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

<table>
<tr><td>접수번호</td><td colspan="9">-</td></tr>
<tr><td>사업 분야</td><td>기초</td><td>신청분야</td><td colspan="2">화학</td><td>단위</td><td>지역</td><td>구분</td><td colspan="2">교육연구단</td></tr>
<tr><td rowspan="4">학술연구분야
분류코드</td><td rowspan="2">구분</td><td colspan="2">관련분야</td><td colspan="2">관련분야</td><td colspan="2">관련분야</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>중분류</td><td>소분류</td><td>중분류</td><td>소분류</td><td>중분류</td><td>소분류</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>분류명</td><td>화학</td><td>화학일반</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>비중(%)</td><td colspan="2">100</td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>교육연구
단명</td><td colspan="9">국문) 분자소재 교육연구단
영문) Education and Research Center for Molecular Materials</td></tr>
<tr><td rowspan="6">교육연구
단장</td><td>소 속</td><td colspan="8">부산대학교 자연과학대학(원) 화학과(부)</td></tr>
<tr><td>직 위</td><td colspan="8">교육연구단장</td></tr>
<tr><td rowspan="4">성명</td><td>국문</td><td colspan="2" rowspan="4"></td><td>전화</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td rowspan="3">영문</td><td>팩스</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>이동전화</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>E-mail</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">연차별
총 사업비
(백만원)</td><td colspan="2">구분</td><td>1차년도
('20.9~'21.2)</td><td>2차년도
('21.3~'22.2)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">국고지원금</td><td>470</td><td>940</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="3">총 사업기간</td><td colspan="7">2020.9.1.-2027.8.31.(84개월)</td></tr>
<tr><td colspan="3">자체평가 대상기간</td><td colspan="7">2020.9.1.-2021.8.31.(12개월)</td></tr>
</table>

본인은 관련 규정에 따라, 『4단계 BK21』 사업 관련 법령, 귀 재단과의 협약에 따라 다음과 같이 자체평가보고서 및 자체평가결과보고서를 제출합니다.

2021년 9월 13일

작성자	교육연구단장	(인)
확인자	부산대학교 산학협력단장	(인)

<자체평가 보고서 요약문>

<table>
<tr><td rowspan="3">중심어</td><td>화학</td><td>분자소재</td><td>자기주도</td></tr>
<tr><td>협업</td><td>융합</td><td>정보 활용</td></tr>
<tr><td>인공 효소</td><td>촉매</td><td>지역 기여</td></tr>
<tr><td>교육연구단의
비전과 목표
달성정도</td><td colspan="3">■ 비전: 자기주도 협업형 분자소재 교육 연구 선도 사업단으로 성장
▶ 교육 목표: 투트랙 교육과정 운영과 학생 주도 교과과정 구성
융합 및 협업 교육을 강화하기 위한 투트랙(현장친화형/난제해결형) 교육과정을 도입하였고, 학생 주도적 문제 해결에 필요한 능력을 배양하기 위한 교육과정(정보활용 교육, 학생 주도 심포지엄 개최 등)을 운용하기 시작했다. 계획했던 교과과정 개편과 교과목 개설을 대부분 달성하였고, 운영 시 발견된 문제점들을 보완해 나갈 예정이다.
▶ 연구 목표: 인공 효소/촉매 분야 집중 및 협업을 통한 경쟁력 확보와 산업/지역 사회 연구 기여
본 사업단의 연구 전문성을 기반으로 화학의 근원적인 난제인 인공 효소/촉매 분야에 집중적으로 협업 연구를 수행하여 세계적 연구 경쟁력을 확보하고, 산업/지역 사회에서의 관련 연구문제 해결에 기여하고자 한다. 지난 5년과 대비하여 최근 1년간 교수/학생의 연구실적이 질적/양적으로 크게 성장하였고, 인공 효소/촉매 분야 공동연구 논문 성과도 증가하였다.
▶ 국제화 목표: 학생 주도 발표 및 국제 공동연구와 우수 외국인 연구 인력 활용
한글과 영어를 병용하여 모든 정보 및 교육을 제공하는 시스템을 구축하여 한국 학생의 국제화 능력을 향상하고 우수 국제 연구 인력을 확보하고자 하였다. 홈페이지 개편 및 강의 자료/동영상 제작이 진행 중이나 추가적인 결과가 요구된다. 또한, 학생 주도적 발표회 및 국제 공동연구를 추진하여 국제화 능력을 배양하고자 하였으나, 코로나-19 사태로 인해 해외 학회 발표와 공동 연구가 많이 이루어지지 못했다.</td></tr>
<tr><td>교육역량 영역
성과</td><td colspan="3">■ 자기주도
- 학생 진로에 맞춘 투트랙 교과과정(현장친화형/난제해결형) 운영
- 온/오프라인 블렌디드 러닝 기반 자기주도적인 학습 환경 조성
- 학생 자율 선택으로 비교과 프로그램 참여
- BK21 마일리지/인센티브 제도를 활용하여 학생들의 참여 유도
- 학생 주도 교내 세미나와 신진연구인력 주도 심포지엄 개최
■ 융합 및 협업
- 목표했던 융합 및 팀티칭 교과목 9개 개설 완료
- 융합화학튜토리얼 교과목을 개발하여 (타)학과 대학원생 교육
- 부산대 응용화학공학부, 나노에너지공학과와 학점 교류
- 4차 산업혁명 겨울 학교 개최
■ 정보 활용
- 방대한 화학정보의 검색/활용 능력을 길러주는 화학정보활용 교과목 개설
- 화학정보/장비 활용 동영상 교육 자료의 학생 주도 제작과 공유
- 신입생 집중 오리엔테이션을 통한 대학원생 소양 교육 연 2회 실시
- 온/오프라인 한/영 병용 교육을 통한 내외국인 맞춤 교육과 국제화 여건 향상</td></tr>
</table>

연구역량 영역 성과	■ **자기주도** - 박사과정 국제/전국 학술대회 구두발표 의무화 - 학생 주도 부산대-성균관대 화학과 BK21 심포지엄 2회 개최 - 학생 주도 전문연구인력 간담회 개최 - 학생 마일리지/인센티브 제도를 통한 학생 참여 활성화 - 논문의 우수성에 따라 학생, 신진연구인력, 교수에게 인센티브 지급 ■ **융합 및 협업** - 강점이 있는 인공 효소/촉매 분야에 집중적인 협업 연구 및 교육 진행 - 참여교수 간 연구 협력을 위한 연구실 간 공동 세미나의 정기적인 개최 - 성균관대 및 경희대와 공동 세미나 정기적인 개최와 협업 연구 활성화 - 협업 연구논문에 대해서는 평가 후 인센티브 지급 - 학부생/대학원생/신진연구인력 사이의 멘토링과 협업 활성화 - 박사과정 학생 개인별로 2인 이상의 공동지도교수 선정 - 협업을 강화하기 위해 현재 운영 중인 학과 내 공동연구실 확대 설치 - 산업/지역 사회의 문제 해결을 돕기 위해 지속해서 협력 ■ **정보 활용** - 외부 연구비 및 장학금 신청을 위한 정보 및 선정 사례 공유 - 공동 및 개별 연구 장비와 시설의 정보 동영상 제작 및 공개 - 교수 마일리지/인센티브 제도를 통한 교육/정보 개선에 교수의 참여 유도
달성 성과 요약	▶ 자기주도, 융합 및 협업, 정보활용의 세 가지 중심 방향 아래 교과/비교과 프로그램의 대대적인 개편 달성 ▶ 학생 주도 교과과정의 성공적인 안착 ▶ 활발해진 사업단 내외 공동 연구를 통해 인공 효소/촉매 분야 연구 결과의 질적/양적 성장 달성 ▶ 장기화된 코로나-19 사태로 인한 부족한 대규모 학술 교류나 해외 공동 연구는 홈페이지와 온라인 플랫폼으로 보완 ▶ 4차 산업혁명 시대와 미래 에너지/건강 산업에 필요한 자기주도 융합형 및 협업형 분자소재 우수 인력 양성 목표에 부합
미흡한 부분 / 문제점 제시	■ **교육** - 투트랙 교육과정: 타과 인증서 발급 관련 참여학과 또는 과목 수 조정 필요 - 안전/윤리 교육 자료 제작 및 온라인 개방 필요 - 해외 학자와의 강의 교류와 외부 산업체 인사의 융합 교과목 참여 필요 - 온/오프라인 한/영 병용 교육자료 추가 마련 필요 ■ **연구** - 코로나-19로 인해 대학원생 국내외 학술대회 발표 실적 감소와 대학간 공동 심포지엄 비대면 개최로 네트워킹 효과 저하 - 대표 논문의 질적 향상 필요 - 연간 특허 등록 실적 감소 - PNU Visiting day 등 대면 학과 소개 및 연구 설명회 미개최 ■ **국제화/대중화** - 코로나-19로 인해 대학원생 주도 해외 방문 연구 미실시

	- 우수 학생 유치 영문 홍보 동영상 및 자료 미제작 - 소규모/대규모 국제 학술대회 개최 부족 - 실질적 교류 기업 수 및 교류 프로그램 부족
차년도 추진계획	■ **교육** - 투트랙 교육과정 보완 - 안전/윤리 교육자료 제작 - 해외 학자 및 산업체 인사 초빙을 통한 융합 교과목 개선 - 온/오프라인 한/영 병용 교육자료 추가 마련 ■ **연구** - 대학원생 국내외 학술대회 발표 장려 및 대학 간 공동 심포지엄의 지속적인 개최 - 대면 혹은 메타버스를 이용한 학과 소개 및 연구 설명회 개최 ■ **국제화/대중화** - 코로나-19 추이에 맞춰 대학원생 주도 해외 방문 연구 실시 - 영문 홈페이지 추가 보완 작업 실시 - 소규모/대규모 국제 학술대회 개최 - 교류 기업 범위 확대 및 교류 프로그램 개발

Ⅰ 교육연구단의 구성, 비전 및 목표

1. 교육연구단장의 교육・연구・행정 역량

성 명	한 글		영 문	
소 속 기 관	부산대학교	자연과학대학(원)		화학과(부)

▣ 연구 역량

본 교육연구단의 단장인 교수는 지난 20년 동안 전기화학 바이오센서를 개발해 오고 있으며, ‘전기화학적 활성 물질의 반응성 차이를 이용한 산화환원 순환 기술’과 ‘나노 물질을 인공 효소로 사용하여 신호를 증폭하는 기술’을 개발해 오고 있다. 이러한 노력의 결과로 세계적 수준의 ‘새로운 (전기)촉매 반응을 이용하여 매우 큰 신호 증폭을 얻는 기술’과 ‘전극과 표지 사이의 거리에 따른 전자전달 속도 차이를 이용하여 생체물질을 무세척으로 검출하는 기술’을 개발하였다. 양해식 교수는 연구 업적으로 136편의 SCIE 논문을 게재하였고 58편의 국내외 특허를 등록하였다. 최근 1년 동안에는 Angew. Chem.에 2편, Anal. Chem.에 1편, Biosen. Bioelectron.에 3편, ACS Sens.에 1편, Sens. Actuators B에 2편, Analyst에 1편을 포함하여 총 13편의 SCIE 논문을 교신저자로 게재하였다. 이러한 연구 역량의 결과로 부산과학기술상(2021년), 한국전기화학회 아이센스 학술상(2019년), 대한화학회 최규원 학술상(2015년), 한국전기화학회 물리전기화학분과 학술상(2015년), KCS-Wiley 젊은 화학자상(2006년)을 수상하였다. 학술지 활동으로 2014년에서 2017년까지 Journal of the Korean Electrochemical Society의 Editor-in-Chief를 역임하였고, 2015년에서 2018년까지 ACS Sensors의 Editorial Advisory Board 멤버로 활동하였으며, 2020년 4월부터는 Biosensors의 Editor, 2020년 8월부터는 Bulletin of Korean Chemical Society의 Associate Editor로 활동하고 있다. 대표적 연구비 수주 실적으로 고감도 전기화학 바이오센서와 관련된 삼성미래기술육성센터 과제(과제명: 무세척 현장 진단 센서를 위한 수용성 전도성 고분자-앱타이드 연결체)와 삼성미래기술육성재단 과제(과제명: 소멸파-유도 전기촉매 현미경)를 과제책임자로 수주하여 연구를 진행하였다. 최근에는 전기화학자와 유기화학자가 융합하여 새로운 전기화학 합성 반응과 전기화학 신호 증폭 기술을 개발하는 것을 목표로 하는 기초연구실지원사업(과제명: 효율적 전자 전달 매개체를 이용한 전기화학 반응 개발; 사업기간: 2019년 9월~ 2022년 2월)을 과제책임자로 수주하여 현재 도전적인 협업 연구를 시도하고 있다.

▣ 교육 역량

교수는 2004년부터 17년 동안 부산대 화학과에서 분석화학과 전기화학 관련 강의를 해 오고 있으며, 지금까지 50여의 대학원생 및 박사 후 연구원을 배출하였거나 지도하고 있다. 대외적으로 2011년부터 2021년까지 11년 동안 부산과학고 R&E 23개 팀을 지도하였고, 지도했던 모든 팀들이 교내 경진대회에서 우수한 성적으로 입상할 수 있도록 이끌었다. 교수는 전기화학 관련 다양한 외부 강의를 해 오고 있다. 2012년부터 현재까지 한국전기화학회 학술대회 때마다 전기화학 관련 튜토리얼 강연을 하고 있으며, 2015년부터 매년 이틀에 걸쳐 열리는 ‘전기화학학교’의 강사로 활동하고 있다. 또한, LG화학, 삼성종합기술원, 삼성SDI, 동우화인켐 등 많은 회사에서 기초 전기화학 및 바이오센서 관련 튜토리얼을 강의하였다.

▣ 행정 역량

교수는 1999년부터 2004년까지 ‘한국전자통신연구원’에서 선임연구원으로 근무하였고, 그 기간 중 2년 동안 ‘바이오소자팀’ 팀장으로서 10명 이상의 팀원을 이끌면서 대형 과제를 성공적으로 수행하였다. 부산대 화학과에 재직 중인 2010년부터 2013년까지 3년 동안 화학과 학과장을 역임하면서

‘학부생 면담의 날’, 학과장과 모든 학부생의 면담’ 등을 최초로 도입하였고 ‘화학관 복도 정비’, ‘세미나실 정비’ 등 다수의 화학과 환경 개선 사업을 수행하였다. 2018년 9월부터는 부산대 기능성물질화학연구소 소장으로 임명되어 연구소의 체계화와 발전을 위해서 노력하고 있다. 교수는 학회 활동을 통해서도 행정 역량을 키워 오고 있으며, 한국전기화학회에서 2014년부터 2017년까지 학회지편집위원회 위원장을 역임하였고 2018년부터 현재까지 바이오/분석전기화학분과 위원장을 맡고 있다. 대한화학회에서는 2006년에 분석화학분과 홍보간사로 활동하였고, 2013년에 전기화학분과 총무간사로 활동하였으며, 2016년부터 2017년까지 부산지부 간사장을 맡았고, 2021년에는 전기화학분과 회장을 맡고 있다.

2. 대학원 학과(부) 소속 전체 교수 및 참여연구진

<표 1-1> 교육연구단 대학원 학과(부) 전임 교수 현황 (단위: 명, %)

대학원 학과(부)	학기	전체교수 수	참여교수 수	참여비율(%)	비고
화학과	**20년 2학기**	17명	12명	70.59	
	21년 1학기	17명	12명	70.59	

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

연번	성명	변동 학기	전출/전입	변동 사유	비고
1		2020년 2학기	전입	신규 임용	
2		2020년 2학기	전입	신규 임용	

<표 1-3> 교육연구단 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**	75	60	80	30	25	83.33	14	8	57.14	119	93	78.15
	21년 1학기	70	49	70	31	24	77.42	13	8	61.54	114	81	71.05
참여교수 대 참여학생 비율					7.25								

가. 교육연구단 대학원 학과 전임 교수 수 현황

사업 개시일(20년 2학기) 기준 학과 소속 전체 교수는 총 17명에 해당하였으며, 현재 이 수는 유지되고 있다.

나. 교육연구단 참여교수의 비율 현황

교육연구단 참여교수 비율은 사업 개시일인 20년 2학기부터 70.59%(전체교수 17명 중 12명 참여; 기존교수 10명, 신임교수 2명)로 지난 1년간 변동 없이 운영되었다.

다. 교육연구단 대학원생 현황

(1) 대학원생 수

a. 지난 1년간 교육연구단의 대학원생 수는 21년 8월 현재 114명(석・박사 통합 13명, 석사과정 70명, 박사과정 31명)에 해당한다.

b. 21년 1학기 대비 대학원생 수는 119명에서 114명으로 소폭 감소하였다.

c. 21년 2학기 10명의 신입생이 등록을 완료하여, 21년 9월 대학원생 총 인원은 124명으로 증가 예정이다.

d. 세부 과정별 수를 보면, 박사과정 및 석・박사 통합과정의 수는 큰 변동이 없으나, 석사과정은 5명이 감소하였다.

e. 20년 1학기 107명 대학원생 중 21년 2월 졸업한 석사과정생이 22명에 해당하여 수치가 급격하게 감소하는 것을 주요 원인으로 고려할 수 있다.

f. 졸업생의 증가로 대학원생 수가 급격하게 감소할 수 있었으나, 교육연구단 및 학과의 여러 가지 프로그램 홍보와 우수 대학원생 확보 노력으로 감소 폭을 줄일 수 있었다.

(2) 참여비율
a. 지난 1년간 전체 대학원생 중 교육연구단 참여비율은 70%이상으로 유지되었다.

b. 참여비율의 감소는 참여교수 지도에 있는 대학원생의 전체수가 지난 1년간 93명에서 81명으로 12명 줄어 얻어진 계산상의 결과이다.

c. 21년 2학기 신입생 중 참여교수의 실험실에 석사과정 8명/석・박사 통합과정 1명이 입학예정으로 참여비율은 75%(93명 참여/124명 대학원생)로 20년 2학기 수준으로 증가 예정이다.

3. 교육연구단의 비전 및 목표 달성정도

가. 교육연구단의 비전: 자기주도 협업형 분자소재 교육연구 선도 교육연구단으로 성장

부산대 화학과 BK21 교육연구단은 ‘선도적인 교육과정 혁신을 통해 4차 산업혁명 시대와 미래 에너지/건강 산업에 필요한 자기주도 융합형 및 협업형 분자소재 우수 인력을 양성’ 하면서 ‘선도적인 연구협업 혁신을 통해 인공 효소/촉매 분야의 과학 난제 해결에 기여’ 할 수 있는 교육연구 선도 교육연구단으로 성장하고자 한다. 이를 통해 4단계 BK21 사업이 끝나는 시점에 QS 대학 평가의 화학 분야에서 세계 순위 200위 이내에 진입하고자 한다.

나. 교육연구단의 목표

(1) 교육 목표: (교육과정) 투트랙 교육과정 운영과 학생 주도 교과과정 구성
(인재상) 자기주도 협업형 분자소재 우수 인력
융합 및 협업 교육을 강화하기 위한 투트랙(현장친화형과 난제해결형) 교과과정을 도입하고, 학생 주도적 문제 해결에 필요한 능력을 배양하기 위한 교육과정(정보활용 교육, 심포지엄 개최 등)을 운용한다. 이를 통해 4차 산업혁명 시대와 미래 에너지/건강 산업에 필요한 자기주도 융합형 및 협업형 분자소재 우수 인력을 양성한다.

(2) 연구 목표: 인공 효소/촉매 분야 집중 및 협업을 통한 경쟁력 확보와 산업/지역 사회 연구 기여
본 교육연구단의 연구 전문성을 기반으로 화학의 근원적인 난제인 인공 효소/촉매 분야에 집중적으로 협업 연구를 수행하여 세계적 연구 경쟁력을 확보하고, 산업/지역 사회에서의 관련 연구문제 해결에 기여한다.

(3) 국제화 목표: 학생 주도 발표 및 국제 공동연구와 우수 외국인 연구 인력 활용
한글과 영어를 병용하여 모든 정보 및 교육을 제공하는 시스템을 구축하여 한국 학생의 국제화 능력을 향상하고 우수 국제 연구 인력을 확보 및 활용하는 데 이용한다. 또한, 학생 주도적 발표회 및 국제 공동연구를 추진하여 국제화 능력을 배양한다.

다. 지난 1년간 교육연구단의 목표 대비 실적 현황

▣ 교육

본 교육연구단은 투트랙 교육과정, 학생주도 교과과정 구성, 협업형 분자소재 우수인력 양성을 교육목표로 하였으며, 아래 표는 교육연구단의 최종 목표에 대한 지난 1년의 실적을 나타내었다.

주요 항목	목표	실적(20.9.~21.8)
자기주도	투트랙 교과과정 운영	・투트랙 교과과정 소개(21.02.16) ・21년 1학기 신입생 16명(트랙1, 현장친화형: 4명; 트랙2, 난제해결형: 12명)
	온/오프라인 블렌디드 러닝 도입	화학정보활용 교육(5개 프로그램, 총 6회)
	학생 자율 비교과 프로그램 참여	・저명인사초청 세미나 개최(총 43회) ・산업체/연구소 초청 세미나(총 2회) ・산업체 현장 방문(3명) ・산업체 인턴제(석사 1명) ・기기활용프로그램 총 5회 실시(58명 참여) ・4차 산업혁명 세미나/겨울학교 개최(온라인 1회) ・학교 간 심포지엄(부산대-성균관대; 연 2회)
	학생 및 신진연구인력 주도 교내 세미나 조직 및 개최	・학생주도 Chemistry Fair개최(1회) ・신진연구인력 주도 Postdoctoral Research Symposium 개최(1회)
융합 및 협업	융합 및 팀티칭 교과목 개설	바이오소재화학 및 융합화학튜토리얼 (21년 1학기 개설)
	융합화학튜토리얼 교과목 개발과 대중화 교육	・융합화학튜토리얼(21년 1학기 개설) ・초/중/고 대상강연(13회) ・학부/대학원 대상강연(1회) ・전문튜토리얼(1회) ・지역소외계층캠프프로그램(1회)
	타전공 교과목 상호 수강	・20년 2학기 1명(전기전자공학과 개설) ・21년 1학기 2명(에너지융합기술전공 개설) ・21년 1학기 30명(타학과 학생 화학과 개설과목 수강)
	실습 병행 교과목 개설	・NMR 실험기법(21년 1학기 개설) ・RNA생화학(21년 1학기 개설)
	4차 산업혁명 겨울학교 개최	온라인 세미나 실시(1회)
정보활용	화학정보활용 교과목 개설	화학정보활용(21년 1학기 개설)
	데이터 정보 수집 및 장비 활용 동영상 교육 자료 제작	21년 1학기: 18개 주제 동영상 제작(40명 참여)
	신입생 집중 오리엔테이션	대학원 신입생 오리엔테이션 실시(연 2회)

	안전/윤리 교육 자료 제작 및 교육	・연구실 안전교육 및 생물안전교육(2회) ・연구윤리 및 연구관리 수강(2회, 41명) ・부산대 연구실안전관리센터 제작 자료 배포
	온/오프라인 한/영 병용 교육	・대학원 개설 교과목 한/영 병용 강의 80%이상 유지 및 온/오프라인 실시 ・강의자료 온라인 제공 및 참여교수의 교재 번역서 제작(2건)

(1) 자기주도

a. 21학년도부터 석사과정에 투트랙 교과과정(현장친화형과 난제해결형)을 운영하였고, 21년 1학기 신입생 총 16명 중 현장친화형, 난제해결형에 각각 4명, 12명이 신청하였다.

b. 부산대 PLATO 플랫폼에 온/오프라인 블렌디드 러닝을 적극적으로 도입하여 자기 주도적인 교육이 가능하도록 하였다.

c. 본 교육연구단은 학생 자율 비교과 프로그램으로 저명인사 초청세미나, 산업체/연구소 초청세미나, 졸업생 간담회, 산업체 현장방문, 기기활용 교육프로그램, 여성 취업률 향상 프로그램, 화학정보활용 교육, 학생 및 신진연구인력 주도 세미나, 4차 산업혁명 세미나/겨울학교, 연구로 만날 사이 등 총 11개 프로그램을 개최하여 학생들이 자발적으로 선택하여 참여하도록 유도하였다(Ⅱ-1.1.1-다 참조).

d. 학생 주도로 조직하고 개최하는 교내 세미나인 Chemistry Fair를 연 1회 운영하였다(20.09.16. 총 159명 참가; 14명 대학원생 구두발표)(Ⅱ-1.1.2-다 참조).

e. 신진연구인력 주도로 조직하고 개최하는 교내 심포지엄을 연 1회 운영하였다[(The 2nd Postdoctoral Research Symposium 개최(20.11.11); 신진연구인력 5명 구두발표)].

(2) 융합 및 협업

a. 융합 및 팀티칭 교과목 2개(융합화학튜토리얼, 바이오소재화학)를 21년 1학기 개설하였으며, 각각 7, 15명 학생이 수강하였다.

b. 여러 학과 간의 융합 교육이 가능하도록 화학과 과목을 개설하고, 타과 학생이 수강할 수 있도록 하였다. 결과로, 화학과 대학원 과목에 총 10개의 타학과(전공) 대학원생 30명이 화학과 과목 10가지 중 선택하여 수강하였다(Ⅱ-1.1.3-라 참조). 반대로, 화학과 대학원생 3명은 2개의 타학과 과목을 수강하였다.

c. 과학기술 분야 문제해결에 필요한 “융합화학튜토리얼” 교과목을 21년 1학기 개설하여 타학과와 산업체 교육으로 확대하였다.

d. 산업 분야 문제 해결에 필요한 교과목 “에너지화학” 을 21년 1학기에 개설하였다.

e. 21년 1학기에는 실습의 병행이 필요한 과목인 NMR실험기법을 개설하였으며, 총 24명(석사 20, 박사 2, 석박사통합 2)의 학생이 수강하여, NMR 기기 활용과 결과 분석에 실질적인 도움이 될 수 있도록 하였다.

f. 교육연구단에서 제시한 ‘사회 문제 해결 필요 교과목’ 인 전기화학과 RNA생화학 과목을 21년 1학기

에 개설하였다. RNA생화학에서는 이론과 실험을 병행하는 강의로 진행하였으며, 교육연구단의 신진연구인력인 Atanu Naskar 박사가 “Synthesis of Nanoparticle”의 제목으로 21년 1학기(4월 20일) 강의를 진행하였다. 학생 및 연구인력 모두 상호 교류의 기회를 제공하였다.

(3) 정보활용

a. 화학관련 연구에 필수적인 방대한 정보 검색 및 활용 능력을 배양하는 화학정보활용 교과목을 21년 1학기에 개설(주정민)하였으며, 총 41명(석사: 27, 박사 6, 석・박사통합 4, 기타 4명)이 수강하였다.

b. 18개 주제에 대한 화학 데이터 정보 수집 및 장비 활용에 도움이 되는 동영상 교육 자료를 40명의 학생이 주도하여 제작하였다.

c. 대학원생 소양 교육인 신입생 집중 오리엔테이션을 개최하였다(21년 2월, 8월 총 2회 실시; 8월 11일은 코로나-19 4단계로 인하여 온라인 자료로 교육하고, 수강 신청은 개별 대면으로 진행함).

d. 연구실안전관리센터 주최 연구실안전교육 및 생물안전교육(온라인)이 지난 1년간 학기별로 총 2회 실시되었으며, 교육연구단 대학원생 및 신진연구인력이 참여하였다. 안전/윤리 교육자료는 부산대학교 연구실안전관리센터에서 제작한 정보(https://labs-safety.pusan.ac.kr/fro_end/)를 학생들에게 전달하고, 21년 2학기 완성 예정인 교육연구단의 개선된 홈페이지에 연동 예정이다.

e. “연구윤리 및 연구관리”를 ‘논문 연구 이수예정자’의 필수 이수 과목으로 지정하여 교육연구단 대학원생 총 41명(20.2학기: 24명, 21.1학기: 17명)이 수강하였다. 연구윤리 가이드북을 배포하였으며, 교육연구단 학생들은 온/오프라인 연구윤리 강좌에 수강하였다.

f. 온/오프라인 한/영 병용 교육을 위해 대학원 개설과목에서 외국인이 수강한 경우는 한/영으로 온/오프라인 강의를 진행하였다. 전체 강의 중 80%이상을 한/영 병용으로 진행하였다(Ⅱ-6.1-다 참조). 강의자료는 온라인으로 사전 제공하여 학생들의 이해를 도왔다. 추가로 영문 교재의 번역서 제작에 교수 2인이 참여하여 한글판 번역서 2건이 출간되었다(Ⅱ-5 참조).

▣ 연구

주요 항목	목표	실적(20.9.~21.8)
자기주도	학생주도 대학간 공동 심포지엄 개최	성균관대와의 공동 심포지엄 개최(총 2회)
	박사과정 구두발표 졸업 요건화	학과 회의를 통한 졸업 요건화 학과 규정 명시
	학생주도 네트워킹	대학원 동아리(Chem-Hub)를 통한 상호 연구 논의(총 10회, 참여 13명)
	학생 마일리지/인센티브 제도	프로그램 참여 학생에게 마일리지 부여 및 논문 출간 인센티브 지급
융합 및 협업	인공 효소/촉매 분야의 협업연구	참여교수간 협업연구 논문 4편 발표
	연구실 간 공동 세미나	기초연구실 기반 공동 세미나 연 12회
	타대 공동 세미나 및 공동연구 활성화	・부산대 화학과-성균관대 공동 심포지엄(1년 2회 개최) ・타대학과의 공동연구 세미나 및 연구 실적(논문 30건)

	협업연구 논문 인센티브	공동연구 장려에 대한 논문 인센티브 지급 기준 제시 및 지급
	학생/신진연구인력 협업 활성화	공동연구 논문 출간(총 3건)
	공동 지도교수제 도입	박사과정(총 22명)에 대한 공동 지도교수 면담의 날 개최(2회)
	산업/지역 사회와의 관련 분야 연구 지원 및 협력	・기술이전(2건) ・창업(1건) ・기업대상 연구발표(총 3회) ・기업과의 MOU 체결(1건) ・외부 기관 위촉 위원(4건) ・기업 과제 수주(7건) ・기업과의 공동논문 발표(1건)
정보활용	연구비/장학금 신청 정보 및 선정 사례 공유	대학원생 지원 가능한 교내외 장학금 정보 선정사례 발표(20년 9월)
	공동 및 개별 연구 장비/시설의 정보 공개 및 공동 활용	각 실험실 별 주요 연구 장비/시설을 소개하는 동영상 제작 및 인트라넷 공지
	교수 마일리지/인센티브 제도	교육연구단 규정에 따른 마일리지/인센티브 제공

(1) 자기주도

a. 계획한 학생 주도 대학간 공동심포지움으로 부산대-성균관대학 화학과 간의 SKKU-PNU BK21 Four Joint Symposium을 지난 1년간 총 2차례 개최하였다. 개최된 심포지움은 유기화학과 물리화학 분야에 해당하였으며, 총 16명(부산대 8명, 성균관대 8명)이 온라인 상으로 구두 발표하였다(Ⅱ-1.1.2-마 참조).

b. 박사과정 구두발표 졸업 요건화를 위해 2020년 12월 10일 학과 대학원 규정을 개정하였다. 신규 개정안의 제2조 “박사학위에 대한 규정”의 5(청구자격) (2)항에 박사학위과정 학생들이 학위청구 논문심사를 요구할 때는 “국제/전국규모학술대회에서 구두로 발표하거나, 교내 학술대회에서 영어로 구두발표해야 한다.”를 필수항목으로 명시하였다.

c. 학생주도 네트워킹을 위해 학생들이 자발적으로 동아리인 “Chem-Hub”를 결성하였고, 총 13명의 다른 세부전공 분야 대학원생들이 10회의 회의를 통해 연구, 진로 등에 대한 논의하였다. 추가 동아리 학생 모집을 위해 신입생 오리엔테이션 행사와 학과 소식지를 통해 홍보하였다.

d. 학생 마일리지/인센티브 제도: 교육연구단의 다양한 프로그램에 적극 참여를 독려하고 우수성과를 발표한 학생들에게 교육연구단 자체운영 기준에 따라 마일리지를 제공하였고, 논문 출간에 대한 인센티브를 지급하였다(Ⅱ-2.2-사 참조).

(2) 융합 및 협업

a. 교육연구단의 참여교수 및 학과 교수들은 지난 1년간 인공 효소/촉매 분야 기반 상호 공동연구 주제를 탐색하기 위해 공동 세미나 또는 연구 결과 공유를 통해서 다양한 협업 연구를 진행하였고, 우수 공동연구 성과를 발표하였다(논문 4편).

b. 교육연구단 참여교수 중 기초연구실 과제를 기반으로 교육연구단의 실험실 간 공동세미나를 연 12회 개최하였다.

c. 교육연구단은 과학기술 연구 경쟁력을 확보하기 위해 학교 간 공동연구를 진행하여 다수의 성과를 발표하였다(Ⅲ-1.2 참조)

d. 교육연구단 내 협업연구를 통해 출간된 논문에 대해 불이익이 없도록 대학원생과 신진연구인력에게 지급하는 인센티브 지급 기준을 마련하였다(교육연구단 자체운영 세부지침: 별표 5, 6). 이를 토대로 논문 인센티브를 지급하였다(Ⅱ-2.2-사 참조).

e. 교육연구단 내 학생/신진연구인력 간의 협력 연구를 통하여 지난 1년간 총 3편의 공동연구 논문을 발표하였다.

f. 해외 우수학교의 벤치마킹을 토대로 학생들이 향후 자신의 진로를 탐색하며, 연구 과정에 도움을 줄 수 있도록 공동지도교수제 신규 프로그램으로 구성하였고, 학생 각자가 원하는 교수를 공동 지도교수로 선정하여 공식적으로 매 학기 1회 상담의 날을 마련하여 면담을 진행하였다(총 22명 대학원생 1, 2학기 면담의 날 시행; Ⅱ-1.1.1.가-(2) 참조).

g. 산업/지역 사회와의 관련 분야 연구 지원 및 협력을 위해 기술이전(2건), 창업(1건), 기업과의 연구 논의(3건), MOU 체결(1건, 경보제약), 기업 과제 수주(7건) 및 기업과의 공동 논문발표(1건)를 달성하였다. 참여교수 중 일부는 외부기관 위촉위원으로 임명되었다(Ⅱ-1.2.1-다 참조).

(3) 정보활용

a. 학생들이 지원할 수 있는 연구비/장학금 신청정보를 정리하여, 8월부터 개편 작업이 시작되는 홈페이지(21년 2학기 완료 예정)에 공개예정이다. 기존 외부지원 장학금 수혜자의 선정사례 발표(20년 9월)를 개최(20년 9월)하여 대학원생들이 눈높이에 맞는 장학금 지원 방법 및 정보를 상호 공유할 수 있도록 기회를 제공하였다 결과로 1명의 박사과정 학생이 교육부 주관 2021년 이공분야 학문후속세대지원사업에 추가 수혜자로 선정되었다. 교내 장학정보의 경우 해당 사업이 오픈되는 경우 전체 학생들에게 메일을 통하여 공지하였고, 정확하고 빠른 정보 공유를 통해 교내 PNU Fellowship에 박사과정 3명, 석사과정 1명이 선정되었다.

b. 공동연구 활성화를 위해 학과 내 공동 장비 및 개별 실험실 연구 장비/시설의 정보를 공개하고 사용방법에 대한 동영상을 제작하였으며, 연구단 인력에게 인트라넷으로 자료를 공개하였으며, 향후 개편된 홈페이지에 연동하여 쉽게 접근하도록 예정이다.

c. 교육연구단의 참여교수들의 적극적인 참여를 독려하고, 우수한 실적을 배출하도록 동기 부여를 위해 교육연구단 자체규정에 근거하여 마일리지를 제공하였고, 이를 인센티브, 학생 지원금, 신진인력지원 선정에 반영하였다.

▣ 국제화

주요 항목	목표	실적(20.9.~21.8)
자기주도	제안서 평가 후 해외 단기 파견 지원	해당사항 없음
	학생 및 신진연구인력 주도 우수 외국인 및 학생 유치 홍보 동영상/자료제작	화학과 및 Lab 소개 홍보동영상 제작 (총 2건; 21년 1학기) 및 공개
융합 및 협업	국제 공동연구를 위한 기반 마련	・국제 연구를 통한 논문 13건 발표

		・학생 및 신진인력 국제학술대회 발표(학생-구두: 8편, 포스터: 19편; 신진인력-구두: 4편, 포스터 1편) ・연사초청 세미나(2회) ・소규모 국제학술대회 개최(온라인 1회)
	한국 학생과 외국인 연구자의 연구 협업 활성화	교육연구단 내 학생/외국인 신진인력과의 공동연구 논문(총 3건)
정보활용	홈페이지에 한/영 병용 정보 제공	한/영 병용 홈페이지 개편 진행중
	화학영어논문작성법 교과목 개설	21년 2학기 개설; 국제 공동 강의
	교수 마일리지/인센티브 제도	교육연구단 규정 마련

(1) 자기주도

a. 제안서 평가 후 해외 단기 파견 지원을 계획하였으나, 코로나-19 상황으로 인해 해외 파견이 어려워 계획대로 진행하지 못하였다.

b. 학생 및 우수 신진인력을 유치하기 위한 홍보를 위해 학생들이 주도하여 실험실별 동영상을 제작하였으며, 연구단 인트라넷에 공지하였으며, 추후 개편된 홈페이지에 공개 예정이다.

(2) 융합 및 협업

a. 교육연구단은 국제 공동연구 기반 마련을 크게 4가지 항목의 계획을 추진하였다.

- 국제 공동연구를 통해 논문을 출간하고자 하였으며, 미국/일본/중국/대만/인도/영국/이탈리아 7개국과의 교류를 통해, 총 13건의 논문을 발표하였다.
- 학생 및 신진인력이 국제학술 대회 발표(구두: 12건, 포스터: 20건)하고 자신의 결과에 대한 다른 연구자들과 논의를 하는 기회를 제공하였다.
- 북경대 약대 분자 및 세포 약리학과의 Prof. Tao Liu의 온라인 초청 세미나(21년 4월 29일), 독일 도르트문트대의 Dr. Jacopo Tessarolo의 오프라인 초청 세미나(2021년 8월 25일)를 진행하였다.
- 3인의 국제 저명인사들이 실시간으로 참여한 소규모 온라인 국제학술대회(PNU BK4/BRL International Symposium on Electron Mediators)를 1회 개최하였다(2021년 7월 27일).

b. 교육연구단 내 한국 학생과 외국인 신진인력 연구자의 협업을 통해 얻은 결과를 공동연구 논문으로 1년간 총 3편을 발표하였다. 발표 논문은 모두 JCR기준 Q1에 해당하는 우수 논문이다.

(3) 정보활용

a. 교육연구단의 교육과정 및 다양한 프로그램을 내국인/외국인 학생 및 신진연구인력이 쉽게 접근하여 정보를 확인할 수 있도록 학과 홈페이지를 한/영 병용 정보를 제공하도록 개편하는 작업을 진행 중이고, 21년 2학기 이내로 완료 예정이다. 개편 후에도 피드백을 받아 지속적으로 업데이트 예정이다.

b. 본부 차원의 영어 작성법 프로그램이 전반적인 내용을 다루지만, 세부 전공 맞춤형 영어 논문 작성에 큰 도움을 제공하기 어려움을 반영하여, 화학 전공자 전임교원 및 국외 화학 전공자가 강의하는 화학영어논문작성법" 과목 신설에 대한 개편안과 구체적인 내용을 설계하여, 21년 2학기에 개설해 운영할 예정이다.

(4) 저명대학 벤치마킹 대상과의 프로그램 비교 및 실적 분석

교육연구단은 2020년 U.S. News & World Report의 미국 화학과 대학원 순위에서 상위 20위 안에 포함

된 대학과 2020년 QS 세계 대학 화학과 순위에서 상위 30위 안에 포함된 대학에서 운영 중인 교육, 연구, 국제화/대중화 프로그램을 상세히 분석하여 우수 프로그램을 벤치마킹하여 교육연구단 프로그램 개발 계획에 활용하였고, 지난 1년간 프로그램을 운영해왔다. 교육연구단이 계획하고 운영한 프로그램에 대한 1년간의 실적을 교육, 연구, 국제화/대중화로 구분하여 아래에 나타내었다.

a. 교육

구분	교육연구단		벤치마킹	
	계획 프로그램	실적	대학명	프로그램 내용
교육과정	분자 소재 연관 타학과 수업 수강 시 인증서 수여	·21년 1학기부터 투트랙 교육과정에 따른 비교과 졸업요건으로 시행. ·타과 과목 수강: 3명	Caltech; UCLA; UIUC	·타전공/타 분과 과목 수강 장려 ·최소한의 학점 기준 제시, 타학과에서 옵션 채울 수 있도록 함 ·컴퓨터공학과 수강 인증서 제공
	컴퓨터화학반응메커니즘 개설	22년 2학기 개설 예정	UC Berkely	특별학위제 “Master f Molecular Science and Software Engineering” 기반 과목
	투트랙교육과정	21년 1학기: 16명(트랙 1: 4명, 트랙2: 12명)	EPFL	두 가지 석사과정 운영; 공동 교과/선택교과/프로젝트 교과로 분리
	학생주도 교육과정 설계	산업체 방문 인턴제 참여	Oxford	다양한 역량을 키울 수 있고 선택할수 있는 훈련기회 제공
	공동지도교수	박사과정 22명 공동지도교수 선정 및 면담의 날 개최(2회)	Harvard; Stanford	The G4 advisory meeting
교과목	화학정보활용 과목 개설	21년 1학기 개설	Texas Austin; UPenn	·Professional Development for Graduate students in Chemistry ·Chemical Information(필수과목)
	화학영어논문작성법 교과목 개설	21년 2학기 개설	Columbia; Yale	·학교 내 논문 작성 프로그램 개설 ·Graduate Writing Center
	첨단기기활용 및 제어 개설	22년 2학기 개설예정	Yale	Materials Chemistry Laboratory
비교과	안전/윤리 교육자료 제작 및 공유	·대학원 오리엔테이션: 화합물 취급 방법 교육자료 제공 및 홈페이지 공유(2회) ·교내외 온/오프라인연구윤리 프로그램 시행 ·연구윤리 가이드북 배포 ·연구윤리 및	UNC	Introduction to Laboratory Safety(필수과목)

		연구관리/생명윤리 필수 수강		
	인권/윤리 교육 강화	・외국인생 대학원 대상 간담회 연 1회 실시 ・학교 제작 인권/윤리 교육 자료 배포 ・인권/윤리 교육 온라인 프로그램 참여	Scripps	인종, 국적, 성별의 다양성에 대한 존중과 관용의 환경

b. 연구

구분	교육연구단		벤치마킹	
	계획 프로그램	실적	대학명	프로그램 내용
연구	중심연구 주제 아래 공동연구 강화	・학과 홈페이지 개편진행중 ・교수간 공동연구 논문 발표(4건)	Caltech; ETH Zurich	에너지, 환경, 분자 신약, 나노 소재 연구에 집중 연구실을 세부연구분야별로 구분
	연구로 만날 사이	연 2회 개최	UCLA	상호 연구를 위한 연구주제별/교수별 핵심 연구 내용 소개
	홈페이지 강화-세부 연구 분야 제공	홈페이지 개편 진행 중	Michigan Ann Arbor	각 교수별/주제별 연구내용 소개
	연구실 간 공동 세미나	기초 연구실간의 공동 세미나 개최(연 12회)	Cambridge	각 연구실을 Research Interest Group으로 묶어서 협업
정보 공개	홈페이지 강화	학과 홈페이지 개편 진행 중	Scripps; Princeton; Texas Austin; UPenn	・박사후 연구원 대상 다양한 정보 제공 ・졸업생 진학/취업 정보 제공 ・학과 공용 장비 소개 ・대학원생 포상 및 장학금 수여시기별 외부 장학금 안내
학생 주도 교류	교내외 학생주도 세미나 및 포스닥 리서치 심포지엄 개최	각 1회, 총 2회 개최	Columbia; NUS	・다양한 학생 주도 주제별 세미나 ・Chemistry Graduate Poster Symposium
	전문연구인력/창업자와 학생 간담회	1년간 총 5회	Stanford; Chicago	・Leadership Diunners ・Carrier Development 세미나 개최
	학생주도 진로탐색	・산업체/연구소 현장방문(3명) ・산업체/연구소 인턴제(1명)	해당사항 없음	해당사항 없음
학생 확보	진학 전후 랩로테이션 (랩인턴/연구도우미)	예비 대학원생 대상 랩인턴제 실시(총 17명)	EPL; UPenn	랩로테이션 필수
	대학원 진학동아리	Chem-Hub 정기회의 운영	Oxford	Graduate Society Catalyst: 대학원 모임

	PNU Visiting day:대학생/학부모 대상 학과 및 연구 설명회	코로나-19로 인해 뉴스레터(2회)송부로 대체	Yale	VSR (타대생 학부생 실험 연구)

c. 국제화/대중화

구분	교육연구단		벤치마킹	
	프로그램	실적	대학명	프로그램 내용
국제화	국제공동연구 파견	해당사항 없음	HKUST	International Student Exchange Program
	한/영 병용 정보제공(홈페이지 강화)	홈페이지 개편 진행중	Northwestern; Scripps	포스닥 및 방문연구자를 위한 정보 홈페이지 제공
대중화	융합화학튜토리얼 강의 개설	21년 1학기 개설(7명 수강)	Harvard; Stanford	The Technological World 교양 수업
	학과 정기 소식지 발행	1년 2회 발행	UIUC	E-Newsletter 제공
	중고등학생 화학경진대회 지원	올림피아드 지원 지역 소외계층 캠프 지원	Chicago	대학원생이 주도하는 대중화 프로그램

(5) 교육연구단의 비전 및 목표 달성과정에서의 애로사항

전반적으로 코로나-19로 인해 지난 1년간 교육연구단은 기존 대면을 계획하였던 여러 가지 프로그램을 온라인 위주의 프로그램을 기반으로 전환하여 다수의 인원이 다양한 정보를 습득할 수 있도록 기회를 마련하였다. 추가로 항목별 교육연구단 프로그램을 운영에서의 애로사항을 아래에 기술하였으며, 향후 해결 방안도 간단히 제시하였다.

a. 교육

- 석사 트랙 과정을 교육연구단에서 처음 시도하였고, 코로나-19로 인하여 학생들이 자율적인 오프라인 교육 기회가 적었다. 이에 대한 보완책으로 온라인 교육으로 대체하고는 있으나, 아직까지 계획대비 부족함이 있어, 대책을 마련할 예정이다.

- 상호 수강을 인정하는 과목에 대한 정보가 부족하여, 인정을 사전 계획하지 않은 과에도 학생들이 수강하는 사례가 발생하였다. 이에 대한 해결을 위해 향후 개선된 홈페이지에 정보를 추가 계획 중이다.

- 교육연구단에서 개설한 융합교과목의 외부 산업체 참여는 코로나-19 상황으로 어려움이 있었다. 이에 향후 온라인 교육 방식의 개방도 고려 예정이다.

- 부산대학교 안전연구센터에서 자체 제작한 안전/윤리 교육자료가 한글로만 이루어져 외국인 학생이 정확한 정보를 수집하는 데 어려움이 있었다. 교육연구단은 차년도부터 순차적으로 영문 자료 제작을 계획 중이다.

- 교육연구단의 학생들이 외국 교수들로부터 연구에 대한 전문적인 피드백, 논문작성법, 향후 진로 등을 바탕으로 하는 국제 교류 교육을 수행하기 어려웠다. 이에 대한 해결안으로 21년 2학기 화학영어논문작성법(부산대/미국 오레곤주립대학 화학과와 공동 강의 예정) 개설을 바탕으로 활발한 교류를 계획 중이

다.

b. 연구

- 학생주도 대학 간 공동 심포지엄 온라인 제한으로 인한 네트워킹을 진행하였으나, 대면 심포지엄과 비교해서 참여도와 심포지엄의 질이 상대적으로 낮아짐이 문제점으로 드러났다. 이에 대한 해결로 세분화된 프로그램을 설계할 예정이다.

- 코로나-19로 인해 세미나, 랩로테이션의 연구 활동에 제한이 있어, 온/오프라인의 병행 확대 실시를 계획 중이다.

- 학생 학술대회 발표 실적 감소는 코로나-19로 인해 학술대회가 취소 또는 축소되어 20년 2학기에만 한시적으로 학술대회 미 발표자도 심사위원 평가 시 자격요건이 충분한 것으로 인정되면 졸업을 허용하여 일어난 현상으로 파악된다. 21년 1학기는 학술대회 발표 또는 논문 발표자에게만 학위를 수여하도록 졸업요건을 재 강화하였다.

c. 국제화/대중화

- 대학원생 주도 해외 방문 연구 지원 미실시해외파견 연구, 국제 학술대회 오프라인 참석이 제한되어 학술 활동에 어려움이 있었다.

- 대학원생 주도 해외 방문 연구 지원 미실시로 인해 계획하였던 우수인력 교류 및 공동실험실 활용 목표를 달성하지 못하였다. 향후 교육연구단은 온/오프라인 등 여러 가지 방식으로 프로그램을 확대 예정이다.

- 초/중/고 및 지역 사회에 대한 대중화 교육을 비교적 많이 실시한 편이나, 지속적인 참여가 제한되었다. 향후 이러한 상황에 대체 가능한 프로그램을 마련 예정이다.

- 기업 니즈에 대한 교육 및 교류가 제한되어, 온/오프라인 프로그램을 병용하는 계획을 지속적으로 진행하려고 한다.

II 교육역량 영역

□ 교육역량 대표 우수성과

분자소재 교육연구단은 “자기주도 협업형 분자소재 교육연구 선도 사업단”의 비전 및 “자기주도, 융합 및 협업, 정보활용” 인재 양성의 교육 목표를 제시하였으며, 이를 달성하기 위해 세부적으로 계획한 방안을 달성하기 위해 계획한 교육역량 프로그램을 지난 1년 동안 성실히 수행해왔으며, 아래에 대표적인 우수 성과에 대하여 열거하였다.

1, 교과과정 개편

교육연구단은 비전과 목표에 부합하는 교육과정 개편 및 이에 따른 교과과정 개편을 완료하였으며, 비교과 과정도 세분화하여 운영하였다.

(1) 자기주도 강화 교과과정

1) 현장친화형/난제해결형 인력 양성프로그램 개설 운영

교육연구단은 교육 목표 중 하나인 자기주도 인력 양성을 위해 투트랙 교과과정을 21년 1학기부터 신설/운영하였다. 이 프로그램은 기존 단일 교과과정으로 운영되어 학생들에게 지식전달에 초점을 맞추었던 방식에서와 비교하여 학생들이 주도적으로 자신의 진로 목표에 맞는 학위 교과과정을 선정하도록 하는 맞춤형 프로그램이다. 이 프로그램은 해외 저명 대학의 벤치마킹을 토대로 교육연구단에 맞는 세부 프로그램으로 맞춤화하여 진행하였다. 본 프로그램은 대학원과정을 현장친화형(석사 트랙1)과 난제해결형(석사 트랙2, 박사과정)으로 편성되어 있으며, 2021년 1학기 현재 총 25명의 대학원생 중 석사과정 학생 4명은 현장친화형, 21명 학생은 난제해결형(석사 12명, 박사 9명)을 선택하여 운영중이다.

2) 교과과정 개편 운영

기존 학과 개설과목을 대폭 폐지 및 변경하는 교육과정을 구성하였다.

a. 교육연구단은 21년 1학기에는 신설(8과목), 변경(8과목), 폐지(12과목)를 진행하였고, 21년 2학기에는 1과목을 변경하였다. 선정평가 당시의 목표[신설(융합8과목, 전공심화 1과목), 변경(5과목), 폐지(1과목)] 보다 더 큰 폭의 개편을 단행하였다.

b. 인권/안전/연구윤리교육으로 온/오프라인 교육 및 자료를 배포하고 신입생 집중 오리엔테이션을 통하여 교육하고, 연구윤리 및 연구관리/생명윤리 과목을 졸업 필수 수강과목으로 지정하였다.

c. 교육연구단은 현장친화형/난제해결형 인력 프로그램의 교육 이외의 세부 학생 자율 비교과 프로그램을 운영하였다. 지난 1년동안 현장친화형 프로그램에 등록한 학생들의 선택 비교과에 해당하는 산업체 현장 방문/인턴, 산업체/연구소 초청세미나, 기기활용 프로그램, 타학과 교과목 이수를 실적으로 얻었다. 현장친화형/난제해결형 공통 선택 비교과로 4차 산업혁명 세미나/겨울학교를 개최하여 연구의 현재와 미래를 파악할 수 있는 계기를 마련하였다.

2) 융합 및 협업 강화 교과과정 및 프로그램

교육연구단은 사회적 요구가 큰 융합/협업 및 사회문제 해결 인재 양성 교육을 강화하기 위해 특정 교과목을 융합능력 향상 및 팀티칭 교과목으로 지정하였으며, 21년 1학기부터 개설・운영 중이다.

a. 융합교과목: 화학영어논문작성법(21년 2학기), 화학정보활용(21년 1학기), NMR실험기법, 융합화학튜

토리얼(21년 1학기), 바이오소재화학(21년 1학기), 질량분석및응용, 컴퓨터화학반응메커니즘, 표면 및 구조분석(21년 2학기)(괄호는 개설된 시기를 나타냄).

b. 팀티칭 교과목: 융합화학튜토리얼, 바이오소재화학
c. 여러 학과 간의 융합 교육이 가능하도록 화학과 과목을 타과에도 오픈하였으며, 화학과 대학원 과목에 총 10개의 타학과(전공) 대학원생 30명이 화학과 과목 10가지 중 선택하여 수강하였다(Ⅱ-1.1.3-라 참조).

3) 정보활용강화 프로그램
a. 정보활용교과목으로 화학정보활용 교과목을 21년 1학기에 개설하였으며, 이 교과목에서는 방대한 화학정보탐색 및 응용법에 대한 강의를 진행하였다.
b. 외국인 및 한국 학생들의 교육을 위해 개설 교과목 중 85%이상이 한/영 병용으로 진행되었다.

2. 학생연구 교육
신규 발굴한 학생연구 교육 프로그램을 바탕으로 지난 1년간 참여대학원생들은 우수한 논문 실적(Ⅱ-3 참조)과 학술대회 실적을 발표하였다. 이 실적은 사업 시작 전 3년 대비 향상된 수치에 해당한다. 다음에 이러한 우수 실적을 달성하기 위해 교육연구단이 진행한 프로그램을 열거하였다.

1) 자기주도 및 융합협업 강화 프로그램

지난 1년동안 학생이 주도하여 연구발표 및 교류를 강화할 수 있는 교내외 심포지엄 프로그램을 운영하였다. 성균관대학교와 부산대학교 학생 중심 심포지엄을 2회(유기화학, 물리화학), Chemistry Fair 1회 개최하여 운영하여 학생들의 발표력 향상을 도모하였다. 이와는 별도로 학술대회구두발표를 지원하여 구두 9건, 포스터 67건을 발표하였으며 우수상을 5회 수상하였다.

2) 융합/협업 강화 프로그램
교수들의 연구 분야를 학생 눈높이에 맞게 전달하고, 교육연구단 내 실험실간의 협업연구를 강화하는 프로그램으로 연구로 만날 사이를 연 2회 개최하였다. 정규 교과목의 이론이 특정 연구 분야에 어떻게 적용되는지를 전달하여, 각 연구 분야에 대한 이해도를 높이고, 기존에 부족했던 교수-학생간의 소통기회를 마련하였다.

3) 정보활용 프로그램
학생들의 커리어 연구과정을 도모하기 위해 학생들이 주도적으로 연구 아이디어를 구상하고 설계할 수 있도록 교내외 연구비/장학금 및 교내 장비 정보를 제공하였다. 결과로 교내외 프로그램으로 총 5명이 지난 1년간 장학 수혜를 받았다.

3. 국제화 교육
전반적인 코로나-19 상황에 따라 국제화 부분 교육에 대한 한계점이 있었으나, 교육연구단은 선정 당시 목표 달성을 위해 대안 프로그램들을 마련하여 운영하였다.

1) 학생주도 자료 제작
학생들이 주도하여 각 연구실의 연구주제를 홍보하고 장비 사용에 대한 동영상을 제작하였다. 총 18개 장비 활용법에 대한 동영상을 제작하였으며, 참여는 한국인/외국인 학생이 모두 참여하여 한/영 병용 자료를 제작하였다. 이 자료는 교육연구단 인트라넷에 게시하였다.

2) 국제 공동연구 및 교류 프로그램 개최

코로나-19 상황으로 인해 계획하였던 한국 학생의 직접적인 방문교류를 수행하지는 못하였으나 오레곤 주립대학 화학과 소속 학생 1명이 국내에 방문 교류하였다(Ⅱ-6.3-가 참조). 향후 실질적인 교류를 위한 교내 프로그램을 활용하여 차질이 없도록 진행 예정이다. 이러한 상황에 대한 대안으로 교육연구단은 해외 석학 초빙 세미나 개최를 개최하였다. 지난 1년간 4명의 해외 저명 학자를 초빙하여 대학원생의 전공 연구 분야에 대한 최신동향을 파악하고 수행 중인 연구에 대한 이해도를 높여 새로운 연구 아이디어를 도출할 수 있도록 하였다(Ⅱ-6.1-나 참조).

3) 한/영 병용 교육 자료 출간

한국인/외국인 학생들의 정확한 지식 전달과 한/영 병용교육을 위해 교육연구단은 2건의 대학원 교재 번역서 편찬 과정에 참여하였다(Ⅱ-5 참조).

1. 교육과정 구성 및 운영

1.1 교육과정 구성 및 운영 현황과 계획

1.1.1 교육연구단 교육과정 구성 현황 및 실적

<주요 계획 대비 최근 1년간 실적 및 장단점 분석>

	계획	실적	보완점
교육 과정	학생주도 교과과정 개편	투트랙 교과과정(현장친화형/난제해결형)	인증서 발급 체계화
	맞춤형 교과목 개발	융합 8과목, 전공심화 1과목 개발 및 운영	현행 유지/운영확대
	박사과정 역량 강화	공동지도교수제(25명), 학회 구두발표(9건)	현행 유지
분석	**장점**: 단일트랙 교육과정에서 탈피한 수요자 중심의 투트랙 교과과정, 팀티칭을 통한 융합교과목 운영 **단점**: 다소 복잡한 트랙별 교과과정, 인증 절차의 체계성 부족		
학사 관리	우수 대학원생 선발	학생 선발(석사:38명; 박사 3명)	현행 유지
	학위 체계 강화	공동지도교수 면담(44건), 학위심사 분야간 연계(12건)	현행 유지
	비교과 프로그램 다변화	오리엔테이션(2회), 4차 산업혁명 겨울학교(1회), 저명인사 세미나(43명), 졸업생 초청 간담회(3회), 기기활용 동영상 제작(18건)	현행 유지
분석	**장점**: 입학전형 다변화를 통한 우수학생 선발, 비교과 프로그램의 안정적인 운영 **단점**: 공동지도교수제의 경우 수료 전 학생을 대상으로 하였으나 학생들의 요구로 수료 후 대상으로 확대		
국제화	영어논문작성법 체계화	화학영어논문작성법 편성	교과목 운영 예정
	학술대회 참여	국제학술대회발표(27회), 학생주도 세미나 개최(3회)	학술활동 활성화
	영문화/개방/국제교류	영어학위논문작성 의무화, 홈페이지 영문화	홈페이지 보완, 국제교류 강화
안전 윤리	교육자료 제작 및 개발	안전 교육 자료 제작 필요	메뉴얼 제작/개방
	정규 안전 교육	안전 교육 및 윤리 실무 교육	현행 유지

가. 교육연구단 교육 과정 구성

항목	석사 트랙1(현장친화형)	석사 트랙2(난제해결형)	박사(난제해결형)
공통	신입생 집중 오리엔테이션, 인권/안전/연구윤리 교육, 화학정보활용(3학점)		
트랙 교과	세미나(I), (II) 고등과목 1과목 논문연구 2과목	세미나(I), (II) 고등과목 2과목 논문연구 2과목	과학의사소통(I), (II) 고등과목 1개 추가 논문연구 3과목 화학영어논문작성법
트랙 고유	융합 교과목 중 2개 타과 교과목 2개(인증서)	융합화학튜토리얼, 학술대회 구두/포스터 발표	공동지도교수제, 학술대회 구두 발표
비교과	아래 활동 중 2개 이상 이수 - 산업체 현장 방문/인턴 - 산업체 세미나 참석 - 기기 활용 프로그램 참석 - 4차 산업혁명 세미나/겨울 학교	아래 활동 중 매년 5회 이상 참석 - 저명인사 초청 세미나 - 신진연구인력 심포지엄 - 교수 연구 발표회 - 학과/학교 간 심포지엄 - 학생 주도 발표회 - 4차 산업혁명 세미나/겨울 학교	

(1) 교육 목표

본 교육연구단은 ‘투트랙 교육과정 도입과 학생 주도 교과과정 구성’과 ‘자기주도 협업형 분자소재 우수 인력 양성’이라는 교육 목표를 달성하기 위해 다음의 세 가지 방향(자기주도, 융합 및 협업, 정보 활용)으로 교육과정을 개편하여 운영하고 있다. 특히 매달 첫 번째주 월요일에 정기적으로 사업단 소속 전체 교수가 모이는 회의를 개최하여(총 12회) 교과/비교과 프로그램 전반에 대해 토의하고 문제점은 즉각적으로 수정하고 있다.

목표	주요 내용
자기주도	▸ 학생의 진로에 맞게 선택하는 투트랙 교육과정(현장친화형/난제해결형) ▸ 학생 및 신진연구인력 주도로 학교 간 공동 심포지엄과 학과 내 세미나 개최
융합 및 협업	▸ 융합 및 팀티칭 교과목의 전반적 개편을 통한 융합 교과목 개발 ▸ 타 대학원(응용화학공학부 및 나노에너지공학과)과의 연계를 통한 강의 인증서 발급
정보 활용	▸ 방대한 화학 정보를 활용할 수 있는 교과목 개발 ▸ 학과 홈페이지 개선을 통한 교육 자료와 학과 정보 개방 및 온/오프라인 교육

(2) 학생 진로에 따른 자율 선택형 투트랙 교육과정 구성

a. 교육과정을 현장친화형(석사 트랙1)과 난제해결형(석사 트랙2, 박사)의 투트랙으로 운영하고 있다.

b. 학생 스스로가 본인의 진로와 목표에 맞게 학위 프로그램을 설정할 수 있도록 투트랙 교육과정을 운영하고 있다. 석사 입학생은 입학 후 1주일 내에 트랙1/트랙2 중 하나를 선택하고, 트랙 변경은 입학 후 첫 학기의 기말고사 종료되기 전까지 가능하다. 최근 1년간 석사 입학생의 트랙 선택 현황은 아래와 같다.

입학시기	석사 트랙 1(현장친화형)	석사 트랙 2(난제해결형)
2021학년도 1학기	4	12

c. 석사 트랙1(현장친화형)을 선택한 대학원생은 융합 교과목을 수강하고, 타과 과목 2개 이상에 대해 일정 성적 이상을 취득할 경우 인증서를 발급받는다. 또한, 지역/산업체의 수요에 맞는 비교과 항목을 자율적으로 수행할 수 있도록 다양한 프로그램을 제공하고 학생이 직접 선택하고 이수할 수 있도록 한다(산업체 현장 방문, 산업체 인턴, 산업체 관련 세미나 참석, 기기 활용 외부 교육 이수, 4차 산업혁명 세미나 참석, 4차 산업혁명 겨울 학교 참석 중 2개 이상).

d. 석사 트랙2(난제해결형)는 심화 연구 과정을 통해 향후 진로를 선택하고자 하는 학생이 지원하게 한다. 융합 및 협업 연구에 도움이 되도록 융합화학튜토리얼 교과목을 이수해야 하고, 본인의 연구결과를 구두나 포스터로 발표해야 한다.

e. 박사과정 대학원생은 화학영어논문작성법 교과목을 이수하여 자기주도적인 논문 작성 경험을 쌓는다. 이를 위해 학과 교수/신진연구인력/국내외 우수 교수를 초청하고자 한다. 또한, 공동지도교수를 선정해 정기적으로 면담하고 학술대회에서 구두 발표를 반드시 하도록 한다. 최근 1년간(2020.9.1.~2021.8.31.) 박사과정 학생의 공동지도교수 선정 및 면담 사례는 다음과 같다.

(2020학년도 2학기 공동지도 교수 상담 현황; 일시: 2020년 11월 13일)

연번	박사과정 학생	지도교수	공동 지도교수	연번	박사과정 학생	지도교수	공동 지도교수
1	[illegible]	[illegible]	[illegible]	12			
2				13			
3				14			

4		15	
5		16	
6		17	
7		18	
8		19	
9		20	
10		21	
11		22	

(2021학년도 1학기 공동지도교수 상담 현황; 일시: 2021년 4월 2일)

연번	박사과정 학생	지도교수	공동 지도교수	연번	박사과정 학생	지도교수	공동 지도교수
1				12			
2				13			
3				14			
4				15			
5				16			
6				17			
7				18			
8				19			
9				20			
10				21			
11				22			

최근 1년간(2020.9.1.~2021.8.31.) 박사과정 학생의 학술구두발표 사례는 아래와 같다.

연번	박사과정 학생	학회명	주제	일시
1		제 126회 대한화학회 학술발표회 및 총회	Semiconductor electrochemistry: Application to ultrasensitive acetone gas sensor.	2020년 10월 19일
2		KMB 2021 48th Annual Meeting & International Symposium	Black Phosphorus-decorated Nanoparticle as a Revertant of Polymyxin B Usage against Mcr-1-mediated Resistant Escherichia coli	2021년 6월 23일
3		ACS Fall 2021	DNA Detection Using Photoredox Catalysis Induced by Surface Plasmonic Field	2021년 8월 22일
4		ACS Fall 2021	Polyenzyme label based on diaphorase and neutravidin for electrochemical detection of interleukin-8 in human saliva	2021년 8월 22일
5		ACS Fall 2021	Simple Electrochemical Method for Investigating the Time-Dependent Dissolution Behavior of Layers Deposited by Atomic Layer Deposition	2021년 8월 22일
6		72nd Annual meeting of	Electrochemical DNA Detection Using	2021년

	(영어)	the international society of electrochemistry	Photoredox Catalysis Induced by Surface Plasmonic Field	8월 29일
7		72nd Annual meeting of the international society of electrochemistry	Fast Silver Deposition Induced by Enzymatic Reduction for Ultrasensitive Detection of Parathyroid Hormone	2021년 8월 29일
8		72nd Annual meeting of the international society of electrochemistry	Rapid and Sensitive Fungal Detection Based on Intracellular Enzyme Combined with Redox Cycling	2021년 8월 29일
9		72nd Annual meeting of the international society of electrochemistry	Simple Electrochemical Method for Investigating the Dissolution Behavior of Layers Deposited by Atomic Layer Deposition	2021년 8월 29일

f. 난제해결형 석사 트랙2와 박사과정 대학원생은 다양한 연구 세미나와 심포지엄 참석을 권장하고 있다. 매년 최소 5회 이상 참석하고, 마일리지/인센티브 제도를 통해 더 많은 참석을 독려한다.

(3) 기초 핵심 교과목의 필수 이수 개수 조정

5개의 기초 핵심 교과목(고등무기재료화학, 고등물리화학, 고등분석화학, 고등생물화학, 고등유기화학) 중 필수적으로 이수해야 하는 교과목 수를 줄이고, 본인이 원하는 교과목을 선택하여 이수할 수 있도록 변경하였다. 석사 3과목, 박사/석·박사통합 5과목에서 석사 트랙1은 1과목, 석사 트랙2는 2과목, 박사/석·박사통합은 3과목으로 필수 이수 개수를 변경하여 운영하고 있다.

(4) 온/오프라인 블렌디드 러닝과 한/영 병용 강의

증가하는 외국인 대학원생을 교육하고 한국인 대학원생의 국제화 역량을 강화하기 위해서 오프라인 강의는 영어로 개설하여 운영하고 있다. 부산대 PLATO 플랫폼을 적극 활용하여 한글 강의 동영상을 온라인으로 제공하여 영어 강의로 인한 한국인 대학원생의 낙오를 방지하고 학생 주도적으로 학습량을 조절할 수 있도록 하였다. 점차적으로 동영상을 미리 시청하고 수업 시간에 토론과 문제 해결에 집중하는 플립 러닝 교육 방식을 활용할 예정이다.

(5) 정규 교과목 개편 사항

a. 정규 교과목 개편 방향

- 최신 연구 동향과 4차 산업혁명 시대를 반영한 맞춤형 교과과정 개편을 통해 교육 경쟁력을 강화하고자 하였다.
- 융합이 가능한 교과목을 선별하여 신설하고, 여러 교수의 협업으로 교과목 강의가 이루어지도록 하였다.
- 학생 주도 교과과정 설계를 통해 개별 학생의 진로와 수요에 따라 교과목을 선택할 수 있도록 하였다.

b. 개편 교과과정 변동사항

변동 사항	과목명
신설 (융합 8과목, 전공심화 1과목)	▸ 융합과목: 바이오소재화학; 융합화학튜토리얼; 질량분석및응용; 첨단기기활용및제어; 컴퓨터화학반응메커니즘; 표면및구조분석; 화학영어논문작성법; 화학정보활용 ▸ 전공심화과목: 에너지화학
개선(융합 1과목)	▸ NMR실험기법(유기/생화학)
통합	▸ 2020년: 무기합성및반응론; 고급유기금속화학

	▸ 2021년 이후: 무기합성및유기금속화학(기존 2과목을 1과목으로 통합)
변경(5과목)	▸ 2020년: 단백질화학; 대사생화학; 분자소재화학; 입체화학; 핵산화학 ▸ 2021년 이후: 생촉매화학; 대사시스템화학; 고분자소재화학; 천연물입체화학; RNA생화학
폐지(11과목)	▸ 계산화학; 고등유기반응메카니즘; 고등유기합성화학; 나노화학; 분광분석법; 분리분석법; 분석기기장치법; 생물리화학, 통계열역학; 현대생화학; 화학기기실험기법
유지(16과목)	▸ 고등5과목: 고등무기재료화학; 고등물리화학; 고등분석화학; 고등생물화학; 고등유기화학 ▸ 전공심화과목: 고등유기화학특론, 배위화학, 생체막생화학, 양자화학, 유기소재분석화학, 융합나노촉매화학, 전기화학, 초분자화학, 현대분광학, 화학물리, 화학반응동력학

- 융합 교과목은 총 9개(바이오소재화학, 융합화학튜토리얼, 질량분석및응용, 첨단기기활용및제어, 컴퓨터화학반응메커니즘, 표면및구조분석, 화학영어논문작성법, 화학정보활용, NMR실험기법)로 구성하였다. 석사 트랙1(현장친화형)을 선택한 대학원생은 융합 교과목 2개를 선택하여 이수한다.
- 융합 교과목 중 총 5개(첨단기기활용및제어, 컴퓨터화학반응메커니즘, 표면및구조분석, 화학정보활용, NMR실험기법) 교과목은 실습을 중점적으로 실시하여 현장친화력을 강화했다.

- 교과목 운영 실적은 아래와 같다.

과목명	강의 개요
바이오소재화학 (유기/생/분석) (홍대화/고민섭/양해식) (2021학년도 1학기 운영)	4차 산업혁명 시대에 부각되고 있는 바이오테크놀로지와 기능성 화학 소재의 융합에 대한 과학적 이론과 기술적 응용에 대하여 강의하였다. 인공 효소/촉매 및 감염병 백신을 위한 바이오소재와 이를 응용하는 분석 기술에 대해 소개하였다. 합성생물학, 바이오재료화학, 센서의 핵심 기술을 전달하였다.
융합화학튜토리얼 (전분야) (임만호/양해식/남기민/주정민) (2021학년도 1학기 운영)	융·복합 연구에 필요한 화학의 전공 분야별 핵심 원리와 실제 실험 데이터를 해석하는 방법을 강의하였다. 최신 분자소재 연구 및 개발에 사용되는 화학 기초 지식을 이해시키고, 폭넓은 응용 분야에 실질적으로 적용할 수 있는 융·복합형 교육을 추구하였다.
화학정보활용(전 분야) (주정민) (2021학년도 1학기 운영)	본 강좌에서는 SciFinder 사이트에서 단어, 화학식, 화학구조 등을 기반으로 화학정보를 검색하는 방법과, EndNote 프로그램으로 방대한 서지정보를 관리하고 참고문헌을 인용하는 방법을 강의하였다. 그 밖에도 ChemDraw, Origin, Sigmaplot 등의 소프트웨어를 이용하여 화학정보들을 효과적으로 도시하는 방법을 다루었다.
NMR실험기법 (생/유기) (김석만/박진균) (2021학년도 1학기 운영)	학과 내에 보유한 NMR을 활용하여 실습 기반의 수업을 진행하였다. 학과 NMR을 이용하는 대학원생은 의무적으로 수강하도록 하며, NMR의 소양이 충분한 학생을 선별하여 사용 라이센스를 부여하였다. ^{1}H와 ^{13}C NMR의 기본 원리, 1D 및 2D NMR 기술을 이용한 생/유기 분자의 구조 분석을 강의한 뒤에 실제로 실습하는 시간을 가졌다.

c. 세미나 교과목 개편

과목명	과정	내용
세미나(I) (2020학년도 2학기 운영)	석사	연구 분야 소개: 특정 연구 주제를 선정하여, 타 전공 분야 학생들에게 이해시키기 위한 PPT 작성법 및 연구 구두 발표법에 초점을 둔다.
세미나(II) (2021학년도 1학기 운영)	석사	융합 분야 세미나: 공동의 연구 주제를 선정하여 발표하도록 한다. 서로 다른 연구실에 소속된 학생들끼리 팀을 구성하여, 타 분야에 대한 이해를 유도할 수 있도록 운영한다.
과학의사소통(I) (2021학년도 2학기 예정)	박사	연구 발전 과정: 본인 연구 주제의 형성 과정 및 동향을 분석하고, 앞으로의 연구 방향성에 대해 논의한다.
과학의사소통(II) (2021학년도 1학기 운영)	박사	최신 연구 동향 분석: 본인 연구 주제 이외에 현재 유행하고 있는 연구 주제, 향후 지속성 여부, 본인 연구와의 관련성을 독립적으로 분석한다.

- 연구 분야별 자유로운 토론이 가능한 환경을 조성한다.
- 학생 사이의 공동 연구가 가능하도록 타 연구 분야와의 의사 소통을 강화하고자 한다.
- 석사과정 대학원생은 연구 내용을 쉽게 소개할 수 있는 세미나(I)/(II) 교과목을 이수해야 하고, 박사/석·박사통합과정 대학원생은 전문적인 연구 내용을 소개할 수 있는 과학의사소통(I)/(II) 교과목을 이수해야 한다.
- 매년 2학기에는 세미나(I), 과학의사소통(I)은 2학기, 1학기에는 세미나(II), 과학의사소통(II)을 운영한다.

(6) 교육과정 실적 분석을 통한 향후 추진계획

a. 교육과정 전체 계획 대비 실적이 원활하게 이루어지고 있으며, 현행 제도를 유지할 계획이다.
b. 인증서 발급 체계화: 학생주도 투트랙 교과과정의 안정적인 운영을 위해 학과 차원에서 인증서를 발급하고자 한다.
c. 개편된 주요 교과목은 아래와 같이 운영될 예정이다.

과목명	강의 개요
질량분석및응용 (물리/유기/분석) (이상학/박진균/황도훈/김석만) (2022학년도 2학기 예정)	원소의 종류, 화합물의 구성 원소, 분자량 등을 알아내는 질량 분석법의 기본원리를 다루고, 질량 분석법에 사용되는 ion source, ion detector, mass analyzer의 종류와 원리를 강의한다. 원소 분석, 유기분자와 생체분자의 분자량 결정, 고체표면 분석, 생체분자의 구성 성분 및 분자량을 알아내는 질량분석법 등을 적합한 예를 소개하며 이해시킨다.
첨단기기활용및제어 (전 분야) (김석만/유현덕) (2022학년도 1학기 예정)	본 강좌에서는 전자현미경, 분광기, 입도분석기, 전기화학기기의 작동원리와 더불어 산업/연구 현장에서 필요한 팁을 강의하고, 기기 조작을 실습한다. 나아가 첨단기기를 컴퓨터에 연동시켜 효과적으로 제어하기 위한 소프트웨어에 대해 강의한다.
컴퓨터화학반응메커니즘 (물리/유기/무기) (최정모/홍대화) (2022학년도 2학기 예정)	화학반응의 메커니즘을 이해하기 위해 수행하는 속도론적 실험의 결과를 검증하거나 실험적 한계를 극복하기 위해 컴퓨터 화학이 필요하다. 본 수업에서는 양자화학적 계산모델을 이용하여 전이상태, 전자 밀도, 산성도, 전자 오비탈, 공명도를 예측하는 계산 방법을 강의한다.
표면및구조분석 (유기/무기/분석) (남기민/박강현/홍대화) (2021학년도 2학기 예정)	산업 및 연구 현장에서 다양한 소재 및 부품의 표면과 구조를 분석하는 기술이 요구된다. 본 강좌에서는 접촉각분석법, 엘립소메트리, 원자힘현미경 등의 표면분석법과 X-선 구조분석을 위한 군론과 결정학을 강의한다. 단결정 및 파우더 샘플의 회절패턴 측정법과 구조분석의 원리를 학습함과 더불어 실제 기기를 조작하고 데이터를 분석해 보는 실습을 진행한다.
화학영어논문작성법 (전 분야) (최정모/정하연) (2021학년도 2학기 예정)	박사과정 학생에게 화학영어논문작성에 관한 기초부터 실질적 활용 및 영문 교정 등의 내용을 교육하고자 한다. 관련 연구 분야와 연관성이 높은 전공 교수가 직접 교육하고, 온라인 webinar 및 논문 작성/영문교정 전문가들을 초빙할 계획이다.

- 이미 개설하여 운영한 사례가 있는 융합화학튜토리얼, 화학정보활용, NMR실험기법은 매년 1학기에 개설할 예정이다.

나. 학사관리 운영

(1) 입학전형 다변화를 통한 학생 선발

본 교육연구단은 특별전형, 일반전형, 외국인을 위한 정원 외 전형, 학·석사 통합과정 전형, 석·박사 통합과정 전형, 학연과정 전형 등과 같이 다양한 학생 선발 전형을 통해 국내외 우수 인재를 적극적으로 모집하고 있다.
최근 1년간 교육연구단 소속 학과에 지원한 학생 현황은 41명으로 다음과 같다.

입학 시기	전형	학생 수	비고
2020년 9월	후기모집	석사 12명	학연협동과정 3명 포함
	후기 외국인 특별전형	석사 1명	리유진(중국)
	GKS 정부초청 장학생 외국인 특별전형	석사 1명	자파로바 알리나(키르기스탄)
	학석(박)(통합)연계과정	석사 8명	학석사 8명
2021년 3월	특차모집	박사 2명, 석사 4명	
	전기모집	석사 11명	학연협동과정 3명 포함
	전기 외국인 특별전형	박사 1명	티야기 친킷(인도)
	학석(박)(통합)연계과정	석사 1명	

앞으로도 국내외 우수 인재를 다양한 경로를 통해 모집할 예정이며, 2021학년 9월에는 아래와 같이 석사 10명, 석박통합 1명이 입학할 예정이다.

입학 시기	전형	학생 수	비고
2021년 9월	후기모집	석사 4명	학연협동과정 1명 포함
	후기 외국인 특별전형	석사 1명	라지브쿠마 (인도)
	학석(박)(통합)연계과정	석사 5명, 박사 1명	학석사 4명, 학석박사 1명

(2) 학위 취득 기준 마련

대학원생이 지도교수를 선정하고 다음의 정규 교과목 및 비교과 프로그램을 이수한 경우에만 학위를 청구할 수 있다. 기존과는 달리 학생 스스로 트랙을 선택해서 교과목을 이수하도록 제도를 개편하였다.

a. 공통필수: 화학정보활용(1과목), 종합전공시험, 학위구두논문심사, 외국어시험

b. 석사 트랙1(현장친화형): 기초핵심교과(1과목), 세미나(2과목), 논문연구(2과목), 융합과목 2개 이수, 타과과목 2개 이수(인증서), 비교과 프로그램 중 2개 이상 선택하여 이수

c. 석사 트랙2(난제해결형): 기초핵심교과(2과목), 세미나(2과목), 논문연구(2과목), 융합화학튜토리얼 교과목 이수, 학술대회 구두나 포스터 발표

d. 박사(난제해결형): 기초핵심교과(3과목), 과학의사소통(2과목), 논문연구(3과목), 화학영어논문작성법, 공동지도교수제, 학술대회 구두발표 1건 이상

(3) 석사학위 청구자격

석사학위과정 대학원생이 학위청구 논문심사를 요구할 때는 전국규모 학술대회에 1편 이상의 논문을 발표하거나, SCIE 등재학술지에 1편 이상의 논문을 발표(별쇄본 출판 완료)하여야 한다.

(4) 박사학위 청구 자격

박사학위과정 대학원생이 학위청구 논문심사를 요구할 때는 SCIE 등재학술지에 제1저자로 2편의 논문을 발표하고 제1저자로 발표한 논문의 impact factor 지수 합이 3이상이거나 혹은 SCIE 등재 학술지에 제1저자로 발표한 논문의 impact factor 지수가 5이상이어야 한다. 단, 지도교수가 제1저자인 경우 제2저자라도 제1저자로 인정할 수 있다. 공동 제1저자의 실적은 공동 제1저자의 수로 나누어서 계산한다. 논문은 학위청구논문심사결과 제출일까지 별쇄본으로 출간된 것만 인정한다. 의사 소통 능력 강화를 위해 '국제/전국규모 학술대회에서 구두로 발표하거나 교내 학술대회에서 영어로 구두 발표를 하여야한다' 라는 조항을 필수 요건으로 추가하였다.

(5) 공동지도교수제 운영

a. 석·박사통합/박사과정의 경우 학생 개인별로 공동지도교수를 2인 이상 선정할 수 있게 하여 학위과정 동안 효과적인 교육과 독창적인 연구 활동을 상시적으로 지원받을 수 있게 하였다.

b. 공동지도교수는 학생이 원하는 지도교수와 면담을 통해 직접 선정하였다. 2020학년도 2학기와 2021학년도 1학기 각각 22명의 석박통합/박사과정 학생이 공동지교수를 선정하였다(Ⅱ-1.1.1.가-(2) 참조).

(6) 지도교수 면담의 날 운영(연 2회 개최 예정)

석·박사통합/박사과정의 경우 학위 지도교수 외에 공동지도교수와의 면담을 통하여 융합 연구의 방향성과 향후 진로에 관한 도움을 받을 수 있게 하였다. 최근 1년간 두 차례(2020년 11월 13일, 2021년 4월 2일) 공동지도교수 면담을 가졌고, 앞으로도 학기별 1회 운영할 계획이다(Ⅱ-1.1.1.가-(2) 참조).

(7) 전공분야 간 심사위원 연계 강화

전공 분야별 심사위원 선정의 유연성을 강화한다. 각 분과(유기화학, 물리화학, 분석화학, 생화학, 무기화학)로 국한된 심사위원 선정에서 벗어나 개별 학생의 연구 주제를 고려하여 다양한 전공분야 교수가 심사위원으로 참여할 수 있도록 유도하였다. 최근 1년간 사례는 아래와 같다.

연번	과정	학생	분야	타분야 심사위원
1	박사		생화학	물리화학(이상학)
2	석사		분석화학	생화학(김광선)
3	석사		무기화학	분석화학(남기민)
4	석사		무기화학	유기화학(박진균)
5	석사		무기화학	유기화학(박진균)
6	석사		무기화학	유기화학(박진균)
7	석사		무기화학	분석화학(남기민)
8	석사		분석화학	유기화학(주정민)
9	석사		무기화학	유기화학(박진균)
10	석사		무기화학	분석화학(남기민)
11	박사		무기화학	분석화학(남기민, 유현덕)
12	박사		분석화학	생화학(김광선)

앞으로도 융합연구 촉진을 위해 전공분야 간 심사위원 연계를 강화할 예정이다.

(8) 학사관리 실적 분석을 통한 향후 추진계획

교육연구단이 속한 학과의 학사관리 시스템을 근거로 운영하였기에, 계획대비 실적이 원활하게 이루어진 것으로 판명된다. 앞으로도 현행 제도를 유지할 계획이다.

다. 비교과 프로그램

(1) 신입생 집중 오리엔테이션을 통한 대학원생 소양 교육(연 2회 달성)

a. 오리엔테이션은 매 학기 시작 2주일에서 4주일 전에 공고 후 실시하였다.

b. 대학원생 공통으로 입학 전에 안전, 인권, 연구윤리 교육, 화학연구 기초 소양을 배양할 수 있도록 하루 집중 프로그램을 매 학기 시작 전에 시행하였다.

c. 구체적인 프로그램은 다음을 기본으로 하며, 학과 교수와 대학원생이 직접 참여한다. 대학원생 설문조사를 실시하여 유연하게 프로그램을 변경하도록 하였다.

- 학과 구성원 소개, 학부과정과 대학원 과정의 차이 설명, 실험실별 연구 주제 및 첨단 장비 소개, 졸업요건 및 학과제도 설명, 연구노트 작성법, 인권/안전/연구윤리 교육, 화학연구 기초소양 강화교육, 포트폴리오 작성법, 대학원생 소개 및 Q&A, 대학원생 소통 모임 등을 강의하였다.

- 최근 1년간, 아래와 같이 신입생 집중 오리엔테이션을 실시하였다.

연번	시기	장소	담당교수	참석자 수
1	2021년 2월 16일	화학관 112호	김광선	28명
2	2021년 8월 11일	온라인	김광선	17명

(2) 4차 산업혁명/산업체 관련 세미나 참석(연 2회 참석 정례화)

본 교육연구단 대학원생들이 취업을 희망하는 회사나 연구소에 재직 중인 분자소재 전문인력을 세미나에 초청하여 각 기관의 현황과 정확한 취업정보를 제공받을 수 있도록 하였다. 또한, 대학원생이 선호하는 기관에 근무하는 본교 졸업생을 간담회에 초청하여 취업 성공 경험과 진로 개발과 관련한 조언을 듣고자 하였다. 대학원생에게 취업에 대한 조언을 제공하고, 졸업생과 재학생 사이의 네트워크를 구축할 수 있도록 하였다. 자세한 사례는 아래와 같다.

프로그램명	사례
산업체 관련 세미나	김용일 박사(한국표준과학연구원), 이종석 박사(한국해양과학기술원), 이정익 본부장(한국전자통신연구원), 이창석 대표이사(Korea Spectal Products), 고연진 박사(KIST), 김현식 박사(KICET), 전병선 박사(KIST)
졸업생 초청 간담회	김옥순(학부 11학번, 석사 16학번, 삼성전기), 이해리(학부 08학번, 석사 12학번, 한남대 화학과), 장예진(학부11, 석사 15학번, Boston college)
4차 산업혁명 전문가	김태수 교수(동의대학교 행정복지대학원), 정지원 대표(K-ICT 창업 멘토링센터), 권다솜 매니저(부산창조경제혁신센터)

(3) 4차 산업혁명 겨울 학교(연 1회 달성)

a. 4차 산업혁명 시대에 대한 이해를 돕는 단기 집중 겨울 학교를 연 1회 개최하였다.

b. 세계적 성과 도출 위한 화학/인공지능 융합 연구를 위해 화학인을 위한 머신러닝/인공지능 윈터스쿨을 연 1회 개최하여 인공지능의 핵심 이론과 용어를 습득하고 간단한 코딩을 직접 경험해보며, 나아가 이를 난제 해결에 응용하도록 하였다. 최근 1년간 운영한 프로그램은 아래와 같다.

연번	연사 성명 (소속)	일시	주제
1	김태수 교수(동의대학교 행정복지대학원)	2021년 1월 27일 (온라인)	포스트 코로나와 4차 산업의 발전 방향
2	정지원 대표(K-ICT 창업 멘토링센터)		4차 산업혁명 바로 보기
3	권다솜 매니저(부산창조경제혁신센터)		부산 창조경제혁신 센터 소개

(4) 산업체 인턴제(연 1회 달성)

학생들의 산업체 적응력 강화를 위해 연구소에 일정 기간 파견하여 현장 실습을 진행하여 기술 습득 및 과제 해결 능력을 향상시키고자 하였다.

산업체	일시	참여 대학원생	주요 업무
한국해양과학기술원	2021년 1월~2월	정시연	칼슘 센서 유도체 합성

(5) 저명인사 초청 세미나, 졸업생 초청간담회, 산업체 현장방문, 기기활용 교육 프로그램을 수행하였다.

프로그램명	사례
산업체 현장방문	포스코 케미칼(김진홍, 김상혁, 정해인)
저명인사 초청 세미나 (41명 초청)	최장욱 교수(서울대 화학생물공학부), 박민준 교수(부산대 나노에너지공학과), 안태규 교수(성균관대 에너지학과), 전성윤 교수(KAIST 기계공학과), 임미희 교수(KAIST 화학과), 김범진 교수(울산대 화학과), 장진호 교수(한양대 화학과), 최명룡 교수(경상대 화학과), 박명환 교수(충북대 화학교육과), 김용일 박사(한국표준과학연구원), 이호춘 교수(DGIST 에너지공학전공), 이상기 교수(이화여대 화학과), 김영삼 교수(UNIST 화학과), 심은지 교수(연세대 화학과), 문봉진 교수(서강대 화학과), 곽민석 교수(부경대 화학과), 유제중 교수(성균관대 물리학과), 신혜영 교수(충남대 에너지과학기술대학원), 이종석 박사(한국해양과학기술원), 류지헌 교수(한국산업기술대학교), 박이슬 교수(부경대 화학공학과), 이정익 본부장(한국전자통신연구원), 이용민 교수(DGIST 에너지공학과), 권용훈 교수(서울대 응용생물화학부), 이창석 대표이사(Korea Spectal Products), 강진영 교수(KAIST 화학과), 김형민 교수(국민대 응용화학부), 손종우 교수(동아대 화학과), 박지상 교수(경북대 물리학과), 고연진 박사(KIST), 정윤석 교수(연세대 화공생명공학과), 홍성유 교수(UNIST 화학과), 안현서 교수(연세대 화학과), 김현식 박사(KICET), 홍기범 박사(KAIST 화학과), Tao Liu 교수(북경대 약대), 전병선 박사(KIST), Dr. Jacopo Tessarolo(Technical University Dortmund), Prof. Christo S. Sevov(Department of Chemistry and Biochemistry, The Ohio State University), Prof. Tianbiao Leo Liu(Department of Chemistry and Biochemistry Utah State University), 정택동(서울대 화학과)
졸업생 초청 간담회	이해리(학부 08학번, 석사 12학번, 한남대 화학과), 김옥순(학부 11학번, 석사 16학번, 삼성전기), 장예진(학부11, 석사 15학번, Boston college)
기기활용 교육 프로그램	학생주도 첨단기기 동영상 제작(18건), IR, I-RAMAN, SEM, 단결정 x-선 결정학 및 구조해석 실무 교육, chromatography system(LC)

앞으로도 현재 운영되고 있는 비교과 프로그램을 활성화하여 유지할 계획이다.

(6) 비교과 프로그램 실적 분석을 통한 향후 추진계획

당초 계획한 비교과 프로그램을 운영하여 모든 실적을 달성하였다. 현행 제도를 유지함과 동시에 다양한 분야의 4차 산업혁명 전문가를 초청하여 프로그램을 운영할 계획이다.

라. 국제화

(1) 영어논문 작성법 체계화

a. 정규교과목 운영: 현재 교육연구단에서 비교과로 산발적으로 운영되고 있는 영어논문 작성법을 정규교과목으로 개설하여 21년 2학기 첫 개설할 예정이다(II-1.1.3-가. 참조).

b. 비교과 운영: 외국인 교수나 신진연구인력을 활용하여 특강 형식으로 영어논문작성법에 관한 교육을 주기적으로 제공하고 있다. 본부 차원에서도 영어논문작성법 강의(2020년 11월 19일, 영어논문 초록쓰기의 달인)를 제공하였고, 대학원생 투고 논문의 영문교정료를 지원해주고 있다.

(2) 국제 학술대회 발표(연 20회 달성)

대학원생의 국제 학술 교류 경험을 넓히기 위해 연구결과를 국제 학술대회에서 직접 발표할 기회를 확대하고자 한다. 국제 학술대회 발표는 교육연구단이 학생들의 제안서와 마일리지를 평가하여 참가비를 선별 지원한다. 최근 1년간 대학원생의 국제 학술대회 발표 실적은 아래와 같다(총 27건, 구두 8건).

연번	학회명	일시	발표 형식(학생명)
1	The 48th world polymer congress IUPAC-MACRO 2020+	2021년 5월 16일	포스터: 10명(김동원, 김별, 한지훈, 홍성은, 손병덕, 홍강산, 백지원, 김경우, 김민규, 김준희)
2	KMB 2021 48th Annual Meeting & International Symposium	2021년 6월 23일	구두: 1명 조혜진
3	The 31th International Conference on Molecular Electronics and Devices	2021년 7월 8일	포스터: 5명(류이진, 박정용, 바이용치, 양닝, 이수하)
4	ACS Fall 2021	2021년 8월 22일	구두: 3명(김지현, 아만 바티아, 김경호)
5	72nd Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry	2021년 8월 29일	구두: 4명(김지현, 아만 바티아, 김경호, 권정욱) 포스터: 4명 (김예빈, 임윤지, 마아현, 권우정)

향후 온/오프라인으로 진행되는 국제학회를 적극적으로 활용하여, 학생들의 국제 학술대회 발표 사례를 늘려나갈 계획이다.

(3) 교내 영어 학술대회 구두 발표 및 세미나 개최

대학원생의 국제화 역량과 영어 구두 발표, 의사 소통 능력을 향상시키기 위해 학생 주도 세미나인 Chemistry Fair를 연 1회 개최할 예정이며, 다양한 대학원생 주도 세미나를 진행할 계획이다. 최근 1년간 Chemistry Fair 1회, 성균관대-부산대 세미나 2회를 아래와 같이 개최하였다.

연번	행사명	일시	장소	주요 내용
1	The 3rd Chemistry Fair	2020년 9월 16일	화학관112호, 114호	14명 영어 구두발표
2	2021 SKKU-PNU BK21 Four Joint Symposium on Organic Chemistry	2021년 2월 19일	화학관 112호/온라인	학교별 4명 영어구두 발표
3	2021 SKKU-PNU BK21 Four Joint Symposium on Phsyical Chemistry	2021년 8월 17일	화학관 112호/온라인	학교별 4명 영어구두 발표

다음 Chemistry Fair는 2021년 10월 6일에 개최될 예정이며, 성균관대-부산대 세미나도 연 2회 개최할 예정이다. 현재 여건상으로는 다수의 대학원생이 참여하는 세미나 개최가 어려웠다. 이를 고려하여, 소규모 단위의 세미나 및 온라인 세미나를 개최하여 운영할 계획이다.

(4) 영문 홈페이지 구축을 통한 영문 교육과정 및 학사관리 운영

학과 영문 홈페이지를 체계화하여 교육연구단 내 외국인 대학원생에게 교육 과정 및 학사 관리에 대한 정보가 원활하고 정확하게 전달될 수 있도록 한다. 현재 영문 홈페이지 구축을 위한 내용 구성 단계이며,

이를 토대로 홈페이지를 개편할 계획이다.

(5) 현재 교육연구단에서 수행하고 있는 논문연구 교과목을 지속적으로 운영하고, 영어학위 논문 작성을 의무화한 규정을 유지하고 있다.

(6) 해외 유수기관 단기 파견 및 교류를 지원할 예정이다.

(7) 국제화 실적 분석을 통한 향후 추진계획
a. 전반적으로 계획 대비 실적이 미진하였다. 특히, 해외 유수기간 단기 파견 및 교류는 연 4건이 목표였으나, 코로나 19 여파로 최근 1년간 불가피하게 해외방문 연구실적 사례가 없었다. 또한, 대외적인 학생주도 세미나 개최도 제한적으로 이루어졌다.
b. 현 상황을 반영하여 목표 설정을 변경하였다. 학생주도 세미나 개최는 소규모 단위로 연 10회서 5회로 변경하고, 해외 유수기간 단기 파견 및 교류는 상황에 따라 점진적으로 증진하고자 한다. 또한, 온라인으로 진행되는 국제학술대회를 활용하여 대학원생의 발표를 늘려나갈 계획이다.
c. 화학영어논문작성법을 정규 교과목으로 편성하였으며, 2021학년도 2학기에 운영할 예정이다(담당교수: 최정모). 또한 국외 재직 중인 해외 교수(미국 Oregon State University: Paul H. Cheong)나 신진연구인력을 활용하여 특강 형식으로 영어논문작성법에 관한 교육을 대학원생에게 제공하고자 한다.
d. 영문 홈페이지를 완성하여 교육연구단 내 외국인 대학원생에게 교육과정 및 학사관리에 대한 정보를 원활하고 정확하게 전달될 수 있도록 할 계획이다(2021학년도 2학기 완료 예정).

마. 안전/윤리교육

(1) 교육 자료 온라인 개방

안전 관련 교육 자료를 학과 홈페이지에 상시 개방하여 대학원생의 교육 컨텐츠에 대한 접근성을 향상시킨다. 현재 안전 자료들을 검토하고 있으며, 개편된 홈페이지에 개방할 예정이다.

(2) 실험실 맞춤형 안전 매뉴얼 제작

대학원생 및 신진연구인력 주도로 실험실별 안전 매뉴얼을 동영상으로 제작하도록 하고, 이를 홈페이지를 통해 공개한다. 매년 공모를 통해 우수작에는 시상할 계획이다. 현재 안전 교육 컨텐츠에 대한 수요를 조사중이며, 제작 이후 개편된 홈페이지에 개방할 예정이다.

(3) 기존에 운영되었던 오프라인 안전 교육(정규 안전 교육, 기관별 안전 교육)과 연구 윤리 교육도 지속적으로 운영하였다.

연번	프로그램	주제	일시
1	안전 교육	연구실안전교육 및 생물안전교육	2020학년도 2학기(온라인)
			2021학년도 1학기(온라인)
2	윤리 실무 교육	연구윤리 및 연구관리	2020학년도 2학기(온라인)
			2021학년도 1학기(온라인)

앞으로도 현재의 프로그램을 규칙적으로 운영할 계획이다.

(4) 실적 분석을 통한 향후 추진계획

a. 전반적으로 안전에 관한 교육자료 제작 및 교육에 대한 실적이 미진하였다. 대학원생 및 신진연구인력 주도로 실험실별 안전 매뉴얼을 동영상으로 제작하고자 한다. 안전 교육자료 제작을 장려하게 위해 참여 구성원에게 인센티브 및 마일리지를 제공하고, 공모를 통해 우수작에는 시상을 할 계획이다.

b. 제작한 안전 교육 자료를 개편 예정인 홈페이지에 상시 개방하여 접근성을 향상시킬 계획이다.

c. 이전에 주기적으로 이루어졌던 안전/윤리 교육도 지속적으로 운영할 계획이다.

1.1.2 교육과 연구의 선순환 구조 구축 및 연구 역량의 교육적 활용 방안

계획	실적	보완점
융합화학튜토리얼(연 1회)	교과목 운영(1회), 외부 튜토리얼(1회), 공동연구(논문 66편)	목표 달성 현형 유지
연구로 만날 사이(연 2회)	2회, 연사 4명(고민섭, 최정모, 홍대화, 정옥상)	
학생주도 발표회(연 1회)	The 3rd Chemistry Fair 개최(1회), 영어 구두 발표(14명)	
포닥 심포지엄(연1회)	1회, 신진연구인력 영어 구두 발표(5명)	
학교간 공동심포지엄(연2회)	2회, 성균관대-부산대 공동심포지엄(유기화학, 물리화학)	
기타 프로그램	산업체 현장방문(2회), 저명인사 초청 세미나(36명), 졸업생 초청 간담회(3회), 여학생 취업률 향상 프로그램(2회)	

가. 외부 튜토리얼 활동 경험을 통한 융합화학튜토리얼 교과목의 지속적인 개편

전문 연구 분야 외부 튜토리얼 활동 ➔ 교육 프로그램 수요 조사 ➔ 융합화학튜토리얼 교과목 반영 ➔ 공동 연구 촉진

튜토리얼을 활동(양해식, 한국전기화학회)을 통해 외부 교육 수요를 파악하고, 해당 내용을 대학원 정규 교과목인 융합화학 튜토리얼에 반영하여 교육과 연구의 선순환 구조를 구축하고자 하였다. 그 예로, 2021학년도 1학기에 개설한 융합화학튜토리얼은 학과 교수(임만호, 양해식, 주정민, 남기민) 이외에 외부 인사(김용일: 한국표준원; 남궁현: 코오롱연구소)로 구성된 팀티칭을 통하여 교육과 연구의 선순환 기틀을 마련하였다. 이러한 노력의 결과물로 공동 연구를 촉진할 수 있었다(공동 연구 논문: 66편).

나. 교수 연구 발표회 ‘연구로 만날 사이’ 프로그램 운영 (연 2회 달성)

교수들의 연구 분야를 학생 눈높이에 맞게 전달할 수 있는 프로그램을 운영하였다. 정규 교과목의 이론이 특정 연구 분야에 어떻게 적용되는지를 전달하여, 각 연구 분야에 대한 이해도를 높이기 위해 노력하였다. 최근 1년간(2020.9.1.~2021.8.31.)의 실적 및 향후 계획은 아래와 같다.

연번	교수명	강연 제목	일시/장소
1	고민섭(유기화학)	Chemical tool kits to explore biology	2020년 9월 10일, 화학관 112호 및 온라인 (19+60) : 79명
2	최정모(물리화학)	단백질의 집단 행동에 담긴 비밀을 찾아서	
3	홍대화(유기화학)	유기 분자, 효소, 그리고 표면 코팅	2021년 3월 11일, 화학관 112호 및 온라인 (15+55): 70명
4	정옥상(무기화학)	학부생을 위한 초분자 재료 소개	
5	유현덕(분석화학)	Following the journey of ions and electrons inside rechargeable batteries	2021년 9월 9일, 화학관 112호 및 온라인 실시 예정
6	박강현(무기화학)	연구로 만날 사이	

다. 학생 주도 발표회 ‘Chemistry Fair’ 프로그램 운영(연 1회 달성)

대학원생의 발표력과 실험실간 교류 활성화를 위해 학과 내 학술대회인 Chemistry Fair를 개최하였다 (The 3rd Chemistry Fair; 일시: 2020년 9월 16일; 장소: 화학관 112, 114호). 총 159명의 대학원생이 실험실별로

참여하였으며, 이 중 14명이 영어구두발표를 하였다. 학생 주도로 이루어진 교내 학술 대회는 학생들이 직접 발표 프로그램을 설계하고 좌장을 맡아 진행하였으며, 실험실간 교류를 촉진시켰다. 학생들의 다양한 교내외 학술활동 능력 배양을 위해 학부생 및 신진연구인력도 참여하도록 하고 프로그램을 지속해서 운영할 계획이다. 차기 프로그램(The 4rd Chemistry Fair)은 2021년 10월 6일에 개최될 예정이다.

라. 포닥 심포지엄 운영(연 1회 달성)

신진연구인력 사이의 연구 교류 문화를 활성화하고, 신진연구인력의 연구 경험을 대학원생에게 전달하였다. (The 2nd Postdoctoral Research Symposium; 일시: 2020년 11월 11일; 장소: 화학관 112호 및 온라인). 5명의 신진연구인력(Tapas R. Pradhan, Syed Asad Abbas, Amol Maruti Jadhav, Saravanan Nagappan, Kolle Shivalinga Sharanappa)이 각자의 연구 전문 분야에 대해 영어구두 발표를 하였으며, 상호간의 연구 지식을 공유하였다. 향후 심포지엄에 참여하는 발표자를 늘리고, 다양한 전공 분야의 신진연구인력이 참여할 수 있도록 장려하고자 하였다. 차기 프로그램(The 3rd Postdoctoral Research Symposium)은 2021년 11월경에 개최될 예정이다.

마. 학교간 공동 심포지엄 운영(연 2회 달성)

학교 간 공동 심포지엄을 개최하여 다양한 연구 주제를 대학원생들에게 제공하고, 연구를 효과적으로 수행하기 위해 필요한 교육 컨텐츠를 파악하여 교과과정에 반영하고자 하였다. 본 교육연구단은 성균관대학교와의 공동 심포지엄을 아래와 같이 분과별로 운영하였다.

행사명	일시	장소	참여자
2021 SKKU-PNU BK21 Four Joint Symposium on Organic Chemistry	2021년 2월 19일	화학관 112호 및 온라인	성균관대 4명, 부산대 4명(파우델 묵티, 곽하연, 이수하, 정재훈)
2021 SKKU-PNU BK21 Four Joint Symposium on Phsyical Chemistry	2021년 8월 17일	화학관 112호 및 온라인	성균관대 4명, 부산대 4명(김현준, 강민채, 정지식, 허원)

다른 분과(무기화학/분석화학/생화학)에 대해서도 지속적으로 운영할 계획이다.

바. 기타 프로그램의 지속적 운영

현재 교육연구단에서 수행하고 있는 산업체 현장 방문, 외부저명인사 초청 세미나, 졸업생 초청 간담회, 여학생 취업률 향상 프로그램 등을 아래와 같이 운영하였다. 이 프로그램을 통해 최신 연구동향과 산업체 수요를 파악하여 교육에 반영할 계획이다.

사. 실적 분석을 통한 향후 추진계획

당초 계획한 프로그램을 운영하여 모든 실적을 달성하였다. 앞으로도 대학원생의 참여율을 높이고, 연구주제를 다변화하여 교육과 연구의 선순환 구조를 안정적으로 구축하고 학과 연구 역량을 교육에 반영할 수 있도록 현행 제도 및 프로그램을 유지할 계획이다. 매달 열리는 교육연구단 소속 전체 교수가 모이는 회의에서 지난 행사를 점검하고 수정/보완하여 운영할 계획이다.

프로그램명	사례
산업체 현장방문	포스코케미칼(김진홍, 김상혁, 정해인), 한국해양과학기술원(정시연: 인턴)
저명인사 초청 세미나 (41명 초청)	최장욱 교수(서울대 화학생물공학부), 박민준 교수(부산대 나노에너지공학과), 안태규 교수(성균관대 에너지학과), 전성윤 교수(KAIST 기계공학과), 임미희 교수(KAIST 화학과), 김범진 교수(울산대 화학과), 장진호 교수(한양대 화학과), 최명룡 교수(경상대 화학과), 박명환 교수(충북대 화학교육과), 김용일 박사(한국표준과학연구원),

	이호춘 교수(DGIST 에너지공학전공), 이상기 교수(이화여대 화학과), 김영삼 교수(UNIST 화학과), 심은지 교수(연세대 화학과), 문봉진 교수(서강대 화학과), 곽민석 교수(부경대 화학과), 유제중 교수(성균관대 물리학과), 신혜영 교수(충남대 에너지과학기술대학원), 이종석 박사(한국해양과학기술원), 류지헌 교수(한국산업기술대학교), 박이슬 교수(부경대 화학공학과), 이정익 본부장(한국전자통신연구원), 이용민 교수(DGIST 에너지공학과), 권용훈 교수(서울대 응용생물화학부), 이창석 대표이사(Korea Spectal Products), 강진영 교수(KAIST 화학과), 김형민 교수(국민대 응용화학부), 손종우 교수(동아대 화학과), 박지상 교수(경북대 물리학과), 고연진 박사(KIST), 정윤석 교수(연세대 화공생명공학과), 홍성유 교수(UNIST 화학과), 안현서 교수(연세대 화학과), 김현식 박사(KICET), 홍기범 박사(KAIST 화학과), Tao Liu 교수(북경대 약대), 전병선 박사(KIST), Dr. Jacopo Tessarolo(Technical University Dortmund), Prof. Christo S. Sevov(Department of Chemistry and Biochemistry, The Ohio State University), Prof. Tianbiao Leo Liu(Department of Chemistry and Biochemistry Utah State University), 정택동(서울대 화학과)
졸업생 초청 간담회	이해리(학부 08학번, 석사 12학번, 한남대 화학과), 김옥순(학부 11학번, 석사 16학번, 삼성전기), 장예진(학부11, 석사 15학번, Boston college)
여학생 취업률 향상 프로그램	전성윤 교수(KAIST 기계공학과), 임미희 교수(KAIST 화학과)

1.1.3 교육연구단의 대표적 교육 목표에 대한 달성 방안

주요 항목	목표 (계획)	달성 방안 (실적)
자기주도	현장친화형/난제개발형 인력 양성	수요자 중심의 투트랙 교육과정 편성
	대학원생 주도 세미나 개최	대학간 심포지엄(2회) 및 Chemistry Fair(1회)
융합 및 협업	융합 교과목 편성	분과별 교수간의 협업/팀티칭(8개 편성, 4과목 운영 완료)
	학제 간 강의 인증서	응용화학공학부/나노에너지공학과 인증서 발급(타과목 수강)
정보활용	연구 분야별 첨단기기 교육	동영상 교육 자료 제작(18건), 기기활용 교육 프로그램(5회)
	데이터 정보 수집 및 활용	화학정보활용 교과목 편성(운영 완료)
국제화	글로벌 리더 양성	영어논문작성법(편성), 영어구두발표(34건),
	외국인 유학생 지원	외국인 유학생 교류 촉진
안전/윤리 교육	실험실 사고 예방 및 연구윤리 강화	주기적인 안전/윤리 실무 교육(4회)
보완점	학제간 강의 인증서 발급, 기기활용 동영상 개방, 화학영어논문작성법 편성, 해외 기관 파견, 영문 홈페이지 개편, 영문 교육과정/학사관리, 학과 홈페이지를 통한 안전 교육자료 제공	

가. 현장친화형/난제개발형 인력 양성

- 수요자 중심의 투트랙 교육과정을 현장친화형(석사 트랙1)과 난제해결형(석사 트랙2, 박사)으로 편성하여 운영하고 있다.

나. 대학원생 주도 세미나 개최

- 최근 1년간(2020.9.1.~2021.8.31.) 성균관대학교와 학생 중심 심포지엄을 2회(유기화학, 물리화학),

Chemistry Fair 1회 개최하여 운영하였다. 앞으로도 대학간 심포지엄 연 2회, Chemistry Fair 연 1회를 주기적으로 운영할 계획이다.

다. 융합 교과목 편성

- 8개의 융합 교과목(화학영어논문작성법, 화학정보활용, NMR실험기법, 융합화학튜토리얼, 바이오소재화학, 질량분석및응용, 컴퓨터화학반응메커니즘, 표면및구조분석) 편성을 완료(2021학년도 1학기)하여 운영하고 있다. 최근 1년간(2020.9.1.~2021. 8.31) 운영된 융합 교과목은 융합화학튜토리얼, 바이오소재화학, 화학정보활용, NMR실험기법이며, 그 외의 융합교과목은 아래와 같은 일정으로 진행할 계획이다.참조: 화학영어논문작성법과 화학정보활용은 융합 교과목이 아니라 공통 수강 교과목으로 분류).

연번	개설시점	교과목명
1	2021학년도 1학기(완료)	융합화학튜토리얼, 화학정보활용, 바이오소재화학, NMR 실험기법
2	2021학년도 2학기(예정)	화학영어논문작성법, 표면및구조분석
3	2022학년도 1학기(예정)	융합화학튜토리얼, 화학정보활용, 첨단기기활용및제어, NMR실험기법
4	2022학년도 2학기(예정)	화학영어논문작성법, 컴퓨터화학반응메커니즘, 질량분석및응용

라. 학제 간 강의 인증서

- 상호간 인증서(응용화학공학부/나노에지공학과)를 발급하고자 타전공 교과목 이수를 장려하였다. 최근 1년간(2020.9.1.~2021. 8.31) 화학과 학생이 타전공 교과목을 수료한 사례는 아래와 같다.

연번	개설학과	교과목	학생수	담당교수
1	전기전자공학과	태양전지공학	1	김희제
2	에너지융합기술전공	재료물성분석특론	2	이동윤

또한, 타대학원생이 화학과 교과목을 전공한 사례는 아래와 같다.

연번	교과목명	타학과명(학생수)	담당교수
1	고등분석화학	사회환경시스템공학과(1), 화학소재학과(1)	양해식
2	화학물리	사회환경시스템공학과(1)	최정모
3	분자소재화학	사회환경시스템공학과(1)	홍대화
4	고등유기화학	화학공학・고분자공학과(1)	박진균
5	전기화학	화학공학・고분자공학과(2), 화학소재학과(2)	양해식
6	NMR실험기법	화학공학・고분자공학과(2), 화학소재학과(3)	김석만
7	고등무기재료화학	화학공학・고분자공학과(6)	박강현
8	화학정보활용	사회환경시스템공학과(1)	주정민
9	에너지화학	화학공학・고분자공학과(7), 나노융합기술학과(1)	유현덕
10	대사시스템화학	화학공학・고분자공학과(1)	박장수

앞으로, 학과간 수강 사례를 체계적으로 정리하여, 대학원생들에게 인증서를 발급하고자 한다.

마. 연구 분야별 첨단기기 교육

학생 주도로 동영상 교육자료 제작를 제작하였고, 기기활용 교육 프로그램을 운영하였다.

(1) 동영상 교육자료 제작

- 대학원생 주도로 실험실별 주요 첨단기기 사용법을 동영상으로 제작하여 공유하였다(총 18건).
NMR, SEM, Gaussian 계산, Mott-Schottky plot, Distillation, UV-Vis spectrometer, XRD, cyrstaillization, gas chromatography, silica gel column chromatography, Analytical HPLC, IR, water contact angle analyzer, Solvent tower, HR-MAS NMR, cyclic voltammetry, pH meter.
향후 수요가 있는 것에 대한 동영상 교육자료를 업데이트할 예정이다.

(2) 기기활용 교육 프로그램
교내 공동실험실습관 및 학과내에서 운영하는 기기활용 교육프로그램을 아래와 같이 진행하였다.

연번	프로그램명	일시	장소	참석자 수
1	IR 교육	2020년 9월 8일	화학관 124호 공동기기실	7
2	i-RAMAN 교육	2020년 11월 24일	화학관 124호 공동기기실	8
3	SEM 교육	2021년 2월 2일	화학관 SEM 실	16
4	단결정 x-선 결정학 및 구조해석 실무교육	2021년 3월 29~30일	화학관 408호	12
5	AKTAgo chromatography system(LC)	2021년 6월 17일	화학관 416호	15

바. 데이터 정보 수집 및 활용
화학정보활용(2021학년도 1학기) 교과목으로 편성하여 목표를 달성하였으며, 아래와 같이 운영하였다.

담당 교수	주요 내용
주정민, 이상학	화학정보 검색(SciFinder), 문헌 인용법(Endnote), Web을 이용한 공동 연구, PPT 작성법, 화학구조식 그리기(chemdraw), 양자 계산, 데이터처리(Origin), 동영상 제작법, 도서관 이용법, 이메일 작성법, 연구자 ID 관리법

화학정보활용은 매년 1학기에 개설되어 운영될 계획이다.

사. 글로벌 리더 양성
영어논문작성법 및 구두 발표를 통해 목표를 달성하고자 하였다.
- 화학영어논문작성법을 교육과정표에 편성하였고, 2021학년도 2학기부터 매년 2학기에 운영될 예정이다.
- 대학원생 및 박사후연구원의 영어구두 발표를 아래와 같이 정례화하였다(34회).

행사 및 학회명	날짜	장소	구두발표
SKKU-PNU BK21 Four Joint Symposium	2021년 2월 19일 2021년 8월 17일	화학관 112호(온라인)	부산대 대학원생 8명
Chemistry Fair	2020년 9월 16일	화학관 112호, 114호(온라인)	대학원생 14명
PostDoc Symposium	2020년 11월 11일	화학관 112호(온라인)	신진연구인력 5명
ACS Fall 2021	2021년 8월 22일	온라인	대학원생 3명
72nd Annual meeting of the international society of electrochemistry	2021년 8월 29일	온라인	대학원생 4명

- 앞으로도 SKKU-PNU BK21 Four Joint Symposium(연 2회), Chemistry Fair(연 1회), PostDoc

Symposium(연 1회)를 주기적으로 운영할 계획이다. 또한 온/오프라인 국제학회의 구두 발표를 활성화할 계획이다.
- 해외 기관 파견은 코로나19 상황에 따라 유동적으로 계획하여 운영할 예정이다.

아. 외국인 유학생 지원

교육연구단 소속학과의 외국인 대학원생 교류를 활성화하였다. 영어로 진행되는 교내 행사(chemistry fair/포닥 심포지엄) 참여를 장려하고, 학과 교수 및 내국인 대학원생과의 소통을 유도하였다. 향후 입학하고자 하는 외국인 학생의 편의성과 접근성을 향상하기 위해 영문 홈페이지를 운영할 계획이다. 특히, 전공 교과목별 소개 및 학사관리 조항을 영문으로 편집하고 있으며, 이를 홈페이지에 개방할 예정이다.

자. 실험실 사고 예방 및 연구윤리 강화

학과 홈페이지를 이용하여 안전 교육 자료를 제공할 계획이며, 주기적인 안전/윤리 실무 교육을 아래와 같이 실행하고 있다.

프로그램	주제	일시
안전 교육	연구실안전교육 및 생물안전교육	2020학년도 2학기(온라인)
		2021학년도 1학기(온라인)
윤리 실무 교육	연구윤리 및 연구관리	2020학년도 2학기(온라인)
		2021학년도 1학기(온라인)

차. 실적 분석을 통한 향후 추진계획

a. 타대학원 교과목 수강은 이루어지고 있지만, 이를 인증할 수 있는 제도가 미진한 상황이다. 본 연구단은 타 대학원 연구단과 상호 협의를 학제간 강의 인증서에 관한 규정을 만들고, 인증서 발급 제도를 체계화할 계획이다.
b. 학과 홈페이지/인트라넷을 통해 제작한 기기활용 동영상을 개방하여 정보활용에 대한 접근성을 향상시키고자 한다.
c. 국제화 목표 달성을 위해 영문 홈페이지를 개편하여 외국인 학생에게 입학, 교육과정, 학사관리에 관한 정보를 체계적으로 전달하고자 한다. 또한 화학영어논문작성법을 개설하고, 미진한 해외 기관 파견은 상황에 따라 점진적으로 증가시킬 계획이다.

1.1.4 전임교수 대학원 강의 계획 대비 최근 1년간(2020.9.1.~2021.8.31.)의 실적

분류	편성 교과목명(계획)	운영 과목(실적)
기초핵심 (5개)	고등물리화학, 고등유기화학, 고등무기재료화학, 고등분석화학, 고등생물화학	5개
융합 (8개)	바이오소재화학, 융합화학튜토리얼, 질량분석및응용, 첨단기기활용및제어, 컴퓨터화학반응메커니즘, 표면및구조분석, 화학영어논문작성법, 화학정보활용	4개 (4개 운영 예정)
전공선택 (17개)	전기화학, 생체막화학, 배위화학, 고등유기화학특론, 천연물입체화학, 화학물리, 대사시스템화학, RNA생화학, 초분자화학, 유기소재분석화학, 양자화학, 무기합성및유기금속화학, 융합나노촉매화학, 고분자소재화학, 화학반응동력학, 현대분광학, 생촉매화학	6개 (11개 예정)
세미나	세미나(I), 세미나(II), 과학의사소통(I), 과학의사소통(II)	3개

(4개)		(1개 예정)
논문	논문연구	30개
실적분석	개편된 교과목은 계획대로 개설되고 있으며, 100% 전임교수 강의로 운영되고 있다.	

가. 당초 강의계획 요약

분류	연도	2020-2022학년도 전임교원 강의 개설 예정 교과목	
		1학기	2학기
기초핵심 교과목	매년	고등물리화학, 고등무기재료화학, 고등유기화학	고등생물화학, 고등분석화학
융합과목 (팀티칭)	2020	융합화학튜토리얼(매년) NMR실험기법(매년)	질량분석및응용 첨단기기활용및제어
	2021	융합화학튜토리얼 NMR실험기법 화학영어논문작성법(매년)	화학정보활용(매년) 에너지화학 표면및구조분석
	2022	융합화학튜토리얼 NMR실험기법 화학영어논문작성법 바이오소재화학	화학정보활용 질량분석및응용 첨단기기활용및제어 컴퓨터화학반응메커니즘
전공선택과목	2020	단백질화학*, 나노화학*, 전기화학(매년), 고등유기합성화학*, 현대생화학*	생체막생화학, 배위화학, 고등유기화학특론, 천연물입체화학, 화학물리
	2021	대사시스템화학, RNA생화학, 초분자화학, 유기소재분석화학, 양자화학, 전기화학	무기합성및유기금속화학, 융합나노·촉매화학, 고분자소재화학, 화학반응동력학, 현대분광학
	2022	생촉매화학, 배위화학, 전기화학, 고등유기화학특론	생체막생화학, 초분자화학, 천연물입체화학, 화학물리
세미나	2020	세미나(II), 세미나(IV)	세미나(I), 세미나(III)*
	2021	세미나(II), 과학의사소통(II)	세미나(I), 과학의사소통(I)
	2022	세미나(II), 과학의사소통(II)	세미나(I), 과학의사소통(I)
논문	매년	논문연구	논문연구

다음 과목은 2020학년도에는 운영되었으나 계획에 맞추어 다음처럼 변경됨: 단백질화학(변경), 나노화학, 고등유기합성화학, 현대생화학, 세미나(III)(이상 폐지).

나. 강의 실적 및 운영

(1) 본 교육연구단 참여교수를 포함한 학과 교수진은 2020년 1학기부터 위에 정리된 표를 근거하여 교과목을 순차적으로 개설하여 운영하고 있다. 크게 6가지로 개설 교과목으로 분류하였으며(기초핵심 교과목, 융합과목, 전공선택과목, 세미나, 논문), 모든 교과목은 전임교원이 아래와 같이 100% 강의하였으며, 2021학년도 2학기도 100% 운영될 예정이다.

개설연도	학기	개설 교과목명	과목수	전임교수 강의 과목수
2020	2	고등분석화학, 고등생물화학, 생체막생화학, 고급유기금속화학, 화학물리, 계산화학, 분자소재화학, 고등유기화학특론, 세미나(I), 세미나(III), 논문연구	11	11 (100%)

2021	1	고등물리화학, 고등유기화학, 전기화학, NMR실험기법, 고등무기재료화학, 융합화학튜토리얼, 바이오소재화학, 화학정보활용, 에너지화학, 대사시스템화학, RNA생화학, 세미나(II), 과학의사소통(II), 논문연구	14	14 (100%)

논문연구는 1개 교과목으로 계산하였으나, 실제로는 전임 교수별로 개설하였다(2020학년도 2학기: 15개, 2021학년도 1학기: 15개).

(2) 기초핵심교과목 중에 고등물리화학, 고등유기화학, 고등무기재료화학은 매년 1학기에, 고등분석화학, 고등생물화학은 매년 2학기에 개설하여 운영하고 있으며, 앞으로도 연속 운영할 계획이다.

(3) 융합 교과목을 개설하여 운영하고 있다. 최근 1년간(2020.9.1.~2021. 8.31) 운영된 융합 교과목은 융합화학튜토리얼, 바이오소재화학, 화학정보활용, NMR실험기법이며, 이 중 3과목은 팀티칭으로 운영하였다. 자세한 교과목 운영 사례 및 계획은 아래와 같다. (*비고: 교육과정표에서 화학영어논문작성법과 화학정보활용은 융합이 아닌 공통으로 들어가 있음)

연번	교과목명	개설 시점	팀티칭 참여교수 (또는 외부인사)
운영 완료	2021학년도 1학기	융합화학튜토리얼	임만호, 양해식, 주정민, 남기민, 김용일(한국표준원), 남궁현(코오롱연구소)
		바이오소재화학	양해식, 홍대화, 고민섭
		화학정보활용	주정민, 이상학, 송성수(부산대 교육교양원)
		NMR실험기법	김석만
운영 예정	2021학년도 2학기	화학영어논문작성법	최정모, Paul H. Cheong(미국 Oregon State University)
		표면및구조분석	남기민, 홍대화, 박강현
	2022학년도 1학기	화학정보활용	이상학
		융합화학튜토리얼	박진균, 임만호, 양해식, 남기민
		첨단기기활용및제어	유현덕, 김석만
		NMR실험기법	김석만
	2022학년도 2학기	화학영어논문작성법	미정
		컴퓨터화학반응메커니즘	최정모, 홍대화
		질량분석및응용	이상학, 박진균, 황도훈, 김석만

(4) 개편된 교과과정을 통해 전공선택 교과목을 운영하고 있다. 개편된 전공선택 교과목 중에서, 최근 1년간(2020.9.1.~2021. 8.31) 운영된 교과목은 생체막생화학, 화학물리, 전기화학, 에너지화학, 대사시스템화학, RNA생화학이다. 자세한 교과목 운영 사례 및 계획은 아래와 같다.

	개설시점	전공선택 교과목 및 담당 교수
운영 완료	2020학년도 2학기	생체막화학(김석만), 화학물리(최정모)
	2021학년도 1학기	전기화학(양해식), 에너지화학(유현덕), 대사시스템화학(박장수), RNA 생화학(김광선)
운영 예정	2021학년도 2학기	현대분광학(이상학), 유기소재분석화학(박진균), 융합나노촉매화학(박강현), 고분자소재화학(황도훈), 무기합성및유기금속화학(정옥상)

	2022학년도 1학기	전기화학(양해식), 생촉매화학(박장수), 배위화학(정옥상), 양자화학(미정)
	2022학년도 2학기	생체막화학(김석만), 초분자화학(정옥상), 유기소재분석화학(박진균), 천연물입체화학(미정), 화학반응동력학(미정)

(5) 세미나 교과목은 연구 주제의 다양성을 고려하여 전공이 각기 다른 교수를 아래와 같이 배정하였다. 자세한 운영사례 및 향후 계획은 아래와 같다.

연번	개설시점	교과목	담당교수	분야
운영 완료	2020학년도 2학기	세미나(I)	유현덕	분석화학
	2021학년도 1학기	세미나(II)	유현덕	분석화학
	2021학년도 1학기	과학의사소통(II)	홍대화	유기화학
운영 예정	2021학년도 2학기	세미나(I)	유현덕	분석화학
		과학의사소통(I)	홍대화	유기화학
	2022학년도 1학기	세미나(II)	이상학	물리화학
		과학의사소통(II)	유현덕	분석화학
	2022학년도 2학기	세미나(I)	이상학	물리화학
		과학의사소통(I)	유현덕	분석화학

앞으로 세미나(II), 과학의사소통(II)는 1학기, 세미나(I), 과학의사소통(II)은 2학기에 운영할 계획이다.

다. 강의 실적 분석을 통한 향후 추진계획

a. 당초 개편한 교과목을 바탕으로 강의 실적을 계획대로 달성하고 있다. 특히, 최근 1년간 전임교수 강의 비율은 100%였으며, 이 기조를 유지할 계획이다. 향후 강의 계획은 아래와 같다.

개설연도	학기	개설 교과목명	과목수	전임교수 강의 과목수
2021	2	고등분석화학, 고등생물화학, 현대분광학, 유기소재분석화학, 고등유기화학특론, 융합나노촉매화학, 표면및구조분석, 화학영어논문작성법, 고분자소재화학, 무기합성및유기금속화학, 세미나(I), 과학의사소통(I), 논문연구	13	13 (100%)
2022	1	고등분석화학, 고등생물화학, 화학정보활용, 융합화학튜토리얼, 첨단기기활용및제어, NMR실험기법, 전기화학, 생촉매화학, 배위화학, 세미나(II), 과학의사소통(II), 논문연구	12	12 (100%)
2022	2	고등분석화학, 고등생물화학, 화학영어논문작성법, 질량분석및응용, 컴퓨터화학반응메커니즘, 생체막화학, 초분자화학, 유기소재분석화학, 천연물입체화학, 세미나(I), 과학의사소통(I), 논문연구	12	12 (100%)

b. 융합 교과목의 외부 산업체 참여 및 개방화가 상대적으로 미진한 상황이다. 2021학년도 1학기 융합화학튜토리얼의 사례(김용일: 한국표준원; 남궁현: 코오롱연구소)를 참조하여, 다른 융합 교과목에 외부 산업체 전문인사 강연의 사례를 높일 계획이다.

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

1.2.1 과학기술·산업·사회 문제 해결과 관련된 교육 프로그램 현황 및 실적

<교육 프로그램 구성 및 계획>

분야	정규 교과목	비교과 프로그램
과학기술 (인공 효소/촉매 개발)	6과목: 융합화학튜토리얼, 천연물입체화학, NMR실험기법, 생촉매화학, 고등분석화학, 바이오소재화학	교내 공동세미나(10건) 교외 공동 심포지엄(성균관대/경희대)
산업 (에너지, 화학반응 제어)	4과목: 화학반응동력학, 에너지화학, 고분자소재화학, 컴퓨터화학반응메커니즘	타 학과와의 학점 교류(응용화학공학부/나노에너지공학과) 기업체 컨설팅, 기기활용 교육 4차 산업혁명/산업체 세미나
사회(백신/진단 및 대중화 교육)	6과목: 고등생물화학, RNA생화학, 전기화학, 질량분석및응용, 현대분광학, 첨단기기활용및제어	튜토리얼, 지역단체 방문 및 특강, 교양과목 온라인 강의 공개, 분자소재분야 자문활동, 고등학생 R&E 및 화학올림피아드

<최근 1년간 실적 및 향후 추진계획>

분야	정규 교과목	비교과 프로그램
과학기술 (인공 효소/촉매 개발)	5과목 운영 완료	교내 공동세미나(11건), 기초연구실사업(2건) 부산대-성균관대 심포지엄(2회)
보완점	천연물입체화학 운영 및 과목 추가	부산대-경희대 심포지엄
산업 (에너지, 화학반응 제어)	에너지화학 운영, 화학물리 대체 운영	타과 교과목 수강(3건), 기업체 컨설팅(5건), 기기활용 교육(23건), 4차 산업혁명/산업체 세미나(3명초청)
보완점	교과목 운영 활성화 및 과목 대체	학제간 인증제 제도화
사회(백신/진단 및 대중화 교육)	3과목 운영 완료	튜토리얼(1건), 지역단체 방문 및 특강(8건), 분자소재분야 자문활동(6건), 고등학생 R&E(9팀), 화학올림피아드 2021 겨울학교 개최
보완점	3과목 운영 예정	교과목 개방(융합화학 튜토리얼), 튜토리얼 활동 확대

가. 과학기술 분야

(1) 정규 교과목 실적

본 교육연구단에서는 인공 효소/촉매 개발을 과학기술의 난제로 선정하였으며, 이와 관련된 핵심 정규 교과목은 아래와 같다(II-1.1.3.가 참조).

a. 융합화학튜토리얼(2021학년도 1학기 개설; 담당 교수: 임만호).

융복합 연구에 필요한 화학의 전공 분야별 핵심 원리를 분과별 교수(물리화학: 임만호; 유기화학: 주정민; 분석화학: 양해식, 남기민)와 외부인사(김용일: 한국표준과학연구원; 남궁현: 코오롱연구소)로 구성하여 팀티칭을 통해 강의내용을 전달하였다. 본 교과목은 매년 1학기에 개설되어 운영될 예정이다.

b. NMR실험기법(2021학년도 1학기 개설; 담당 교수: 김석만)

학과 내에 보유한 NMR을 활용하여 원리를 이해하고 생/유기 분자의 구조 분석을 실습하였다. 본 교과목은 매년 1학기에 개설되어 운영될 예정이다.

c. 고등분석화학(2020학년도 2학기 개설; 담당 교수: 양해식)
인공 효소 반응과 촉매 반응이 일어나는 완충용액의 작동 원리 및 제조 방법을 배우고, 산화환원 효소 반응 및 촉매 반응에서 에너지 준위에 따른 전자의 이동 메커니즘과 인공 효소/촉매의 반응속도 및 반응 메커니즘을 연구할 수 있는 분광학 방법 등을 공부하였다. 본 교과목은 매년 2학기에 개설되어 운영될 예정이다.

d. 천연물 입체화학(2022학년도 2학기 개설 예정: 박진균)
천연물 전합성과 입체선택적인 합성법에 대해 다룬다. 여러 작용기가 존재하는 복잡한 환경에서도 효율적인 반응을 가능하게 하는 촉매와 선택적인 반응을 가능하게 하는 촉매의 원리를 교육한다. 본 교과목은 매년 1학기에 개설되어 운영될 예정이다.

e. 생촉매화학: (2022학년도 1학기 개설 예정; 담당 교수: 박장수)
생물계의 효소 반응에 대한 생화학적 및 분자생물학적 지식 및 기존 화학적 촉매 대비 장단점에 대한 지식을 강의한다. 추가로, 인공 효소 또는 모사 생촉매 개발에 관한 최신 연구를 소개하고자 한다.

f. 바이오소재화학: (2021학년도 1학기 개설; 담당 교수: 양해식, 홍대화, 고민섭)
인공 효소/촉매 및 감염병 백신을 위한 바이오소재를 소개하고, 이를 응용하는 분석 기술에 대해 소개하였다. 학과 교수의 전공별 팀티칭(양해식: 바이오센서; 홍대화: 생체재료화학; 고민섭: 합성생물학)을 통해 최신 연구 동향을 전달하였다.

(2) 학과 내 공동 연구 세미나
새로운 과학기술분야에서 뛰어난 연구 경쟁력을 확보하고자 학과 내 공동 그룹 세미나를 지속해서 개최하고 있다.
a. 현재 교육연구단 학과 내 전공 간 공동그룹 세미나(11건)는 아래와 같다.
- 유기화학과 무기화학(박진균-정옥상), 전기화학과 생화학(양해식-김광선, 남기민-김광선, 양해식-김석만), 유기화학과 생화학(박진균-김광선, 황도훈-김광선), 무기화학과 물리화학(정옥상-이상학), 유기화학과 물리화학(고민섭-최정모, 홍대화-최정모, 고민섭-이상학) 및 실험실 간 공동 세미나(유현덕-남기민)를 개최하고 있다.

b. 기초연구실 사업(2건)
- 전기유기화학 분야 연구실 사업(2019년 9월~2022년 2월)을 현재 수행 중이다(양해식, 남기민, 박진균, 주정민).
- 물리유기화학 분야 연구실 사업(2021년 6월~2024년 2월)을 현재 수행 중이다(임만호, 이상학, 고민섭, 정나연(부산대 의대)).

(3) 학교 간 공동 연구 세미나
a. 과학 기술 연구 경쟁력을 확보하기 위해 학교 간 공동 연구 세미나를 정기적으로 운영하고, 필요한 교육 컨텐츠에 대한 정보를 공유하여 교과 과정에 반영하고자 한다. 현재 학교 간 대표 공동 연구 현황은 아래와 같다.

교수명	공동연구기관	공동연구사례
김광선	영남대(이용록)	유기화합물의 항생 효과에 대한 연구 주제 논의
김광선	UST(김세미)	나노화합물의 동물 세포 독성조사

남기민	KAIST(송현준)	광 전기화학 반응 메커니즘 연구 및 반응효율 증가를 위한 물질 탐색
남기민	충남대(김영헌)	광촉매 반응 메커니즘을 분석하기 위한 공동실험 및 토론
유현덕	KETI(송준호)	리튬이온배터리 고용량 양극소재 합성
주정민	KAIST(변혜령)	레독스 분자 전지 개발
홍대화	충북대(강성민)	유기/고분자를 이용한 표면 코팅법 개발 및 응용성 발굴
황도훈	국민대(정인환)	태양전지 효율 증가를 위한 물질 탐색과 디바이스 제작 연구

b. 부산대-성균관대 화학과 학생 주도 BK 심포지엄
본 교육연구단과 성균관대 교육연구단간의 학생 주도 BK 심포지엄을 다음과 같이 운영하였다.

분과	일시	장소	참여자
유기화학	2021년 2월 19일	화학관 112호 및 온라인	성균관대 4명, 부산대 4명(파우델 묵티, 곽하연, 이수하, 정재훈)
물리화학	2021년 8월 17일	화학관 112호 및 온라인	성균관대 4명, 부산대 4명(김현준, 강민채, 정지식, 허원)

- 모든 행사 준비 및 진행(좌장 선정 및 초록집 제작 등)은 대학원생 주도로 이루어지도록 하고, 영어로 발표하였다.
- 분석화학, 무기화학, 생화학 분야에서도 동일하게 운영하고자 한다.

c. 부산대-경희대 응용화학과 심포지엄을 통한 협업
본 교육연구단과 경희대 응용화학과 연구자들이 2번에 걸쳐 미니 심포지엄을 부산과 수원에서 번갈아 개최하여 교수 간 교류를 촉진한 바 있다(2019년 6월 13일: 부산, 2018년 7월 14일: 서울). 코로나-19 사태로 이번 사업기간에는 행사를 개최하지 못했으나 2021년 11월 심포지엄 개최를 계획하고 있다.

(4) 계획 대비 실적 분석을 통한 향후 추진계획
a. 고등분석화학(2020학년도 2학기), 융합화학튜토리얼(2021학년도 1학기), NMR실험기법(2021학년도 1학기), 바이오소재화학(2021학년도 1학기)을 운영하였다. 향후 고등분석화학은 매년 2학기, 융합화학튜토리얼과 NMR실험기법은 매년 1학기에 운영될 예정이다. 천연물 입체화학과 생촉매화학은 당초 계획대로 운영될 예정이며(앞부분 참조), 유기소재분석화학을 추가적으로 편성하여 과학기술 분야 교과목에 편성하고자 한다.
- 유기소재분석화학(2021학년도 2학기 개설 예정; 담당 교수: 박진균)
복잡한 생/유기 분자의 구조를 분석할 수 있는 실험기법(NMR, Mass, IR, UV)을 종합적으로 학습하고 이를 근거로 해석할 수 있는 방법에 대해 강의한다. 또한, 학과 내에 보유한 NMR을 활용하여 실습한다.

b. 학교 간 공동 연구 세미나(심포지엄) 활성화: 교내 공동 연구 세미나는 계획대로 진행되었지만, 코로나 19로 대외적인 교류를 요구하는 학교 간 공동 연구 심포지엄의 활동은 제한적이었다. 본 교육연구단은 성균관대학교와의 온라인 심포지엄 경험을 토대로 학교 간 공동 연구 세미나를 점진적으로 늘려나갈 계획이다. 특히, 경희대 응용화학과 연구자들과 2번에 걸쳐 미니 심포지엄을 개최한 경험(2019년 6월 13일: 부산, 2018년 7월 14일: 서울)을 토대로 온/오프라인 방식을 활용하여 심포지엄을 운영할 계획이다.

c. 기존 프로그램의 정례화: 규칙적으로 운영되고 있었던 학과 내 공동 연구 세미나, 기초연구실 사업 등을 통해 과학기술 문제 해결을 위한 비교과 프로그램으로 활용할 예정이다.

나. 산업 분야

본 교육연구단에서는 에너지 및 화학반응 제어를 산업 문제 해결의 주 분야로 선정하였으며, 이와 관련하여 운영하고 있는 핵심 정규 교과목은 아래와 같다.

(1) 정규 교과목

a. 에너지화학(2021학년도 1학기 개설; 담당 교수: 유현덕)

에너지의 효율적인 변환 및 저장은 휴대용 전자기기, 전기차 등 산업적으로 높은 중요성을 갖고 있다. 본 강좌를 통해 에너지의 변환 및 저장을 위한 전기화학의 기본 지식과 연료전지, 배터리, 수전해 등 다양한 에너지 변환/저장 장치의 화학적 원리를 강의하였다.

b. 화학물리(2020학년도 2학기 개설; 담당 교수: 최정모)

기존 화학반응동력학 과목을 화학물리로 대체하여 산업 문제 해결을 위한 교과목으로 활용하였다. 화학물리 교과목을 통해 계면, 바이오/나노머신, 물, 고분자와 같은 산업적 부가가치가 높은 응용화학 재료 및 공정에 적용할 수 있는 통계학적 접근법들을 강의하였다. 특히 화학 반응 제어에 밀접하게 관련된 화학 평형 이론과 상호작용 계 이론을 심도 있게 논의하여 학생들의 경쟁력을 향상시켰다.

c. 고분자소재화학(2021학년도 2학기 개설 예정; 담당 교수: 황도훈)

산업 현장에서 활용되고 있는 전기 및 광특성 고분자 소재의 개발 현황을 소개한다. 특히, 차세대 태양전지로 연구 개발이 진행되고 있는 유기태양전지의 소자 구조, 작동 원리 및 분자 설계 방법론을 다룬다.

d. 컴퓨터화학반응메커니즘(2022학년도 2학기 개설 예정; 담당 교수: 최정모)

화학반응의 메커니즘을 이해하기 위해 수행하는 속도론적 실험의 결과를 검증하거나 실험적 한계를 극복하기 위해 컴퓨터 화학이 필요하다. 본 수업에서는 양자화학적 계산모델을 이용하여 전이상태, 전자 밀도, 산성도, 전자 오비탈, 공명도를 예측하는 계산 방법을 강의한다.

(2) 타 대학원 학점 연계를 통한 교과목 다변화

BK21 사업을 꾸준히 운영하고 있는 교내 타 대학원과의 학점 인증제를 통해, 자연과학 연구를 수행하는 학생들이 공과대학 및 산업 관련 분야로의 안목을 넓힐 수 있도록 장려하였다.

최근 1년간(2020.9.1.~2021. 8.31) 화학과 학생이 타전공 교과목을 수료한 사례는 아래와 같다.

연번	개설학과	교과목	학생수	담당교수
1	전기전자공학과	태양전지공학	1	김희제
2	에너지융합기술전공	재료물성분석특론	2	이동윤

또한, 타대학원생이 화학과 교과목을 전공한 사례는 아래와 같다.

연번	교과목명	타학과명(학생수)	담당교수
1	고등분석화학	사회환경시스템공학과(1), 화학소재학과(1)	양해식
2	화학물리	사회환경시스템공학과(1)	최정모
3	분자소재화학	사회환경시스템공학과(1)	홍대화
4	고등유기화학	화학공학・고분자공학과(1)	박진균
5	전기화학	화학공학・고분자공학과(2), 화학소재학과(2)	양해식
6	NMR실험기법	화학공학・고분자공학과(2), 화학소재학과(3)	김석만

7	고등무기재료화학	화학공학・고분자공학과(6)	박강현
8	화학정보활용	사회환경시스템공학과(1)	주정민
9	에너지화학	화학공학・고분자공학과(7), 나노융합기술학과(1)	유현덕
10	대사시스템화학	화학공학・고분자공학과(1)	박장수

이를 토대로 화학 분야와 학문적 관련성이 높은 응용화학공학부 및 나노에너지공학과와 학점 인증제 프로그램을 공유할 예정이다.

(3) 기업체 컨설팅을 통한 교육 프로그램 개선

연구 분야 관련성이 높은 산업체와의 컨설팅을 통해 산업체 현장에 기반하는 (비)교과 프로그램 수요 및 요청 사항을 습득하였다. 프로그램의 방향성 선정을 위해 산업체 방문 및 간담회를 통해 관련 내용에 대한 구체적인 사항을 아래와 같이 협의하였다.

연번	업체명	일시	참여교수	회의 내용
1	㈜ 경보제약	2021년 5월 13일	박진균	Flow Chemistry 외 합성 신기술 동향
2	㈜ 경보제약	2021년 7월 2일	박진균	MOU
3	㈜ 경보제약	2021년 8월 20일	박진균, 황도훈, 주정민, 고민섭	유기합성 자문, flow chemistry 개발, 단백질 정제
4	MD 헬스케어	2021년 1월 13일	김광선	2020년 연구 결과 공유 및 향후 공유 가능한 연구 주제 발급
5	MD 헬스케어	2021년 7월 28일	김광선	2021년 신규 개발 연구 아이디어 제안 및 산학 연구 논의

(4) 기기 활용 교육 프로그램

산업 친화형 현장 실무 능력을 향상하기 위해 기기 활용 교육 프로그램을 아래와 같이 운영하였다.

a. 동영상 교육자료 제작

- 대학원생 주도로 실험실별 주요 첨단기기 사용법을 동영상으로 제작하여 공유하였다(총 18건).

NMR, SEM, Gaussian 계산, Mott-Schottky plot, Distillation, UV-Vis spectrometer, XRD, cyrstaillization, gas chromatography, silica gel column chromatography, Analytical HPLC, IR, water contact angle analyzer, Solvent tower, HR-MAS NMR, cyclic voltammetry, pH meter.

향후 수요가 있는 것에 대한 동영상 교육자료를 업데이트 할 예정이다.

b. 기기활용 교육 프로그램

교내 공동실험실습관 및 학과내에서 운영하는 기기활용 교육프로그램을 아래와 같이 진행하였다.

연번	프로그램명	일시	장소	참석자 수
1	IR 교육	2020년 9월 8일	화학관 124호 공동기기실	7
2	i-RAMAN 교육	2020년 11월 24일	화학관 124호 공동기기실	8
3	SEM 교육	2021년 2월 2일	화학관 SEM 실	16
4	단결정 x-선 결정학 및 구조해석 실무교육	2021년 3월 29~30일	화학관 408호	12
5	Chromatography system(LC)	2021년 6월 17일	화학관 416호	15

(5) 4차 산업혁명/산업체 관련 세미나(4차 산업혁명 전문 강사 연 2회 초청)
회사 및 연구소에 재직 중인 분자 소재 전문 인력(학과 졸업생 포함)을 초청하여 최신 산업 동향에 관한 지식을 전달하고자 하였다. 이를 위해, 본 교육연구단에서는 4차 산업혁명 겨울 학교 세미나를 아래와 같이 개최하였다.

연번	연사 성명 (소속)	일시	주제
1	김태수 교수(동의대학교 행정복지대학원)	2021년 1월 27일 (온라인)	포스트 코로나와 4차 산업의 발전 방향
2	정지원 대표(K-ICT 창업 멘토링센터)		4차 산업혁명 바로 보기
3	권다솜 매니저(부산창조경제혁신센터)		부산 창조경제혁신 센터 소개

(6) 계획 대비 실적 분석을 통한 향후 추진계획
a. 산업 문제 해결과 관련된 정규교과목 운영이 상대적으로 미진하다. 최근 1년간 에너지화학(2021학년도 1학기)을 운영하였고, 고분자소재화학과 컴퓨터화학반응메커니즘이 운영될 예정이다(앞부분 참조).

b. 학제간 인증제 제도화: 사전 단계로 타대학원간 학점 수강 사례를 활성화 하였지만, 학제간 인증제 제도가 미진한 상황이다. 응용화학공학부 및 나노에너지공학과간의 사전 협의 및 인증 제도 정비를 통해 학제간 인증제를 체계화할 계획이다.

c. 기존 프로그램 정례화: 기업체 컨설팅, 기기활용교육, 4차 산업혁명/산업체 세미나 등을 활용하여 산업 문제 해결을 위한 비교과 프로그램으로 활용할 예정이다.

다. 사회 문제 해결

(1) 정규 교과목
본 교육연구단에서는 감염병, 백신, 진단을 사회 문제 해결을 위한 주 분야로 선정하였으며, 이와 관련하여 운영되고 있는 정규 교과목은 아래와 같다.
a. 고등생물화학(2020학년도 2학기 개설, 2021학년도 2학기 개설 예정; 담당 교수: 김광선)
백신 개발을 위한 기본적인 면역 반응 및 백신의 원리, 신개념 플랫폼에 대한 다양한 물질을 생화학적인 관점에서 학습하였다. 또한, 이를 바탕으로 생화학 응용 기법 및 분석에 대한 방법을 제시하여, 감염병에 대한 신개념 백신 개발 및 응용력을 키울 수 있게 하였다. 본 교과목은 매년 2학기에 개설되어 운영될 예정이다.

b. 전기화학(2021학년도 1학기 개설; 담당 교수: 양해식)
전기화학에 필요한 기초회로이론 및 전위의 개념에 대해서 다루고, 전기화학분석에 사용하는 시간대전류법, 순환 전압-전류법에 대해서 다루었다. 용액 속의 물질의 농도를 측정하는 전기화학 센서의 원리를 다룬 뒤 실제 진단에 이용되고 있는 전기화학 기기 및 바이오센서에 대해서 강의하였다. 본 교과목은 매년 1학기에 개설되어 운영될 예정이다.

c. RNA생화학(2021학년도 1학기 개설; 담당 교수: 김광선)
세포 내 생분자 물질인 RNA 분자의 기초 지식과 질병 치료 및 백신 활용에 대한 내용을 다루었다.

d. 현대분광학(2021학년도 2학기 개설 예정; 담당 교수: 이상학)
고전적인 분광학 개념을 활용하여 현대 기술과 응용되는 기술을 소개한다. 특히 라만 분광법, 형광분광법을 활용하여 단분자를 측정해내는 기술을 활용하여 세포 이미징, DNA, RNA, 단백질 동역학 등의 최근 연구 방법론을 소개하고, 생물학 연구, 의학적 진단 등으로 활용되는 예를 소개한다.

e. 질량분석및응용(2022학년도 2학기 개설 예정; 담당 교수: 이상학, 박진균, 황도훈, 김석만)
원소 분석, 유기분자와 생체분자의 분자량 결정, 고체표면 분석, 생체분자의 구성 성분 및 분자량을 알아내는 질량분석법의 원리와 예를 소개한다.

f. 첨단기기활용및제어(2022학년도 1학기 개설 예정; 담당 교수: 김석만, 유현덕)
본 강좌에서는 전자현미경, 분광기, 입도분석기, 전기화학기기의 작동원리와 더불어 산업/연구 현장에서 필요한 이론을 강의한다.

(2) 대중화 교육
지역 사회 대중화 교육 및 과학인재 양성에 기여할 수 있는 프로그램을 아래와 같이 운영하였다.
a. 정규 교과목의 개방: 정규 교과목 중 융합화학튜토리얼은 당초 학과 대학원뿐만 아니라 기업/산업체 전문 인력에게 개방하여, 대학과 지역 연구소/산업체 간의 연구 전문지식의 공유를 촉진하고자 하였다. 본 교육연구단은 그 사전 단계로 최근 1년간 화학 지식을 필요로 하는 타 학과 본교 대학원생들에게 화학과 정규 교과목을 개방하여 학제간 연구 전문지식 공유를 촉진하고자 하였다. 개방한 사례는 아래와 같다.

연번	교과목명	타학과명(학생수)	담당교수
1	고등분석화학	사회환경시스템공학과(1), 화학소재학과(1)	양해식
2	화학물리	사회환경시스템공학과(1)	최정모
3	분자소재화학	사회환경시스템공학과(1)	홍대화
4	고등유기화학	화학공학・고분자공학과(1)	박진균
5	전기화학	화학공학・고분자공학과(2), 화학소재학과(2)	양해식
6	NMR실험기법	화학공학・고분자공학과(2), 화학소재학과(3)	김석만
7	고등무기재료화학	화학공학・고분자공학과(6)	박강현
8	화학정보활용	사회환경시스템공학과(1)	주정민
9	에너지화학	화학공학・고분자공학과(7), 나노융합기술학과(1)	유현덕
10	대사시스템화학	화학공학・고분자공학과(1)	박장수

b. 외부 튜토리얼 활동을 통해 전기화학의 대중화에 기여하였다. 양해식 교수는 한국전기화학회 춘계학술대회(2021년 4월 8일, 부산벡스코)에서 주최한 튜토리얼 프로그램 연사로 초청되어 전기화학 임피던스의 기초 및 응용에 관한 내용을 강연하였다.
c. 본 교육연구단은 화학 미래세대 양성에 기여하고자 한국화학올림피아드 2021 겨울학교를 개최하였다. 주요 내용은 아래와 같다.

대상	기간	교육 내용	참여 교수
고1(40명)	2021년 1월 4~15일	유기화학/일반화학실험	임만호, 홍대화, 고민섭, 남기민, 박진균, 양해식, 유현덕, 이상학, 주정민, 황도훈
고2(30명)	2021년 1월 11~16일	물리화학, 분석화학, 유기화학, 화학실험	

d. 화학 대중화를 위한 기타 세부 활동은 아래와 같다.

분류	교수명	시기	주관 기관 및 활동
지역단체 방문/특강	주정민	2020년 9월 8일	현대청운고(2학년 진로 탐색 면담)
		2021년 1월 27일	BranksomeHall Asia (Skype a Scientist at Branksome Hall Asia)
	양해식	2020년 12월 17일	장안고(3학년 진로탐색 특강)
	홍대화	2021년 1월 27일	충북대(대학원 과정에서 키우는 꿈)
	박강현	2020년 11월 14, 21일	동래고 (정육면체 모양을 갖는 산화 구리(I) 나노 입자의 합성)
		2020년 12월 28-31일	대구과학고 (질산구리 금속염을 이용한 구리 기반 MOF 합성/특성)
		2021년 1월 25-29일	학산여자고 (나노 크기를 갖는 산화 구리(II) 입자의 합성)
		2021년 1월 18-22일	부산대 학생처(지역소외 계층을 위한 3day 캠프 프로그램 “지구속 화학찾기”)
R&E	남기민	2020년 4-12월	부산과학고(과학영재 창의과제연구(R&E) 2팀)
	양해식	2020년 4-12월	부산과학고(과학영재 창의과제연구(R&E) 2팀)
		2021년 4-12월	부산과학고(과학영재 창의과제연구(R&E) 3팀)
	홍대화	2021년 4-12월	부산과학고(과학영재 창의과제연구(R&E) 2팀)
분자소재 분야 자문활동	김광선	2021년 1월 13일	MD 헬스케어 (2020년 연구결과 공유 및 향후 공유 가능한 연구 주제 발굴)
		2021년 7월 28일	MD 헬스케어 (2021년 신규 개발 연구 아이디어 제안 및 산학 연구 논의)
	박진균	2021년 3월 19일	부산광역시 소방재난본부 (위험물 사고 조사위원 위촉~2023년 3월 18일)
		2021년 5월 13일	경보제약(Flow Chemistry 등 합성 신기술 동향)
	양해식	2021년 6월 8일	부산광역시 창의융합영재원 (부산과학전람회 과학작품대회 심사위원)
		2021년 7월 28일	

(3) 계획 대비 실적 분석을 통한 향후 추진계획

a. 고등생물화학(2020학년도 2학기), 전기화학(2021학년도 1학기), RNA생화학(2021학년도 1학기)을 운영하였다. 향후 고등생물화학은 매년 2학기, 전기화학은 매년 1학기에 운영될 예정이다. 현대분광학, 질량분석및응용, 첨단기기활용및제어는 당초 계획대로 운영될 예정이다(앞부분 참조).

b. 정규 교과목 개방: 정규 교과목 중 융합화학튜토리얼을 타대학원생뿐만 아니라 외부 기업/산업체 전문인력에게 개방하여, 대학과 지역 연구소/산업체 간의 연구 전문지식의 공유를 촉진하고자 한다. 외부 연사와의 팀티칭 경험을 토대로 쌓은 인적 네트워크를 이용하여 본 교과목을 외부에 점진적으로 개방하여 외연을 확장하고자 한다.

c. 일시적인 대외학술대회 위축으로 외부튜토리얼 활동이 미진하였다. 온/오프라인 세미나 및 국내외 학술대회를 활용하여 튜토리얼 활동을 점진적으로 늘려나갈 계획이다.

2. 인력양성 계획 및 지원 방안

2.1 최근 1년간 대학원생 인력 확보 및 배출 실적

<표 2-1> 교육연구단 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	75	30	14	119
	2021년 1학기	70	31	13	114
	계	145	61	27	233
배출 (졸업생)	2020년 2학기	22	2		24
	2021년 1학기	6	3		9
	계	28	5		33

2.2 교육연구단의 우수 대학원생 확보 및 지원 계획

2.2.1 우수 신입생 확보 노력

가. 우수 자대생 유치를 위한 프로그램 운영

(1) 졸업논문 제도 활용

국립대 육성 사업의 랩 인턴 장학금 지원 프로그램을 운영하여 대학원생의 학부생 멘토링을 지원하였다. 졸업논문 제도를 바탕으로 하여 학부생들이 실험 연구를 수행한 후 졸업 논문을 작성하며 연구에 흥미를 느끼도록 함으로써 본교 대학원으로의 진학을 유도하였다.

a. 랩인턴 연구 도우미 장학금 수혜자(지원금: 30만원)

- 2020년 2학기: 박기련, 이수진, 이혜령, 정지식, 조혜진, 정재훈(총 6명)
- 2021년 1학기: 김민교, 박유창, 이창주, 박예진, 문희훈, 김서일, 김성혜, 김태훈, 조혜진, 강병연, 이진민(총 11명)

(2) 대학원 동아리 운영

대학원 동아리를 운영하여 대학원생 간의 상호 교류를 도모하였다. 현재 운영 중인 대학원 동아리 “Chem-Hub”는 석사/박사/석박사통합 과정으로 구성되었으며, 아래에 구성원과 활동 사항을 기술하였다.

a. 구성원: 김경호, 김동원, 마아현, 윤호정, 이소희, 정재훈, 조혜진, 서동호, 권정욱, 홍창현, 김상혁, 김성욱, 박경은(총 13명, 화학 전공 분과에서 한 명 이상 참여)

b. 활동 방향

- 대학원생 교류 활동: 연구에 필요한 정보 공유(소프트웨어 활용법, 기기 사용 팁 등 경험 공유를 통한 연구 역량 강화), 자유 토론(본인 연구 주제 이외의 여러 분야에 대한 이해 및 관심을 가질 수 있는 기회 마련), 세미나 연사 초청(학생들의 의견을 반영한 세미나 연사 초청 추진), 취업 정보 공유(대학원 졸업자 중 최근의 취업자 초청을 통한 취업 정보 공유)
- 학부생 지원 활동: 대학원 박람회 운영(대학원 소개 및 각 연구실 소개를 위한 박람회 운영), 졸업논문 관련 상담(졸업 논문 결정을 앞둔 학부생을 위한 정보 제공 및 상담 활동 진행), 학부 전과 및 편입생 멘토링(전과 및 편입생의 보다 나은 학과 생활을 위한 멘토링 활동 진행), 수시 상담(대학원 진학 관련 상담이 언제든 가능하도록 수시 상담 지원)

c. 정기 모임 일자
- 2020년 10월 12일, 11월 16일
- 2021년 1월 11일, 3월 24일, 4월 7일, 4월 21일, 5월 12일, 5월 26일, 7월 7일, 7월 21일

(3) Chemistry Fair
2020년 9월 16일 제3회 대학원생이 주도하는 프로그램인 Chemistry Fair를 진행하였다. 본 행사는 학생 주도로 직접 발표 프로그램을 설계하고 좌장 역할을 선정하여 성공적으로 수행했다. 특히, 연구 주제에 따라 두 개의 세션을 구성하였으며, 모든 행사가 영어로 진행되었다. 발표자는 영어 구두발표로 자신의 결과를 발표하였다. 다음에 행사에 대한 구체적인 컨텐츠를 열거하였다.
a. 개최 장소: 화학관 112호, 114호

b. 영어 구두 발표(14명): 윤호정, 이수진, 김현준, 이진민, 조혜진, 최소영, 김지현, 정재훈, 이수진, 파우델 묵티, 마아현, 이수하, 정시연, Shamim Ahmed Hira

c. Lab 소개 동영상 제작(15개): 연구실별 홍보 동영상 제작

d. 연구실 홍보 동영상 우수 제작상(상금 20만원): 김민규(지도교수: 주정민), 장산하(지도교수: 박강현), 정하은(지도교수: 남기민), 허원(지도교수: 이상학), 이소희(지도교수: 김광선)

(4) 연구로 만날 사이
연구 선순환을 위하여 교수들의 연구 분야를 학생 눈높이에 맞게 전달하기 위해 교수들의 연구 발표회를 진행하였다.

연번	교수명	강연 제목	일시/장소
1	고민섭(유기화학)	Chemical Tool Kits to Explore Biology	2020년 9월 10일, 화학관 112호
2	최정모(물리화학)	단백질의 집단 행동에 담긴 비밀을 찾아서	
3	정옥상(무기화학)	학부생을 위한 초분자 재료 소개	2021년 3월 11일, 화학관 112호
4	홍대화(유기화학)	유기 분자, 효소, 그리고 표면 코팅	

나. 우수 타교생 유치를 위한 프로그램(PNU Visiting Day) 운영
동남권 지역 대학에 재학 중인 우수 학부생을 유치하기 위해 대학원 설명회를 개최하였다. 또한, 실험실별 부스를 운영하여 개별 질의에 대해 답변을 하였고, Lab 소개 동영상을 상영하여 시청각 자료로 활용하였다.
(1) 개최 일시: 2020년 11월 19일, 2021년 4월 1일
(2) 개최 장소: 화학관 112호, 114호 및 온라인 송출

다. 학부모 대상 대학원 설명회
이공계 학부생 자녀를 둔 학부모를 대상으로 하여 대학원 관련 정보 제공을 통해 대학원 진학의 필요성과 졸업 후 진로에 관해 설명하였다. 코로나-19로 인해 대면 설명회 개최는 하지 않고 20년 12월 화학과 소개집을 자체 제작하여 우편으로 발송하였다. 소개집은 학과 소개, 교과 과정, 교수 현황, 연구실 소개, 진로 활동, 취업 수기, 학과 소식을 다루고 있다.

라. 우수 외국인 유치를 위한 프로그램 운영
현재 미국 Oregon State University 화학과와의 상호 협력 차원에서 박사과정 학생을 교환 학생의 형태

로 전기 화학 반응 개발 과제 단기 연구에 참여시키고 있으며, 앞으로도 외국의 유수 대학과 비슷한 형태로 우수 인력 교류를 계획하고 있다.
(1) 연구자: Gisela Abigail González-Montiel(미국 Oregon State University)
(2) 연구기간: 2021년 7월 30일 ~ 9월 12일
(3) 연구주제: 컴퓨터 화학(conformation search, calculation of transition state energies, probing reaction mechanism)

마. 학과 홈페이지 전면 개편을 통한 정보 공개
홈페이지 개편을 위해 세계 대학순위 30위 이내의 저명대학 (Yale university, National university of Singapore, University of Pennsylvania, Princeton University, Technical University of Münich, Columbia University 등)의 홈페이지 시스템을 벤치마킹하여 2021학년도 겨울학기에 완성할 계획이다. 현재, 본 대학원의 구성원, 교수별 연구 주제, 학과 교과목 정보, 졸업생 정보, 대학원 모집 정보, 외국인 학생을 위한 안내 등의 내용을 한영 병용으로 준비하고 있으며, 개편은 21년 2학기 내로 완료 예정이다.

2.2.2 우수 대학원생의 연구 및 교육 활동 장려
가. 장학 제도 운영
학부 전공 강의 보조를 수행하는 대학원생을 대상으로 장학금을 수여하였다.
(1) 2020년도 2학기(17명 지원, 총액: 1,200만원): 이소희, 이수진, 임윤지, 백소연, 김예빈, 김현준, 이창주, Alina Dzhaparova, 이규석, 김상혁, 허원, 정지식, 김동원, 서지아, 백지원, 홍성은, 곽선이

(2) 2021년도 1학기(20명 지원, 총액: 1,360만원): 이정은, 조혜진, 이수진, 김민교, 조소영, 박유창, 김현준, 이창주, 김태훈, 송경선, 권우정, 이혜령, 정지식, 홍강산, 김민규, 정재훈, 박수호, 김별, 손병덕, 김서일

(3) 차년도에도 우수인재 장학금(본교생 학점 3.8 이상), 학・석/학・석・박 연계과정 장학금 및 학과 차원의 장학 프로그램을 지속적으로 신설하여 학생들에게 지급할 계획이다.

나. 우수 조교 지원 제도
일반화학 실험에 조교로 참여한 대학원생 중 실험에 대한 이해도와 학부생에 대한 지도력을 평가하여 매 학기 2명의 우수 조교를 선발하여 장학금(10만원)을 지급하였다.
(1) 2020년 2학기: 마아현(지도교수: 남기민), 정해인(지도교수: 유현덕)
(2) 2021년 1학기: 박준명(지도교수: 정옥상), 박수호(지도교수: 홍대화)

다. 대학원생 영어 역량 강화를 위한 노력
대학원생의 영어 논문작성 능력을 향상시키기 위해 대학원 정책실 지원사업의 일환인 영어 역량 강화 지원 프로그램(2차, 2021년 7월 5일~2021년 8월 12일, 6주 과정)을 이수하도록 장려하였다.
- 2021년 2차 과정 이수자(4명): 김태완, 최병길, 강병언, 정성우

라. 외부 장학금 신청 지원
외부 장학금 선정을 장려하고 방법에 대한 안내를 위해 아래와 같이 기존 선정자의 발표회를 개최하였다. 2021년에는 박사과정 이해은 학생(유기화학, 지도교수: 박진균)이 이공분야 학문 후속세대 지원사업: 박사과정생 연구 장려금 지원(사업기간: 2021년 6월~ 2023년 5월)에 선정되었다.
(1) 외부 장학금 선정 사례 공유를 위한 발표회
(2) 발표자: 권정욱 박사과정생(지도교수: 양해식)

(3) 일시: 2020년 9월 16일
(4) 발표 제목: Introduction of the Off-campus Scholarship System for Graduate Students

마. 다양한 진로 개발 프로그램 제공
대학원생의 진로 탐색 및 개발을 도모하기 위해 교육연구단은 다음의 프로그램을 제공하였다.

(1) 졸업생 간담회

연번	졸업생	소속	강연 제목	일시/장소
1	이해리 (학부08, 석사12, 박사14)	한남대 화학과	화학에서 찾는 진로와 꿈	2020년 9월 16일, 화학관 112호 및 온라인
2	김옥순 (학부11, 석사16)	삼성전기	화학과 입학 후 겪었던 취업 고민과 삼성전기 입사하기까지	2021년 1월 18일, 화학관 112호 및 온라인
3	장예진 (학부11, 석사15)	Boston College	Enantioselective Transformations of α- and β-Amino C-H Bonds Promoted by Cooperative Actions of Achiral and Chiral Lewis Acid Catalysts	2021년 7월 29일, 화학관 112호

(2) 여학생 간담회

연번	연사	소속	일시/장소
1	전성윤 교수	KAIST 기계공학과	2020년 9월 24일, 화학관 119호
2	임미희 교수	KAIST 화학과	2020년 10월 15일, 화학관 119호

(3) 산업체 관련 프로그램

연번	프로그램명	내용	참가자	일시
1	산업체/연구소 현장 방문	포스코케미칼(구미공장) 현장 방문	김진홍, 김상혁, 정해인	2020년 10월 13일
2	산업체/연구소 인턴제	한국해양과학기술원에서 인턴	정시연	2021년 1월~2월
3	산업체/연구소 초청 세미나	4차 산업혁명 바로 보기 (정지원 대표, K-ICT 창업 멘토링 센터)	대학원 및 학부생	2021년 1월 27일
4	산업체/연구소 초청 세미나	부산 창조 경제 혁신 센터 소개 (권다솜 매니저, 부산 창조 경제 혁신 센터)	대학원 및 학부생	2021년 1월 27일

(4) Chemistry Fair 개최: 2020년 9월 16일(Ⅱ-2.2.1-가-(3) 참조)

(5) The 2nd Postdoctoral Research Symposium
a. 일시: 2020년 11월 11일
b. 장소: 화학관 112호 및 온라인
c. 발표자: Tapas R. Pradhan, Syed Asad Abbas, Amol Maruti Jadhav, Saravanan Nagappan, Kolle

Shivalinga Sharanappa

바. 외국인 대학원생 상담 및 상호 교류 시스템 구축

본 교육연구단은 외국인 대학원생이 새로운 환경에 빠르게 정착하고 연구 활동에 전념할 수 있는 시스템 구축을 위해 노력하고 있다. 관련하여 외국인 대학원생 간담회를 개최하였다.

(1) 행사명: Conference for international students

(2) 일시: 2020년 11월 11일

(3) 장소: 화학관 112호

사. 논문 인센티브

SCI 저널에 제 1저자로 논문을 발표한 참여 대학원생에게 IF에 따른 차등 성과급을 지급하였다. 구체적으로 1차년도 참여기간(2020년 9월 1일~2021년 2월 28일) 중 SCI 저널에 제 1저자로 논문을 발표한 참여 대학원생에게 IF 지수 1점(IF 지수 소수점 첫째자리 반올림, Angewandte Chemi International Edition의 경우 1.2배 가중치 적용)당 10만원을 지급하여 총 926만원을 지원하였다(이소희 80만원, 조혜진 70만원, 홍창현 90만원, 최혜린 90만원, Dicky Annas 40만원, 이해은 50만원, 김지현 156만원, 김경호 40만원, Aman Bhatia 70만원, 이제영 40만원, 이수진 30만원, 문희훈 30만원, 정시연 60만원, 김은석 40만원, 정재훈 20만원, 이수하 20만원).

2.3 참여대학원생의 취(창)업의 질적 우수성

<표 2-2> 2021.2월 졸업한 교육연구단 소속 학과(부) 참여대학원생 취(창)업률 실적 (단위: 명,%)

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 졸업자	석사	22	1	0	0	21	17	82.6
	박사	2			0	2	2	

가. 석사 졸업자 취업 현황 분석

(1) 2021년 석사 졸업자는 22명이며, 진학자 1명을 제외한 취업 대상자 21명 중에 17명(82.6%)이 취업을 하였다.

(2) 전체 석사 졸업자를 취업기관별로 분석해 보면 산업체 취업 비율이 76.5%(17명 중 13명)로 절반 이상에 해당한다. 산업체 취업자 13명 모두 13개의 다른 기관에 근무하고 있으며, 대기업(삼성SDI, 삼성전기, 삼성전자, LG화학)에 4명, 중견기업(원익 QnC)에 1명, 중소기업(바이오액츠, 한국바이오젠, 한솔케미칼, 동우화인켐, SFC, 로우카본, 제이치글로벌, 씨젠)에 8명이 근무 중이다. 연구기관 취업 비율은 23.5%(17명 중 4명)으로 정부출연 연구기관(한국에너지기술연구원, 한국과학기술연구원)에 3명, 대학 연구기관(부산대학교 기능성물질화학연구소)에 1명이 근무 중이다. 이 기관들은 모두 분자 소재 관련 기업으로 교육연구단의 인재양성 목표에 부합한다.

(3) 전체 취업자 17명의 취업기관 정보를 아래 표에 정리하였다.

연번	성명	취업 기관명	기관 분류	회사 소개 및 전공 적합성
1	김진홍	삼성SDI	산업체	삼성 그룹 전자 계열사로 디스플레이 및 차세대 전지 개발 관련 사업에 주력하는 세계적

				업체로 전공에 부합한다.
2	박기련	삼성전기	산업체	첨단 전자 부품에서 기계 부품까지 생산하는 세계적인 종합 부품 제조회사로 다양한 분자 소재 개발 사업을 진행하고 있으며, 화학/화공을 기반 기술로 유기/무기화학 전공에 부합하는 업무를 수행한다.
3	유재훈	바이오액츠	산업체	바이오 이미징을 위한 기능성 염료 및 형광 바이오 소재 생산을 하는 업체로 생화학 전공에 부합한다.
4	이제영	한국바이오젠	산업체	실리콘계 무기화학 소재, 유기화학 소재 및 바이오 소재 등의 정밀 화학소재를 전문으로 하는 기업으로 무기화학 전공에 부합한다.
5	임상우	한솔케미칼	산업체	라텍스, 제지용 케미칼, 고분자 응집제 등에 이르는 정밀 화학 재료를 비롯하여 전자재료, 박막재료 등의 전자 소재를 생산하는 기업으로 무기화학 전공에 부합한다.
6	임현한	동우화인켐	산업체	반도체용 고순도 케미컬, 터치센서, Flexible display, OLED, QD 소재등 다양한 신소재 개발 전문 기업으로 무기화학 전공에 부합한다.
7	정재경	SFC	산업체	태양광 모듈용 백시트 등 재생 에너지 관련 재료를 생산하는 기업으로 고분자화학 전공에 부합한다.
8	정하은	로우카본	산업체	화력 발전 및 선박용 전처리 탈황제, 이산화탄소 전기/화학 변환 촉매 전문 생산 기업으로 재료화학 전공에 부합한다.
9	최소영	원익 QnC	산업체	반도체 및 디스플레이 제조에 사용되는 석영 제품과 산업용 세라믹으로 제조하는 업체로 재료 및 전기화학 전공에 부합한다.
10	최혜린	제이치글로벌	산업체	가시광촉매제, 발수코팅제, 열촉매 등 친환경 소재 연구 개발 기업으로 재료화학 전공에 부합한다.
11	김솔진	LG화학	산업체	화학업체 중 브랜드 가치 글로벌 4위에 해당하는 세계적인 화학 기업으로 유기/무기/재료화학 전공에 부합한다.
12	남상욱	삼성전자	산업체	전자제품 제조 분야의 대한민국 최대의 다국적 기업으로 화학 전공자, 특히 전기화학 전공자의 전공에 매우 부합한다.
13	손윤	씨젠	산업체	의료용 진단 키트 개발 전문 기업으로 생화학 전공에 매우 부합한다.
14	김하영	한국에너지기술연구원	연구기관	에너지 기술을 개발하고 정책 수립에 기여하는 정부 출연 연구기관으로 고효율 저탄소 사회 구축 및 수소 경제 사회 실현을 모토로 대체 에너지 개발에 힘쓰고 있으며 화학 분야 전공과 매우 부합하는 업무를 수행한다.
15	박수정	한국에너지기술연구원	연구기관	에너지 기술을 개발하고 정책 수립에 기여하는 정부 출연 연구기관으로 고효율 저탄소 사

				회 구축 및 수소 경제 사회 실현을 모토로 대체 에너지 개발에 힘쓰고 있으며 화학 분야 전공과 매우 부합하는 업무를 수행한다.
16	이수진	한국과학기술연구원	연구기관	한국형 R&D 모델 구현을 모토로 하여 다양한 과학 분야에서 연구 진행을 하는 정부 출연 연구기관으로 화학 분야 전공자들에게 매우 적합하다.
17	정시연	부산대학교 기능성물질화학연구소	연구기관	부산대학교 내 부설 연구소인 기능성물질화학연구소는 화학 관련 전공자들의 기능성 소재 관련 다양한 연구 분야의 연수 기회를 제공하여 우수 인력 배출을 목표로 한다. 해당 졸업자는 헤테로고리 합성 연구를 심도 있게 진행하고 있다.

나. 박사 졸업자 취업 현황 분석

(1) 2021년 박사 졸업자는 2명이며 졸업생 모두 분자 소재 관련 기관에 취업하였다.

(2) 박사 졸업생이 취업한 연구기관은 정부 출연 연구기관(한국생산기술연구원) 1곳 대학 연구기관(부산대학교 분자 소재 교육연구단) 1곳이며 모두 분자 소재 관련 연구를 수행하고 있다.

(3) 전체 취업자 2명의 취업기관 정보를 아래 표에 정리하였다.

연번	성명	취업 기관명	기관 분류	회사 소개 및 전공 적합성
1	장재호	부산대학교 분자 소재 교육연구단	연구기관	부산대학교 내 부설 연구소인 분자 소재 교육연구단은 화학 관련 전공자들의 기능성 소재 관련 다양한 연구 분야의 연수 기회를 제공하여 우수 인력 배출을 목표로 한다. 해당 졸업자는 OLED 개발 연구를 심도 있게 진행하고 있다.
2	트루웅람 손 하이	한국생산기술연구원	연구기관	한국생산기술 연구원은 뿌리산업기술, 청정생산시스템기술, 융복합생산기술 분야의 개발 역량 증진을 모토로 하여 중소/중소 기업의 기술 경쟁력 제고를 도모하고 있다. 해당 졸업자는 동남 본부에 소속되어 에너지 부품소재, 해양/수속기계 부품 산업 기술 개발을 위해 힘쓰고 있으며 관련 분야는 화학 전공에 부합한다.

다. 취업 실적 분석 및 향후 추진 계획

(1) 2021년 2월 졸업생 중에서 취업자 19명 모두가 분자 소재 관련 회사 및 연구소에 취업하였다. 이 결과는 교육연구단의 사업 목표 중 하나인 분자소재 전문 인력 양성이 잘 실현되고 있음을 보여준다.

(2) 취업자 중 5명은 동남권 회사 및 연구기관에 근무하게 되어, 동남권 지역 산업 분야에 필요한 우수한 인력을 공급하고자 하는 본 교육연구단의 취지에 부합한 실적이다.

(3) 본 연구단은 다양한 교육 프로그램을 통해 학생들의 취업 지도 및 진로 개발을 하고 있다(2.2 교육

연구단의 우수 대학원생 확보 및 지원 계획 참조).

(4) 연구 네트워크를 통한 취업 루트 개발
기업체의 연구 네트워크를 확대하는 차원에서 경보제약과 MOU를 체결하였다.
a. 일시: 2021년 7월 2일
b. 장소: 화학관 교수회의실
c. 경보제약 참석자: 황재택 생산기술본부장, 서생규 전무, 김용우 관리본부장, 김병옥 기술연구소장

(5) 최근 유기화학 분과 교수들은 21년 8월 20일 경보제약에 방문하여 논의를 진행하는 등, 실질적인 교류를 진행하고 있다. 향후 경보제약과의 공동 연구 및 파견 연구를 적극적으로 추진하여 대학원생들의 참여 기회를 늘릴 계획이다. 다른 산업체와의 네트워크 확립도 유사하게 추진할 계획이다. 이를 통해, 졸업 전에 희망 산업체에 대한 취업 동기부여와 함께 인적 네트워크를 통해 선점 기회를 제공한다.

3. 참여대학원생 연구실적의 우수성

① 참여대학원생 저명학술지 논문의 우수성

대학원생 연구 수월성 증진을 위하여 본 교육연구단에서는 아래의 3가지 목표를 토대로 구체적인 연구 수월성 증진 계획을 수립하였다.
(1) 자기주도형 대학원 연구 시스템 확립
(2) 협업 연구를 통한 미래사회 경쟁력 확보
(3) 4차 산업 혁명 시대에 걸맞은 화학정보활용 교육 강화

목표 계획 대비 1차년도의 실적과 향후 추진계획을 아래 표에 정리하였다. 요약하면, 지난 1년간 교육연구단은 계획한 목표를 코로나-19로 인해 어려운 상황에도 충실히 달성하였으며, 기존 계획과 더불어 아래의 3가지 추가 보완 계획으로 지속적으로 수월성 높은 연구를 수행하고자 한다.
(1) 전문연구인력과의 지속적인 네트워킹
(2) 산업/사회에 기여하는 공동연구 활성화
(3) 정보 공유를 위한 홈페이지/인트라넷의 지속적인 업데이트

<표 2-3> 연구 수월성 증진계획 대비 실적 및 향후 추진계획

구분	계획	실적	향후 추진계획
(1) 자기주도형 대학원 연구 시스템 확립	▪ 학생 주도 타대학 공동 심포지엄 개최 (연 2건) ▪ 학생 주도로 전문연구인력과의 간담회 및 네트워킹 활성화 ▪ 연구비/장학금 신청 정보 및 선정 사례 공유 ▪ 박사과정학생 학술대회 구두발표 의무화 ▪ 논문 인센티브, 우수상, 학술대회 참석 지	▪ 학생 주도 부산대-성균관대 BK21 공동 심포지엄 **2건** 개최 ▪ 학생 주도 전문연구인력과의 간담회 **5회** ▪ **외부장학금 선정사례공유**(권정욱, 박사과정) ▪ **학과 졸업요건**으로 **학술대회 구두발표 의무화** ▪ BK21 논문인센티브 지급 **16건**(9,260천원) ▪ 국제학술대회참석지원 **5건**	▪ 앞으로도 계속해서 **학생 주도 공동심포지엄 및 전문연구인력과의 네트워킹**이 활발히 이뤄질 수 있도록 지원 ▪ **학생들의 자발적 연구/발표를 고취**하는 환경을 지속적으로 마련

	원 등 우수 연구 장려	▪ BK21 우수논문상 **2건**, 대학원혁신사업 수행 **27건**	
(2) 협업 연구를 통한 미래사회 경쟁력 확보	▪ 공동 지도교수제 도입 ▪ 연구실/학과 공동 세미나 개최(연 2회 이상) ▪ 대학원생/신진연구인력 교류/협업 활성화 ▪ 산업체 및 지역 사회와의 연구 협력 증진 ▪ 공동 연구 논문 인센티브	▪ 학생이 희망하는 **공동지도교수 선정/상담** ▪ PNU-SKKU BK21 공동 심포지엄 **2회** 개최 ▪ 석박사학습멘토링 **5회**, Postdoc 심포지움 **1회**, Postdoc 특강 **2회** ▪ 경보제약 **MOU체결**, 산업체 초청세미나/현장방문/인턴제 **총 4회** ▪ 공동 연구 논문 인센티브 지급 **4건**	▪ 연구실 간, 대학원생-신진연구인력 간 **협업/공동세미나 활성화** ▪ **산업체 및 지역사회와의 연구 협력** 지속적으로 증진
(3) 4차 산업 혁명 시대에 걸맞은 화학정보활용 교육 강화	▪ 화학정보활용 교과목 신규 개설 ▪ 세계적 성과 도출을 위한 화학/인공지능 융합 연구 ▪ 공동 및 개별 연구장비/시설 정보 공유 ▪ 교육 및 정보 활용 개선 관련 교수 마일리지/인센티브 지급	▪ 화학정보활용 교과목 **신규 개설 및 운용** ▪ 4차 산업혁명 겨울학교 개최 (온라인 세미나 **3건**) ▪ 분석기기 사용법 동영상 **총 18건** 제작/공유 ▪ 교수 인센티브 지급에 교육 및 정보 활용 개선 **관련 실적 반영**	▪ **효율적 정보 활용 방안**을 지속적으로 교육 ▪ 관련 분야 신임교수를 중심으로 **화학/인공지능 융합 연구 활성화** ▪ 장비/시설 정보 관련 **홈페이지/인트라넷**의 **지속적인 업데이트**

자체평가기간(2020년 9월 1일 ~ 2021년 8월 31일) 동안 대학원생이 저자로 발표한 총 논문 수는 77편으로, 2019년 종합평가(2018년 3월 1일 ~ 2019년 8월 31일) 기간의 연평균 43편보다 34편 증가하였다. 발표 편수 증가와 더불어, JCR 기준 상위 10% 저널에 출판된 논문은 16편으로 전체 중 20.8%에 해당하며, 상위 25% 저널에 출판된 논문은 46편으로 59.7%에 해당하였다. 총 8편의 논문이 표지논문으로 선정되었다. 논문의 질적 우수성을 나타내는 지표로 환산해보면, 환산논문 1편당 환산 IF 값은 5.3027, 환산논문 1편당 환산 ES 값은 0.1034에 해당한다. 발표된 논문의 FWCI 값은 0.88로서 해당 분야 인용도 면에서 세계 평균에 상당히 근접하고 있다. 이러한 결과는 참여대학원생의 연구실적의 우수성을 객관적으로 입증하고 있다.

<표 2-4> 참여대학원생 논문 환산 편수 실적

구 분	2018.3.1.~2019.8.31.		2020.9.1.~2021.8.31.
	기간 전체	연평균	
전체기간 실적논문 총 건수	64	43	77
1인당 논문 건수	0.5267		0.885
논문 총 환산 편수	16.898	11.2653	26.0127
1인당 논문 환산 편수	**0.139**		**0.2990**
학기당 평균 참여대학원생 수	121.5		87

<표 2-5> 참여대학원생 1인당 논문의 환산 IF

구 분	2020.9.1.~2021.8.31.
총 환산 편수	26.0127
총 환산 IF	137.938
환산 논문 1편당 환산 IF	5.3027
1인당 환산 IF	**1.5855**
학기당 평균 참여대학원생 수	87

교육연구단 참여대학원생의 대표연구실적 13편에 대한 내용을 아래에 열거하였다. 해당 논문 모두 본 교육연구단의 특장점을 가장 잘 발휘할 수 있는 인공 효소/촉매 분야의 연구 분야의 결과물에 해당하며, 질병 진단, 태양전지, 인공 광합성 등의 세부 분야를 포함하고 있다. 지난 1년간 발표된 13편의 대표 논문(JCR 기준 상위 15% 저널)을 논문의 우수성을 나타내는 여러 가지 정량적 지표로 분석하고, 선정평가 시와 비교해 보면 다음과 같다. 평균 IF 값은 9.5586으로서 선정평가 시 대표논문 11편의 평균 IF 값인 7.389과 비교하여 현저히 증가하였고, 평균 ES 값은 0.2553으로서 선정평가 시 평균 ES 값인 0.262와 비슷한 수준을 유지하고 있다. FWCI 값은 0.86으로서 해당 분야 인용도 면에서 세계 평균에 매우 근접하고 있다. 구체적인 내용을 살펴보면 감염병 진단을 위한 면역센서, 인공 광합성 촉매 개발, 기능성 소재 개발 등 창의성·혁신성이 뛰어난 연구가 수행되었다. 종합적으로 볼 때 교육연구단의 지난 1년간 대표연구실적은 인공 효소/촉매 개발을 통해 산업/과학 난제를 해결하는 교육연구단의 비전과 목표와의 부합성이 매우 높고, 해당 전공 분야에의 기여가 매우 뛰어남을 알 수 있다.

(1) 김지현(논문명: Surface-Plasmonic-Field-Induced Photoredox Catalysis and Mediated Electron Transfer for Washing-Free DNA Detection): 표면 플라즈몬 장을 이용한 전자전달 매개체 기반 무세척 광촉매센서를 최초로 개발하였다. 전자전달 매개체를 이용해 광촉매의 들뜬 전자를 효율적으로 전달하고, 표면 플라즈몬 장을 이용해 혈청 속의 타겟을 선택적, 고감도로 검출하였다. 이 방법은 현장진단용 센서개발에 대한 새로운 비전을 제시하였다. 본 연구 결과는 2020년 화학분야 최우수학술지인 Angew. Chem. Int. Ed.(Impact Factor: 15.336)에 발표되었다.

(2) 권기영(논문명: A Chronocoulometric Method to Measure the Corrosion Rate on Zinc Metal Electrodes):

본 논문에서는 시간대전하법으로 아연 금속의 환원 전류에 의한 방해 없이 순수하게 수소 기체 발생에 의한 부식 전류만을 정량화하는 방법을 고안하였다. 본 방법을 pH와 농도가 다른 여러 수계 전해질에 적용해 본 결과, saturated $ZnSO_4$ (ca. 3.2 M) + 0.075 M Li_2SO_4 전해질이 가장 낮은 부식 전류를 가지는 것으로 확인되었다. 본 방법은 아연 금속 뿐 아니라 리튬, 마그네슘 등 다양한 금속 전극의 부식 전류를 정량화하는 방법으로 널리 활용될 수 있다. 본 연구 결과는 국내 특허 출원과 함께 2020년에 ACS Appl. Mater. Interfaces(Impact Factor: 9.229)에 발표되었다.

(3) 홍창현(논문명: Comprehensive Study of the Growth Mechanism and Photoelectrochemical Activity of a $BiVO_4/Bi_2S_3$ Nanowire Composite): 비스무트 산화물 기반 반도체($BiVO_4$) 위에서 비스무트 황화물 반도체(Bi_2S_3)를 성장시켜 복합체 광산화전극(photoanode)을 합성하였다. 합성한 반도체 복합체의 결정 구조를 분석하고 광산화반응 효율을 측정하는 연구를 진행하였고, 반도체 계면에서의 전자의 이동 메커니즘에 관한 분석 연구를 진행하였다. 해당 논문을 통해 홍창현 학생은 제16회 부산미래과학자상 석사과정 이학부문 최우수상에 선정되어 연구의 우수성을 인정받았다. 본 연구 결과는 2020년에 ACS Appl. Mater. Interfaces(Impact Factor: 9.229)에 발표되었다.

(4) 김희수(논문명: Highly Efficient and Photostable Ternary Organic Solar Cells Enabled by the Combination of Non-Fullerene and Fullerene Acceptors with Thienopyrrolodione-based Polymer Donors): 최근 비풀러렌 유기태양전지(Organic Photovoltaics, OPV)에서 쓰이는 indacenodithiophene (IDT) 단량체를 이용하여 2종의 신규 단분자 억셉터 물질인 CNDTBT-C8IDT-INCN, CNDTBT-C8IDT-FINCN을 합성하였으며, 이를 이용하여 도너 물질인 PBDB-T와 셀 단위 유기태양전지를 제작하여 최대 12.33%의 높은 광전변환효율을 보여주었으며, 대면적 모듈 유기태양전지를 제작하였을 때 최대 9.21%의 광전변환효율을 보여주었다. 본 연구결과는 2020년 재료분야 우수저널인 ACS Applied Materials & Interfaces(Impact Factor: 9.229)에 발표되었다.

(5) 하종운(논문명: Highly Efficient and Photostable Ternary Organic Solar Cells Enabled by the Combination of Non-Fullerene and Fullerene Acceptors with Thienopyrrolodione-based Polymer Donors): 기존 선행연구로 개발한 신규 고분자 도너 물질인 PBDTT-8ttTPD를 참고하여 benzoditiophene (BDT) 단량체에 할로겐 원소인 F, Cl을 도입하여 고분자의 HOMO 에너지 준위를 조절한 PFBDT-8ttTPD 및 PClBDT-8ttTPD를 합성하였으며, 이를 이용하여 셀 단위 유기태양전지를 제작하여 binary system에서 15.05%의 광전변환효율을 보여주었으며, 세 물질을 이용하는 ternary system에서는 최대 16.43%의 광전변환효율을 보여주었다. 본 연구결과는 2020년 재료분야 우수저널인 ACS Applied Materials & Interfaces(Impact Factor: 9.229)에 발표되었으며 표지논문으로 선정되었다(ACS Appl. Mater. Interfaces, 2020, 12, 46, 51699-51708).

(6) 최혜린(논문명: Understanding and Improving Photocatalytic Activity of Pd-Loaded $BiVO_4$ Microspheres: Application to Visible Light-Induced Suzuki-Miyaura Coupling Reaction): 수열반응을 통하여 $BiVO_4$를 합성 후 Pd을 광증착한 Pd-$BiVO_4$ 광촉매를 합성하였다. 합성한 Pd-$BiVO_4$는 빛(LED)의 존재하에 Suzuki-Miyaura coupling 반응에 적용하였고, 고효율의 TON 및 TOF을 나타내었다. 이는 LED를 이용한 광촉매 반응의 활용에 잠재적인 적용 가능성을 보여주었다. 해당 논문을 통해 최혜린 학생은 부산대 자연과학대학에서 학술상을 수상하여 연구의 우수성을 인정받았다. 본 연구결과는 2021년에 ACS Appl. Mater. Interfaces(Impact factor: 9.229)에 발표되었다.

(7) 김동원(논문명: A cyclic manipulation of cage isomers via anion exchange and thermal isomerism): Si가 기반이 된 두자리 뉴 리간드를 합성하고 N-donor로써 팔라듐나이트레이트와 배위시켜 새로운 형

태의 Pd4L8 peanut cage를 합성하였다. 이 케이지의 flexibility에 의해 테트로플루오로보레이트, 퍼클로레이트와 같은 음이온으로 교환이 가능하다. 하지만 교환된 케이지에 열을 가해주면 thermodynamically stable한 상태로 돌아가기 위해 케이지에서 endo form으로 존재하는 메틸기를 flipping 시켜 exo form 메틸기가 됨을 확인하였다. 또한 이 음이온을 다시 나이트레이트로 교환한 후 열을 가하면 다시 endo form의 메틸기로 돌아온다. 반면, 허용가능한 flexibility를 초과한 크기의 음이온으로 교환하면 케이지 밖만이 완벽하게 교환이 되었다. 이러한 섬세한 manipulation을 분광학적 기법으로 분석해내었고, 2021년에 Chemical Communication(IF:6.222)에 발표되었다.

(8) Yusuf Mohamed(논문명: Core-shell Cu_2S:NiS_2@C hybrid nanostructure derived from a metal-organic framework with graphene oxide for photocatalytic synthesis of N-substituted derivatives): 최근 광촉매는 재생 에너지원을 사용할 수 있어 상당한 관심을 끌고 있다. 광촉매로 사용되는 그래핀 옥사이드(GO)로 변형된 Cu:Ni 금속-유기 골격체(MOF)를 쉽고 간편한 방법으로 합성하였다. Core-Shell 나노구조인 환원된 GO가 달린 다공성 탄소로 캡슐화된 황화 Cu:Ni (Cu_2S:NiS_2@C/rGO)은 MOF (Cu:Ni-BTEC/GO)를 통해 만들어졌다. 하이브리드 구조인 Cu_2S:NiS_2@C/rGO는 광촉매로 작용하여 N 치환 유도체를 생산하는 세 가지의 산화 결합 반응에서 우수한 활성을 보였다. 이러한 MOF 유래 이금속 칼코제나이드는 다양한 용도의 광촉매로써 사용되어 MOF의 설계, 합성 및 개조에 대한 관심을 더욱 불러일으킬 것이다. 본 연구 결과는 Journal of Materials Chemistry A.(IF: 12.732, JCR ranking: 3.30%)에 2021년 2월 발표되었고, issue 14에 outside back cover로 선정되었다.

(9) 장산하(논문명: Preparation and characterization of multifunctional nanofibers containing metal-organic frameworks and Cu_2O nanoparticles: particulate matter capture and antibacterial activity): 전기 방사 방법을 통하여 유기금속 화합물과 항균성 나노입자가 담지된 다기능 고효율 미세먼지 및 초미세먼지 흡착성 항균 나노필터를 합성하였다. 높은 제타전위를 가지는 유기금속 화합물과 큐빅 형태를 가지는 구리 나노입자를 이용하여 표면에 이 두 나노물질이 담지되어 있는 나노필터를 합성하였고, 나노필터에 사용된 고분자 또한 높은 제타전위를 가지고 있기 때문에 유기금속 화합물과 함께 높은 시너지 효과를 나타내었다. 이 방법으로 한번에 합성할 수 있는 다기능 고효율 항균 나노필터 합성을 제시하였다. 본 연구 결과는 21년 Environ. Sci.: Nano(impact factor: 8.131, JCR ranking: 2.04%)에 front cover 논문으로 발표되었으며, 국제신문에 “금속유기 골격체에 산화구리 나노입자 입힌 ’고기능 나노유기섬유 필터 합성’ 융합연구 성과“로 게재되었다(2021년 5월 25일).

(10) Andi Muhammad Ichzan(논문명: Solid-Phase Recombinase Polymerase Amplification Using an Extremely Low Concentration of a Solution Primer for Sensitive Electrochemical Detection of Hepatitis B Viral DNA): 고체상 등온증폭기법을 이용해 고온이 아닌 실온에서 핵산을 낮은 농도까지 검출 하는데 성공하였다. 보통의 핵산증폭 시스템에서는 높은 온도(~95℃)가 요구되지만, 이 논문에서는 추가적인 프라이머를 첨가하여 실온에서도 낮은 농도의 핵산검출에 성공하였다. 향후 핵산검출 모듈과의 결합을 통해 상용화가 가능할 것으로 기대된다. 본 연구 결과는 2021년 우수학술지 Biosens. Bioelectron.(Impact Factor: 10.257)에 발표되었다.

(11) 정하은(논문명: A new synthetic approach to cobalt oxides: Designed phase transformation for electrochemical water splitting): 다양한 결정구조를 가지는 코발트 산화물을 합성하여 전기화학적 물 분해 반응 효율을 비교하였다. 상전이에 의해 자발적으로 증착된 spinel Co3O4 촉매는 산소발생 반응 효율과 안정성을 향상시켰다. 해당 논문을 통해 정하은 학생은 대한화학회 학술대회에서 우수 포스터상을 수상하여 연구의 우수성을 인정받았다. 본 연구결과는 2021년에 Chem. Eng. J.(Impact factor: 13.273)에 발표되었다.

(12) 김준희(논문명: Stepwise coordination isomerism of 2D networks: adsorption of diiodomethane into crystals and recognition in SCSC mode, Inorganic chemistry frontiers): new 2D topology {43・62・8}와 2D topology {44・62}를 가지는 카드뮴 유기금속 착화합물을 최초로 합성하였다. 안트라센 분자를 포함한 새로운 다자리 리간드를 이용하여 만든 위 2d sheet들은 sheet가 sliding되며 dihalomethane들을 흡착 및 인식한다. 두 초분자 이성질체는 구조적 특성에 따라 다른 인식 및 흡착 속도를 가지고, 이들은 구조변화 없이도 CH_2I_2가 흡착됨에 따라 quenching 되고, 제거됨에 따라 recovery 된다. 이러한 점을 응용하면 향후 유해물질을 흡착하는 2d sheet filter나 인식하는 sensor로 사용할 수 있다는 가능성을 제시했다. 해당 논문은 21년 Inorganic Chemistry Frontiers(IF: 6.569)에 발표되었다.

(13) 이해은(논문명: Highly Chemoselective Esterification from O-Aminoallylation of Carboxylic Acids: Metal- and Reagent-Free Hydrocarboxylation of Allenamides): 전이 금속을 사용하지 않는 allenamide의 oxycarbonylation 반응을 개발하였다. 천연물에서 유래한 카복실산 등 복잡한 구조와 높은 반응성을 보이며, 알코올, 아민 등과는 반응하지 않는 선택성을 보였다. 이와 같은 반응성은 allenamide가 가지는 고유의 전자적 특성으로부터 오며, DFT 계산을 통해 단계적으로 반응이 진행되는 것을 밝혀낼 수 있었다. 이번 연구 결과를 바탕으로 전이금속을 사용하지 않는 allenamide의 불소화 반응을 후속 연구로 진행중이며, 연구계획의 타당성을 인정받아 한국연구재단에서 지원하는 박사과정생연구장려금에 선정되어 2년간 연구비를 지원받게 되었다. 본 연구 결과는 2020년 Chemistry-A European Journal에 발표되었으며, cover feature로 선정되었다.

② 참여대학원생 학술대회 대표실적의 우수성

<표 2-6>과 같이 총 76건의 학술대회에서 구두 또는 포스터 발표를 수행하였다. 전체 발표 중 국제 발표는 총 27건이었으며, 이 중 구두 발표는 8건에 해당하였다. 전체 발표된 76건(국제: 27건, 국내: 49건)의 학회발표 중 5건은 우수포스터상을 수상하였다. 이는 코로나-19의 상황에도 불구하고, 교육연구단 대학원생들이 국제/국내 학술대회 발표에 적극적으로 참여하여 얻은 결과이다.

<표 2-6> 대학원생 학술대회 발표 실적

구 분	2020.9.1.~2021.8.31		
	국제	국내	계
총 건수	27	49	76
1인당 발표건수	0.8735		
참여대학원생 수	87		

본 교육연구단 참여대학원생의 학술대회 대표실적은 아래와 같다. 대부분의 실적이 인공 효소/촉매를 기반으로 센서/에너지/의료 분야 산업/과학 난제를 창의적으로 해결하는 연구임을 확인할 수 있다. 이는 인공 효소/촉매 분야로의 집중을 통한 산업/과학 난제 해결에 기여하고자 하는 본 교육연구단의 비전 및 목표와 부합하며, 상당수가 우수포스터상을 수상하고 이후 특허/논문으로 이어졌음을 고려할 때 해당 전공 분야에의 기여 또한 매우 뛰어남을 알 수 있다.

(1) 김경호(ACS Fall 2021; 제목: Simple Electrochemical Method for Investigating the Time-Dependent

Dissolution Behavior of Layers Deposited by Atomic Layer Deposition): 원자층 증착법을 이용하여 기판에 증착된 산화 금속막이 전해질 용액에 노출되었을 때 용해의 발생 여부 및 용해 메커니즘을 간단하게 규명할 수 있는 전기화학적 측정법을 개발하였다. 개발된 측정법을 검증하기 위하여 모델 시스템으로서 indium tin oxide (ITO) 기판에 특성이 잘 알려진 Al_2O_3 와 TiO_2를 원자층 증착법을 통해 증착하였으며, ITO 기판은 안정적인 선형의 capacitive current를 보여주고 (전기)화학성 안정성이 우수함으로 효과적인 전기화학적 분석을 위해 선택되었다. 각 산화 금속막은 전해질 용액에 노출되었으며, 노출시간에 따른 capacitive current의 변화 및 $Ru(NH3)_6^{3+}$와 ferrocenemethanol의 전기화학적 거동의 변화를 분석함으로써 TiO_2는 용해되지 않으며 $Ru(NH3)_6^{3+}$는 빠른 속도로 용해되는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 Al_2O_3의 경우 용해가 진행됨에 따라 두께가 감소함과 동시에 pinhole이 생성됨을 확인하였으며, pinhole이 생성된 Al_2O_3에서 $Ru(NH3)_6^{3+}$와 ferrocenemethanol의 전기화학적 거동의 차이로부터 생성된 pinhole의 크기도 유추할 수 있었다. 개발된 전기화학적 측정법을 이용하여 수 nm의 얇은 산화 금속막의 용해 여부를 확인할 수 있었고, 더 나아가 기존의 spectroscopic 및 microscopic 기술을 통해서는 규명되지 않았던 용해 메커니즘을 규명할 수 있었다. 본 결과는 SCIE 저널인 J. Electroanal. Chem., 2020, 877, 114550에 출판되었다.

(2) 홍강산(126th KCS meeting; 제목: Porous 2D Organic Templates via Cocrystallization of Melamine with Disulfonic Acids: Adsorption of Diverse Alcohols in SCSC Mode): Melamine와Disulfonic Acids를 이용하여 채널의 크기가 다른 두가지의 hydrogen bonded organic framework (HOF)를 합성하여 single crystal을 얻어 단결정 구조해석을 진행하였다. 두 HOF 채널의 크기가 달랐으며, alcohol 용매에서 특히 안정하였다. 이에 착안하여 다양한 크기와 모양을 가진 alcohol을 단결정 상태에서 채널에 흡착하여 exchange 여부를 확인하였고 그 결과는 1H-NMR과 SC-XRD측정을 통해 규명하였다. 크기가 큰 채널의 경우 사슬형태의 alcohol이 1-dodecanol까지 흡착되었다. 이에 반해 입체장애가 큰 가지를 가진 alcohol은 크기에 따라 제한이 있었다. tert-butanol와 2-ethyl-1-hexanol은 inclusion이 빠르게 되었으나 가장 입체장애가 큰 3-ethyl-3-pentanol은 천천히 inclusion되는 것을 확인할 수 있었다. 이에 반해 작은 채널은 큰 채널에 inclusion 되었던 1-dodecanol와tert-butanol이 inclusion 되지 않았다. 이는 채널의 크기에 따라 inclusion가능한 alcohol의 크기를 조절할 수 있음을 시사한다. **본 결과는 대한화학회 우수포스터상을 수상하였으며, 이후 결정학 우수저널인 Cryst. Growth Des. 2020, 20, 7027-7033에 출판되었다(Impact Factor:4.089).**

(3) 최주영(2021 한국대사체학회; 제목: Metabolomics approach on the effects of caffeine in Daphnia magna using 1H HR-MAS NMR): 1H HR-MAS NMR을 이용하여 21일 동안 만성 카페인 노출에 따른 물벼룩(Daphnia magna)의 생체 내 대사 변화를 대사체학 관점에서 확인하였다. 그 결과 총 44개의 대사체 변화를 관찰하였고 농도 및 NMR 스펙트럼 기반 다변량 통계분석(PCA 및 PLS-DA)에서 대조군(Con)과 카페인 노출 실험군(5 mg/L, 10 mg/L) 간에 대사 차이가 있음을 확인하였다. 그 중 고농도의 카페인에 노출될수록 inosine, xanthine, 7-methylxanthine, hypoxanthine와 같은 xanthine을 포함한 purine 계열의 대사체가 VIP scores 1.5 이상으로 유의미하게 감소하는 경향을 보였다. 이는 카페인이 1,3,7-trimethylxanthine인 것을 고려했을 때 카페인 노출이 xanthine 계열에 영향을 줄 것이라는 가설과 일치하는 결과임을 알 수 있었다. 또한 카페인의 농도가 높을수록 지방분해(lipolysis)를 촉진시키는 cAMP의 농도가 증가하였으며 이는 NMR 스펙트럼 상에서 보인 lipid 감소와 일치하였다. 따라서 카페인은 지방분해를 촉진한다는 결과를 대사체학적으로 확인할 수 있었다. **본 결과는 한국대사체학회 우수포스터상을 수상하였다.**

(4) 김성혜(2021 하계 한국자기공명학회; 제목: Metabolomics profiling of Vibrio harveyi and WSSV Infection in White leg Shrimp, Litopenaeus vannamei, using HR-MAS NMR) 흰다리새우(Litopenaeus

vannamei)에 흰반점바이러스(White spot syndrome virus, WSSV)와 Vibrio harveyi를 일주일동안 감염시킨 후 흰다리새우의 혈액과 간췌장을 HR-MAS NMR로 분석하였다. PCA, PLS-DA 및 OPLS-DA와 같은 다변량 통계분석 결과, WSSV 및 V.harveyi 감염에서 공통적으로 혈액 및 간췌장에서 감염 초기와 후기 간에 대사 차이가 있음을 확인하였다. WSSV 감염의 경우, choline과 uracil이 VIP score 2.0 이상으로 가장 유의미한 결과를 보였다. 상관분석을 통해 glycine-serine-threonine 대사과정이 영향을 받은 것을 확인하였다. V.harveyi 감염의 경우, 간췌장에서 24hpi를 기점으로 감염 초기와 후기 간에 확연한 대사 차이를 보였다. 이러한 결과를 통해 V.harveyi 감염이 흰다리새우의 에너지 수요를 증가시키고 아미노산 및 탄수화물 대사에 영향을 준다는 것을 확인하였다. **본 결과는 Bruker 우수포스터상을 수상하였으며, MDPI Metabolites 2020, 10(6), 265에 출판되었다(Impact Factor: 4.75).**

(5) 조혜진(KMB 2021 48th Annual Meeting & International Symposium; 제목: Black Phosphorus-decorated Nanoparticle as a Revertant of Polymyxin B Usage against Mcr-1-mediated Resistant Escherichia coli): 그램음성균 감염 치료에 사용하는 마지막 항생제인 폴리믹신(Polymyxin)에 대한 신규 항균 나노 물질을 발굴 하는 연구를 진행하였다. 본 연구에서는 폴리믹신에 저항성을 제공하는 mcr-1 유전자가 포함된 세균의 표면 전하가 양전하임을 착안하여, 이를 중화하는 능력이 우수한 Nickel이 도핑된 아연산화물을 Black phosphorus와 조합하는 생체적합성 음전하 나노 물질(NZB)을 개발하였다. 폴리믹신 B와의 조합 연구를 통해 NZB는 폴리믹신 B의 효능을 증가할 수 있으며, mcr-1 내성 대장균만을 특이적으로 제어할 수 있음을 확인하였다. 본 연구는 나노 물질 기반 폴리믹신 계열 내성 그램음성균 제어에 대한 효율적인 플랫폼으로서 활용될 수 있음을 제시한 최초의 연구이다. **본 결과는 약학 분야의 우수저널인 Pharmaceutics 2021, 13(2), 250(Impact factor 6.321)에 게재되었으며, 국내 특허 출원을 완료하였다.**

(6) 박정용(31th IC ME&D; 제목: Fluorene based photo-crosslinkable polymer using azide group for solution-processed organic light-emitting diodes): 유기발광다이오드(OLEDs)에서 아자이드를 이용한 광가교 반응을 포함하는 플루오렌 기반의 고분자 정공수송 물질을 개발하였고, 용액공정으로 소자를 제작 및 특성을 평가하였다. 플루오렌 기반에 트리페닐아민 moiety 도입 및 공중합을 통해 아자이드와의 가교율을 높였으며, HOMO 에너지 준위를 -5.25 eV로 상승시켜 정공 주입층에서 정공 수송층으로의 홀 주입을 원활하도록 하였다. 그 결과로 일반적인 유기 용매에 92% 이상의 용매저항성을 보였으며, 용액공정으로 소자 세작 시 적색 소자는 10.86% 및 녹색 소자는 9.56%의 최대외부양자효율을 보고하였다. **본 결과는 재료분야 우수 학회인 IC ME&D 2021 [The 31st international conference on molecular electronics and device]에서 우수 포스터상을 수여하였다.**

(7) 김상혁(2021 춘계 한국전기화학회; 제목: Effects of Governing Equations on the Computational Speed and Accuracy for the Electrochemical Modeling of Lithium-Ion Batteries): 리튬 이차 전지 시뮬레이션을 위한 모델을 설계하여 계산에 사용되는 지배식의 구성 차이가 미치는 영향을 규명하였다. 전지 전압의 연산에 편미분방정식을 이용하는 전하 보존 방식 그룹(945.2~982.2 초)에 비해 적분을 활용한 에너지 보존 방식 그룹(1117.4~1124.9 초)이 평균 166초 더 빠른 연산을 보였다. 특히 에너지 보존 방식에 weak formation 방식을 적용한 모델의 경우 925.3 초의 가장 작은 연산 시간을 보였다. 계산된 전압의 정확도 역시 에너지 보존 방식이 더 나음을 확인하였다. 단, 전하 보존 방식은 inner potential 정보를 준다는 장점을 가지고 있었다. **본 결과는 한국전기화학회 우수 포스터상을 수상하였다.**

(8) 마아현(126th KCS meeting; Semiconductor electrochemistry: Application to ultrasensitive acetone gas sensor): 새로운 가스센서 제작 플랫폼으로서 hexagonal wurtzite CoO의 상전이를 이용한 cubic spinel Co3O4 기반 가스센서를 제작하였다. 제조된 Co3O4 나노 플레이트는 센서 기판과 효율적인 화학 결합을 이루고, 이는 기존의 감지 물질 증착 공정에서의 번거로움과 가스 감지 특성을 저하하

는 요인을 없애면서 직접 가스 감지에 적용할 수 있는 간단한 방법임을 증명하였다. 상전이 된 Co3O4 나노 플레이트는 200℃의 작동 온도에서 20-1000 ppb 범위의 아세톤 가스에 대해 매우 높은 감도와 향상된 선택성을 나타냄을 보고하였다. **본 결과는 센서분야 우수저널인 Sensor and Actuator B: Chemical에 2020년에 출판되었다(Impact factor: 7.100).**

③ 참여대학원생 특허, 기술이전, 창업 실적의 우수성

교육연구단이 선정평가 당시 제시하였던 BK사업에 대한 참여대학원생의 실적 최종 목표는 국내·외 특허 등록 20건과 기술이전 2건이다. 1차년도인 지난 1년 동안 교육연구단은 총 5건(국내 4건, 국외 1건)을 특허등록 실적으로 발표하여 당초 목표를 초과 달성하였다. 이 중 3건에 참여대학원생이 발명자로 등록되었다. 추가로 2건의 기술이전과 1건의 창업에도 참여대학원생이 개발한 핵심 기술들이 활용되었다. 등록된 특허들은 모두 본 교육연구단이 중점적으로 개발하고 있는 인공 효소/촉매를 기반으로 하는 에너지/감염병 등 산업/과학 난제를 창의적/혁신적인 방법으로 해결하는 내용으로 교육연구단의 비전/목표와 부합하고 지역 산업에 실질적으로 기여하고 있다. 참여대학원생이 발명자로 참여한 등록 특허 3건의 상세한 설명은 아래와 같다.

(1) 신종훈(대한민국 특허 10-2214988; 신규한 옥시인돌 유도체 및 이를 유효성분으로 함유하는 항균용 조성물): 본 발명은 헤테로사이클을 가지는 신규한 옥시인돌 유도체 및 이의 의학적 용도에 관한 것으로, 보다 상세하게는 인디움(Ⅲ) 촉매 반응으로 합성된 신규한 3-헤테로사이클을 가지는 옥시인돌 화합물은 다양한 포도상구균에 대한 특이적인 억제 활성을 나타내었으며, 종래 사용되고 있는 항생제와 병용처리될 경우 항생제의 항균효과를 상승시키는 것으로 확인됨에 따라, **상기 신규한 3-헤테로사이클을 가지는 옥시인돌 화합물은 포도상구균 특이적 항균조성물 및 상승적 항균효과를 위한 항생제의 병용처리제로 제공될 수 있다.**

(2) 김지수, 김솔진(대한민국 특허 10-2200031; 산화은 촉매의 산소 환원 반응 활성도 측정 방법): 본 발명은 산화은 나노입자의 전착 방법 및 이에 의해 제조된 산화은 촉매의 산소 환원 반응 활성도 측정 방법에 관한 것으로, 보다 구체적으로 양(+)의 부호를 갖는 전류를 펄스(pulse) 형태로 인가함으로써 덴드라이트(dendrite) 형성 없이 균일한 피라미드 형태의 다면체 구조를 가지며 촉매 활성도가 향상된 산화은 나노입자를 작업전극 표면에 전착시키는 방법 및 이에 의해 제조된 산화은 촉매의 활성도 및 전기화학적 안정성을 실제 산소 환원 촉매가 구동되는 조건과 동일하게 삼상계면(triple-phase boundary)이 형성된 상태에서 측정하는 방법에 관한 것이다. **본 발명은 연료전지/이차전지에 쓰이는 산화환원 반응 촉매 개발의 효율을 획기적으로 높여줄 것이라 기대된다.**

(3) 김솔진, Sangram Keshari Mohanty(대한민국 특허 10-2216922; 산소 및 이산화탄소 환원용 금속 촉매의 제조방법): 본 발명은 산소 및 이산화탄소 환원용 금속 촉매의 제조방법에 관한 것으로, 보다 구체적으로 양(+)의 부호를 갖는 전류를 인가함으로써 팔면체(bipyramidal)의 피라미드 형태를 갖는 금속산화물을 형성한 후, 상기 금속산화물에 음(-)의 부호를 갖는 전류를 인가 또는 음(-)의 방향으로 전위를 인가하여 금속 입자 표면 및 내부에 원자 스케일의 균일한 기공을 형성하고, 상기 금속 내에 잔존산소량을 조절함으로써 상기 금속 표면을 개질하여 촉매의 활성 및 활성면적을 향상시키기 위한 산소 및 이산화탄소 환원용 금속 촉매의 제조방법에 관한 것이다. **본 발명은 인공 광합성 및 이차전지를 위한 높은 활성의 다공성 금속 촉매를 개발하는 데에 효과적으로 활용될 것이라 기대된다.**

4. 신진연구인력 현황 및 실적

가. 신진연구인력 확보

(1) 교육연구단은 BK 사업을 주도하는 신진연구인력으로 연평균 계약 교수 1명, 박사후 연구원 2명을 고용하는 것을 목표로 하였다. 현재 계약 교수 1명과 박사 후 연구원 3명이 고용되어 계획 목표를 150% 초과 달성하였다.

(2) 교육연구단의 폭넓은 국제화를 위해서 특정 국가에서만 지속적으로 신진연구인력이 고용되는 현상을 지양하고자, 다양한 루트를 통한 국제적 교류를 통해 다수의 국가에서 연구원을 고용하기 위한 노력을 계획하였다. 하지만, 코로나-19로 인하여 교류 및 비자 발급 등의 제한으로 인하여, 이를 목표대로 진행하기 어려운 상황이다. 현재 고용된 신진연구인력은 3명이 인도, 1명이 한국으로 예년과 비슷한 국가에서 고용되었지만 해당 인력들이 좋은 성과를 지속적으로 내고 있다. 목표인 다수 국가에서 신진연구인력을 고용할 수 있도록 교육연구단의 우수한 지원 프로그램을 홍보하기 위해 홈페이지를 개편 중이다.

(3) 교육연구단에 소속된 신진연구인력들이 경제적인 이유로 인하여 연구에 집중할 수 없는 상황을 배제하기 위해서 안정적인 재정 지원을 하고 있다. 매월 300만원을 급여(4대 보험 가입 포함)로 지급하도록 기준을 정하였으며, 퇴직금도 별도로 지급하고 있다.

(4) 교육연구단은 PNU-Chem Junior Fellow 프로그램을 신설하였다. 이 프로그램은 안정적인 연구 수행을 위해 향후 2년간 임용을 보장하고, 매년 국제학술대회 참석 및 발표에 우선권을 내용을 담고있다. 이 프로그램의 수혜자는 2022년 2월 선발예정이며, 신진연구인력의 연구 지속성과 커리어 유지를 위한 연구 자율성과 독립성을 보장하도록 기회를 제공한다.

(5) 우수한 연구자이나 병역 미필로 인해 지속적인 연구를 수행하기 어려운 조건에 있는 국내 신진연구인력 확보를 위해 학과 내 연구소 주관으로 병역 특례 TO를 지속적으로 신청하고 있다. 2021년 6월 30일 신청을 완료하였으며, 결과 통보를 기다리는 중이다. 병역 특례 TO를 확보하게 되는 경우 병역을 미필하여 학계로 진출을 원함에도 불구하고, 산업계 혹은 다른 분야로 진출하는 병역 미필 우수 신진연구인력을 확보할 수 있을 것으로 고려된다.

(6) 신진연구인력 공동 지도교수제

신진연구인력들 간의 지도 교수 연구 분야 외에 서로 다른 세부 전공 분야의 연구를 접목할 기회를 제공하고자 2020년 11월 11일 학과 박진균 교수와 이상학 교수가 공동 지도교수 자격 멘토로 참여하여, 지속적인 지도교수 역할을 진행 중이다.

나. 신진연구인력의 연구 성과 현황

(1) 현재 본 교육연구단에서 연구를 수행하고 있는 신진연구인력들은 탁월한 연구 성과를 내고 있다. 지난 1년간 총 6편의 SCIE 논문을 출판하였으며, 이 중 5편이 JCR 기준 상위 10% 이내의 논문이며, 6편의 평균 impact factor가 10.1218로, 화학 분야최고 수준의 연구를 수행하고 있음을 보여주는 것이다.

(2) 본 교육연구단에서는 신진연구인력의 연구 실적 향상과 우수 결과에 대한 사기 진작을 위한 인센티브 제도를 운영하고 있다. 2021년 3월 양해식 교수 연구실 소속인 Ponnusamy Nandhakumar 박사가 Angewante Chemie(impact factor : 15.336)에 발표하였고, 인센티브 2,560,000원을 지급하였다.

(3) 교육연구단 신진연구인력들은 코로나 상황으로 여건이 좋지 않음에도 불구하고, 국내・외 학회에서 적극적인 활동을 하고 있다. 4회의 국제 학회에서 구두 발표자로 선정되어 발표를 진행하였으며, 이 학

회들은 ACS(2회), Biosensor(1회), Electrochemistry(1회)를 포함하는 최우수 학회이다. 학회의 특성이 신청자 전원에게 구두 발표 기회를 제공하지 않고, 논문 출판에 견줄 정도의 수준급 연구 결과만을 학회 주관 연구자들이 심사 후 구두 발표자를 선정하는 방식이다, 교육연구단의 신진연구인력들이 우수한 학회에서 구두 발표를 진행한 것은 신진인력이 수행하고 있는 연구의 수준과 결과가 국제적 기준에서도 월등함을 의미한다. 구두 발표 이외에 Electrochemistry 학회에서 포스터 발표도 1회 진행하였다.

(4) 학회 활동으로 Atanu Naskar 박사는 Pharmaceutics의 Special issue인 “Stimuli-Responsive Nanomedicine as New Generation Therapeutic Agents” 의 Guest Editor로 역할을 수행하였다.

다. 연구력 향상 프로그램 및 연구 인력 간의 교류

(1) 신진연구인력 주도 심포지엄 개최

a. 교육연구단 및 화학과에서 연구를 진행 중인 신진연구인력이 주도하는 심포지엄인 2020년 11월 11일 “The 2nd Postdoctoral Research Symposium” 을 개최하여 자신의 최신 연구 결과를 공유하고 다른 세부 전공 분야 연구자들과 의견을 나눌 기회를 제공하였다. 연구자들끼리의 공동 연구의 기회를 제공하고 다양한 융/복합 연구를 진행할 기회가 되었다.

b. 심포지엄은 국제 학술대회/심포지엄의 형태를 갖추기 위해 영어로 진행되었으며, 프로그램 조직과 좌장 역할을 신진연구인력이 주도하여 계획할 수 있도록 진행되었다. 신진연구인력이 연구에 대한 새로운 시각을 공유하고, 학술대회 조직 등에 대한 경험을 수행할 기회를 제공하였다.

c. BK 사업 기간 내에는 매년 신진연구인력 주도 심포지엄을 연 1회 개최하고, 신진연구인력간의 상호 협력/경쟁을 통하여 우수한 연구 결과를 발표하는 프로그램으로 개선하면서 학생 및 교수들과의 다양한 교류 기회를 제공할 예정이다.

(2) 신진연구인력과의 간담회 개최

a. 학과 내 신진연구인력들의 상호 교류 및 담당 교수들과 연구 결과 및 향후 연구계획에 대한 지도를 받고, 한국 생활에서의 문제점에 대한 부분을 해결할 기회를 교육연구단의 프로그램으로 제공하였다. 면담을 통해 연구 과정에서의 여러 가지 문제점 및 연구 노하우를 공유하고 연구 외적으로 겪는 어려움을 해결하고자 하였다. 교육연구단은 2020년 11월 11일 학과 박진균 교수와 이상학 교수가 멘토로 참여하고, 외국인 신진연구인력 전원이 참석하여 행사를 진행하였다.

b. 국내・외를 막론하고 신진연구인력들은 향후 진로에 대한 어려움을 갖기에 필요시 상담을 진행하였다. 먼저, 간담회를 통해서 신진인력들이 향후 산업계, 학계로 진출하기 위해서 필요한 연구 이외의 여러 제반 사항에 대해서 조언을 하였다. 신진연구 인력들로부터 좋은 반응을 얻었고, 지속적인 교류를 위해 일단 해당 교수들이 지도교수 역할을 수행하고 지속적인 교류를 진행하고 있다. 이 프로그램은 매년 지속적으로 진행할 예정이며, 횟수를 연 2회로 확대 계획 중이며, 공동 지도교수도 확대 예정이다.

(3) 신진연구인력-대학원생 연구 그룹 형성을 통한 리더십 배양 및 협업 연구 기회 제공

a. Ponnusamy Nandhakumar 박사는 3명의 대학원생과 연구 그룹을 형성하여 공동연구를 진행하여 화학 분야 최고 저널인 Angewante Chemie에 논문에 주저자로 1편의 논물을 출판하였다.

b. Atanu Naskar 박사는 2명의 대학원생과 연구 그룹을 형성하여 Biomedicine에 논문을 출간하였다.

c. Atanu Naskar 박사는 연구실 내 대학원생 1명과 한국생명공학연구원 소속의 연구원 2명과 협업을 통해서 Biomedicine 저널에 논문을 출판하였다.

d. Atanu Naskar 박사는 21년 1학기에 개설된 RNA생화학 과목에서 1주 강의를 맡아 학생들과 교류를 진행하였다. 이 과정에서 신진연구인력에게는 강의 기회를 대학원생에게는 교류 기회를 제공하였다.

(4) 신진연구인력들의 정보 공유를 위한 한/영 홈페이지 운영

a. 교육연구단 신진연구인력 채용 현황과 계획을 홍보할 계획으로 현 재직 중인 신진연구인력의 연구 성과를 홍보하고 잠재적 우수 신진연구 인력들이 본 교육연구단에 지원하여 참여 기회를 가질 수 있도록 홈페이지를 현재 개편 진행 중이다. 이 홈페이지에는 교육연구단 내의 신진연구인력 소개, 연구 성과 및 PNU-Chem Junior Fellow 제도를 포함하는 교육연구단 내 프로그램 소개를 포함한다. 추가로 신진연구인력 상시 지원 시스템을 구축하여, 교육연구단의 연구에 필수적이며, 상호 응용이 가능한 분야의 인력을 참여교수들이 상호 검토하여 선발하는 제도를 마련하고자 한다.

b. 교육연구단은 신진연구인력들의 독자적 연구 수행 능력을 돕기 위해 한국 연구 재단을 비롯한 다양한 교내·외 사업에 대한 정보를 제공하고 신청을 장려하고 있다. 특히, 교내·외 사업에 신청하여 기선정된 신진연구인력의 서면 인터뷰를 공유하여 사업 선정에 주요한 경험을 공유할 수 있도록 개편되는 홈페이지에 반영예정이다.

c. 신규 개편 홈페이지는 8월 현재 개선된 컨텐츠를 구성하여 학교에 신청완료한 상태로, 2021년 2학기 내에는 완료될 예정이다.

5. 참여교수의 교육역량 대표실적

연번	참여교수명	연구자 등록 번호	세부전공분야	대학원 교육관련 대표 실적물	DOI번호/ISBN/인터넷 주소등
	참여교수의 교육관련 대표실적의 우수성				
1	김광선		핵산생화학	생화학 번역서	9791159431845
	대학원 필수 교과목인 고등생물화학은 학부과정 생화학 기초 과목을 수강한 학생에게 생화학의 전반적인 내용을 전달하여 기존 지식을 상기하고 최신 연구 분야에 대한 추가 내용을 전달하는 데 목표를 둔다. 이 과정에는 생화학의 기초가 부족한 학생부터 지식을 충분히 습득한 학생까지 화학과의 다양한 전공의 학생들이 수강을 하고 있다. 한/영 병용 수업에서 한국 학생들의 영문판 교재로 인해 이해도가 떨어져 번역서의 필요성을 느꼈으며, 기존 교재이며, 전세계적으로 생화학 교재로 널리 사용하고 있는 "Biochemistry: A Short Course" (4th Ed.)의 영문판에 대한 한글판 교재 번역에 참여하여 2021년 3월 발간되었고, 21년 2학기 교재로 대학원 강의에 활용예정이다.				
2	남기민		전기화학	전기화학 번역서	979-11-973054-5-093430
	대학원 전공 선택 교과목인 전기화학은 분석화학 및 전기화학 관련 분야를 전공하는 학생에게 전기화학의 전반적인 내용을 전달하여 전기화학의 기본개념 및 원리를 이해하는 데 목표를 둔다. 전기화학 강의를 진행하는 과정에는 전기화학의 기초가 부족한 학생부터 전기화학 전공자까지 화학과의 다양한 전공의 학생들이 수강을 하고 있다. 전기화학이 생소한 한국 학생들은 영어강의 및 영문판 교재의 사용으로 인해 강의에 대한 이해도가 떨어짐을 확인했고, 한/영 병용 수업과 수업번역서의 필요성을 느꼈다. 기존 교재이면서 전 세계적으로 전기화학 수업의 교재로 가장 많이 사용하고 있는 "Electrochemical Methods" (Allen J Bard, Larry R. Faulkner, 4th Ed.)의 영문판에 대한 한글판 교재 번역에 참여하여 2021년 2월 발간되었고, 22년 1학기 교재로 대학원 강의에 활용 예정이다.				

6. 교육의 국제화 전략

① 교육 프로그램의 국제화 현황 및 계획

6.1 교육 프로그램의 국제화 현황

가. 대학원생의 국제 경험 증대

(1) 대학원생의 국제 학술대회 참석

교육연구단은 지난 1년간 대학원생과 신진연구인력 27명이 유명 국제 학술대회에 참석하여 발표하도록 지원하였다. 이를 통해 참석 대학원생에게는 관련 연구 분야에 관한 최신 연구 동향을 쉽게 파악하고 수행 중인 연구에 대한 이해도를 높여 새로운 연구 아이디어를 도출할 수 있도록 하였으며, 참석하지 않은 대학원생들에게 최근 동향을 공유하는 기회를 제공하도록 하였다.

나. 외국 저명 기관 및 연구자와 학술 교류

(1) 해외 석학 초빙 세미나 개최

지난 1년간 4명의 해외 저명 학자를 초빙하여 세미나를 개최하였다. 세미나에 참석한 대학원생의 전공 연구 분야에 대한 최신 동향을 파악하고 수행 중인 연구에 대한 이해도를 높여 새로운 연구 아이디어를 도출할 수 있도록 하였다. 아래는 초청된 저명 학자를 열거하였다.

a. Prof. Tao Liu(북경대, 중국)
b. Prof. Christo S. Sevov(오하이오 주립대, 미국)
c. Prof. Tianbiao Leo Liu(유타 주립대, 미국)
d. Dr. Dr. Jacopo Tessarolo(도르트문트대, 독일)

다. 학생들의 전공 영어 능력 향상

(1) 영어 학위 논문 작성 지원

지난 1년간 영어 학위논문 작성 건수는 33건이고, 총 학위논문 수 대비 작성 비율은 100%이다. 이는 3단계 BK21 사업 이전인 2011년에서 2012년 사이의 작성 비율인 90.3%보다 크게 향상된 수치이다.

(2) 한/영 병용 강의 확충

대학원생의 영어 능력 향상과 외국인 대학원생의 전공 이해도 향상을 위하여 한/영 병용강의로 진행되는 강좌의 비율을 80%이상으로 유지하였다.

a. 2020학년도 2학기: 80.0%
b. 2021학년도 1학기: 92.3%

(3) 영어 구두 발표 의무화

대학원생의 국제화 능력 및 발표 능력 향상을 위해서 박사 학위 취득 시 영어 구두 발표 의무화를 규정화 하였다. 매년 1학기 개설되는 세미나(II) 또는 과학 의사소통(II) 수업에서 수강 학생의 영어 구두발표를 의무화하였다. Chemistry Fair(2020년 9월 16일) 와 SKKU-PNU 심포지엄(2021년 2월 19일, 8월 17일)에서 영어 구두발표를 의무화 하여 영어 구두 발표 기회를 확대하였다. 이러한 프로그램을 통해 훈련을 받은 학생들이 2021년 8월 국제 학술대회인 ACS Fall 2021(2021년 8월 22일)에서 자신의 연구 결과를 영어로 발표하는 사례가 3건(대학원생 명: 김지현, Aman Bhatia, 김경호)에 해당하였다. 교육연구단이 개발한 이 프로그램은 학생들의 영어 발표 능력을 향상할 수 있는 계기가 되었다.

라. 외국인 학생 유치 활성화 및 원활한 교육/적응 지원

(1) 외국 대학 및 기관과 상호 협력 체결 및 교류

외국 대학 및 기관과 4건의 MOU를 유지하고 있고, 상호 교류를 통하여 우수 외국인 대학생을 모집하였다. MOU를 유지하는 기관은 Ningbo Institute of Materials Technology and Engineering, Chinese Academy of Sciences(중국), Research Center for Bio-microsensing Technology of Kyushu Institute of Technology(일본), College of Materials Science and Chemical Engineering, Ningbo University(중국), Central Department of Chemistry, Tribhuvan University(네팔)이다.

(2) 외국인 대학원생을 위한 행정적 지원 및 간담회

a. 지난 1년간 대외적인 코로나-19 상황으로 외국인 학생들의 출입국 및 유치 활성화에 어려움을 겪었다. 재학중인 외국인 학생의 수는 2020년 1학기 19명에서 2021년 1학기 기준 14명으로 줄었다. 현재는 6개국(인도네시아, 중국, 인도, 방글라데시, 네팔, 키르기스탄) 14명의 우수한 외국인 대학원생이 석, 박사과정에 재학 중이다. 교육연구단은 외국인 대학원생의 입국 및 비자 관련 행정적 업무를 지원하고 있고, 한국어 프로그램을 수강하게 하여 한국 정착 및 연구실 생활을 돕고 있다.

b. 외국인 대학원생의 대학원 생활 적응 및 학업 향상을 위해 간담회(외국인 대학원생 간담회: 2020년 11월 11일)와 Chemistry Fair에서 상담 프로그램을 진행하였다(3rd Chemistry Fair: 2020년 9월 16일).

c. 외국인 대학원생에게 국내 기업 정보 제공
재학 중인 외국인 학생에게 국내 기업 취업정보를 교육연구단 홈페이지와 이메일을 통해 국내 취업을 원하는 외국인 학생에게 관련 정보를 제공하고 있다. 향후 홈페이지 개편을 통해 정보를 쉽고, 효율적으로 활용하도록 하고자 한다.

(3) 외국인 대학원생에게 장학금 지원
a. BK21사업에서 외국인 대학원생에게 장학금을 지원하고 있고 외국인 대학원생 수혜 비율은 83%로 80% 이상을 유지하고 있다(2020학년도 2학기: 87%, 2021학년도 1학기: 79%).

(4) 우수 외국인 학생 유치 및 방문 연구 학생을 위한 정보 개방 및 홈페이지 개편
a. 외국인 학생 및 예비 연구 인력이 다양한 정보를 쉽고 빠르게 얻을 수 있도록 홈페이지 개편을 진행중이며, 교육연구단 소개, 기존 외국인 진로 정보, 외국인 정착 정보, 실험실 안전/연구 윤리 자료, 교과목, 졸업생 정보, 신입생 교육 자료, 연구원용 정보 등의 다양한 컨텐츠를 제공 예정이다.

(5) 외국인 대학원생 정착 및 실험실 적응을 위한 동영상 매뉴얼 제작
외국인 대학원생이 초기에 정착하고 적응하는 것을 돕고 실험실 안전사고를 미연에 방지하고 기기 사용법에 대한 이해도를 높이기 위해서 실험 관련 동영상 매뉴얼을 한글로 일단은 제작하였으며, 현재 외국인 신입생에게는 배포하고, 필요한 부분은 한국학생들이 설명할 수 있도록 하였다. 차년도에는 영문 매뉴얼을 제작하여 외국인 신입생에게 제공하고, 홈페이지 연동예정이다.

6.2 교육 프로그램의 국제화 계획
국제 공동연구 기회 연 4건 이상, 학술대회 참석 지원 연 30명 이상 진행하고자 하였지만 지난 1년간 대외적 문제로 교육연구단 주관 국제 공동연구 기회는 제공하지 못했고, 국제 학술대회 참석은 27명 지원하였다. 부족했던 대학원생의 국제 공동연구 지원, 국제 학술대회 참석 지원, 대학원생 발표를 위한 국제 심포지엄 개최, 외국인 학생 지원, 해외 저명 학자 초빙 등 다양한 프로그램을 진행할 예정이다. 특히 학생의 제안서 평가를 통하여 해외 방문연구의 기회를 제공하여 참여대학원생 주도의 국제화 교육 프로그램을 개발 및 운영할 예정이다. 그리고 우수한 외국인 학생 유치 및 원활한 교육/적응 지원을 진행할 예정이다.

가. 참여대학원생이 주도하는 국제 교류 프로그램
(1) 대학원생 주도의 해외 방문 연구 기회 제공
우수한 대학원생(박사과정)에게 장단기 해외 연구 기회를 제공하여 관련 연구 분야의 최신 연구 동향에 대한 이해도를 높여서 새로운 아이디어를 도출 수 있는 국제화 프로그램을 운영할 예정이다. 독일의 Technical University of Munich에서 시행 중인 장단기 교환학생 프로그램을 벤치마킹하여 대학원생이 주도하는 국제 교류 프로그램을 운영하고자 한다. 대학원생이 작성한 해외 방문연구 제안서와 마일리지

를 운영위원회가 평가하여 지원하는 방식으로 대학원생 주도의 국제화 교육 프로그램을 운영할 예정이다. 해외 방문연구 기회는 연 4명 이상에게 제공할 예정이다.

(2) 국제 학술대회 참석 지원
대학원생의 국제 학술대회 구두 발표를 장려하여 해외 학자들과 토론을 통해서 새로운 아이디어를 도출할 기회를 제공하고자 한다. 국제 학술대회 참석 대상자는 지원자의 제안서와 마일리지를 평가하여 선발할 예정이다. 제안서는 운영위원회가 면밀히 검토 및 평가할 예정이고, 참여 대학원생의 국제화 능력이 극대화될 수 있는 국제 학술대회 참가를 유도할 예정이다.

나. 해외 학자 활용 계획 및 역할
해외 저명 학자를 초빙하여 세미나를 개최하고 참여한 대학원생들과 간담회를 주선하고자 한다. 이를 통해 관련 연구 분야에 대한 이해도를 높이고 국제적 네트워크를 형성하는 기회를 제공하고자 한다. 그리고 2020년 3월에 부산대 화학과에 외국인 겸임교수로 임용된 Paul H. Cheong 교수와 Jeffrey Pyun 교수의 도움을 통해서 본 교육연구단의 국제화 및 교육 수준을 향상시키고자 한다.

(1) Paul H. Cheong 교수(미국 Oregon State University): 계산 화학과 합성화학 모두에 전문 지식을 가지고 있는 Paul H. Cheong 교수가 계산 유기화학 과목을 개설하여 본 교육연구단에서 쉽게 수강할 수 없는 관련 전문 교육을 진행하고자 한다.

(2) Jeffrey Pyun 교수(애리조나대): 전공 관련 지식과 특강 경험이 풍부한 Jeffrey Pyun 교수가 방학기간 동안 과학 발표법 특강을 개설하여 대학원생들의 영어 발표 능력을 향상시키고자 한다.

(3) 해외 저명 학자 세미나 개최
매년 다수의 해외 저명 학자를 초빙하여 세미나를 개최하고, 해외 저명 학자와 대학원생 사이의 간담회를 가지고자 한다.

다. 국제 학술대회 구두 발표 지원
국내외 학술대회에 참석하여 구두 발표를 하는 것을 박사학위 취득 요건으로 추가하고 국제 학술대회 등록 및 참가비용을 지원함으로써 대학원생의 발표 능력을 향상시키고자 한다. 그리고 대학원생이 구두 발표에 참여할 수 있는 심포지엄을 본 교육연구단 대학원생 주관으로 매년 개최하고자 한다.

라. 대학원생 전공 영어 능력 향상
(1) 영어 학위 논문 작성 권고
대학원생에게 화학전공 영어논문 작성법 교육과 논문연구 지도를 통해 영어논문 작성 비율을 100%로 유지하도록 한다.

(2) 영어강의 확충
대학원생의 영어 능력 향상과 외국인 대학원생의 전공 이해도 향상을 위해 영어 강좌 비율을 85% 이상으로 유지하고자 한다.

(3) 영어 구두 발표 의무화 및 장려
대학원생의 국제화 능력 및 발표 능력 향상을 위해 대학원 필수과목인 세미나 수업에서 수강 학생이 영어로 구두 발표하도록 한다. 또한, 국내외 학술대회의 영어 구두발표를 장려하여 대학원생의 전공 영어 능력을 향상하고자 한다.

(4) 대학원생이 주도하는 영어 심포지엄 개최
참여교수가 주도했던 영어 심포지엄을 대학원생과 신진연구인력의 주도로 개최하여 전공 영어의 구사 능력 향상 및 영어 행사의 조직 능력을 향상하고자 한다. 심포지엄 분야 및 주제를 대학원생 및 신진연구인력이 주도적으로 결정하고 운영할 기회를 제공한다.

(5) 화학 영어논문작성법 강좌 개설
21년 2학기부터 화학 영어논문작성법 강의를 정규 교과목으로 매년 개설하고, 해외대학 교수와의 공동 강의를 통하여 전공 영어 및 논문 작성 능력을 향상시키고자 한다.

(6) 영어 논문작성법 단기 특강 개설
21년 2학기 정규과목으로 개설된 화학영어논문작성법 강좌를 보완할 수 있는 단기 특강을 외국인 교수나 신진연구인력을 활용하여 매년 방학 기간에 개설 계획이다.

마. 외국인 학생 유치 활성화 및 원활한 교육/적응 지원
(1) 외국 대학 및 기관과 상호 협력체결 및 교류/방문
외국 대학 및 기관과 4건의 MOU를 계속 유지하고 이를 더욱 확장하여 외국 대학 및 기관과 상호 교류와 방문 프로그램을 실시하여 우수한 외국인 대학원생을 연 6명 이상 확보할 수 있도록 한다.

(2) 외국인 대학원생 오리엔테이션 및 간담회 개최
기존 한차례 실시한 바 있는 외국인 대학원생 대상 간담회를 지속적으로 개최하여 외국인 대학원생의 한국 생활 적응 및 학업 능력 향상을 위한 오리엔테이션을 매 학기 초마다 개최하고, 매년 개최하는 학생주도 발표회인 Chemistry Fair에 상담 프로그램을 추가하여 외국인 대학원생의 애로사항을 청취하고, 해결하여, 대학원 생활에서 이탈을 방지하고자 한다.

(3) 외국인 대학원생 대상 장학금 확충
외국인 대학원생에게 지원 가능한 내외부 장학금 정보를 제공하고, BK21 장학금 수혜 비율을 80% 이상으로 유지하고자 한다. 이러한 내용은 신규 개편되는 홈페이지에 공개 예정이다.

(4) 외국인 대학원생에게 국내 기업 정보 제공
재학 중인 외국인 학생에게 국내 기업 취업 정보를 교육연구단 홈페이지와 이메일을 통해 제공하여 국내 취업을 원하는 외국인 학생에게 도움이 되도록 한다.

바. 국제화를 위한 정보 공개
(1) 우수 외국인 학생 유치 및 방문 연구 학생을 위한 정보 개방 및 홈페이지 개편
현재 학과 소개를 한글 버전에 대한 영문 자막 버전을 제작하였다. 하지만, 우수 외국인 대학원생, 신진연구인력, 방문 연구학생을 추가로 확보하기 위해 개편하는 홈페이지에서는 한글 버전에 단순 자막이 아닌 영문 전용 홈페이지를 제작하여 다양한 정보를 외국인 학생에게 제공하고자 한다. 이 홈페이지는 국문 홈페이지와 마찬가지로 교육연구단 소개, 기존 외국인 진로 정보, 외국인 정착 정보, 실험실 안전/연구 윤리 자료, 교과목, 졸업생 정보, 신입생 교육 자료, 연구원용 정보 등을 포함할 예정이며, 외국인이 필요로 하는 컨텐츠를 지속적으로 업데이트 예정이다. 빠른 정보 접근성을 확보하여 외국인 학생 및 예비 연구 인력이 다양한 정보를 쉽게 얻을 수 있도록 한다.

(2) 외국인 대학원생 정착 및 실험실 적응을 위한 동영상 매뉴얼 제작

외국인 대학원생이 초기에 정착하고 적응하는 것을 돕고 실험실 안전사고를 미연에 방지하고 기기 사용법에 대한 이해도를 높이기 위해서 외국인 대학원생과 신진연구인력이 주도적으로 관련 동영상 매뉴얼을 제작하고 외국인 신입생에게 제공하고자 한다. 현재 여러 가지 컨텐츠를 한글화하는 작업을 차년도에 계획중이다.

② 참여대학원생 국제공동연구 현황과 계획

6.3 참여대학원생 국제공동연구 현황

가. 미국 Oregon State University의 Paul H. Cheong 교수 연구팀과 공동 연구

미국 Oregon State University 화학과 Paul H. Cheong 교수 연구실에서 박사과정 중인 Gisela Abigail Gonzalez-Montiel 학생이 공동 연구를 위해 부산대학교 화학과 박진균 교수 연구실에 방문하였다 (2021.7.30-9.12). 컴퓨터 화학을 전공하고 있는 Gonzalez-Montiel 학생은 부산대에 머무는 동안 여러 유기 반응의 메카니즘을 계산화학적으로 규명하는 연구를 진행하였으며, 부산대 이해은 학생 및 대학원들과의 밀접한 교류를 통해 계산화학 프로그램 사용법을 전수하였다. 가시적 성과로 “Divergent electrochemical [2+2+2] cyclotrimerization“에 관한 계산화학 연구를 마무리하였다.

6.4 참여대학원생 국제공동연구 계획

사업기간 1차년도에 참여대학원생의 해외 방문연구를 적극적으로 지원할 예정이었지만, 대외적 문제로 국제 공동연구 기회를 학생들에게 제공하지 못하였다. 국제공동연구를 활성화하고 대학원생에게 질 높은 교육 기회를 제공하기 위해서 대학원생이 주도하는 해외 방문연구를 적극적으로 권장할 예정이다. 구체적인 대학원생 선발과정은 먼저 대학원생이 해외 방문연구 제안서를 작성하여 교육연구단에 제출하면 운영위원회가 제안서를 면밀히 평가하여 선별적으로 지원하고자 한다. 교육연구단이 추진하는 국제화 프로그램을 통하여 참여 대학원생들이 활발한 교류와 함께 우수한 국제공동 연구 결과를 도출할 수 있도록 순차적으로 발전시켜 나갈 예정이다. 차년도에 대학원생이 참여 예정인 국제공동연구는 아래와 같다.

(1) Max Planck Institute의 Klaus Kern 교수 그룹: 표면화학 및 실시간 EC-STM 분석 연구 Max Planck Institute의 Klaus Kern 교수 연구 그룹은 표면화학 관련 연구의 세계적인 석학으로써 STM을 이용한 표면 분석 분야에서 세계 최고 수준의 연구를 진행하고 있다. 대학원생 방문의 국제공동연구를 통해 전기화학 촉매를 실시간으로 분석하는 EC-STM 분야 연구를 진행하고자 한다. 공동 연구를 통해서 금속 산화물의 전기화학 촉매반응 메커니즘을 실시간으로 분석하는 방법을 연구하고자 한다.

(2) 미국 Oregon State University의 Paul H. Cheong 교수: 유기합성/계산화학 융합 연구
미국 Oregon State University의 Paul H. Cheong 교수와 국제 공동 연구를 통해서 arylboration의 메커니즘으로 잘 알려진 pathway에서 ground state와 transition state의 에너지를 DFT 계산을 통해 알아내고 arylboration에 대한 적절한 메커니즘을 알아낼 예정이다. Boron이 팔라듐 촉매에 첨가될 때 diboron 반응물의 한 개 또는 두 개의 boron이 팔라듐 촉매에 첨가되는지를 알아내고 남은 boron이 반응에서 어떻게 존재할 때 가장 안정한지를 알아내기 위해 대학원생이 참여하는 공동 연구를 수행 예정이다.

(3) National Chiao Tung University의 Shih-Ching Chuang 교수: 촉매 유기반응 및 유기발광재료 연구
National Chiao Tung University의 Shih-Ching Chuang 교수 그룹은 고리 접합 반응 개발과 이를 통해 얻어진 유기 화합물의 기능성 소재 응용에 관한 전문지식을 가지고 있다. 알카인의 첨가 반응을 다수 개발한 대학원생이 Chuang 그룹의 알카인 접합 반응과 연계해 메커니즘을 이해하고 더 효율적이며 친환경적인 촉매 반응을 개발하고자 한다.

(4) Università degli Studi di Napoli Federico II의 Martino Di Serio교수: 무기화학 및 초분자 재료 합성
Napoli Federico II 대학의 Martino Di Serio 교수 그룹은 MOF(Metal-Organic Framework) 구조합성을 연구하는 그룹이다. 다양한 기공성 분자물질 시스템을 대학원생 주도의 국제공동 연구 협력으로 합성하고 불순물을 인식 및 흡착할 가능성을 연구하고자 한다. 특히 오폐수 정수 시스템의 정성 및 정량 분석이 가능한 물질로의 응용 가능성을 확인하고자 한다.

(5) Stanford University의 Yan Xia 교수: 고분자 중합 촉매 및 기계 화학센서
Stanford University의 Yan Xia 그룹은 기계 화학과 고분자 화학을 융합하여 최신 연구를 수행하고 있는 신진 연구 그룹이다. 노보넨의 유기촉매반응을 고분자 중합에 적용하고 기계적 반응에 변형되는 신규 고분자를 디자인하여 합성하고 있다. 참여 대학원생의 장단기 파견을 통해 유기촉매반응 메커니즘에 대한 이해를 기능성 고분자의 디자인에 적용하고자 한다.

Ⅲ 연구역량 영역

□ 연구역량 대표 우수성과

가. 참여교수 대표논문

교육연구단은 지난 1년간 참여교수가 발표한 논문 중 3건을 대표논문으로 제시하였다. 대표논문들은 감염병 진단 센서, 인공 광합성 촉매, 기능성 촉매 합성 연구로 연구단의 난제 해결 주제인 인공 효소/촉매 연구와 부합성이 매우 높다. 대표논문들의 평균 IF 값은 13.7803으로서 JCR 기준 상위 10% 저널에 출판되었고, 인공 효소/촉매 개발 관련 본 교육연구단의 전문성을 가장 잘 발휘할 수 있는 분야에 집중되어 있다.

(1) Metal Nanozyme with Ester Hydrolysis Activity in the Presence of Ammonica-Borane and Its Use in a Sensitive Immunosensor, Angewandte Chemie International Edition, 59, 22419 (2020). 본 논문에서는 금속나노입자의 표면에서 H_3N-BH_3(AB)이 존재할 때 non-redox ester의 빠른 가수분해가 일어남을 확인하였다. 백금나노입자표면은 AB로부터 생성된 Metal hydrides가 결과적으로 전자가 풍부한 환경을 만들었고 물분자가 ester의 carbonyl 그룹을 친핵성 반응이 잘 진행되도록 했다. 백금나노입자, AB, 4-aminonaphthalene-1-yl acetate에 기반한 nanozyme 시스템은 빠른 ester 가수분해반응으로 자연의 효소보다 전기화학적 신호-대-배경비를 나타내었다. nanozyme 시스템은 thyroid-stimulating hormone 검출에 이용되어 0.3 pg/mL의 민감한 검출한계를 얻었다. 이는 백금나노입자가 민감한 면역센서에 사용가능함을 나타낸다.

(2) A New Synthetic Approach to Cobalt Oxides: Designed Phase Transformation for Electrochemical Water Splitting. Chemical Engineering Journal, 415, 127958 (2021). 물 분해 메커니즘에 관여하는 명확한 촉매 사이트를 규명하기 위하여 hexagonal wurtzite CoO(h-CoO)로부터 cubic rock-salt CoO, spinel Co_3O_4, trigonal $Co(OH)_2$ 및 trigonal CoOOH로의 코발트 산화물들의 구조적 상전이를 유도하고, 이에 따른 전기화학적 특성을 평가하였다. 합성된 코발트 산화물들의 결정구조와 OER 활성의 관계를 비교한 결과, 합성된 다양한 코발트 산화물 중 spinel Co_3O_4가 가장 우수한 촉매 활성을 나타냈다. 그리고 spinel Co_3O_4를 h-CoO의 상전이 과정을 통하여 추가적인 코팅 공정 없이도 다양한 종류의 전도성 기판 위에 효율적으로 증착 할 수 있음을 확인 하였다. 이러한 상전이를 통한 spinel Co3O4의 화학적 증착은 Co^{3+}를 Co^{4+}로 산화속도를 증가시켜 OER 활성을 향상시키는 메커니즘을 확인 하였고, 전극의 내구성도 높아서 전기화학 촉매로써 넓은 응용성을 가질 것으로 기대된다.

(3) Core–shell Cu2S:NiS2@C Hybrid Nanostructure Derived from a Metal–organic Framework with Graphene Oxide for Photocatalytic Synthesis of N-substituted Derivatives. Journal of Materials Chemistry A, 9, 9018 (2021). 카복실산 작용기가 풍부한 H4BTEC 리간드와 Cu와 Ni를 중심 금속으로 사용한 이금속 MOF를 쉽고 간단한 방법으로 합성하였다. 그래핀 옥사이드(GO)가 달린 다공성 탄소로 캡슐화된 Cu와 Ni로 구성된 이금속 황화물 하이브리드 코어-쉘 나노 구조가 MOF를 유도체로 사용하여 제작되었다. MOF(Cu:Ni-BTEC/GO)의 직접 탄화 및 황화는 Cu2S:NiS2@C/rGO를 생성하였다. 이는 우수한 광촉매 특성과 향상된 광촉매 활성도를 보였다. 광촉매로 작용하는 Cu2S:NiS2@C/rGO는 양공과 전자를 생성하고, 그 결과 이미다졸과 페닐보론산의 C-N 결합, 알데하이드와 페닐렌다이아민의 고리화 반응, 벤질아민의 산화 호모 커플링 반응이 향상되었다. 다기능 구조의 이금속 황화물에서 비귀족 금속인 Cu와 Ni의 조합은 N 치환 유도체의 산화 결합 반응에서의 광촉매 활성에 시너지 효과를 가져왔다. 또한 불균일 촉매의 장점인 재활용성과 안정성이 확인되었다. 이러한 하이브리드 구조는

MOF를 이용하여 코어-셸 구조를 합성할 수 있는 추가 옵션을 제공할 수 있으며 유기 합성처럼 광범위한 응용으로 이어질 수 있다.

나. 참여교수 특허, 기술이전, 창업 실적의 대표성과

(1) 촉매분야 대표 특허로는 “산화은 촉매의 산소 환원 반응 활성도 측정 방법(대한민국 특허 10-2200031)”과 “산소 및 이산화탄소 환원용 금속 촉매의 제조방법(대한민국 특허 10-2216922)”이 있으며, 이들은 모두 산소 및 이산화탄소 환원 촉매를 제조하고 그 특성을 분석하는데 필요한 혁신적인 기술들이다. 연구단의 목표 분야인 촉매 분야에서 연구 성과를 특허 기술로 공개하였다는 데에 큰 의의가 있다.

(2) 인공 효소 분야 대표 특허로는 “신규한 옥시인돌 유도체 및 이를 유효성분으로 함유하는 항균용 조성물(대한민국 특허 10-2214988)”이 있으며, 항균제 내성을 갖는 박테리아를 근절할 수 있는 효과적인 물질을 개발하였다. 이러한 기술은 효소-저분자 상호작용을 활용하는 기술로서, 연구단의 또 다른 목표 분야인 인공 효소 분야의 교두보를 놓는 핵심 기술이라 할 수 있다.

(3) 기술 이전의 경우 인공 효소분야 특허인 “5-ALA-phosphate 의 성장 촉진과 면역 증강 효과 확인”에 대한 기술과 “넙치(Paralichthys olivaceus)의 장기별 대사체 라이브러리”에 대한 기술을 각각 이전하였다. 생명체와 대사 물질의 관계를 분석하는 데 핵심적인 노하우 기술들을 학교 내에서 개발하여 성공적으로 산업계에 이전하였고, 이는 향후 해당 기업들의 연구 및 생산에 지대한 역할 수행이 기대된다.

(4) 촉매분야 나노소재 연구를 실용화 기술에 적용하여, 미세먼지・코로나-19 등 사회문제 해결과 연계된 ㈜소울닷을 창업하였다. 촉매분야 연구를 산업 및 사회에 직접 응용되는 기술로 확장할 것으로 기대된다.

다. 연구비 수주 성과

(1) 지난 1년간 정부 연구과제 총 33.56억원을 수주하였고, 대표적으로 9개의 중견연구자 과제와 2개의 기초연구실(BRL) 사업을 수주하였다.

(2) 지난 1년간 산업체 과제 총 4.1억원을 수주하였고, 대표적으로 2개의 삼성미래기술육성재단 과제를 수행하고 있다.

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	7,283,119	3,356,549	
산업체(국내) 연구비 수주 총 입금액	2,382,033	410,533	
해외기관 연구비 수주 총 (환산) 입금액	0	0	
1인당 총 연구비 수주액	1,073,905	313,923	
참여교수 수	9 (신임교수 제외)	12	

(1) 최근 1년간 참여교수의 1인당 연구비 실적을 지난 3년 실적에 대한 연평균 값으로 비교하였다.
(2) 정부 연구비 수주 총 입급액은 3년간 연평균 실적(2.43 억원) 대비 138% 증가하였다.
(3) 산업체(국내) 연구비 수주 총 입금액은 3년간 연평균 실적(0.79 억원) 대비 48.3% 감소하였다.
(4) 1인당 총 연구비 수주액은 3년간 연평균 실적(3.58 억원) 대비 12.3% 감소하였다.
(5) 코로나-19로 위축된 산업체 연구비 수주의 감소로 인하여 1인당 총 연구비 수주액이 소폭 감소하는 결과를 보였다.

1.2 연구업적물

① 참여교수 연구업적물의 우수성

<표 3-2> 최근 1년간(2020.9.1.-2021.8.31.) 연구 수월성 향상을 위한 계획 대비 실적 및 향후 추진계획

구분	계획	실적	향후 추진계획
(1) 대표 연구업적물의 질적 우수성 향상	▪ 연구 주제별 공동 그룹 세미나 정례화 ▪ 융합 연구를 위한 공동 연구실 마련 지원 ▪ 각 연구실 보유 분석 기기 사용법 동영상 공유 ▪ 공동 연구 결과 발표회 활성화 ▪ 인트라넷 활용 지식 공유 ▪ 우수 논문/공동연구 인센티브 지급 강화	▪ PNU-SKKU BK 공동 심포지움 **총 2회** 개최 ▪ 기초연구실 **2건**, 공동 세미나 **매월** 개최 ▪ 분석기기 사용법 동영상 **총 18건** 제작/공유 ▪ 유기-물리화학 실험실간 세미나 **매주** 개최 ▪ **Plato 활용** 지식 공유 ▪ 우수 논문 인센티브 지급액 **차등지급 강화**	▪ 계속해서 **실험실간 공동연구 및 공동 세미나를 활성화**할 계획임 ▪ **인공 효소/촉매 분야 난제 해결에 집중**함으로써 대표 연구 업적물의 질적 우수성을 확보할 계획임
(2) 산업/사회 공헌 향상	▪ 학연 과정 개설 통해 정부 출연 연구원과 협업	▪ 학연 과정 **총 12명**(한국화학연구원 등)	▪ 학연 과정을 통해 **실질적 협업**이 이뤄지

	▪ 기업과의 상호 교류 증대 및 산업/사회 문제 해결 지원 ▪ 우수 타교생/인재 유치	▪ 경보제약 **MOU체결**, 기업대상연구발표 **3회**, 산업체 초청세미나/현장방문/인턴제 **총 4회** ▪ 우수 타교생 학기당 **평균 58명** 유치 ▪ 초/중/고 강연 **13건**, 심사/조사위원 **3건**, 전문 튜토리얼 **1건**	도록 유도할 계획임 ▪ **기업체와의 적극적인 협업**을 통하여 산업/사회 문제해결을 활성화할 계획임
(3) 연구비 수주 및 연구 지원 시스템 강화	▪ 신임교수 연구 정착 지원 (연구비 수주, 학생 모집) ▪ 정부과제 연 30억원, 산업체 과제 연 9.5억원 수주(최종연도 직전 3년간)	▪ 신임교수 2명 모두 신진과제 수주/학생 모집 ▪ 정부과제 **33.6억원**, 산업체과제 **4.1억원** 수주	▪ 보다 **적극적이고 실질적인 연구비 수주**가 이뤄질 수 있도록 지원할 계획임
(4) 참여교수 간 및 타기관과의 협업 연구 활성화	▪ 추가 공동 연구과제 수주 ▪ 참여교수 공동논문 연3편 ▪ 국내/해외 공동연구 통해 7년간 총 60편의 논문 ▪ 부산대 화학공학과 및 나노에너지공학과 BK연구단과 학점 교류 프로그램	▪ 기초연구실 **추가 수주** ▪ 참여교수공동논문 **4편** ▪ 해외 공동연구 **13편,** 국내 공동연구 **53편** ▪ 학점교류: 타학과 교과목 수강 **3명**, 본학과 교과목 수강 **30명**	▪ **참여 교수 및 타기관과의 적극적인 협업**을 통하여 인공 효소/촉매 분야 난제를 파악/해결할 계획임

(1) 자체평가기간(2020.9.1.~2021.8.31.) 참여교수 총 논문 수는 102편으로, 최근 5년간 연평균 64.4편보다 37.6편 증가하여 158%의 성장률을 보였다.

(2) 1인당 논문 건수는 8.50건, 1인당 논문 환산 편수는 2.1편으로 최근 5년간의 연평균 1.69편에 비해 24.3% 증가하였다. 이 중 JCR 기준 상위 10% 저널에 출판된 논문은 20편으로 전체 논문의 19.6%에 해당하고, 상위 25% 저널에 출판된 논문은 60편으로 전체 논문의 58.8%에 해당하는 것은 본 참여교수 연구실적의 우수성을 정량적으로 입증하고 있다.

(3) 환산논문 1편당 환산 IF 값은 5.7785, 환산논문 1편당 환산 ES 값은 0.099이었다.

(4) 1인당 환산 IF 값은 12.3100으로서 최근 5년간의 연평균 8.0248보다 4.2852만큼 증가하였으며, 1인당 환산 ES 값 역시 0.2111로서 최근 5년간의 연평균 0.1810의 16.6%에 해당하는 0.0301만큼 현저히 증가한 것은 참여교수 논문이 과거보다 더욱 영향력 있는 우수저널에 발표하고 있음을 입증하고 있다.

(5) 피인용지수를 나타내는 FWCI 값은 0.89로서 해당 분야 인용도 면에서 세계 평균에 상당히 근접하고 있다.

(6) 해외 기관과의 공동연구를 통해 도출된 논문은 총 13편으로서 미국 University of Illinois at Chicago 화학과 Jordi Cabana 교수와 차세대 이차전지 활물질에 대한 논문 4편, 미국 Oregon State University 화학과 Paul H. Cheong 교수와 기능성 유기물질 합성에 대한 논문 2편, 그 밖에 일본 Kyushu University 및 Kyoto University, 대만 National Chiao Tung 대학, 중국 Qingdao 대학, 인도 Alagappa 대학, 영국

Imperial College, 이탈리아 University of Naoles Federico Ⅱ 등 우수한 해외 기관과의 공동연구로 각각 1편씩의 논문을 발표 하였다.

(7) 국내 기관과의 공동연구를 통해 도출된 논문은 총 53편으로서 동의대(6편), 한국화학연구원, 표준과학연구원, 포항공대, 고신대(각 5편), 제주대, 부경대(각 4편), 한국생명공학연구원, 성균관대, 기초과학연구원(각 3편), 전북대, KAIST, 울산대(각 2편)를 포함한 39개 기관과 공동연구 논문을 발표하였다.

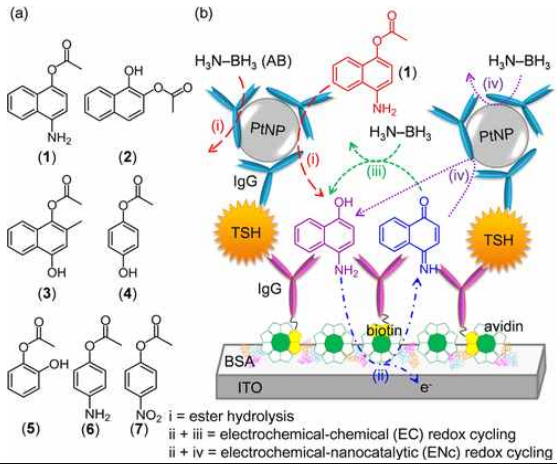
<표 3-3> 참여교수 논문 환산 편수 실적

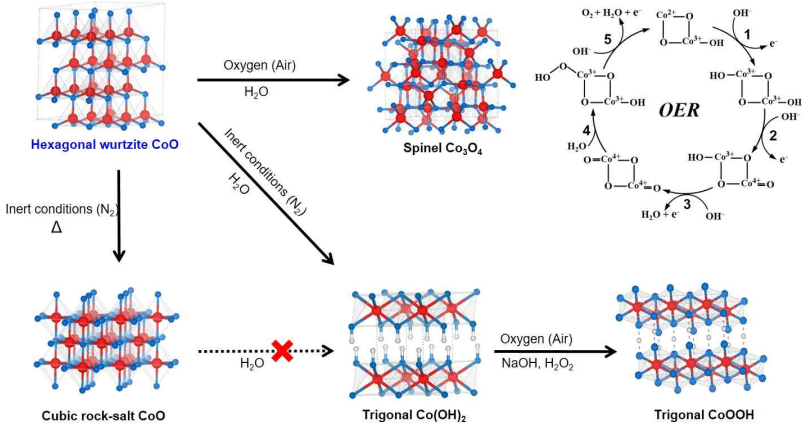
구 분	2020.9.1.~2021.8.31
전체기간 실적논문 총 건수	102
1인당 논문 건수	8.5
논문 총 환산 편수	25.564
1인당 논문 환산 편수	**2.1303**
참여교수 수	12

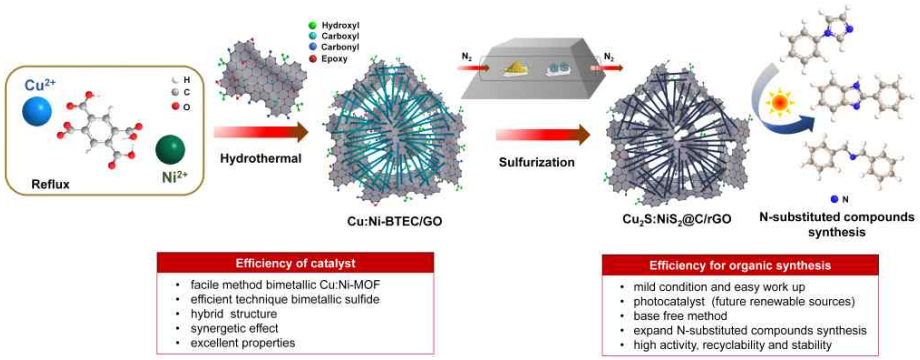
<표 3-4> 참여교수 1인당 논문의 환산 IF

구 분	2020.9.1.~2021.8.31
총 환산 편수	25.564
총 환산 IF	147.7211
환산 논문 1편당 환산 IF	5.7784
1인당 환산 IF	**12.31**
참여교수 수	12

② 교육연구단의 학문적 수월성을 대표하는 연구업적물 [최근 1년(2020.9.1.-2021.8.31.)]

연번	대표연구업적물 설명
1	Metal Nanozyme with Ester Hydrolysis Activity in the Presence of Ammonica-Borane and Its Use in a Sensitive Immunosensor (Angewandte Chemie International Edition, doi.org/10.1002/anie.202009737) **(1) 연구배경** 양해식 교수는 최근 수년간 금속나노입자의 활성을 이용해 새로운 검출기법 연구를 수행해 오고 있다. 금속나노입자의 표면은 peroxidase 또는 oxidase-like nanozyme으로 사용되었지만 빠른 가수분해를 촉진하는 것은 쉽지 않다. 금속나노입자의 새로운 활용방법으로 esterase-like nanozyme으로 이용하기 위해 집중적으로 연구해 왔다. **(2) 연구내용** 본 논문에서는 금속나노입자의 표면에서 H_3N-BH_3(AB)이 존재할 때 non-redox ester의 빠른 가수분해가 일어남을 확인하였다. 백금나노입자표면은 AB로부터 생성된 Metal hydrides가 결과적으로 전자가 풍부한 환경을 만들었고 물분자가 ester의 carbonyl 그룹을 친핵성 반응이 잘 진행되도록 했다. 백금나노입자, AB, 4-aminonaphthalene-1-yl acetate에 기반한 nanozyme 시스템은 빠른 ester 가수분해반응으로 자연의 효소보다 전기화학적 신호-대-배경비를 나타내었다. nanozyme 시스템은 thyroid-stimulating hormone 검출에 이용되어 0.3 pg/mL의 민감한 검출한계를 얻었다. 이는 백금나노입자가 민감한 면역센서에 사용가능함을 나타낸다. **(3) 기대효과** 본 연구를 통하여 금속나노입자의 ester 가수분해 능력을 이용해 다양한 산화환원 순환기법에 응용이 가능할 것으로 기대된다. **(4) 교육연구단 연구 목표와의 연관성** 금속나노입자를 이용한 새로운 산화환원순환을 개발하였고 높은 신호-대-배경비를 확보하였다. 

2	A New Synthetic Approach to Cobalt Oxides : Designed Phase Transformation for Electrochemical Water Splitting (Chemical Engineering Journal, DOI: 10.1016/j.cej.2020.127958) **(1) 연구배경** 남기민 교수는 광전기화학반응, 광촉매 및 전기화학 촉매와 관련된 연구를 수행해오고 있다. 전기화학 반응에서 높은 효율과 안정성을 가지는 새로운 전극 재료를 합성하고, 전자의 이동 프로세스와 전기화학반응 메커니즘을 집중적으로 연구해 오고 있다. **(2) 연구내용** 전기화학적 물 분해에서 산소발생반응(Oxygen evolution reaction, OER)은 산화전극에서 물의 산화를 통하여 산소를 발생시키는 반응이다. 물 분해 반응의 전체 효율은 OER 반응 속도에 의존하기 때문에 OER은 물 분해를 통하여 수소를 생성시키기 위해서 가장 중요한 프로세스이다. 현재까지 전기화학 촉매의 표면적에 따른 OER 활성은 많이 연구되었지만, 결정구조에 따른 촉매 활성과 전기화학적 반응성에 대해서는 많이 연구되지 않았다. 물 분해 메커니즘에 관여하는 명확한 촉매 사이트를 규명하기 위하여 hexagonal wurtzite CoO(h-CoO)로부터 cubic rock-salt CoO, spinel Co_3O_4, trigonal $Co(OH)_2$ 및 trigonal CoOOH로의 코발트 산화물들의 구조적 상전이를 유도하고, 이에 따른 전기화학적 특성을 평가하였다. 합성된 코발트 산화물들의 결정구조와 OER 활성의 관계를 비교한 결과, 합성된 다양한 코발트 산화물 중 spinel Co_3O_4가 가장 우수한 촉매 활성을 나타냈다. 그리고 spinel Co_3O_4를 h-CoO의 상전이 과정을 통하여 추가적인 코팅 공정 없이도 다양한 종류의 전도성 기판 위에 효율적으로 증착 할 수 있음을 확인 하였다. 이러한 상전이를 통한 spinel Co_3O_4의 화학적 증착은 Co^{3+}를 Co^{4+}로 산화속도를 증가시켜 OER 활성을 향상시키는 메커니즘을 확인 하였고, 전극의 내구성도 높아서 전기화학 촉매로써 넓은 응용성을 가질 것으로 기대된다. **(3) 기대효과** 본 연구결과는 물질의 상전이 및 결정구조 분석에 대한 전반적인 이해를 돕는다. 상전이에 따라 자발적으로 증착되는 새로운 전기화학 촉매의 개발은 전극 표면과 촉매 사이의 계면 연구 및 촉매의 효율 향상에 크게 기여하여 산업적, 공업적 활용 가능성을 높일 것으로 기대된다. **(4) 교육연구단 연구 목표와의 연관성** 하나의 공통 출발 물질로부터 합성된 다양한 촉매의 전기화학적 특성 분석은 고효율 촉매 합성과 전기화학 반응 메커니즘의 이해에 유용할 것이다. 높은 효율과 안정성을 갖는 전기화학 촉매 소재는 기후변화에 대응하는 신·재생에너지 개발에 활용될 수 있다. 

3	**Core–shell Cu_2S:NiS_2@C Hybrid Nanostructure Derived from a Metal–Organic Framework with Graphene Oxide for Photocatalytic Synthesis of *N*-Substituted Derivatives** **(Journal of Materials Chemistry A, DOI: 10.1039/D1TA00159K)** **(1) 연구배경** 박강현 교수는 하이브리드 나노 구조 금속-유기 골격체 유래 광촉매 합성 연구를 수행하고 있다. 금속 하이브리드 촉매는 기존 구조보다 2개 이상의 서로 다른 활성 부위가 동시에 반응물을 활성화하고 원하는 생성물의 선택성과 효율성이 효과적으로 증가하는 것으로 나타났다. 또한, 광촉매를 이용한 반응은 온화한 조건에서 높은 촉매 활성을 달성할 수 있는 해결책이 될 수 있으며, 빛에너지 하베스팅에 대한 기존 방법에 비해 간단한 반응의 가능성을 보여준다. **(2) 연구내용** 카복실산 작용기가 풍부한 H_4BTEC 리간드와 Cu와 Ni를 중심 금속으로 사용한 이금속 MOF를 쉽고 간단한 방법으로 합성하였다. 그래핀 옥사이드(GO)가 달린 다공성 탄소로 캡슐화된 Cu와 Ni로 구성된 이금속 황화물 하이브리드 코어-쉘 나노 구조가 MOF를 유도체로 사용하여 제작되었다. MOF(Cu:Ni-BTEC/GO)의 직접 탄화 및 황화는 Cu_2S:NiS_2@C/rGO를 생성하였다. 이는 우수한 광촉매 특성과 향상된 광촉매 활성도를 보였다. 광촉매로 작용하는 Cu_2S:NiS_2@C/rGO는 양공과 전자를 생성하고, 그 결과 이미다졸과 페닐보론산의 C-N 결합, 알데하이드와 페닐렌다이아민의 고리화 반응, 벤질아민의 산화 호모 커플링 반응이 향상되었다. 다기능 구조의 이금속 황화물에서 비귀족 금속인 Cu와 Ni의 조합은 N 치환 유도체의 산화 결합 반응에서의 광촉매 활성에 시너지 효과를 가져왔다. 또한 불균일 촉매의 장점인 재활용성과 안정성이 확인되었다. 이러한 하이브리드 구조는 MOF를 이용하여 코어-쉘 구조를 합성할 수 있는 추가 옵션을 제공할 수 있으며 유기 합성처럼 광범위한 응용으로 이어질 수 있다. **(3) 기대효과** 비귀족 금속(Cu, Ni)을 포함하고 GO가 부착된 MOF 유도체로부터 다기능 코어-쉘 나노 구조를 개발하는 것은 C-N 결합을 형성하는 산화 결합 반응에 대한 좋은 전략이 될 수 있다. 또한 Cu와 Ni 이금속 MOF와 칼코제나이드 하이브리드 나노 구조는 간단한 방법으로 합성되었으며, Cu_2S:NiS_2@C/rGO의 구조는 3가지의 산화 결합 반응을 통해 N 치환 화합물의 광촉매 활성도를 증가시켰다. **(4) 교육연구단 연구 목표와의 연관성** MOF 유래 이금속 칼코제나이드의 우수한 광촉매적 거동은 다양한 용도로써 MOF의 설계, 합성 및 개조에 대한 관심을 더욱 불러일으킬 것이다. 또한, 빛에너지 하베스팅 물질로써 광촉매는 기존 유기 반응의 한계를 극복하여 온화한 조건에서의 반응과 재생 에너지 자원 사용 기회를 열 수 있다. 

(1) 위에 제시한 교육연구단 참여 교수의 대표논문을 살펴볼 때, 모두 인공 효소/촉매 분야로서 본 교육연구단의 특장점을 가장 잘 발휘할 수 있는 분야에 집중되어 있음을 알 수 있다.

(2) 사업단 대표 논문 3편의 평균 IF 값은 13.7803으로서 높은 수준을 유지하고 있다.

(3) 평균 ES 값은 0.3105로서 최근 5년간 교수 대표논문(33편)의 값인 0.33과 비슷한 수준에서 유지되고 있다.

(4) ES 값을 평균 대비 normalize한 article influence (AI) score의 경우에는 2.426으로서 세계 평균 대비 2배 이상 높은 수준의 저널에 출판되었음을 알 수 있다.

(5) 대표 논문 모두 JCR 기준 상위 10% 저널에 출판된 것은 본 참여교수 연구실적의 우수성을 입증하고 있다.

(6) FWCI 값은 1.13으로서 해당 분야 인용도 면에서 세계 평균 대비 113% 수준을 상회하고 있다.

(7) 구체적인 대표논문의 연구 내용은 백금 나노입자를 이용한 면역센서, 자발적 상전이를 이용한 촉매 물성의 미세 제어, metal-organic framework에서 유도된 core-shell 유기합성 촉매 등 창의성·혁신성이 뛰어난 연구 주제로 판단된다. 또한, 교육연구단이 제시하는 감염병 진단, 인공 광합성, 기능성 소재 합성 등 교육연구단의 비전과 목표와의 부합성이 매우 높고 해당 전공 분야에의 기여가 매우 뛰어남을 알 수 있다.

③ 참여교수 특허, 기술이전, 창업 실적의 우수성

(1) 선정평가 당시 5년간 국내외 등록 특허 20편, 기술이전 2건을 달성하는 것을 목표로 하였으나, 본 연구 기간(2020.9.1.~2021.8.31.) 동안 국내 특허 4편, 국외 특허 1편, 기술이전 2건, 창업 1건을 달성하여 목표를 초과 달성하였다.

(2) 촉매 기술(2건), 생화학(1건), 전지 기술(2건) 등 인공 효소/촉매 관련 분야에서 활용 가능한 특허 기술을 등록하였고, 생화학 분야(2건)의 기술을 이전하였다.

(3) 촉매 기술 특허로는 “산화은 촉매의 산소 환원 반응 활성도 측정 방법(대한민국 특허 10-2200031)”과 “산소 및 이산화탄소 환원용 금속 촉매의 제조방법(대한민국 특허 10-2216922)”이 있으며, 이들은 모두 산소 및 이산화탄소 환원 촉매를 제조하고 그 특성을 분석하는데 필요한 혁신적인 기술들임. 연구단의 목표 분야인 촉매 분야에서 연구 성과를 특허 기술로 공개하였다는 데에 큰 의의가 있다.

(4) 생화학 분야 특허로는 “신규한 옥시인돌 유도체 및 이를 유효성분으로 함유하는 항균용 조성물(대한민국 특허 10-2214988)”이 있으며, 항균제 내성을 갖는 박테리아를 근절할 수 있는 효과적인 물질을 개발하였다. 이러한 기술은 효소-저분자 상호작용을 활용하는 기술로서, 연구단의 또다른 목표 분야인 인공 효소 분야의 교두보를 놓는 핵심 기술이라 할 수 있다.

(5) 전지 기술 특허로는 “Bus stop using large-scale perovskite solar cell(미국 특허 11011320)”이 있으

며, 학술적으로 개발한 페로브스카이트 태양 전지를 실제 버스 정류장 환경 개선에 활용하는, 사회적으로 효용 가치가 높은 특허이다. 이러한 기술을 통해 버스 정류장의 체계적 디지털화를 촉진할 수 있을 것이며, 특히 낙후된 지역의 환경을 크게 개선할 수 있으리라 기대된다.

(6) 기술 이전의 경우 “5-ALA-phosphate 의 성장 촉진과 면역 증강 효과 확인”에 대한 기술과 “넙치(Paralichthys olivaceus)의 장기별 대사체 라이브러리”에 대한 기술을 각각 이전하였다. 생명체와 대사물질의 관계를 분석하는 데 핵심적인 노하우 기술들을 학교 내에서 개발하여 성공적으로 산업계에 이전하였고, 이는 향후 해당 기업들의 연구 및 생산에 커다란 역할 수행이 기대된다.

(7) 본 연구단의 박강현 교수는 나노소재 기술을 통해 미세먼지・코로나-19 등 사회문제 해결에 앞장서고자 ㈜소울닷을 창업하였다. 학술적 연구의 대상이던 나노소재 기술을 산업 및 사회에 직접 응용되는 기술로 확장할 수 있는 좋은 통로로 보인다.

2. 산업・사회에 대한 기여도

2.1 산업・사회문제 해결 기여 실적

2.1.1 과학기술문제 해결 실적

가. 공동실험실 운영을 통한 빠른 과학기술문제 해결

양해식, 남기민, 박진균, 주정민 교수로 구성된 기초 연구실 과제(2019년 9월~2022년 2월)를 통해 전기유기화학 실험실 운영과 매달 공동 세미나(12회)를 진행하여 연구의 질적 향상을 위해 노력하여, 우수 성과를 목표로 하고 있다. 추가로 임만호, 이상학, 고민섭 교수로 구성된 기초연구실 과제(2021년 9월~2024년 2월)를 “퇴행성 뇌질환 극복을 위한 생물리화학적 연구”주제로 새로이 수주하는 성과를 거두었다.

나. 학내 교류를 통한 협업 강화 및 과학기술문제 해결

타 학과간 학점 인증제를 학생들에게 공지 하였으며, 지난 1년간 화학과 학생이 전자공학과, 에너지융합기술전공 수업에 참여하였고, 사회환경시스템공학과, 화학소재학과, 화학공학과, 고분자공학과, 나노융합기술학과 학생이 화학과 교과목을 이수하였다.

다. 학교 간 공동 세미나 및 심포지엄을 통한 과학기술문제 해결

과학 난제 해결 능력 향상을 위한 프로그램으로써 성균관대 화학과와 2021년 2월 19일, 8월 17일 총 2회의 유기화학 분야와 물리화학 분야 각각에 대한 공동세미나를 진행하였다. 온라인으로 진행된 본 세미나에서는 각 회마다 총 8명의 학생이 비대면 미팅을 통해 자신의 연구 성과를 영어로 발표하였다. 두 학교 학생들의 높은 호응을 받았으며, 우수 발표자에게는 장학금을 수여하였다.

라. 해외 공동 연구를 통한 과학기술문제 해결

미국 Oregon State University 화학과 Paul H. Cheong 교수 연구실에서 박사과정 중인 Gisela Abigail Gonzalez-Montiel 학생이 공동연구를 위해 부산대학교 화학과 박진균 교수 연구실에 방문하였다 (2021년 7월 30일 ~ 9월 12일). 컴퓨터 화학을 전공하고 있는 Gonzalez-Montiel 학생은 부산대에 머무는 동안 여러 유기 반응의 메카니즘을 계산화학적으로 규명하는 연구를 진행하였으며, 부산대 대학원들과의 밀접한 교류를 통해 계산화학 프로그램 사용법을 전수하였다.

마. 참여교수의 과학기술문제 해결

(1) 김광선 교수(백신, 감염병 제어): 다양한 바이러스 질환에 대한 신개념 백신 플랫폼으로 박테리아 유래 Extracellular vesicle을 기반으로 하는 물질을 개발하였고, 최근 문제가 되는 코로나-19 유래 항원을

유전자 재조합 방식으로 플랫폼 도입을 완료하였다. 이 연구를 통하여 코로나-19 감염을 유도하는 다양한 항원을 쉽게 플랫폼에 탑재하는 방법을 제시하였다. 현재 단백질의 박테리아 발현 및 항원의 extracellular vesicle 탑재를 최적화하고 생화학적 분석 및 면역 활성 조사를 진행 중이며, 향후 논문 또는 특허를 출원 예정이다.

(2) 남기민 교수(에너지, 전극): 코발트 산화물 표면에 백금의 광-흡착 반응을 이용하여 코발트 산화물-백금 복합체 합성에 성공하였다. 복합체 구조를 XRD, TEM, SEM, XPS 분석을 통해서 규명하였고, 아세톤 가스를 검출하기 위한 가스센서 물질로 적용하였다. 낮은 작동 온도에서 ppb단위의 미량의 아세톤 가스에 대해 매우 높은 감도와 향상된 선택성을 나타냄을 보고하였고, 호흡에서 나오는 아세톤을 검출하는 진단센서로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

(3) 박강현 교수(환경, 소재): 수산 부산물은 매년 40% 정도가 발생하며, 이 중 칼슘 기반의 굴 껍데기는 처리하기 어려워 길가에 버려지고 있다. 버려지는 굴 껍데기를 이용한 화학 및 열처리를 통해 합성된 칼슘 기반의 hydroxyapatite는 이온 교환과 새로운 결정 구조의 형성을 통한 중금속 흡착 성능을 가질 뿐만 아니라 hydroxyapatite의 표면 활성과 비화학양론성에 의한 조직의 유연성으로 격자 이온인 인산 이온이 HAP 표면의 Ca2+ 양이온과 인접한 자리 또는 인산 이온의 결손 자리에 인의 흡착과 동시에 나노 크기에서 활성 산소에 의한 항균성이 있다(논문 준비중). 전기 방사 방법을 통하여 유기금속 화합물과 항균성 나노입자가 담지된 다기능 고효율 미세먼지 및 초미세먼지 흡착성 항균 나노필터를 합성하였다. 높은 제타전위를 가지는 유기금속 화합물과 큐빅 형태를 가지는 구리 나노입자를 이용하여 표면에 이 두 나노물질이 담지되어 있는 나노필터를 합성하였고, 나노필터에 사용된 고분자 또한 높은 제타전위를 가지고 있기 때문에 유기금속 화합물과 함께 높은 시너지 효과를 나타내었다. 이 방법으로 한번에 합성할 수 있는 다기능 고효율 항균 나노필터 합성을 제시하였다(논문 게재완료).

(4) 박진균 교수(석유화학, 의약화학): 니켈 금속을 전기화학적으로 이용하여 divergent [2+2+2] cyclotrimerization 반응을 개발하여 다양한 구조의 benzene 화합물 합성에 성공하였다. 두 가지 경로에 대한 반응 메카니즘을 EPR, CV, NMR, GC, HPLC, X-ray, ICP-OES, DFT를 통해 규명하였다 (논문 준비중). 전이금속을 사용하지 않는 allenamide의 선택적 활성화 반응을 통해 다양한 구조를 가지는 ester 화합물을 합성하였다. 높은 화학적 선택성과 다양한 구조를 가지는 카복실 산에 적용될 수 있으므로 신약 물질 합성으로 활용할 수 있을 것으로 기대된다. 이 방법은 폴리머의 late-stage functionalization 후속 연구로 활용 중이다(논문 게재완료).

(5) 양해식 교수(의료진단, 센서): 금속나노입자의 표면은 peroxidase 또는 oxidase-like nanozyme으로 이용되었지만 Esterase-like nanozyme으로 이용된 바는 없었는데, 금속나노입자의 표면에서 H3N-BH3이 존재할 때 에스터의 빠른 가수분해가 일어남을 발견하고 이 인공 효소 시스템을 thyroid-stimulating hormone 검출에 응용하였다(논문 게재 완료). 빛의 세기와 전자전달이 거리에 따라 달라지는 현상을 결합하여 DNA를 무세척으로 검출하는 방법을 개발하였다. 거리에 의존하는 surface-plasmonic field를 이용하여 표면에 붙어있는 촉매 표지만 빠른 광촉매반응이 일어나도록 하고, 거리에 의존하는 전자전달 매개체를 이용하여 전극 표면에 붙어있는 촉매 표지에 빠른 전자전달이 일어나게 하였다(논문 게재 완료).

(6) 유현덕 교수(에너지화학): 고용량 리튬이온전지를 위한 하이니켈 양극재의 전구체 합성에 있어서 보조착화제인 암모니아의 농도, 온도, pH에 따른 분석화학적 반응 메커니즘을 분석하였고, 이를 통해 고성능 전구체 합성을 위한 최적의 값들을 제시할 수 있었다(논문 준비중). 고에너지 밀도를 가지는 이차전지 및 인공 광합성을 위한 산소/이산화탄소 환원용 메조다공성 촉매를 전기화학적으로 합성하는 방법을

개발하였다. 구체적으로 전기화학적으로 전착시킨 산화은을 환원시킬 때 산소 원자가 빠진 자리에 메조 기공이 형상되고, 남아 있는 산소 원자에 의해 단위 면적당 촉매 활성이 증가할 수 있음을 실험적/이론적으로 밝혔다 (국내특허 등록 및 논문 게재).

(7) 임만호 교수(광화학치료): 빛에 의해 NO를 분리하는 NO 전달 전구체로 활용 가능한 Cysteine-bound Rossin's red ester(Cys-RRE)의 광여기 동역학을 연구하였다. 광여기된 Cys-RRE가 쏘여준 빛의 파장에 따라 24-54%를 빠른 속도로 NO를 분리하지만, 그중 상당부분이 재결합하여 12-38%정도만 활용 가능함을 밝혔다. 높은 광분리효율을 갖는 NO 전달 전구체를 얻는 것이 현실적으로 어려움을 밝혔다. 정확한 광분리효율과 광분리 후 진행되는 이차반응 메커니즘에 대한 지식은 정량적인 NO 전달에 필수적인 지식이다(논문게재).

(8) 정옥상 교수(환경, 촉매): 화학 반응을 통해 생성되며 버려지는 부산물들은 환경에 악영향을 끼친다. 이러한 문제를 해결할 방안으로, 다양한 크기의 기공을 가지는 유기금속 착화합물을 합성하고, 합성한 유기금속 착화합물을 이용하여 온도, 시간에 따라 물질을 선택적으로 흡착 시킬 수 있음을 확인하였다(논문 게재). 합성한 팔라듐(II) 착화합물의 X-선 회절 분석법을 통한 화학 구조를 규명하고, 규명한 구조를 기반으로 분자 단위에서 반응 물질 크기에 알맞는 촉매를 선정하여 사용할 경우 촉매 활성이 크게 증가함을 확인 할 수 있었다(논문 준비중).

(9) 주정민 교수(에너지, 촉매): 유기 흐름 배터리로 활용할 수 있는 접합 헤테로고리(논문 게재, 국내 특허 출원)와 치환된 헤테로고리(논문 투고 및 국내/미국 특허 출원 준비 중)를 개발하였다. 또한, 효율적인 전자 전달을 통해 바이오센서로 사용될 수 있는 퀴논계 화합물을 양해식 교수 연구실과의 협업을 통해 개발하였다(논문 투고완료). 그리고 산소를 산화제로 활용하는 친환경 팔라듐 촉매 반응에 사용할 수 있는 리간드를 개발하였고 이를 촉매로 사용하여 다수의 새로운 탄소-탄소 결합 형성 반응을 개발 중이다(논문 게재완료, 국내 특허 출원완료).

(10) 홍대화 교수(바이오센서, 약물 전달학): 종이 센서를 구현하기 위해 종이 표면의 비특이적 흡착을 최소화하기 위한 코팅법을 제안하였다. Cellulose의 수산화기를 이용하여, 개시제 역할을 하는 2-Bromo-2-methylpropionyl bromide를 고정화하고, 공기 조건에서도 고분자 중합이 가능한 ARGET ATRP를 이용하여 친수성 고분자를 표면에 도입하였다(부산대 PNU-융합창신 프로젝트에 보고함). 다양한 표면에 자극 감응성 분해 박막을 도입하기 위해 disulfide 결합을 보유하고 있는 cystamine과 코팅 분자로 알려진 dopamine간의 co-deposition을 수행하였다. 형성된 박막은 외부 환원제에 의해 선택적으로 분해될 수 있었으며, 박막 내 doxorubicin 약물을 도입할 경우, 박막 분해 추이에 따라 약물 전달이 조절될 수 있음을 확인하였다(논문 게재).

(11) 황도훈 교수(태양전지, 디스플레이): 유기태양전지는 이종접합다이오드 소자로서 p형과 n형 유기반도체의 bulk heterojunction 구조로 이루어져 있다. 유기태양전지의 n형 반도체는 풀러렌 유도체가 오래 동안 사용되어 왔으나 Frontier 오비탈 에너지 준위 제어가 제한적이고 합성과 정제의 어려움이 있어 효율의 향상에 한계가 있었다. 최근 유기분자를 p-형 반도체로 합성하여 높은 광전변환 효율이 보고되고 있다. 본 연구실에서는 n-형 뿐만 아니라 p-형의 유기 단분자 유기반도체를 설계 합성하여 10%이상의 높은 광전변환효율을 얻는데 성공하였다. 단분자 유기반도체는 합성과 정제가 용이할 뿐 아니라 소자의 재현성이 고분자 소자에 비하여 높은 장점을 가지고 있다(논문 준비 중).

2.1.2 (지역)산업문제 해결 실적

가. (지역) 기업과의 상호 교류 증대

지역을 포함한 기업과의 교류를 통해 산업문제 해결에 교육연구단이 기여 하고자 하였다. 21년 1월 13일, 7월 28일 MD 헬스케어에서 주관하는 회의에서 연구 결과를 공유하였으며, 20년 10월 13일 3명의 대학원 학생이 포스코 케미칼 구미 공장을 방문하여 상호 교류하였으며, 21년 5월 13일 부산대 박진균 교수가 경보 제약에서 세미나 및 산학협동 연구에 관한 회의를 진행하였고, 21년 7월 2일 경보 제약의 임원진이 부산대에 방문하여 상호 협력을 위한 MOU 체결하였다. 21년 8월 20일 유기분과 4명의 교수가 경보 제약을 방문하여 경보제약과의 긴밀한 협력 관계를 지속해 나아갔다.

나. 정부 출연 연구원과의 인재 양성 및 연구 교류
영남 소재 정부 출연 연구원과의 학연 과정을 운영중에 있으며, 현재 12명의 학생이 참여하고 있다. 참여 학생은 화학과에서 진행하는 온라인 심포지엄에 의무적으로 참여하도록 하며 최근 연구 동향을 제공하고 있다. 또한, 부산대 대학원 졸업생이 한국해양과학기술에서 인턴으로 참여하였다. 2021년 1월 17일 온라인을 통해 부산 창조경제혁신센터를 소개하는 자리를 마련하였다. 정부출연연구소인 한국화학연구원, 표준과학연구원, 한국생명공학연구원과의 공동연구 논문을 13편 출간하였다.

다. 기업체 개방 교과목 운영
정규 교과목 중 융합화학튜토리얼을 개방하였다. 차년도에는 교과목의 확대 및 기업의 적극적 참여를 위해 노력하고자 한다.

라. 기업체 연구원 초청 간담회 운영
2021년 7월 2일 경보제약의 연구원이 부산대에 방문하여 상호 협력을 위한 간담회를 가졌다.

마. 참여교수의 산업문제 해결

(1) 김광선 교수(MD 헬스케어): 신규 출현하는 감염성 바이러스에 대한 기존 백신에서의 한계점을 극복할 수 있는 신규 플랫폼 개발이 절실히 필요하다. 박테리아 유래 Extracellular vesicle이 대안으로 제시되고 있으나, 유전적 개량을 기반으로 향후 어떠한 감염병에도 쉽게 접근 가능한 기본 백신플랫폼의 개발은 미흡한 실정이다. 유전적 개량 기반/오믹스 기술을 확보하고 있는 김광선 교수 연구실은 의학적 물질의 국내 자체 생산을 목표로 하는 바이오 기업인 MD 헬스케어의 니즈에 맞추어 2021년 5월 “항원 전달 능력 및 면역 효능 우수 소포 백신 플랫폼 개발” (연구비: 110,000천원)의 연구 용역 계약을 완료하였고 현재 연구를 진행 중이다. 추가로, 코로나-19 진단에서의 False-positive 문제를 해결하기 위한 새로운 방법을 소형 진단 기업인 ㈜다이아프로브와 개발하였으며, 해당 결과를 논문(1건)으로 발표하였다.

(2) 남기민 교수(희성촉매): 은 나노입자와 백금 나노입자를 이용한 연료전지 촉매개발은 수소산업의 발전과 함께 많은 연구개발이 필요한 분야이다. 은 나노입자를 이용한 연료전지 촉매의 합성과 전기화학적 특성 측정을 진행하고 있으며, 산업적인 활용 및 전기화학적 측정 비교를 위해 희성촉매(주)와 기술자문을 진행하고 있다.

(3) 박강현 교수(소울닷): 나노 소재 기반 재료가 가지는 한계점을 3차원 유기-금속 골격체 (금속: 철, 구리, 알루미늄, 지르코늄, 아연, 코발트, 니켈, 크로뮴, 망간 등)와 금속 나노입자(은, 구리, 철, 니켈, 코발트 등)를 바탕으로 한 유기 섬유 필터(PVDF, PAN, PET, PVA, PPY 등)를 통해 극복하였다. 이는 금속 나노입자의 항균성과 유기-금속 골격체의 미세먼지 흡착성과의 시너지 효과를 통해 흡착 성능 및 항균성능을 크게 향상한 고성능 나노흡착제 개발을 이루었으며 산업적 활용을 위해 (주)소울닷과 기술 이전 계약을 맺었다(특허 출원: 10-2020-0109892).

(4) 유현덕 교수(포스코케미칼): 용량이 높으나 화학적 안정성이 떨어지는 하이니켈 양극재를 안정화하는 것은 전기자동차와 에너지 저장 장치 성능 향상을 위한 필수 요소이다. 유현덕 교수 연구실은 포스코케미칼과 함께 산학과제를 수행하며 분석화학적 원리를 적용하여 하이니켈 양극재의 안정성 향상에 효과적인 다가 이온의 도핑을 성공적으로 구현하였다. 포스코케미칼은 규모와 품질 면에서 세계적으로 손꼽히는 양극재 생산 업체로서, 본 연구는 화학적 원리를 기반으로 고품질의 도핑이 가능한 점에서 산업적인 의의가 있다.

(5) 박진균 교수(경보제약): 니트로 화합물을 아민 화합물로 환원시키는 반응은 의약품 중간체 합성에서 매우 중요한 방법으로 간주되고 있다. 기존에 알려진 촉매보다 활성과 선택성이 뛰어난 촉매 개발에 성공하였으며, 이의 산업적 활용을 위해 경보제약과 기술이전 계약을 맺었다.

(6) 황도훈 교수(삼성디스플레이): 현재 상용화된 OLED 디스플레이는 진공증착 방식으로 박막을 제조하는 건식공정을 통하여 생산되고 있다. 저가격 대면적화를 위해서는 잉크젯 프린팅 등 용액 공정으로 소자를 제작하는 방식으로의 공정 전환이 필요하다. 용액공정 소자 제작을 위해서는 박막에 사용되는 유기소재들이 재료의 기능에 맞는 성질을 갖는 것 이외에 다층 박막 제조를 위하여 용매 저항성을 가져야 한다. 다양한 가교 기능기를 포함하는 용액공정형 수송재료 및 호스트 재료를 설계 합성하였으며 특히 130 oC의 낮은 온도에서 가교와 용매저항성 그리고 높은 효율을 갖는 수송재료 합성에 성공하였다(특허 출원 중).

2.1.3 (지역)사회문제 해결 계획

가. 학생 및 일반 대중을 대상으로 하는 과학 관련 특강
(1) 고등학교 대상: 2020년 11월 14일 21일 동래고등학교, 12월 28-31일 대구과학고등학교, 2021년 1월 25-29일 학산여자고등학교, 2020년 9월 8일 현대 청운고등학교를 대상으로 강연 및 면담을 진행하였다.

(2) 지역소외 계층 대상: 2021년 1월 18-22일 화학관에서 3 days 캠프 프로그램을 개최하였다.

(3) 대학생 대상: 2021년 1월 27일 충북대 학생을 대상으로 대학원 과정에서 키우는 꿈” 을 주제로 강연하였다.

(4) 외국인 학교 학생 대상: 2021년 1월 27일 제주도 외국인 학교 학생 대상으로 과학 특강을 하였다.

나. 과학 대중화를 위한 온라인 무료 강의 컨텐츠 개발
과학의 대중화와 과학 접근성 향상을 위해 “화학과 예술” 강좌를 온라인을 통해 공개하고 있다. 또한, 연구단이 보유하고 있는 실험기기에 대한 사용법 동영상을 제작하였으며, 연구단 인트라넷에 공지하였다. 향후 개편되는 사업단 홈페이지에 공개 예정이다.

다. 실험 기반의 이공계 미래 인재 육성 프로그램
교육연구단은 다음의 3건에 대해서 프로그램을 진행하였다.
(1) 2021년 6월 8일 창의융합교육원 영재관에서 부산과학전람회 과학 작품 대회 심사위원으로 참여하였다.

(2) R&E 프로그램: 21년 4-12월 부산과학고등학교 학생을 대상으로 과학영재 창의과제 연구를 진행하고 있다.

(3) 연구자 대상: 21년 4월 8일 한국전기화학회 춘계 학술대회에서 전기화학 튜토리얼을 진행하였다.

라. 중/고교 과학 경진 대회 개최 및 운영
2021년 1월 4-16일 고등학교 1학년, 2학년 학생을 대상으로 한국화학올림피아드 온라인 겨울학교를 운영하였다. 10명의 교수가 강의, 실험상 동영상 제작, 평가에 참여하였다.

마. 우수 타교생 및 미래 인재 유치 프로그램 운영
PNU visiting day를 운영할 계획이었으나 코로나-19로 인해 차년도로 연기할 계획이다. 대신 학과 소식지를 2회 제작하여 대학원의 운영 및 홍보를 진행하였다.

바. 학부모 대상 대학원 설명회
대학원 우수 연구회 발표회 행사에서 학부모를 초청할 계획이었으나 코로나-19로 인해 차년도로 연기할 계획이다. 대신 학과 소식지 발송을 통해 대학원의 운영 상황을 전달하였다.

사. 학과 홈페이지 전면 개편을 통한 정보 공개
교과목 정보, 졸업생 정보, 대학원생 모집 정보, 실험실 안전/연구 윤리 자료 등을 홈페이지 게시를 통해 외부에 공개하였다. 이를 통해 지역 및 일반 대중에게 연구 전문 지식의 공유 기회를 제공할 수 있었다.

3. 참여교수의 국제화 연구 현황

① 국제적 학술활동 참여 실적 및 현황

(1) 본 교육연구단에서 참여교수들이 발표한 연구 결과물들은 국제적으로 가치를 인정받아 참여교수들에게 국제 학술대회에서 비대면 초청 강연 기회를 제공하였고, 참여교수 중 일부는 화학 및 관련 분야 저명 국제 학술지에서 편집장이나 편집위원으로 임명되었다.

(2) 국제 학술대회 활동으로 본 교육연구단 참여교수들은 지난 1년간 1회의 국제 학술대회 초청 강연과 3회의 학술대회 조직 및 운영에 참여했으며, 1건의 국제 학술상을 받았다.

(3) 교육연구단 주관으로 1회의 학술대회를 개최하였고, 13개의 국제 학술지에서 편집장이나 편집위원으로 활동하였으며, 아래에 활동 사항을 리스트 하였다.

(4) 국제적 활동은 우수한 것으로 자체평가 되지만 교육연구단의 지난 5년간(2016-2020년) 36회의 국제 학술대회 초청 강연과 11회의 학술대회 조직 및 운영 참여에 비해 소극적인 결과이다. 차년도에는 지난 1년간 대외적 문제로 어려웠던 국제적 학술 활동을 장려하고, 특히 인공 효소/촉매 분야의 저명인사 초청 및 국제 학술대회의 적극적인 유치를 통해서 학술 교류 및 글로벌 네트워크를 확대하여 교류를 활성화하고자 계획하고 있다.

가. 국제 학술대회 활동 실적

국제 학술대회 활동으로 참여교수가 참여한 국제 학술대회 초청 강연 실적과 학술대회 조직 및 운영 실적은 다음과 같다.

참여교수명	활동 기간	참여 역할	주요내용
유현덕	2021년 7월 7일-9일	조직위원	Nano Korea 2021
황도훈	2021년 7월 8일-9일	조직위원	The 31st International Conference on

			Molecular Electronics and Devices
양해식	2021년 8월 29일-9월 3일	조직위원	72nd ISE Meeting
	2021년 8월 29일-9월 3일	초청강연	Bringing Biomolecules and Electrodes together: Understanding Electron Transport in Life

나. 국제학술대회 개최

국내·외 연구 네트워크를 형성하고 공동 연구의 기회를 마련하기 위해 교육연구단 주관으로 개최한 대규모 국제 학술대회 실적은 다음과 같다.

연번	일시	심포지엄명	국외연사	국내연사
1	2021년 7월 27일	PNU BK4/BRL International Symposium on Electron Mediators	2명	1명

다. 국제 학술상 수상

주정민 교수는 Thieme 출판사의 유기화학 편집자들이 선정하는 Thieme Chemistry Journals Award를 수상하였다.

참여교수	기간	수상명
주정민	2021년 1월 1일	Thieme Chemistry Journals Award 2021

라. 국제 학술지 활동

교육연구단 참여교수들은 아래의 국제 학술지에서 편집장이나 편집위원등으로 활동하였다.

참여교수명	저널명	출판사	직책	참여 기간
김광선	World Journal of Biological Chemistry	Baishdeng Publishing Group	Editorial Board	2019년~ 현재
	Current Protein & Peptide Science	Bentham Science Publisher	Executive Guest Editor	2019년
	Frontiers in Bioengineering and Biotechnology	Frontiers	Guest Editor	2020년~ 현재
	Pharmaceutics	MDPI	Guest Editor	2021년~ 현재
	Frontiers in Pharmacology	Frontiers	Review Editor	2021년~ 현재
박강현	Processes	MDPI	Section Board for 'Chemistry Systems'	2020년~ 현재
양해식	Bulletin of the Korean Chemical Society	Wiely	Associate Editor	2020년~ 현재
	Biosensors	MDPI	Editorial Board Member	2020년~ 현재
황도훈	Polymers	MDPI	Editorial Board	2014년~ 현재
	Journal of Materials	Hindawi	Editorial Board	2016년~ 현재

	Green Chemical Engineering	Elsevier	Editorial Board	2019년- 현재
유현덕	Energies	MDPI	Section Board Member	2021년~ 현재
주정민	Asian Journal of Organic Chemistry	Wiley-VCH	International Editorial Board	2021년~ 현재

② 국제 공동연구 실적

<표 3-6> 최근 1년간 국제 공동연구 실적

연번	공동연구 참여자		상대국/소속기관	국제 공동연구 실적	DOI 번호/ISBN 등 관련 인터넷 link 주소
	교육연구단 참여교수	국외 공동연구자			
1	유현덕	Jordi Cabana	미국/University of Illinois at Chicago	G.Nolis, JM,Gallardo-Amores, J.sERRANO-Sevilano, E.Jahrman, HD.Yoo, LH.Hu, JC.Hancock, J.Bolotnikov, S.Kim, JW.Freeland, YS.Liu, KR.Poeppelmeier, GT.Seidler, JH..Guo, MA.Alario-Franco, M.Casas-Cabanas, E.Moran, J.Cabana (2020) Chemistry of Materials, Vol 32, pp8203-8215	10.1021/acs.chemmater.0c01858
2	유현덕	Jordi Cabana	미국/University of Illinois at Chicago	M.Lopez, HD.Yoo, LH,Hu, JL.Andrews, S.Banerjee, J.Cabana (2020) ACS Energy Letters, Vol 5, pp3357-3361	10.1021/acsenergylett.0c01681
3	유현덕	Jawwad A. Darr, Jordi Cabana	미국/University College London, University of Illinois at Chicago	ID.Johnson, G.Nolis, L.Yin, HD.Yoo, P.Parajuli, A.Mukherjee, JL.Andrews, M.Lopez, RF.Kile, S.Banerjee, BJ.Ingram, S.Lapidus, J.Cabana, JA.Darr (2020) Nanoscale, Vol 12, pp22150-22160	10.1039/d0nr05060a
4	유현덕	Jawwad A. Darr, Jordi Cabana	미국/University College London, University of Illinois at Chicago	ID. Johnson, N. Stapleton, G. Nolis, D. Bauer, P. Parajuli, HD. Yoo, L. Yin, BJ. Ingram, RF. Klie, S. Lapidus, JA. Darr, J. Cabana (2021) Nanoscale, Vol 13, pp10081-10091	10.1039/d1nr03080a
5	박진균	Paul Ha-Yeon Cheong	미국/Oregon State University	TR.Pradhan, HE.Lee, GM.Gisela A, PHY.Cheong, JK.Park (2020) Chemistry - A European Journal, Vol 26, pp13826-13831	10.1002/chem.202000778
6	박진균	Paul Ha-Yeon Cheong	미국/Oregon State University	TR.Pradhan, M.Paudel, JL.Harper, PHY.Cheong, JK.Park (2021) Organic Letters, Vol 23, pp1427-1433	10.1021/acs.orglett.1c00103
7	주정민	Shih-Ching Chuang	대만/National Chiao Tung University	JY.Song, JH.Jang, SC.Chuang, JM.Joo (2020) Bulletin of the Korean Chemical Society, Vol 42, pp489-491	10.1002/bkcs.12175

8	정옥상	Xin Zhou	중국/Qingdao University	TC. Pham, Y, Choi, C. Bae, CS. Tran, D. Kim, OS. jung, YC. Kang, S. Seo, HS. Kim, H. Yun, X. Zhou, S. Lee (2021) RSC Advances, Vol 11, pp10154-10158	10.1039/d0ra10567h
9	정옥상	Martino Di Serio	이탈리아/University of Naoles Federico II	J Kim, J Park, D Kim, M Di Serio, OS jung (2021) Inorganic Chemistry Frontiers, Vol 8, pp3292-3300	10.1039/d1qi00540e
10	박강현	Karthick Selvam	인도/Alagappa University	A. Bereketova, M. Nallal, M. Yusuf, S. Jang, K. Selvam, KH. Park (2021) RSC Advances, Vol 11, pp16823-16833	10.1039/d1ra01883c
11	임만호	Takayuki Tanaka, Atsuhiro Osuka	일본/Kyoto University	K. Ueta, J.Kim, S. Ooi, J.Oh, J. Shin, A. Nakai, M. Lim, T. Tanaka, D. Kim, A. Osuka (2021) Journal of the American Chemical Society, Vol 143, pp7958-7967	10.1021/jacs.1c00476
12	남기민	Jun Tae Song	일본/Kyushu University	SA Abbas, JT Song, YC Tan, KM Nam, J Oh, KD Jung (2020) ACS Applied Energy Materials, Vol 3, pp8739-8745	10.1021/acsaem.0c01283
13	남기민	Asad Mehmood	영국/Imperial College London	SA Abbas, D Seo, H Jung, YJ Lim, A Mehmood, KM Nam (2021) Applied Surface Science, Vol 551, pp149445-	10.1016/j.apsusc.2021.149445

③ 외국 대학 및 연구기관과의 연구자 교류 실적 및 계획

가. 외국 대학 및 연구기관과의 연구자 교류 실적

(1) 참여교수의 국제 교류

본 교육연구단 참여교수가 지난 1년 동안 해외 그룹과 공동연구를 진행하여 13편의 국제공동연구 논문을 게재하였다. 이는 지난 교육연구단의 연평균 4.6편에 비해 크게 증가 하였다. 총 13편의 논문을 정량지표로 분석하면 IF 기준 20%이상의 상위 논문은 62%(8편)에 해당하여, 사업 선정평가 당시 목표로 제시하였던 공동연구 논문의 질 향상의 목표(상위 20%, 연 5편)를 이미 초과 달성한 수치이다. 이는 본 교육연구단의 국제공동연구 결과가 질적으로 매우 우수함을 의미한다. 아래에 공동연구를 진행한 교수와 관련 내용 및 실적을 열거하였다.

a. 유현덕 교수: 미국 University of Illinois at Chicago의 Jordi Cabana 교수팀과 공동연구를 수행 중이다. 공동 연구의 결과로 총 4편의 논문을 게재하였다(Chemistry of Materials, 2020, 19, 8203.; ACS Energy Letters, 2020, 5, 3357.; Nanoscale, 2020, 12, 22150.; Nanoscale, 2021, 13, 10081).

b. 박강현 교수: 인도 Alagappa University의 Karthick Selvam 교수팀과 공동연구를 수행 중이다. 공동 연구의 결과로 1편의 논문을 게재하였다(RSC Advances, 2021, 11, 16823).

c. 박진균 교수: 미국 Oregon State University의 Paul H. Cheong 교수팀과 공동연구를 수행 중이다. 공동 연구의 결과로 총 2편의 논문을 게재하였다(Chemistry – A European Journal, 2020, 26, 13826; Organic Letters, 2021, 23, 1427).

d. 임만호 교수: 일본 Kyoto University의 Takayuki Tanaka 교수와 공동연구를 수행 중이다. 공동 연구의 결과로 1편의 논문을 게재하였다(Journal of the American Chemical Society, 2021, 143, 7598).

e. 정옥상 교수: 중국 Qingdao University의 Xin Zhou교수와 이탈리아 University of Naoles Federico II의 Martino Di Serio교수와 공동연구를 수행 중이다. 공동 연구의 결과로 총 2편의 논문을 게재하였다(RSC Advances, 2021, 11, 8709; Inorganic Chemistry Frontiers, 2021, 8, 3292.).

f. 주정민 교수: 대만 National Chiao Tung University의 Shih-Ching Chuang 교수와 공동연구를 수행 중이다. 공동 연구의 결과로 1편의 논문을 게재하였다(Bulletin of the Korean Chemical Society, 2020, 42, 489).

g. 남기민 교수: 일본 Kyoto University의 Jun Tae Song 박사와 영국 Imperial College London의 Asad Mehmood 박사와 공동연구를 수행 중이다. 공동 연구의 결과로 총 2편의 논문을 게재하였다(ACS Applied Energy Materials, 2020, 3, 8739; Applied Surface Science, 2021, 541, 148523).

(2) 해외 연사 초청 세미나를 통한 교류

지난 1년간 4명의 해외 유명 학자를 초빙하여 비대면 심포지엄 및 세미나를 개최하고 상호 교류하였다. 아래에 해당 학자와 세미나 날짜를 열거하였다.

a. Prof. Tao Liu(북경대, 중국), 21년 4월 29일
b. Prof. Christo S. Sevov(오하이오 주립대, 미국), 21년 7월 27일
c. Prof. Tianbiao Leo Liu(유타 주립대, 미국), 21년 7월 27일
d. Dr. Jacopo Tessarolo(도르트문트대, 독일), 21년 8월 25일

나. 외국 대학 및 연구기관과의 연구자 교류 계획

(1) 참여교수의 국제 교류 계획

교육연구단 주관 국제학술대회 1회 이상, 해외 저명인사 초청세미나를 5회 이상 진행하고자 하였지만 지난 1년간 대외적 문제로 교육연구단 주관 국제학술대회 1회, 초청세미나 1회 진행하였다. 부족했던 참여교수의 국제 학술대회 초청 강연 및 기조연설을 적극적으로 장려하여 해외 연구자들과의 교류를 활성화하고자 한다. 현재 진행 중인 국제 교류는 유지하면서 본 교육연구단의 많은 교수가 함께 참여하는 국제 교류를 확대하고자 한다.

(2) 인공 효소/촉매 분야 집중 교류

국제 교류를 통하여 인공 효소/촉매 분야의 최신동향을 파악하고 연구 애로사항 해결에 도움을 받고자 한다. 교육연구단 참여교수들은 인공 효소/촉매 분야의 저명인사 초청 및 국제 학술대회의 적극적인 유치를 통해서 학술 교류 및 글로벌 네트워크를 확대하여 본 교육연구단을 인공 효소/촉매 분야의 연구 거점으로 자리 잡게 하고자 한다. 그리고 참여교수의 국제 학술대회 초청 강연 및 기조연설을 적극적으로 장려하여 해외 연구자들과의 교류를 활성화하고자 한다.

a. 교육연구단 주관 국제학술대회 개최 계획

인공 효소/촉매 관련 국제학술대회를 연 1회, 해외 저명인사 초청 세미나를 연 5회 이상 개최할 계획이다.

(3) 본부의 국제 교류 지원 적극 활용

a. 국제학술대회 개최 지원 활용: 국제 교류 장려를 위해 교내 국제학술대회 개최 비용을 부산대학교 본부에서 지원받는 것을 적극 활용할 계획이다(24편 이상 500만원; 16~23편: 400만원; 8~15편 200만원 지원).

b. 저명인사 초청 지원 활용: 소규모 국제 교류 장려를 위해 해외 저명인사 초청 관련 비용을 본부에서 지원받는 것을 활용할 계획이다(100/200만원).

Ⅳ 4단계 BK21 교육연구단(팀) 관련 언론보도 리스트

교육연구단(팀)명	분자소재 교육연구단
교육연구단(팀)장명	양해식

연번	구분	언론사명 /수상기관 등	보도일자/ 수상일자 등	제목/ 수상명 등	관련 URL
		주요내용 (200자이내)			
1	수상	국제신문	2021.06.01./ 2021.10.02.	질병감염 알려주는 바이오센서 개발 성과 뿌듯	http://www.kookje.co.kr/news2011/asp/newsbody.asp?code=0800&key=20210602.22012008084
		양해식 교수 부산과학기술협의회 주최 2021년 부산과학기술상 수상			
2	수상	BBS NEWS	2020.12.03.	제16회 부산미래과학자상 수상자 선정	http://news.bbsi.co.kr/news/articleView.html?idxno=3013754
		석사 과정 홍창현 학생 제16회 부산미래과학자상 수상			
3	성과	주간조선	2020.11.02.	현장에서 즉시 확인! 양해식 교수의 초간단 바이오센서 연구	http://weekly.chosun.com/client/news/viw.asp?nNewsNumb=002631100023&ctcd=C01&cpage=4
4	성과	주간조선	2020.09.14.	카이랄 촉매 연구하는 박진균 부산대 화학과 교수	http://m.weekly.chosun.com/client/news/viw.asp?nNewsNumb=002625100025&ctcd=C01&cpage=4