Biosens. Bioelectron.</i> 167, 112496 (2020); 2) N. Choi et al., <i>ACS Sensors</i>, 6, 2378 (2021)
	미세유체 칩 개발에 관한 전문성 보유. 최근 사회적 문제가 되고 있는 코로나 바이러스 유전자 마커를 초고속 다중 진단할 수 있는 광학 미세유동 센서를 연구를 수행하였음. 2021년 9월 독일 Duisburg-Essen대학에 Post-doc으로 채용되었음. (연구재단 해외 포스트닥 선정)			
박사 후 연구원	Bhargav Krishna Pullagure	주재범	202104-현재	대표논문: 1) B. K. Pullagure et al., <i>Langmuir</i>, 36, 1227 (2020) 2) <i>Colloids & Surface A</i> 608, 125586 (2021)
	B. K. Pullagure 박사는 2020년 Indian Institute of Technology (IIT) Bombay 화학공학과에서 박사 학위를 받고 2021년 4월 본 사업팀에 합류하였음. 코로나19 진단용 optical microfluidic sensor에 관한 연구를 수행할 예정임.			

박사 후 연구원	Vinothkumar Ganesan	윤성호	20200901-현재	• 대표논문: 1) Ganesan et al., <i>Inorg. Chem.</i> , 59 , 2881 (2020)
	에폭사이드 카보닐화 반응을 통한 락톤화합물 생산 반응을 위한 Co 함유 유기금속촉매를 개발과 Friedel-Craft alkylation 비균질화 촉매로 전환하는 연구 수행.			
박사 후 연구원	Jiang Jianwei	윤성호	20200901-현재	• “Carbon to X” 연구단 100kg/일 포름산 Demo-Pilot 설치 집도중
	다공성 구리산화물 나노물질 연구 수행. 이를 이용한 수소화 환원 촉매 반응 연구. 나이트로 화합물을 아민 종으로 전환하는 연구 수행.			
박사 후 연구원	양난희	윤성호	20200901-현재	• 소부장 연구과제에서 초발수성 코팅막 형성 관련 Si 소재 개발
	발광효율이 우수한 나노군집체 형성 과정 연구 및 이를 통한 폐암 진단 바이오센서 개발			
연구전담교수	Jyotiranjana Bal	박태정	20200901-현재	• 대표논문: 1) Bal et al., <i>Microb. Cell Fact.</i> , 17 , 146 (2018); 2) Bal et al., <i>Microb. Cell Fact.</i> , 17 , 24 (2018)
	재조합세포 제작 및 유전자 재조합을 활용한 단백질 발현 및 고등세포 배양을 통한 독성연구 수행.			
박사 후 연구원	Jigna R. Bhamore	박태정	20200901-현재	• 대표논문: Bhamore et al., <i>Sens. Actuat. B-Chem.</i> , 277 , 47 (2018)
	나노입자의 표면 기능화를 활용한 중금속, 농약 검출 센서 개발 연구 수행.			
박사 후 연구원	백승훈	박태정	20200901-현재	• 대표논문: Baek et al., <i>Biosens. Bioelectron.</i> 123 , 223 (2019) • 학술대회 우수상 4회 수상/특허 출원 4건, 기술이전 1건
	나노-바이오 하이브리드 물질을 합성하고 이를 전기화학센서 혹은 광학 센서로 활용하는 연구 개발 수행.			
연구전담교수	Milan Bera	조은진	202012.01-현재	• 대표논문: M. Bera et. al., <i>Trends in Chemistry</i> , in Press (2021)
	합성기술과 광반응의 배경지식을 활용하여 새로운 광촉매를 개발하고 이를 이용하는 광 유기반응 개발 연구를 수행하고 있음.			
박사 후 연구원	Ujjwal Karmakar	조은진	20210701-현재	• IIT-Kharagpur 박사 학위 취득 (2020.11)
	전기금속 촉매를 활용하는 합성기술과 배경지식을 활용하여 새로운 니켈 촉매 시스템을 개발하고 이를 이용하는 유기반응 개발 연구를 수행하고 있음.			
박사 후 연구원	김영혁	박태정	20200901-현재	
	소 설사병 바이러스 신속 진단 기술 개발			
박사 후 연구원	박찬영	박태정	20200901-현재	• 대표논문: 1) Park et al., <i>Biosens. Bioelectron.</i> 1671 112519 (2020) 2) Kim et al., <i>ACS Appl. Mater. Interfaces</i> , 13 , 36697 (2021)
	기존 관리 해양생물독소 신속검출 시험법 개발 연구			

■ 4단계 BK21 1차년도 사업기간 중 신규 확보된 신진연구인력 현황

[표II-32] 4단계 BK21 1차년도 사업기간 중 신규 확보된 신진연구인력 현황

구분	이름	참여교수	기간	대표경력 (직전 근무지)
박사 후 연구원	Bhargav Krishna Pullagure	주재범	20210401-현재	2020년 Indian Institute of Technology (IIT) Bombay 화학공 학과에서 박사학위 취득

(2) 우수 신진연구인력 지원 계획 대비 실적

■ 신진연구인력 사회진출 실적

[표II-33] 신진연구인력 사회진출 실적

이름	지도교수	사업단 근무기간	진출기관	직급 및 업무
김진한	성재영	202009-202108	(주) 노블젠	최고연구원/이사 (CTO) • 코로나19 백신/치료제 개발 연구 관리 및 일반 항 바이 러스제 연구 관리
Anupam Das	주재범	202009-202105	미국 뉴욕주립대학	연구교수 • 항생제내성 또는 매개질환 감염성 박테리아와 같은 환 경 유해성 물질 검출용 광학 센서 개발
최남현	주재범	202009-202108	독일 Duisburg-Essen 대학	박사 후 연구원 (한국연구재단 국외 포스트닥 지원 프로그램 선정) • 유방암 현장진단용 SERS 기 반 lateral flow assay (LFA) strip 개발

- 최남현 박사는 지난 1년간 감염성 질환 진단에 필요한 다양한 바이오센서 개발에 관한 연구를 성공적으로 수행하여 Biosens. Bioelectron., Adv. Func. Mater., Anal. Chem., ACS Sensors 등 6편의 SCI 논문을 발표하였으며 이를 기반으로 한국연구재단 국외 포스트닥 지원 프로그램에 선정되어 독일 Duisburg-Essen대학에 Post-doc으로 채용되었음.
- Anupam Das 박사는 MOF 기반의 새로운 나노플라즈모닉 프로브를 개발하였고 이를 이용하여 다양한 매개 감염성 질환의 IgG/IgM 항체 진단 센서를 개발하여 그 결과를 Biosens. Bioelectron., J. Raman Spectrosc. 등에 발표하였고 2021년 5월 뉴욕주립대학 연구교수로 채용되었음.

■ 국제적 수준의 박사 후 연수 프로그램 개발

- **계획:** 4단계 BK21 사업기간동안 생물리광화학 분야에 연구경쟁력을 확보하고 있는 참여교수들과 관련 국내외 선도연구기관과의 공동연구 네트워크를 적극 활용하여 세계적 수준의 경쟁력을 가진 박사 후 연수 연구프로그램들을 개발
- **실적:** 신진연구인력들이 세계 최고 수준의 박사 후 연수 경험을 쌓을 수 있는 기회를 제공을 위하여 국내외 생물리광화학 선도 연구기관들과 공동연구를 추진하는 과정에서 신진연구인력들을 이들 선도 연구기관에 파견시켜 공동연구를 수행

[표II-34] 본 교육연구팀 소속 우수 신진연구인력 파견 공동연구 현황

이름	지도교수	파견 기관	내용
Sudakar Padmanaban	윤성호	C1 가스 리파이너리 사업 연구실 (서울대학교 이윤호 교수 연구팀)	- CO 활용 이소시아네이트 직접 생산 촉매 개발 연구 협력 2021년 이윤호교수와 공동으로 논문 게재 (<i>Journal of Industrial Engineering Chemistry</i> 2021, 361)
최남현	주재범	생명공학연구원 바이오나노연구센터 (강태준 박사 연구팀)	- BSL-3 연구실에서 SARS-CoV-2 lysate 제조 기술 습득 - SARS-CoV-2 나노플라즈모닉 진단센서 공동 개발 및 논문 게재 (<i>ACS Sensors</i>, 2021, 6, 2378)

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

- 계획: 본 생물리광화학 교육연구팀의 연구 프로그램을 본 대학에 소재한 생물리광화학 분야 국책 연구소인 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 극대화할 계획이다.
- 실적: 우수 신진연구인력을 본교 생물리광화학 국책연구소에 겸직시켜 BK21 사업 예산으로 부족한 인건비를 추가지원 함으로써 우수 신진연구인력들을 확보하고 지원하고 있다.

[표II-35] 교육연구팀-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 - 연간 6천만원
박사 후 연구원	최남현	주재범	나노-광 융합 바이오의료 진단 선도연구센터	- SARS-CoV-2 진단용 광학 센서 개발 - 연간 5천만원
박사 후 연구원	Anupam Das	주재범	나노-광 융합 바이오의료 진단 선도연구센터	- MOF 기반 고감도 나노센싱 소재 및 검출 기술 개발 - 연간 3천5백만원
박사 후 연구원	Bhargav Krishna Pullagure	주재범	나노-광 융합 바이오의료 진단 선도연구센터	- 감염성 질환 진단용 microfluidic sensor 개발 - 연간 3천5백만원
박사 후 연구원	양난희	윤성호	Carbon to X 연구단	- 이산화탄소 수소화 촉매를 성형촉매화 하기 위한 표면개질 연구 - 연간 4천만원
박사 후 연구원	Jiang Jianwei	윤성호	Carbon to X 연구단	- 이산화탄소 수소화 촉매를 담체 개발 - 연간 4천5백만원

박사 후 연구원	Vinothkumar Ganesan	윤성호	C1 가스 리파이너리 사업단	- 폐플라스틱 전환 생분해성 고분자 단위체 생산 촉매 기술 개발 - 연간 4천5백만원
----------	------------------------	-----	-----------------------	--

■ **참여 교수들이 수행하는 다양한 연구개발과제를 통한 추가지원**

- 본 교육연구팀 참여교수들은 사업 계획에 따라 한국연구재단, 중견연구과제, 과학기술부, 보건복지부, 산업통상자원부, 농림축산식품부, 농촌진흥청 등으로부터 지원받은 정부과제와 생명/에너지 분야에서 관련 기업체들로부터 수주받은 산학협동 과제들로부터 BK21 신진연구인력 지원 인건비 이외에 추가 인건비와 연구활동비를 지급하여 참여 신진연구인력에게 안정적인 생활과 학술 활동을 지원하고 있다.

■ **신진연구인력 생활 지원 프로그램 개발**

- 국제적 수준의 신진연구인력 및 생활 지원 프로그램을 마련함으로써 본 교육연구팀의 박사 후 연구원 생활지원 브랜드 가치도 함께 높일 계획이다. 개발된 신진연구인력 생활지원 프로그램을 연구개발 프로그램과 함께 국내외 우수대학 및 연구기관에 적극적으로 홍보하여 우수 신진연구인력을 확보하여 지원할 계획이다.
- 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 운영한다.
- 문화 프로그램 참여지원 사업:** 본교는 ‘문화예술아카데미’와 ‘LUCAS 축제’ 등 문화예술계 학과들의 각종 행사가 다수 시행되고 있다. 본 사업추진 기간 동안 본 교육연구팀은 연구원들에게 본교 주최 문화행사는 물론 서울시에서 제공하는 우수 문화행사들을 정기적으로 안내하고 참여를 권장 및 지원할 계획이다. 이 사업을 통해 신진인력들이 연수과정 중 받을 수 있는 스트레스들을 효과적으로 이완시키고 심리적 건강과 행복을 유지하며 연수과정을 성공적으로 마칠 수 있는 가능성을 높일 수 있을 것으로 기대된다.
- 신진인력 생활 상담 프로그램 운영:** 중앙대학교는 연구원들이 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 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 지도교수와 상담으로도 문제를 해결하지 못하는 경우 이와 같은 상담 프로그램을 활용할 계획이다.

■ **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 일정부분 지원할 계획이었으나 전세계적인 코로나 팬데믹으로 추진된 실적은 아직 없다.
- 신진연구인력 연구비 수주 지원: 본 사업팀 신진연구인력들이 정부의 연구지원 사업을 수주하는 경험을 쌓을 수 있도록 정보를 제공하고 지원을 독려할 것이다. 한국연구재단의 ‘창의·도전연구기반지원’ 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 수주를 달성하였다.

[표II-36] 본 교육연구팀 소속 우수 신진연구인력 연구비 수주 실적

이름	지도교수	연구비	내용
박성준	성재영	연간 1억	• 2021~2026 한국연구재단 세종사이언스 펠로우 지원 사업 수주
최남현	주재범	1억2천	• 2021-2024 한국연구재단 국외 포스트닥 지원 프로그램 선정 (독일)

- 산학협력 연구 기회 제공: 본 교육연구팀의 참여교수와 더불어 신진연구인력은 생명 및 에너지 분야 산업계 전문가와 산업·사회문제 해결을 위한 협의체를 공동으로 구성하고 문제 해결방안 도출을 위한 전주기적 협력연구에 참여했다. 이를 통하여 신진연구인력의 취업 및 인적 네트워크 확장을 돕고 있으며 현재 본 교육연구팀과 협력관계를 맺고 있어 신진연구인력들이 산학협력 연구 경험을 제공할 수 있는 협력 기관들은 다음과 같다.

[표II-37] 본 교육연구팀 신진연구인력 산학협력 연구

연구 내용 및 지원기관	산학협력기관	연구 내용
현장에서 감염병을 신속하고 정확하게 진단할 수 있는 현장 진단 시스템 개발 (보건복지부 범부처 감염병 질환 극복 사업단)	중앙대(주관)	감염성질환을 진단할 수 있는 나노플라즈모닉 분석 기술 개발
	삼성서울병원 중앙대학교 병원	IRB 승인 후 식약청 인허가를 받기 위한 임상 시험 수행
	(주)SG메디칼	광시스템과 통합될 수 있는 진단키트 개발 및 상용화를 위한 GMP 시설 확보
	나노스코프 시스템즈(주)	현장진단용 소형 광학 측정 시스템 개발 및 의료기기 인허가현장진단용 소형 광학 측정 시스템 개발 및 의료기기 인허가
비혈액기반 대사증후군 모니터링용 마이크로니들 패치 개발 (산업통상자원부)	중앙대	혈당 및 대사질환 센서
	광운대	마이크로 니들 개발
	(주)원바이오젠	패치소재 및 접착 관련 연구
	오송첨단의료산업 진흥재단	개발된 센서의 체내 유효성 평가를 위한 동물실험 및 각종 공인인증성적서 관련 업무
에폭사이드 화학종에 카보닐화를 통하여 락톤계 화학종을 합성하는 촉매 및 공정 (미래과학기술부)	중앙대(주관)	베타 락톤계 화학종의 ring-opening polymerization을 통하여 해양에서 분해되는 생분해성 고분자물질인 PHB (polyhydroxybutylate)를 이용한 포장재 개발
	LG 화학	
	롯데케미칼 및 롯데이네오스화학	
은나노입자 기반의 LED 청색광 차폐막 개발	중앙대(주관)	LED의 Blue Light를 차폐하는 확산판을 TiO ₂ 및 은 나노입자를 이용하여 PS 기판을 이용하여 구현
	(주)동양전기산업	

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

■ 차별화된 신진연구인력 지원 제도 현황

- 중앙대학교는 본 교육연구팀 소속 연구교수 중 우수한 연구 성과를 거두어 내교 중앙대학교 세포 화학동력학 창의연구단 발족에 크게 기여한 우수 연구교수 1명을 2016년 창의연구단 소속 연구전임 교원(조교수)으로 승진 임용하고 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 (일인당 최대 1500만원)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 지원 제도 신설

- **시니어 연구 스태프 제도 신설:** 교육연구팀 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) 제도”를 마련하여 운영 중이다.
- **우수 신진연구인력 포상 제도 신설:** 매년 심사를 거쳐 훌륭한 연구 성과를 거두어 낸 교육연구팀 소속 신진연구인력에게 상패와 학술대회 참가비를 지원을 포함하는 인센티브 지원 제도를 신설하여 운영할 계획이다.

■ 우수 BK21 신진연구인력 지원 실적

- 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 사업팀 연구원들도 2021년에 처음 시행되는 이 CAU GPF 혜택을 받기 위해 지원한 상태이다. (접수 마감: 2021. 07. 26.). 이 사업에 선정된 연구원들은 2년간 매년 미화 2만불 상당의 박사 후 연수 비용을 지원받게 된다.

(4) 신진연구인력 개인 맞춤형 지원

계획:

본 교육연구팀은 사업 기간동안 우수한 신진연구인력들이 연구능력을 최대한 발휘할 수 있도록 개인별 맞춤형 연구 활동을 지원할 계획이다.

- 예를 들어 세포화학동력학을 개발하여 유전자발현을 지배하는 화학요동법칙을 2018년 Nature Communications에 주저자로 발표한 본 교육연구팀 박성준 박사의 경우, 현재 화학적 환경 변화에 따른 세포 내 신호전달 동력학 변화 실험 데이터를 분석하고 이를 정량적으로 설명할 수 있는 세포 반응 네트워크 모델을 수립하는 이론적 연구를 수행하고 있는데, BK21 사업기간 동안 이와 직접적으로 관련된 연구를 수행하는 해외 선도 실험연구 그룹들 (James Collins, Massachusetts Institute of Technology; Michael Elowitz, Caltech; Savas Tay, University of Chicago) 중 한 그룹을 방문하여 공동연구를 수행할 수 기회를 제공할 계획이다.
- 현재 한국연구재단 리서치 펠로우 사업을 수행하고 있는 김진한 박사는 현재 단백질 활성화를 일으키는 세포 내 단백질 인산화 반응 과정을 모니터링할 수 있는 새로운 실험 방법 개발과 더불어 코로나19 신약 개발 연구를 추진하고 있다. 김진한 박사가 우수한 연구성과를 거두어 낼 경우 미래에 대한 불안을 덜고 안정적으로 연구에 매진할 수 있도록 “시니어 연구 스태프” 승진시키고 BK21 공동기기실에 별도의 실험 공간을 마련하여 제공하고 공동기기실의 다양한 연구 인프라를 김진한 박사가 관리하면서 사용하도록 하여 김진한 박사의 실험 연구를 효과적으로 지원할 계획이다.

실적:

- 박성준 박사 해외연수 지원 계획은 코로나 상황으로 이루어지지 못했다. 그러나, 박성준 박사에게

대한 맞춤형 연구주제 도출을 통해 2021년 3월 한국연구재단의 세종 사이언스 펠로우로 선정이 되었다. 이 과제를 통해 박성준 박사는 향후 6년 동안 매년 1억원의 연구비를 수혜 받으며 SARS-CoV-2 Virus의 세포침투 동력학과 사람간 전이 동력학을 연구하게 된다. 해당 연구비 중 6천 만원의 인건비를 받고 있고 2명 분의 자녀 수당까지 추가로 받게 되었다. 현재는 서울대학교 이론물리센터의 최무영 교수 연구팀을 매 주 2회 이상 방문하며 공동연구를 수행하고 있다.

- 김진한 박사는 본 연구단의 맞춤형 연구활동 지원을 받아 코로나19 백신 및 신약 개발 연구를 추진하던 중 연구성과에 관심을 보이는 벤처 회사 (주) 노블젠의 최고연구원 이사직 (CTO)을 받아 이직하였다.
- 최남현 박사는 지난 1년간 감염성 질환 진단에 필요한 다양한 바이오센서 개발에 관한 연구를 성공적으로 수행하여 Biosens. Bioelectron., Adv. Func. Mater., Anal. Chem., ACS Sensors 등 6 편의 SCI 논문을 발표하였으며 이를 기반으로 한국연구재단 국외 포스트닥 지원 프로그램에 선정되어 독일 Duisburg-Essen대학에 Post-doc으로 채용되었다.
- Anupam Das 박사는 MOF 기반의 새로운 나노플라즈모닉 프로브를 개발하였고 이를 이용하여 다양한 매개 감염성 질환의 IgG/IgM 항체 진단용 센서를 개발하여 그 결과를 Biosens. Bioelectron., J. Raman Spectrosc. 등에 발표하였고 2021년 5월 뉴욕주립대학 연구교수로 채용되었다.
- 과제 수행 기간 동안 교환 교수로 근무하였던 Liyan Bi 교수는 유방암 세포주를 이용한 SERS-based high throughput screening에 관한 연구를 수행하였으며 Nanoscale과 Tantara에 그 연구 결과를 발표하였음. 2020년 12월 원래 소속기관인 중국 Binzhou Medical School로 복귀하였다.

5. 참여교수의 교육역량 대표실적

참여교수의 교육역량 대표실적은 아래의 표와 같다.

[표II-38] 참여교수의 교육역량 대표실적

연번	참여교수명	연구자등록번호	세부전공분야	대학원 교육관련 대표실적물	DOI번호/ISBN/ 인터넷 주소 등
참여교수의 교육관련 대표실적의 우수성					
1	주재범	██████████	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, 2021) 저서에서 “Surface-enhanced Raman spectroscopy-based microfluidic devices for <i>in vitro</i> 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.				
2	윤성호	██████████	무기화학	Book Chapter	978-0-12-817561-3
	Emerging Carbon Materials for Catalysis는 촉매에 대한 유용성에 중점을 두고 다양한 탄소 기반 재료를 다룬 책으로 이란의 촉매분야 저명한 학자인 Prof. Samahe Sadjadi가 편집하여 출판한 Elsevier, 2020 저서이다. 각 장은 탄소 재료로 구성된 하이브리드 시스템을 포함하여 재료의 광, 화학 및 전기 촉매 응용을 다루었으며 이산화탄소 전환 유용자원 생산 비균질계 촉매의 최근 동향을 Chapter 1장에 “New aspects of covalent triazine frameworks in heterogeneous catalysis” 저술하였으며 향후 무기 및 탄소중립 대학원 과목의 교육자료로 활용될 수 있기를 기대한다.				

3	윤성호		무기화학	Book Chapter	978-3-527-34663-9
	이 책은 이산화탄소의 전기환원을 탐구하고 포름산과 메탄올로부터 수소 생산에 대한 개요를 담고 있다. 미래의 CO ₂ 수소화 연구의 발전과 도전에 대한 실용적인 검토와 함께 이 책은 촉매, 유기금속 화학, 친환경 및 지속 가능한 화학, 에너지 변환 및 저장 분야에서 일하는 학계 및 산업 연구원에게 중요한 지침을 제공하고 있다. 이 책은 촉매분야 저명한 학자인 일본 AIST Dr. Hemeda가 편집하여 출판한 Wiley, 2021 저서이다. 윤성호교수는 이 책에서 Chapter 9장에 Heterogeneously Catalyzed CO ₂ Hydrogenation to Formic Acid/Formate를 저술하였으며 향후 무기 및 탄소중립 대학원 과목의 교육자료로 활용될 수 있기를 기대한다.				
4	박태정		생화학	Book Chapter	978-0-128-22842-5
	이 책(Upconversion Nanophosphors)은 상향변환 나노물질에 대해 기술한 내용으로서 이론적 배경과 이를 활용한 각종 응용사례 및 개선 방법에 대해 기술하고 있다. 상향변환 나노입자와 그 응용분야에 대한 상세한 정보를 제공하고 있으며 상승 작용을 보이는 무기 인광 물질의 적용과 관련된 혁신적인 아이디어를 만들어 내는 지침서로서 활용될 수 있다. 이 책은 나노물질합성 및 응용분야 저명한 학자인 Sabu Thomas 등 4인이 편집하여 출판한 Elsevier 2021 저서이다. 박태정 교수는 이 책에서 Chapter 13장에 “Upconversion luminescence nanomaterials for biomedical applications”를 저술하였으며 향후 바이오이미징 및 약물전달시스템에 대한 대학원 과목의 교육자료로 활용될 수 있기를 기대한다.				
5	성재영		물리화학	인공지능응용화학 교과목 개발	https://eclass3.cau.ac.kr/courses/58562
	최근 인공지능의 화학적 응용에 대한 과학, 기술, 사회적 수요가 높아짐에 따라 본교 화학과 대학원생들이 이 분야에 대한 기본적인 이해와 응용 능력을 갖출 수 있도록 본 교과목을 개발하였다. 이 강의는 두 부분으로 나뉘어 개발되었는데 전반부는 인공지능 및 기계학습의 기본적인 개념과 해당분야에서 주로 사용되는 파이썬 언어에 관한 것이고 후반부는 인공지능을 응용한 화학적 응용 사례를 소개하고 실습하는 부분으로 나뉘어져 있다. 전반 부는 인공지능 분야 국제 선도 기관 중 하나인 Technical University-Darmstadt Human Resources Department에 박사과정으로 재학 중인 Luke Bates가 해당 과목의 조교로서 온라인으로 강연과 실습에 모두 참여할 예정이다. 후반부는 세포화학동력학 창의연구단 전임 교수인 김지현 교수가 인공지능을 응용한 신약 디자인이나 신물질 디자인 예를 소개하고 더 나아가 대학원생들이 직접 빅데이터 분석을 통한 연구를 체험하고 수행할 기회를 제공할 예정이다.				

6. 교육의 국제화 전략

① 교육 프로그램의 국제화 현황 및 계획

(1) 외국 연구소 및 대학과의 인적 교류 현황 및 계획

■ 해외 선도 연구자 초청 강연

- ▷ **현황:** 코로나로 인해 해외 선도 연구자 초빙 강연 프로그램의 정상적 운영이 어려웠다. 그러나 온라인 회의를 통해 해외 선도 연구자 초청 강연을 제한적으로 운영하였다.

[표II-39] 최근 1년 중앙대학교 대학원 화학과 해외 선도 연구자 초청강연 현황

날짜	이름	소속	강연 제목
20210219	Peng Chen	Cornell University	Single-molecule polymerization dynamics

- ▷ **계획:** 차년도부터 해외 석학 연구자들의 온라인 강연과 워크숍을 활성화 할 계획이다.

[표II-40] 중앙대학교 대학원 화학과 해외 선도 연구자 초청강연 계획

날짜	이름	소속	강연 제목
20211004	Olga Dudko	UCSD	Chromosome dynamics near the sol-gel phase transition

■ **대학원생 해외대학 방문교육 프로그램 현황:** 사업 시작 후 최근 1년간은 전 세계적인 코로나19 창궐로 대학원생 해외대학 방문 교육 프로그램을 정상적으로 운영할 수 없었다.

■ **해외 대학과 인적교류 현황 및 계획:** 해외여행이 정상화되면 본 교육연구팀 참여교수들의 해외 인적 네트워크를 활용하여 대학원생들 및 신진연구인력에게 해외 우수 연구기관 방문 및 교류 기회를 제공하고자 한다. 대표적 추진계획은 아래와 같다.

[표II-41] 우수 해외대학과 인적교류 계획

해외기관	해외연구자	교류형태	교류내용/교육 프로그램 내용
코넬대학	Peng Chen	대학원생 방문	나노촉매 반응 동력학과 단일 고분자 반응동력학 공동연구를 위한 해외 석학 연구실 방문

■ **우수외국인 학생 유치 현황 및 계획**

- **우수 외국인 대학원생 장학금 프로그램 (CAYSS) 운영:** 최근 중앙대학교 CAYSS (Chung-Ang University Young Scientist Scholarship) 장학금 제도를 적극 활용하여 화학과 대학원 내 외국인 대학원생을 지원하고 있다.
- **대학원 영어강좌 개설 현황:** 외국인 대학원생 수가 늘어남에 따라 대학원 영어강의 비율을 높여 2018년에는 본 교육연구팀 소속 교원들이 개설하는 모든 대학원 강의를 외국어강의로 개설한 바 있다. 하지만, 100% 영어강의로 진행했을 때 학생들의 강의 이해도가 낮아지는 문제점이 제기되어, 이 문제를 개선하기 위해 2019년부터 외국인 학생 등록이 없는 대학원 강의의 경우 대학원 교과목 강의를 국어 강의로 진행할 수 있도록 교과 운영을 개선하였다.
- **외국어 학위논문 현황:** 본 교육연구팀은 소속 대학원생들의 학위논문을 100% 영문으로 작성하도록 하고 있으며 앞으로도 계속 교육연구팀 소속 학위논문을 영어로 작성할 계획이다.

[표II-42] 최근 1년간 중앙대학교 대학원 화학과 외국인 학생, 외국어 강의 및 학위논문 현황

항목	구분	최근 1년간 실적		전체기간 실적
		2020년 9월~2020년 12월	2021년 1월~2021년 8월	
CAYSS 장학금 수혜 외국인 학생수	입학생수	2	1	3
	재학생수	14	16	30
참여교수 외국어 강의 비율	외국어 강의 수	4	3	7
	비율 (%)	100%	60%	77.7%
외국어 학위논문 비율	외국어 작성 학위논문 수	4	3	7
	학위논문 수	4	3	7
	비율 (%)	100%	100%	100%
해외학회 참여 횟수		8	6	14

- **대학원생 해외 학술대회 참가 현황 및 계획:** 코로나 상황으로 인해 지난 1년간 사업단 대학원생 학술대회 참가가 정상적으로 이루어지지 못했다. 그러나 해외여행이 안전해 지고 나면 대학원생 해외 학술대회 참가를 확대할 계획이다.

(2) 외국인 교수 교육관련 활동

■ **외국인 강좌 개설 현황:** 사업 개시 후 최근 1년간 외국인 강좌 개설은 없었다.

■ **외국인 대학원 강좌 운영계획:** 2021년 2학기 개설되는 생물리광화학 세부전공 인공지능융용화학을 인공지능 및 기계학습 분야 선도 연구기관 중 하나인 독일 Technical University-Darmstate의 Luke Bates 연구원이 김지현 교수와 팀티칭(team teaching)으로 운영할 계획이다. Luke Bate 연구원의 강의는 총 8주간 영어강의로 진행될 예정이다.

② 참여대학원생 국제공동연구 현황과 계획

(1) 대학원생 해외연구실 공동연구 현황 및 계획

■ **대학원생의 해외연구실 방문 공동연구 수행 현황:** 사업시작 기간 동안 코로나19로 인해 해외로 학생들이 해외연구실 방문 공동연구를 수행할 수 없었다.

■ 대학원생 해외연구실 방문 공동연구 수행 계획

- 4단계 BK21 사업의 지원을 통해 대학원생 해외 우수 연구실 파견을 통한 국제공동연구를 더욱 활성화할 것이다. 이를 통해 본 교육연구팀의 국제공동연구 네트워크와 경쟁력을 확장하고 국제공동연구 경험을 가진 생물리광화학 분야 전문연구 인력을 양성할 수 있을 것으로 기대된다.

[표II-43] 해외연구실 대학원생 방문 공동연구 수행 계획

국의 공동연구자	상대국/소속기관	국제 공동연구 내용
Hyokeun Park	홍콩 과학기술대	세포 내 지방체 형성-소멸 반응과 물리적 거동 역학 공동연구

(2) 대학원생 해외연수 현황 및 계획

■ **대학원생의 해외연수 현황:** 사업시작 기간 동안 코로나19로 인해 해외여행이 위협해져 대학원생 해외 연수는 이루어지지 않았다.

■ 대학원생의 해외연수 계획

- 홍콩과학기술대학-중앙대학교 대학원 공식적 협력관계 구축을 통한 대학원생 해외연수 계획:** 4단계 BK21 사업기간 내에 본 교육연구팀이 주도적인 역할을 하여 생물리광화학 분야 선도연구기관 중 하나인 홍콩과학기술대학과 중앙대학교간 공식적 협력 관계를 구축할 예정이다. 이를 통해 본 교육연구팀과 홍콩과학기술대학 내 생물리광화학 관련 연구자들 간 공동연구들을 활성화 하고, 강의학점 및 연구학점 상호 인정을 통한 교환학생 제도를 구축하고 우수 대학원생을 선발하여 홍콩과학기술대학에서 제공하는 대학원생 연수 프로그램에 참가할 수 있는 기회를 제공할 계획이다.
- 기타 장단기 대학원생 해외연수 지원 계획:** 4단계 BK21 사업기간 동안 우수한 연구 성과를 거둔 대학원생들을 선발하여 생물리광화학 분야 각종 장단기 해외연수 프로그램에 참가할 수 있는 기회와 우수 해외 대학 및 연구소를 방문하여 연수를 받을 수 있는 기회를 제공하고 지원할 계획이다.
- 대학원생 해외연수 지원을 위한 학사제도 마련:** 본 교육연구팀의 지원을 받아 해외 대학과 연구기관에 대학원생들이 일정기간 이상 파견되어 공동연구를 수행하거나 해외연수를 받은 경우 연구학점을 인정하는 학사제도를 마련하여 대학원생들의 해외연수를 제도적으로 지원할 계획이다.
- 단기 해외연수 지원:** 해외의 우수 기관에서 Summer/Winter school과 같은 단기 프로그램을 통한 교육의 기회를 제공하고 있다. 본 교육연구팀에서는 우수한 연구결과를 도출한 대학원생들에 대하여 해외기관 파견교육(단기 해외연수)에 대한 경비 지원을 통해, 대학원생들이 최신 연구 기법에 대한 교육을 받고 선도적인 연구를 수행할 수 있는 연구 역량을 배양할 수 있는 기회를 제공하고 자 한다.

□ 연구역량 대표 우수성과

중앙대학교 생물이공화학 창의인재양성 사업팀은 2020.9~2021.8 동안 목표했던 연구역량 강화 사업을 충실히 수행하였다.

1. 최근 1년간 참여교수 6명이 발표한 총 논문편수는 61편, 영향력지수 총합은 483.376이며 참여교수 1인당 논문 환산 편수와 환산보정 IF, 환산보정 ES는 각각 3.6934, 2.9314과 5.8386으로 사업 시작 당시값들 (2.945, 2.227, 4.463)에 비해 각각 25%, 31%, 30% 증가했다. 최근 1년 동안 본 사업팀 참여교수 대표 우수 논문 성과, 특허실적, 연구비 수주실적을 여기에 요약하고 이에 대한 자세한 설명은 아래에 상설하였다.

■ 참여교수 대표 논문 실적

- J. Kang, S. J. Park, J.-H. Kim, P. Chen, J. Sung, “Stochastic kinetics of nanocatalytic systems”, *Physical. Review Letters* **126**, 126001 (2021).
- 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).
- L. T. M. Huynh, H. D. Trinh, S. Lee, S. Yoon, “Plasmon-driven protodeboronation reactions in nanogaps”, *Nanoscale* **12**(47), 24062-24069 (2020).
- 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).
- N. Iqbal, D. S. Lee, H. Jung, E. J. Cho, “Synergistic Effects of boron and oxygen interaction enabling nickel-catalyzed exogenous base-free stereoselective arylvinylolation of alkynes through vinyl transposition”, *ACS Catalysis* **11**(9), 5017-5025 (2021).
- S. Padmanaban, G. H. Gunasekar, S. Yoon, “Direct heterogenization of the Ru-macho catalyst for the chemoselective hydrogenation of α , β -unsaturated carbonyl compounds”, *Inorganic Chemistry* **60**(10), 6881-6888 (2021).

위의 참여교수 대표논문실적의 평균 IF 값과 평균 ES값은 각각 11.214, 0.19877이다.

■ 참여교수 대표 특허 등록 실적

최근 1년간 특허는 총 16개가 출원되었고 5개가 등록되었다. 이 중 대표특허 등록 실적은 다음과 같다.

- 박태정, 김종길, “덴기바이러스 혈청형 1 또는 3의 검출을 위한 등온고리매개 증폭 프라이머 세트 및 이의 용도” 특허등록 번호 10-2173154 (2020)
- 조은진, 김동인, 박도담, 탄매이채터지, “치환된 또는 비치환된 4-브로모-2-플루오로퀴놀린 화합물, 이의 제조 방법 및 이를 포함하는 2,4 치환된 퀴놀린 화합물” 특허등록번호: 10-2242238 (2021)
- 최기봉, 최남현, 전진혁, 주재범, “드롭렛 마이크로플루이딕 디바이스, 이를 이용한 표면증강라만 동시 측정시스템 및 이의 방법, 특허등록번호: 10-2283315 (2021)

■ 최근 1년간 참여교수 대표 연구비 수주실적

지난 1년간 참여교수가 신규 수주한 정부 연구비 총액은 53.1 억원으로 4단계 BK21사업 시작시점 연

간 연구비 19.4억에 비해 약 170% 증가한 액수이다. 이 같은 큰 증가는 일시적인 것으로 다음과 같은 대형 정부 연구비 연구사업 수주에 의한 것이다.

- 주재범 (단장), 성재영, 윤상운, 윤성호:

한국연구재단 나노-광 융합 바이오의료 진단 ERC 연구센터 사업 (사업비 연간 19.6억원)

- 윤성호:

한국연구재단 원천기술개발사업 수소화 비균질계 촉매 시스템 개발사업 (사업비: 연간 7.7 억원)

에폭사이드 카보닐화를 통한 락톤 유도체 생산 시스템 개발사업: (사업비 8 억원)

1. 참여교수 연구역량

1.1 연구비 수주 실적

<표 3-1> 최근 1년간(2020.9.1.-2021.8.31.) 참여교수 1인당 정부, 산업체, 해외기관 등 연구비 수주 실적

항 목	수주액(천원)		
	3년간(2017.1.1.-2019.12.31.) 실적 (선정평가 보고서 작성내용)	최근 1년간(2020.9.1.-2021.8.31.) 실적	비고
정부 연구비 수주 총 입금액	5815236	5314921	
산업체(국내) 연구비 수주 총 입금액	401450	152870	
해외기관 연구비 수주 총 (환산) 입금액	223049	0	
참여교수 수	6	6	
1인당 총 연구비 수주액	1073289	911298	

가. 1.2 연구업적물

① 참여교수 연구업적물의 우수성

최근 1년간 참여교수의 대표연구업적물 실적은 아래의 표와 같다.

[표Ⅲ-1] 최근 1년간 참여교수 대표연구업적물 실적

연 번	참여 교수명	연구자 등록번호	이공계열/ 인문사회 계열	세부전공 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용
						대표연구업적물
1	성재영	[REDACTED]	이공계열	물리화학	저널 논문	J. Kang, S. J. Park, J.-H. Kim, P. Chen, J. Sung Stochastic kinetics of nanocatalytic systems Physical Review Letters 126, 126001 2021 10.1103/PhysRevLett.126.126001
2	주재범	[REDACTED]	이공계열	분석화학	저널 논문	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 10.1002/adfm.202105703
3	윤상운	[REDACTED]	이공계열	물리화학	저널 논문	L. T. M. Huynh, H. D. Trinh, S. Lee, S. Yoon Plasmon-Driven protodeboronation reactions in nanogaps Nanoscale 12, 24062 2020 10.1039/D0NR07023H

4	박태정	██████	이공계열	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 10.1016/j.cej.2020.127202
5	조은진	██████	이공계열	유기화학	저널논문	N. Iqbal, D. S. Lee, H. Jung, E. J. Cho Synergistic effects of boron and oxygen interaction enabling nickel-catalyzed exogenous base-free stereoselective arylvinylolation of alkynes through vinyl transposition ACS Catalysis 11, 5017 2021 10.1021/acscatal.1c00536
6	윤성호	██████	이공계열	무기화학	저널논문	S. Padmanaban, G. H. Gunasekar, S. Yoon Chemoselective hydrogenation of α, β -unsaturated carbonyl compounds Inorganic Chemistry 60, 6881 2021 10.1021/acs.inorgchem.0c03681

또한 최근 1년간 참여교수의 연구논문의 계량적인 수치는 아래와 같다.

[표Ⅲ-2] 최근 1년간 전체 참여교수 논문 환산 편수,
환산보정 피인용수(FWCD), 환산보정 IF, 환산보정 ES

구 분		최근 1년간 실적		전체기간 실적
		2020년 9월~2020년 12월	2021년 1월~2021년 8월	
논문 편수	논문 총 편수	17	44	61
	논문의 환산 편수의 합	6.0604	16.1	22.1604
	참여교수 1인당 논문 환산 편수			3.6934
피인용수	보정 피인용수(FWCD) 값이 있는 논문의 총 편수	16		16
	보정 피인용(FWCD)수의 합	38.94		38.94
	환산보정 피인용수(FWCD) 합	12.3685		12.3685
	논문 1편당 환산보정 피인용수(FWCD)			0.7730
	참여교수 1인당 환산보정 피인용수(FWCD) 합			2.0614
Impact Factor (IF)	IF=0이 아닌 논문 총 편수	17	44	61
	IF의 합	119.011	364.4	483.411
	환산보정 IF의 합	5.1686	12.42	17.5886
	논문 1편당 환산보정 IF			0.2883
	참여교수 1인당 환산보정 IF 합			2.9314
Eigenfactor Score (ES)	ES=0이 아닌 논문 총 편수	17	44	61

	ES의 합	1.4526	6.313	7.7656
	환산 보정 ES의 합	11.6119	23.42	35.0319
	논문 1편당 환산보정 ES			0.5742
	참여교수 1인당 환산보정 ES 합			5.8386
참여교수 수				6

② 교육연구단의 학문적 수월성을 대표하는 연구업적물

연번	대표연구업적물 설명
1	J. Kang et al., Phys. Rev. Letters, 126, 126001 (2021) 이번 세기 들어 비약적으로 발전한 단분자 이미징 기술 덕분에 단일 나노입자가 반응을 한 번 일으키는데 걸리는 시간의 확률 분포를 측정할 수 있게 되었다 (W. Xu et al. <i>Nat. Mater.</i> 7, 992(2008)). 이 나노촉매 반응 실험을 통해 단일 나노입자가 반응을 한 번 일으키는데 걸리는 시간의 평균과 분산을 측정하였는데 평균은 기존이론으로 설명할 수 있었으나, 반응시간의 분산은 현존하는 어떤 이론으로도 설명할 수 없었다 (W. Xu et al. <i>Phys. Chem. Chem. Phys.</i> 11, 2767(2009)). 본 연구에서는 해당 나노촉매 실험 결과를 설명할 수 있는 차세대 촉매 반응 속도 이론을 최초로 제시한 것이다. 이 촉매 반응 속도이론을 실험해석에 적용하기 위해서는 나노입자 표면에 존재하는 촉매자리의 개수를 알아야 하는데 본 연구에서는 촉매 반응의 메커니즘에 관계없이 촉매자리의 개수를 알아낼 수 있는 일반적인 공식도 제시하였다. 이 결과는 반복적으로 특정 신호를 발생시키는 분자들의 개수를 Calibration 없이 바로 측정할 수 있는 혁신적인 실험 방법을 제시한다는 점에서 학술적으로 중요한 가치를 지닌다. 이 가치를 인정받아 본 연구는 물리학 분야 최고 권위지인 Physical Review Letters (IF 9.161)에 출판되었다.
2	H. Dang et al., Adv. Funct. Mater., 31, 2105703 (2021) 최근 nanoplasmonics 현상을 이용한 바이오센서 개발에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이 현상은 측정분자가 작은 나노갭에 존재할 때 플라즈몬 공명을 통한 전자기장 증진에 의하여 광 시그널이 증폭되는 현상이 나타나는데, 이를 효과적으로 바이오센서에 적용하면 현재의 광학측정방식으로 구현할 수 없는 바이오물질의 초고감도 검출이 가능하다. 본 연구에서는 top-down 방식으로 제작한 Au nanodimple substrate의 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 금 나노입자가 삽입된 나노딴플 기판의 진단 유효성을 평가하기 위하여 SARS-CoV-2의 타겟 유전자인 RdRp 유전자와 E 유전자를 대상으로 SERS-PCR 에세이를 수행하였다. 그 결과 RdRp gene의 경우 55 fM, E gene의 경우 84 fM까지 신뢰도있는 측정이 가능하다는 것을 보였다. 또한, 본 SERS-PCR 분자진단 플랫폼의 진단 성능을 평가하기 위하여 기존 SARS-CoV-2 진단에 사용되는 표준진단방법인 RT-PCR 진단 결과와 비교하였다. 각각 10^5 copies/μL의 RdRp와 E gene에 대하여 RT-PCR을 수행하였을 때 24-25 thermocycle 수행 후 시그널측정이 가능하였으나 SERS-PCR의 경우에는 고감도 특성 때문에 7-8 cycle 이후에 시그널 측정이 가능하였다. 즉, 본 SERS-PCR 방법은 기존 RT-PCR의 진단시간을 획기적으로 줄일 수 있는 가능성을 보여준다. 본 연구 결과는 Wiley출판사의 Advanced Functional Materials (IF=18.808)에 출판되었다.

3	L. T. M. Huynh et al., Nanoscale, 12, 24062 (2020) 보론산(boronic acid, $\text{RB}(\text{OH})_2$)은 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. 우리는 4-mercaptophenylboronic acid(MPBA)라는 벤젠고리를 갖는 대표적인 보론산이 금나노입자와 금기관 사이의 나노갭에 위치하면 빛에 의해 유도된 플라즈몬에 의해 C-B 결합이 끊어지는 탈보론(deboronation) 반응이 쉽게 일어남을 관찰하고 그 반응 메커니즘을 규명하였다. 특히 플라즈몬 감쇠 과정에서 발생하는 에너지가 높은 뜨거운 전자(hot electron)에 의해 반응이 일어난다는 것을 밝히고 대기 중 산소에 의해서도 반응이 유도되지만 산소가 없는 환경에서도 직접적인 전자 전달에 의해 반응이 일어남을 보였다. 이 연구 결과는 본 연구팀이 2019년에 ACS Applied Materials & Interfaces에 게재한 hot carrier에 의한 C-C 결합 해리 반응에 이어 C-B 결합 해리 반응도 가능함을 보임으로써 향후 가시광에 의한 금나노입자의 플라즈몬을 이용한 플라스틱 분해 등의 환경문제 해결에 중요한 단서를 제공하였다. 이 연구 결과는 RSC에서 출판하는 Nanoscale (IF 7.790)에 게재되었다.
4	A. R. Gul et al., Chem. Eng. J., 407, 127202 (2021) 생물학적으로 합성되는 나노입자는 독성면에서 화학적으로 가공되는 경우에 비해 대안이 되고 있다. 이 연구결과는 은 나노입자(AgNP)의 생물학적 합성에 초원 잔디(Poa annua)를 사용한 최초의 논문이다. 본 식물 추출물의 경우, 플라보노이드, 페놀, 알칼로이드를 포함하고 있어 AgNP에 대한 충분한 양의 환원제 및 안정제를 포함하고 있다. 합성된 AgNPs(지름 $36.66 \pm 7.85\text{nm}$)는 4°C에서 1개월 이상 서로 다른 용매(탈이온수, 인산염 완충 식염수, 디메틸 아황산염)에서 안정한 것으로 확인되었으며, 이러한 생체 발생성 AgNP는 항암제를 추가로 탑재하고 암 치료제를 위한 새로운 약물 전달 복합체로서 활용될 수 있다. 생체분자로 코팅된 합성 AgNP의 구형 형태론과 균질 산포를 확인하였으며 항산화제 분석과 용혈 분석 및 암 세포에 대한 MTT 분석을 통해 생체적합성과 항암 효과가 입증되었다. 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 치료 분야에서 잠재적 약물 운반체로서의 전도유망한 역할을 할 것을 시사하고 있다. 이 연구 결과는 Elsevier에서 출판하는 Chemical Engineering Journal (IF 13.273)에 게재되었다.
5	N. Iqbal et al, ACS catal. 11, 5017 (2021) 니켈을 이용하는 대부분의 복잡 반응은 산화상태 중 '0' 가에 의해 일어나는데, Ni(0)화합물은 산소와 물, 열에 매우 민감하여 다루기 힘들 뿐 아니라 높은 가격으로 인해 이용에 제한이 따른다. 이 연구에서는 두 자리 P^N리간드를 활용하여 안정성이 높고 저렴한 Ni(II)화합물을 반응 내에서 바로 Ni(0)로 환원시켜 이용하였다. 알카인과 알켄의 p-시스템을 반응 내 형성된 Ni(0) 촉매와 반응시켜 니켈고리화 중간체를 형성하였고, 이를 아릴보론산(arylboronic acid)과 반응시켜 최종적으로 알카인에 아릴바이닐 그룹이 도입된 1,3-다이인(diene)을 입체선택적으로 형성할 수 있었다. 보론산의 붕소(B)와 반응물질 내 산소(O)의 일시적 결합은 C-O 결합의 절단을 유도하였고, 금속교환(transmetalation)-활성화된 중간체가 형성되어 염기 사용 없이도 반응을 효율적으로 진행시킬 수 있었다. 이 연구 결과는 ACS Catalysis (IF 13.084)에 게재되었다.
6	S. Padmanaban et al, Inorganic Chem. 60, 6881 (2021) 상업적으로 이용 가능한 균질한 집게형 착물인 Ru-Macho를 가교제인 디클로로메탄을 사용하여 루이스 산 촉매의 Friedel-Crafts 반응을 통해 직접 이질화를 수행하였으며, 그 결과 매우 높은 표면적을 가지고 있는 비균질계 촉매인 집게형 Ru 다공성 유기금속 중합체(Ru-Macho-POMP)를 합성할 수 있었다. 특히, 이 Ru-Macho-POMP는 신남알데히드를 모델 화합물로 사용하여 α, β-불포화 카르보닐 화합물을 해당되는 알릴 알코올로 화학 선택적 수소화를 효율적으로 할 수 있음을 알 수 있었다. Ru-Macho-POMP 촉매는 α, β-불포화 카르보닐 화합물을 선택적 수소화 과정에서 높은 화학선택성(99%) 및 재활용성과 함께 높은 전환 빈도(TOF = 920 h^{-1})와 높은 전환 수치(TON = 2750)를 나타내었다. 이 연구 결과는 무기화학 분야 대표저널인 Inorganic Chemistry (IF 5.165)에 게재되었다.

③ 참여교수 특허, 기술이전, 창업 실적의 우수성

참여교수의 특허, 기술이전, 창업 실적의 우수성은 아래의 표와 같다.

[표Ⅲ-3] 최근 1년간 참여교수 저서, 특허, 기술이전, 창업 실적 등

연번	참여교수명	연구자 등록번호	세부전공분야	실적 구분	특허, 기술이전, 창업 등 상세내용
특허, 기술이전, 창업 등 실적의 우수성					
1	주재범	██████████	분광분석화학	특허	최기봉, 최남현, 전진혁, 주재범 드롭렛 마이크로플루이드 디바이스, 이를 이용한 표면증강라만 동시 측정시스템 및 이의 방법 대한민국 특허등록 10-2283315 2021
본 발명은 여러 개의 표적물질을 동시에 microfluidic device내에서 반응시켜 고감도로 검출할 수 있는 SERS-based microfluidic device의 제작과 임상진단 응용에 관한 발명 특허이다. 본 기술을 이용하면 다양한 감염성 질환 바이오마커의 고감도 동시 검출이 가능하다. 즉, 최근 문제가 되고있는 코로나19의 면역진단 마커인 nucleocapsid protein과 spike protein의 고감도 동시 검출이 가능하며, 유전자 진단 마커인 RdRp, N, E gene등의 고감도 동시 검출이 가능하여 기존의 진단 기술의 한계를 극복할 수 있을 것으로 기대된다. 현재 이 특허 기술을 기반으로한 SARS-CoV-2 체외진단 기술을 개발 중에 있다.					
2	박태정	██████████	생분석화학	특허	박태정, 김종길 덴기바이러스 혈청형 1 또는 3의 검출을 위한 등온고리매개 증폭 프라이머 세트 및 이의 용도 대한민국 특허등록 10-2173154 2020
본 발명은 덴기바이러스 혈청형에 따른 검출을 위한 등온고리매개 증폭 프라이머 세트 및 그의 용도에 관한 것으로, 상기 프라이머 세트는 덴기바이러스를 단시간에, 높은 특이성 및 민감도로 검출하는데 사용할 수 있으므로, 덴기바이러스 혈청형에 따른 검출에 유용하게 활용할 수 있다. 본 특허는 체외진단 전문기업에 기술이전되어 상용화를 준비중이다.					
3	박태정	██████████	생분석화학	특허	박태정, 백승훈, 박찬영 금속 나노입자로 처리된 금속 칼코제나이드-바이오리셉터 및 이를 이용한 표적물질의 검출 방법 대한민국 특허등록 10-2189992 2020
본 발명은 금속 나노입자로 처리된 금속 칼코제나이드-바이오리셉터 및 이를 이용한 표적물질의 검출 방법에 관한 것으로, 표적물질을 고민감도 및 선택적으로 검출할 수 있을 뿐만 아니라, 표적물질의 간편한 정량이 가능하므로, 표적물질의 검출, 특히, 노로바이러스의 현장 검출에 유용하게 사용할 수 있다.					
4	조은진	██████████	유기합성방법론	특허	조은진, 김동인, 박도담, 탄매이채터지 치환된 또는 비치환된 4-브로모-2-플루오로퀴놀린 화합물, 이의 제조 방법 및 이를 포함하는 2,4 치환된 퀴놀린 화합물 대한민국 특허등록 10-2242238 2021
본 발명은 대표적 기능성 헤테로사이클인 퀴놀린, 구체적으로 4-브로모-2-플루오로퀴놀린 화합물, 이의 제조 방법에 관한 것이다. 두 개의 다른 할로젠 Br과 F이 치환되어 있어 반응 조건에 따라 선택적으로 짝지움 반응을 유도해 복잡한 기능성 퀴놀린을 효율적으로 합성하는 데에 발명의 결과물을 효율적으로 이용할 수 있다.					

5	조은진 박태정		유기/생화학	해외특허 (출원)	조은진, 박태정, 이다슬, 비닛쿠마르소니
					트리플루오로메틸화된 하이드로퀴논
					유도체를 포함하는 항균제
					PCT 출원
					PCT/KR2021/010236
6	박태정		생화학	기술이전	2021
					본 발명은 트리플루오로메틸화된 하이드로퀴논 유도체의 합성과 이를 항균제로 이용하는 것에 관한 것이다. 벤조퀴논과 랑노이스 시약을 광조건 하에서 반응시켜 트리플루오로메틸화된 하이드로퀴논을 효율적으로 합성할 수 있었다. 이 결과물은 뛰어난 항균 성질을 보여 차세대 항균제로 유용하게 사용할 수 있다. 현재 기술 이전을 준비하고 있고, 상용화될 수 있기를 기대한다.
					박태정, 박종필, 김민우, 박찬영
					소 설사 바이러스 결합 펩타이드 및 이를 이용한 소 설사 바이러스 검출 키트
					주식회사 셀트릭스
6	박태정		생화학	기술이전	10,000 (천원)
					2021
					본 기술이전은 소 설사 바이러스인 Bovine Viral Diarrhea Virus (BVDV)를 펩타이드 리셉터를 이용하여 검출하는 펩타이드 서열 및 이를 이용한 검출 방법에 대한 특허를 기술이전(양도)했다. 펩타이드 및 이를 포함하는 소 설사 바이러스 검출 키트는 낮은 농도의 소 설사 바이러스에서도 특이적으로 결합할 수 있어, 이를 이용하여 높은 민감도로 소 설사 바이러스를 검출할 수 있다. 현재 이 특허 기술을 기반으로 한 체외진단 기술을 활용하여 상용화 준비 중에 있다.

2. 산업·사회에 대한 기여도

생물리광화학 교육연구팀의 특성화 방향인 “생명”과 “에너지” 분야에서의 과학기술 문제와 산업 및 사회 문제 해결 기여 부분에 대하여 나누어 기술하였다. ■ 고감도 광센서 기술을 이용한 새로운 개념의 체외진단 기술 개발 • 연구 내용: 최근 이슈가 되고 있는 SARS-CoV-2와 같은 호흡기 감염성 질환은 초기 단계의 정확한 진단이 필요하다. 현재 가장 많이 쓰이는 진단 방법은 RT-PCR을 이용한 유전자 기반 분자진단법으로 민감도와 특이도 면에서 타 진단 방법에 비해 우수하나, 유전자 추출과 증폭에 시간이 소요되고 현장에서 즉각적 감염관리 대책을 수립하기 어렵다는 한계가 있다. 반면, 면역분석기술을 이용한 면역 rapid kit는 신속한 진단이 가능하나 민감도의 한계로 인한 ‘false-negative’ 문제 때문에 표준진단 방법으로 채택되지 못하고 있는 실정이다. 본 교육연구팀 소속 주재범 교수 연구팀은 1차년도에 새로운 광학측정법을 이용하여 SARS-CoV-2 분자진단 기술(RT-PCR)이 가지는 진단 시간의 한계와 면역크로마토그래피 기반 rapid kit가 가지는 정확도와 정량분석 한계를 극복할 수 있는 새로운 개념의 감염병 현장진단 시스템을 개발하려는 노력을 기울였다. • 성과: 1차년도에는 nanoplasmonics 기반의 새로운 체외진단 기술의 임상적용 가능성에 대한 proof-of-concept을 구현하기 위하여 학술적 연구에 중점을 두었으며, 임상기관(중앙대병원, 삼성서울병원)과 협업을 통하여 IRB 확보 및 임상시험준비에 역점을 두었다. 또한 새로운 진단시스템의 상용화를 위하여 나노스코프시스템(주)과 공동으로 진단용 portable Raman reader를 개발하여 의료기기 인허가를 취득하였고, (주)SG 메디칼과 공동으로 썬썬가무시, SARS-CoV-2등의 감염병 질환에 대한 SERS LFA kit를 개발하여 현재 임상시험 준비 중에 있다. 특히, SG메디칼에서는 SARS-CoV-2 진단센서 공동연구 수행 중에 현장에서 임상시료를 보관하는 수송배지 국산화에 성공하여 100억 이상의 매출을 올린 것은 본 연구에서 파생된 좋은 산학협력 성과로 판단된다. 또한 신생기업인 (주)윙틀에서 래피드 키트 재료인 nitrocellulose paper의 국산화를 추진하고 있는데, 제조된 페이퍼의 kit 적용을 위한 성능 평가를 수행하였다. 감염병의 나노플라즈모닉스 기반 면역진단의 감도 증진에 관한 연구결과는 Biosens. Bioelectron. 167, 112496 (2020); 189, 113360 (2021); 189, 113360 (2021); 192, 113525 (2021) 등과 ACS Sensors 6, 2378 (2021), Anal. Chem. 93, 6673 (2021), Adv. Mater. 33,	
--	--

2100543 (2021) 등에 보고되었으며, 새로운 Au nanodevice를 이용한 나노플라즈모닉스 고감도 분자 진단과 관련된 연구결과는 Anal. Chem. 92, 2628 (2021), Adv. Func. Mater. 31, 2105703 (2021) 등에 보고되었다. 2차년도 연구에서는 감염병의 분자진단 시간을 단축하고 면역진단의 정확도를 증진 시키기 위한 지속적인 나노플라즈모닉스 원천기술 개발과 더불어 병원과의 협업을 통한 임상유효성 평가 및 진단시스템의 상용화를 위한 나노스코프시스템즈(주), (주)SG메디칼, (주)움틀과의 산학협력연구에 좀 더 초점을 맞출 계획이다.

- **해결한 문제 / 파급 효과:** 최근 SARS-CoV-2와 같은 감염병 질환의 신속하고 정확한 진단을 통한 확산 방지는 전세계적으로 풀어야 할 난제로 인식되고 있다. 현재 표준진단법으로 활용되고 있는 RT-PCR 방법은 SARS-CoV-2의 정확한 진단으로 확산 방지에 크게 기여하였지만, 형광 검출 방식의 민감도의 한계 때문에 오랜 시간동안 유전자를 증폭해야 하는 단점을 가지고 있다. 따라서, 본 연구에서 수행한 고감도 나노플라즈모닉스 방식의 검출 방법은 증폭 cycle수를 단축시켜 진단 시간을 획기적으로 줄일 수 있는 가능성을 보여준다. 1차년도에서는 다양한 학술적인 성과를 통하여 이를 구현할 수 있는 과학적인 가능성을 제시하였으며, 앞으로 임상시험과 다양한 산학협동연구를 통하여 본 기술의 임상적용 및 상용화 가능성을 검증할 계획이다. 이러한 연구 결과들은 앞으로 주기적으로 출현할 것으로 예상되는 다양한 감염성 질환에 대한 신속한 대응과 확산 방지에 크게 기여할 것으로 기대한다.

■ 소 설사 바이러스 진단을 위한 특이 리셉터 및 그를 이용한 진단 기법 개발

● 연구내용:

- 본 교육연구팀 박태정 교수가 책임자로 개발중인 『‘소’ 설사병 바이러스 신속진단 기술 개발』은 고감도 신호검출 원천기술 개발의 일환으로서 소 설사 바이러스인 Bovine Viral Diarrhea Virus (BVDV)를 펩타이드 리셉터를 이용하여 검출하는 펩타이드 서열 및 이를 이용한 검출 방법에 대한 기술이다. 펩타이드 및 이를 포함하는 소 설사 바이러스 검출 키트는 낮은 농도의 소 설사 바이러스에서도 특이적으로 결합할 수 있어, 이를 이용하여 높은 민감도로 소 설사 바이러스를 현장에서 신속하게 검출할 수 있다.

- **성과:** 해당연구는 2020년부터 2개년간 농림축산식품부 국가연구개발사업에 선정되어 진행중이며 SCI 논문 1건과 관련특허 1건을 출원하고 이를 기술이전(양도)하였다. 현재 이 특허 기술을 기반으로 한 체외진단 기술을 활용하여 상용화 준비 중에 있다.

● 해결한 문제 / 파급 효과:

- 휴대형 소 설사 바이러스 검출을 위한 나노융합원천기술을 확보함으로써, 동물진단을 위한 현장·신속 분석기술의 개발을 선점하였다. 점점 확대되고 있는 동물 진단에 대한 커다란 부가가치 창출과 국민의 식품안전에 기여할 수 있다.

■ 히스타민 검출을 위한 특이적 바이오리셉터 발굴 및 광학적 진단 기법 개발

● 연구내용:

- 본 교육연구팀 박태정 교수가 참여 중인 과제 『불량식품 근절을 위한 과학적 감시 및 판별법 개발 연구』는 유해성 물질인 히스타민 검출 개발을 위해 Phase display bio-panning 기법으로 바이오리셉터인 펩타이드를 발굴했으며, 금으로 코딩된 자기 나노입자와 탄소 양자점 나노입자의 특이적 성질을 통해 나타나는 형광 신호를 이용하여 높은 민감도와 선택성을 갖는 히스타민 검출 원천기술을 개발했다.

- **성과:** 해당 연구는 2017년부터 5개년간 식품의약품안전처 국가연구개발사업에 선정되어 현재까지 진행 중이며, SCI 논문인 Rongjia et al., Biosens. Bioelectron. 167, 112519 (2020) 및 관련 특허 1건을 출원했다.

- **해결한 문제 / 파급 효과:** 히스타민 검출을 위한 신규 펩타이드 기반 검출시스템을 개발함으로써, 멜라민, 크레아티닌과 같은 유해성 불량식품에 적용할 수 있을 것으로 예상되어 국민의 건강과 식품안전에 이바지할 수 있다.

■ 자성 입자 분리 장치 개발

• 연구내용:

- 기존의 다양한 검사시료들에는 검출 타겟 이외 불순물이 다양하고 대부분을 차지하고 있다. 검사의 정확성을 높이고 비특이적 결합을 줄이기 위해 시료전처리 장치 운영이 필요하다. 본 교육연구팀 박태정 교수 연구팀은 시료전처리 장치로 자성분리장치를 고안하여 현장진단기술의 민감도와 정확성을 높이는 연구를 수행하였다.

- **성과:** 이 연구성과는 “자성 입자 분리 장치” (대한민국 특허등록 제10-1934671호) 통상실시권 허여 계약하고 선급기술료 10,000천원/경상기술료 매출액의 3% (2018.05.03.))로 기술이전되었다.

• 해결한 문제 / 파급 효과:

- 수분 안에 샘플 불순물을 제거하고 타겟의 농도를 농축 분리할 수 있는 자성분리장치를 고안하여 자성나노입자와 동시에 사용하도록 발명하였다. 이는 현장형 진단기술의 전처리 핵심기법으로 현장 진단기술의 민감도와 선택성을 높일 수 있다.

■ 효소, 촉매 사이트 및 광분자 절대 개수 측정 방법 개발

- **연구 내용:** 촉매 반응을 수행하는 분자나 빛 등 신호를 발생하는 분자들의 절대 개수를 신호 발생 횟수의 통계 데이터로부터 캘리브레이션 과정 없이 측정할 수 있는 새로운 방법론을 제안하였다. 나노 촉매 분야에서는 나노촉매 표면 위치에 따른 단위 면적당 촉매 사이트 개수변화를 측정하는 것이 해결되지 않고 있던 난제였으나 해당 과학기술로 이 문제를 해결하였다. 이 새로운 방법론은 다양한 환경에서 바이오센서로 시료의 농도를 측정할 때 시간이나 환경에 따라 센서의 성능이 변화 혹은 저하 되더라도 정확하게 시료 분자의 농도를 측정할 수 있는 새로운 방법을 제시하는 것이다.
- **성과:** *Physical Review Letters*, **126**, 126001 (2021).
- **기대효과:** 이 기술은 앞으로 더 효과적인 나노촉매를 디자인하는데 기여할 것이다. 아울러 광자의 개수 통계나 전기 신호의 통계 분포로부터 빛이나 전기신호를 발생하는 분자의 절대 개수를 측정할 수 있는 새로운 기술을 개발 할 수 있는 초석이 될 것으로 기대된다.

(2) 에너지 분야 문제 해결 기여

■ 온실가스 자원화를 통한 환경 문제 해결

• 연구내용:

- 한국은 연간 7억톤 이상 이산화탄소를 배출하고 그 배출량은 꾸준히 증가하고 있다. 2030년까지 연간 3억톤 이상을 감축하기로 국제적 협의가 있는데 국내 제조업 위축 없이 이 배출 감축량 달성은 매우 어렵다.
- 이산화탄소를 전환하여 화학원료를 생산하는 기술은 국내 환경문제와 에너지 문제를 동시에 해결하는 방법이다. 본 교육연구팀 윤성호 교수는 국내 기후변화 대응 탄소중립 플래그쉽 과제인 ‘Carbon to X 연구단’에 총괄과제 책임자로 참여하고 있다. 이산화탄소로 포름산을 생산하는 촉매 개발과 생성물에서 포름산을 효율적으로 분리 정제하는 분리공정 개발에 노력을 기울여 왔다.

- **성과:** 1) KIST 청정연구센터와 협력하여 이산화탄소 전환 촉매 공정과 생산물 분리 단위공정을 완수하였으며 2) (주) 파텍과 협력하여 비균질계 촉매를 고정단 반응기에서 원활히 사용가능한 성형 촉매로 전환하는 기술을 확보하였다. 더불어 이화여대 및 충북대, 공주대 화학공정관련 연구진과 협동으로 Life cycle assessment (LCA)를 추진하여 실제 이산화탄소 저감 감축량을 평가하였으며

산업사회 사업화를 위한 Techno-economic analysis(TEA)를 추진하여 개발 이산화탄소 감축 기술의 경제성을 파악하였다.

• **해결한 문제 / 파급 효과:**

- 온실가스를 활용한 포름산 상업적 생성공정 개발과 관련 기술 패키지를 완수하여 국가 산업 경쟁력과 환경 문제 해결에 이바지하고자 한다. 이를 통하여 연간 20만톤 이산화탄소 배출 감축을 이룩할 것으로 기대된다.

■ **화학·에너지 자원 문제 해결**

• **연구내용:**

- 셰일(shale)오일·가스 시대의 도래와 신재생에너지 확대에 화학원료 및 에너지에 대한 다양한 산업 사회 문제가 대두되고 있다. 본 교육연구팀 윤성호 교수는 2015 ~ 2024년까지 9년간 추진되는 “C1 가스 리파이너리 사업”에서 셰일가스 유래 올래핀 화학종을 고부가가치화하는 기술인 “카보닐화를 통한 아크릴산 유도체 및 생분해성 고분자 원료를 생산하는 촉매 기술”을 개발하고 있다. 기존 카보닐화 기술은 균질계 촉매에 근거한 batch 형태의 공정인데 생성물에서 촉매를 분리하기 어려우며 연속공정 구현에 한계가 있다. 윤성호교수 연구팀은 균질계 촉매를 다공성 비균질계 촉매로 전환하는 기술을 개발하여 기존 균질계 촉매의 단점을 보완하였다.

- **성과:** 균질계 유기금속화학 촉매를 Friedel-Craft Alkylation을 통한 비균질계 촉매로 전환하는 원천 기술 확보하였다. J. Mater. Chem. A, ACS Appl. Mater. Interfaces, Inorganic Chem.을 포함한 10여 편의 관련 논문을 게재하였다. 국내 특허 2편을 이미 확보하였으며 PCT 출원을 완료한 상태로 현재 롯데케미칼등의 산업계와 2021년 NDA를 체결하고 기술이전을 협의중이다. 2021년 롯데이네오스화학 및 롯데케미칼과 전략협약체를 C1 가스 리파이너리 사업단과 공동으로 체결하고 생분해성 고분자 단위체 생산기술 확보를 위하여 연구에 매진하고 있다.

• **해결한 문제 / 파급 효과:**

- 셰일 가스 활용 방안에 대하여 중국 화학/화공분야 대표 연구기관인 DICP의 연구진과 2021년 정기적 교류를 시행하여 관련 분야에서 국제적 공조를 수행하고 있다.

■ **나노갭 플라즈몬 커플링 원리 규명을 통한 광전자분야 과학기술문제 해결**

• **연구내용:**

- 금나노입자와 금 박막 사이에 나노갭을 형성한 후, 여기에 분자를 넣어 플라즈몬으로부터 유도된 hot carrier로 화학반응을 유도하였다. 유기화학의 대표적인 C-C 결합 형성 반응인 Suzuki coupling 반응과 glucose 센싱에 많이 쓰이는 4-mercaptophenyl boronic acid(MPBA)라는 분자가 나노갭에서의 플라즈몬 유도 반응에 의해 C-B 결합이 끊어진다는 것을 발견하였고 그 반응 메커니즘을 규명하였다.

- **성과:** 위 연구 결과는 RSC의 Nanoscale (IF = 7.790)에 게재되었다.

• **해결한 문제 / 파급 효과:**

- 2019년 ACS Applied Materials & Interfaces에 게재되었던 C-C 결합 해리 반응에 이어 이번 연구에서는 hot carrier에 의한 C-B 결합 해리 반응도 가능성을 보였다.
- 이 반응은 나노갭의 플라즈몬 공명이 있는 가시광 영역에서만 일어나고 hot carrier에 의한 라디칼 형성을 통해 일어나므로 가시광을 이용한 플라스틱 분해 기술에 적용될 수 있어 환경 문제 해결에 기여할 수 있다.

2. 참여교수의 연구의 국제화 현황

① 국제적 학술활동 참여 실적 및 현황

(1) 참여교수의 국제수상 실적

사업 참여교수의 국제수상 실적은 아래와 같다.

[표Ⅲ-4] 국제수상 실적

일시	학술대회명	수상내역	이름	개최국
202105	Analytical Chemistry (ACS Journal)	2020 Top Reviewer	주재범	미국
202108	Chemical Science (RSC Journal)	Outstanding Reviewer	윤상운	영국

(2) 참여교수의 기조강연 및 초청강연 실적

사업 참여교수의 대표적 기조강연 및 초청강연 실적은 아래와 같다.

[표Ⅲ-5] 기조강연 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

[표Ⅲ-6] 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)

(3) 참여교수 학술지 편집위원 실적

참여교수의 학술지 편집위원 실적은 아래와 같다.

[표 III-7] 국제학술지 편집위원 실적

일시	학술지명	직위	이름	국가
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
2021-현재	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

(4) 참여교수 학술대회 위원회 실적

사업 참여교수의 학술대회 위원회 실적은 아래와 같다.

[표 III-8] 국제학술대회 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

(5) 참여교수 국제 저술활동 실적

사업 참여교수의 국제 저술활동 실적은 아래와 같다.

[표 III-9] 국제 저술활동 실적

일시	제목	내용	출판사	이름	ISBN
2021	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	978012821 1212
2021	Emerging Carbon Materials for Catalysis	Chapter 1 - New aspects of covalent triazine frameworks in heterogeneous catalysis	Elsevier	윤성호	978012817 5613

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

(6) 참여교수 국제적 학술활동 추진 계획

■ **국제학술 회의 개최:** 본 생물리광화학 교육연구팀이 주관하는 생물리광화학 관련 분야 국제학술 심포지엄 혹은 워크숍을 개최할 예정이다. 국제학술회의 개최에 필요한 재원이 부족할 경우 본 교육연구팀과 본교 생물리 광화학 관련 국제연구소와 학술회의를 공동주관함으로써 재정문제를 해결할 예정이다. 이 국제학술회의가 성공적으로 개최될 경우 정례화하여 정기적으로 개최할 계획이다. 이 같은 국제학술회의 개최를 통해 본 교육연구팀을 국제학회에 널리 홍보하고 국제 학계에서 본 교육연구팀의 위상을 제고 할 수 있을 것으로 기대된다.

■ **인적교류 및 공동연구 계획:** 해외 선도기관과 인적 교류 및 공동연구를 통해 국제공동연구 경험을 가진 우수 생물리광화학 전문연구 인력을 양성할 계획이다.

■ 해외기관 방문 강연 계획

국제 학술대회 참가는 물론이고 해외기관 방문 강연 혹은 세미나를 통해 본 생물리광화학 교육연구팀의 연구 성과를 홍보하고 국제적 위상을 제고할 계획이다.

② 국제 공동연구 실적

<표 3-2> 최근 1년간 국제 공동연구 실적

연번	공동연구 참여자		상대국/소속기관	국제 공동연구 실적	DOI 번호/ISBN 등 관련 인터넷 link 주소
	교육연구팀 참여교수	국외 공동연구자			
1	성재영	Peng Chen	미국/Cornell University	J. Kang, et al, Stochastic kinetics of nanocatalytic systems, <i>Physical Review Letters</i> 126 , 126001 (2021)	10.1103/PhysRevLett.126.126001
2	박태정	Jang-Kyo Kim	홍콩/The Hong Kong University of Science and Technology	C. Park et al., Discovering melamine-specific bioreceptors via phage display, constructing its validation method based on the quenching on nanocomplex, and applying screened bioreceptor to the electrochemical assay of melamine, <i>Sensors and Actuators B: Chemical</i> 330 , 129279 (2021)	10.1016/j.snb.2020.129279
3	박태정	Suresh Kumar Kailasa	인도/Sardar Vallabhbhai National Institute of Technology	R. Stephanie et al., Recent advances of bimetallic nanomaterials and its nanocomposites for biosensing applications, <i>Trends in Analytical Chemistry</i> , 135 , 116159 (2021)	10.1016/j.trac.2020.116159
4	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, <i>Chemical Engineering Journal</i> , 407 , 127202 (2021)	10.1016/j.cej.2020.127202

5	박태정	Min Lee	미국/캘리포니아 주립대 로스앤젤레스 (UCLA)	S. Ghosh et al., Green synthesis of carbon dots from Calotropis procera leaves for trace level identification of isoprothiolane, <i>Microchemical Journal</i> , 167 , 106272 (2021)	10.1016/j.microc.2021.106272
6	주재범	Chen, Lingxin	중국/ Chinese Academy of Sciences	M. Arabi et al., Molecular imprinting: Green perspectives and strategies, <i>Advanced Materials</i> , 33 , 2100543 (2021)	10.1002/adma.202100543
7	주재범	Wang, Guoqing Chen, Lingxin	중국/Ocean University, Chinese Academy of Sciences	L. Wang et al., SERS-based test strips: Principles, designs and applications, <i>Biosens. Bioelectron.</i> , 189 , 113360 (2021)	10.1016/j.bios.2021.113360
8	주재범	Chen, Lingxin	중국/ Chinese Academy of Sciences	H. Chen et al., SERS imaging-based aptasensor for ultrasensitive and reproducible detection of influenza virus A <i>Biosens. Bioelectron.</i> , 167 , 112496 (2020)	10.1016/j.bios.2020.112496

③ 외국 대학 및 연구기관과의 연구자 교류 실적 및 계획

(1) 외국 대학 및 연구기관과의 연구자 교류 실적			
1. 외국 대학 연구기관 교류 실적 (외부 인사 세미나 포함)			
[표 III-10] 외국 대학 연구기관 교류실적			
이름	연구기관이름 (교류내용 및 실적)	참여교수	교류기간
Aaron Lindenberg	Stanford University (Online Seminar & Group discussion on anomalous charge transport in solid electrolytes)	성재영	20210622-20210625
Hyokeun Park	The Hong Kong University of Science and Technology (신경세포 내 소포체 운동 양상 정량분석, 공동연구논문 작성중)	성재영	20200901-20210831
Peng Chen	Cornell University (나노촉매 반응속도 공동연구: 공동연구 논문 출판)	성재영	20200901-20210831
Andrew deMello	스위스 연방공대(ETH, Zurich) (ACS Sensors Editorial Board 영입 문제 및 microdroplet sensor 관련 공동연구 논의)	주재범	20200901-20210831
Lingxin Chen	중국과학원 (Molecular imprinting/Plasmonic sensor 관련 공동연구 수행 및 7편의 공동 논문 출판)	주재범	20200901-20210831
Josh Edel	임페리얼 칼리지 런던(Imperial College London) (Analyst (RSC) 우수 연구자 추천 및 nanopore sensor 관련 공동연구 논의)	주재범	20200901-20210831
Jang-Kyo Kim	홍콩과학기술대(The Hong Kong University of Science and Technology)	박태정	20210301-20210831
Suresh Kumar Kailasa	인도 사르다르 발라브바이 국립공과대학	박태정	20200901-20210831
Muhammed Arshad	파키스탄 국립과학기술대(National University of Science and Technology)	박태정	20200901-20210831

Min Lee	미국 캘리포니아 주립대 로스엔젤레스 (UCLA)	박태정	20210301-20210831
Jian Wei Sun	홍콩과학기술대(HKUST)	조은진	20200901-20210831
Penfei Li	시안 자오통대(Xi' an Jiaotong Univeristy)	조은진	20200901-20210831
Seungpyo Hong	위스콘신 주립대(University of Wisconsin-Madison)	조은진	20200901-20210831
Gavin Chit Tsui	홍콩 중문대(The Chinese University of Hong Kong)	조은진	20200901-20210831
F. Fleming Crim	위스콘신 주립대	윤상운	20200901-20210831

2. 참여교수 해외 세미나 실적

[표 III-11] 외국 대학 연구기관 세미나 실적

참여교수	연구기관이름	강연 날짜
주재범	중국 베이징 대학 On-line Seminar	20210627
주재범	영국 Royal Society of Chemistry On-line Desk-top Seminar	20210223
성재영	Stanford University (Host: Prof. Aaron Lindenberg @ Material Science and Engineering)	20210625

(2) 외국 대학 및 연구기관과의 연구자 교류 계획

- 해외 대학 및 연구기관과의 교류 실적과 해외 인적 네트워크에 기반하여 남은 4단계 BK21 사업기간 동안 해외 기관과의 인적 교류를 활성화하고 확대할 계획이다. 구체적인 계획은 다음과 같다.

■ **인적교류 및 공동연구 계획:** 해외 선도기관과 인적 교류 및 공동연구를 통해 국제공동연구 경험을 가진 우수 생물리광화학 전문연구 인력을 양성할 계획이다.

[표 III-12] 외국 대학 연구기관 인적 교류 및 공동연구 계획

해외기관	해외연구자	교류형태	교류내용/교육 프로그램 내용
코넬대	Peng Chen	대학원생/신진연구인력 방문	나노촉매 모양, 부위별 촉매활성 공동연구
시카고대	Savas Tay	대학원생/신진연구인력 방문	외부 화학자극에 따른 세포 신호전달 동력학 변화 공동연구
대만국립대 (National Taiwan University)	Yuan-Chung Cheng	참여교수/대학원생 방문	Light Harvesting Group 에너지 전달 과정 메커니즘 및 동력학과 분광학 스펙트럼공동연구
싱가포르 국립대 (NUS)	Qingfeng Chen	신진연구인력 방문	인간화 쥐 모델을 활용한 약물전달시스템 공동연구
홍콩과학기술대	Hyokeun Park	참여교수/대학원생 상호 방문	세포 내 미세 지방 방울 형성 및 수송 실험 결과 해석 공동연구
난양공대	Han Sen Sue	참여교수/대학원생 상호 방문	매년 여름과 겨울 NTU/CAU 교수 초빙 강연 및 대학원생 단기 연구 교류 프로그램 정례화 추진

미국 LA 캘리포니아 주립대	Min Lee	참여교수 방문	의료진단기술 및 약물전달체의 임상샘플 적용 공동연구
중국과학원	Lingxin Chen (중국)	참여교수/대학원 생 상호 방문	상호 방문을 통한 공동연구 및 우수 중국 유학생 영입
홍콩 과학기술대	Jang-Kyo Kim	대학원생 방문	2D 물질 합성, 바이오센서 등에 관한 공 동연구 추진

III

4단계 BK21 교육연구단(팀) 관련 언론보도 리스트

교육연구단(팀)명	생물리광화학 창의인재양성 사업팀
교육연구단(팀)장명	성재영

연번	구분	언론사명 /수상기관 등	보도일자/ 수상일자 등	제목/ 수상명 등	관련 URL
주요내용 (200자이내)					
1	성과	Physical Chemistry Chemical Physics/ Royal Society of Chemistry	20.10.7	Showcasing research from the Creative Research Initiative Center for Chemical Dynamics in Living Cells	https://pubs.rsc.org/en/content/articlepdf/2020/cp/d0cp90225j?page=search
영국왕립학회(Royal Society of Chemistry)가 발간하는 물리화학회지인 Physical Chemistry Chemical Physics 2010년 10월 7일 출판된 제 22권 38호의 Backcover에 본 사업팀 소속 성재영 교수가 이끄는 세포화학동력학 창의연구단이 소개됨					
2	수상	Chemical Science/ Royal Society of Chemistry	21.08.27	Outstanding Reviewer	https://twitter.com/ChemicalScience/status/1430895337628073991 https://www.facebook.com/chemical.science.journal/photos/4139627382773212
본 사업팀 소속 윤상운 교수가 영국왕립화학회(RSC) 저널인 Chemical Science의 우수 논문심사자로 해당 저널 social media에 spotlight으로 소개됨.					
3	성과	중앙대학교 Research News Story	21.01.06	Fighting Respiratory Virus Outbreak through “Nano-Popcorn” Sensor-based Rapid Detection	https://neweng.cau.ac.kr/cms/FR_CON/BoardView.do?MENU_ID=920&CONTENTS_NO=&SITE_NO=3&BOARD_SEQ=14&BOARD_CATEGORY_NO=&BBS_SEQ=78
Research News Story에 주재범 교수의 나노팝콘기판을 이용한 인플루엔자 진단센서 소개					
4	수상	대한화학회	21.04.23	물리화학분과회: 입재물리화학상	http://new.kcsnet.or.kr/?mid=prize_branch_history&part=33#33
물리화학분야에서 탁월한 연구업적을 쌓고 우리나라 물리화학 발전에 크게 기여한 자에게 수상: 2021년 수상자 성재영 (중앙대), 강영수 (서강대)					