

**『4단계 BK21사업』 혁신인재양성사업(산업·사회 문제 해결 분야)  
교육연구단 자체평가보고서**

접수번호	5199990314312							
신청분야	인문사회과학기술융복합				단위	전국		
학술연구분야 분류코드	구분	관련분야		관련분야		관련분야		
		중분류	소분류	중분류	소분류	중분류	소분류	
	분류명	원자력공학		제어계측		기타인문학		
	비중(%)	50		30		20		
교육연구 단명	국문) 미래사회를 위한 첨단원자력융합 교육연구단 영문) Advanced Nuclear Convergence for Future Society							
교육연구 단장	소 속	포항공과대학교		대학(원)	첨단원자력공학부			
	직 위	교수						
	성명	국문	엄우용		전화			
		영문	Um Wooyong		팩스			
				이동전화				
				E-mail				
연차별 총 사업비 (백만원)	구분	1차년도 (2019~21.2)	2차년도 (21.3~22.2)	3차년도 (22.3~23.2)				
	국고지원금	351,960	754,969	752,998				
총 사업기간	2020.9.1.-2027.8.31.(84개월)							
자체평가 대상기간	2021.9.1.-2022.8.31.(12개월)							
<p>본인은 관련 규정에 따라, 『4단계 BK21사업』 관련 법령, 귀 재단과의 협약에 따라 다음과 같이 자체평가보고서 및 자체평가결과보고서를 제출합니다.</p> <p align="right">2022년 9월 29일</p>								
작성자	교육연구단장			엄우용 (인)				
확인자	포항공과대학교 산학협력단장			김상우 (인)				

## 〈자체평가 보고서 요약문〉

중심어	원자력발전	원자력안전	원자력환경
	원자력미래융합	원자력첨단융합	원자력사회융합
	미래사회원자력기술	방사성폐기물관리	글로벌융복합인재양성
교육연구단의 비전과 목표 달성정도	<p>본 <b>“미래사회를 위한 첨단원자력융합”</b> 교육연구단에서는 ‘원자력’이라는 종합공학의 기술적 문제와 복합적인 사회적 이슈를 이해하고 해결할 수 있는 융복합 인재양성을 목표로 하고 있으며, 이를 위해서 “원자력공학”의 기초교육 및 분야별 전문교육과정을 구축하였으며, 원자력과 관련된 사회문제의 효과적인 해결을 위하여, 공학 및 사회 인문학의 융합적 사고를 복합적으로 수행할 수 있는 “원자력 사회융합” 교육 프로그램을 개발하여 인재 양성을 진행하고 있음. 비록 2년의 짧은 기간에도 불구하고 2021년부터 새로운 교육과정 개편 및 분야별 특성화 연구를 통하여 공학적 기술에 사회적 공감대를 갖춘 인간 중심의 미래사회를 위한 원자력 융복합 인재 양성의 초석을 마련하였고, 2년간의 단기평가지표로 설정한 목표를 달성하였음.</p>		
교육역량 영역 성과	<p>원자력 산업·사회문제 해결을 위하여 가속기, 인공지능, 로봇 시스템과 같은 새로운 분야로의 확대뿐만 아니라, 인문사회 분야와의 융합을 통하여 실제적인 산업·사회 문제 해결을 위한 실용적 지식 양성이 가능하도록 2021학년도 신입생부터 새롭게 교과과정을 개편하여, 공통필수 3과목에 공학적 필수분야인 원자력공학, 원자로물리학 이외에 인문사회학 분야인 “원자력과 사회문제” 과목을 추가 편성하였음. 또한, 1년간 특성화 세부전공별 신입 대학원생 총 19명을 확보하였으며, 지속적으로 해외 우수 전문기관과 교류를 통하여 국제적 감각의 융합인재 교육역량을 확보하였음.</p>		
연구역량 영역 성과	<p>참여대학원생의 학술활동 및 공동연구 참여로 총 15편(IF 합계: 88.292) 논문 게재, 국내외 학술회의 17편 발표(우수논문발표 1명 수상), 특허 출원 8건(국내 7건, 국외 1건), 특허 등록 2건의 성과를 이루었음. 5명의 신진연구인력은 논문 12편, 연구과제 참여 등 독자적 연구환경을 조성하였으며, 참여교수들의 탁월한 연구비 수주와 SCI급 저널 총 55편(IF 합계: 337.247), 특허 출원 11건(국내 9건, 국외 2건), 특허 등록 6건(국내 5건, 국외 1건)을 완료하였음. 또한, 영국 Sheffield 대학, 미국 PNNL(Pacific Northwest National Laboratory), Univ. of Wisconsin-Madison, Utah State Univ., 일본 Masaki Tech. 등 11개 기관과의 국제 공동연구를 통해서 논문게재 등 활발한 교류가 지속되었음.</p>		
달성 성과 요약	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 사회문제 해결에 필요한 “원자력사회문제융합” 과정 신설 등 전면적인 교과과정 개편과 우수 대학원생 확보</li> <li>2. 지속적인 국제적 교류 (교육 및 연구 분야)</li> <li>3. 학생/참여교수의 연구 성과물 (논문/학회발표/특허 등)</li> </ol>		
미흡한 부분 / 문제점 제시	<p>본 교육연구단의 계획 대비 현재 진행사업은 대부분 원활하게 진행되고 있음. 다만, 계속되는 코로나 19 및 변이 확산의 상황으로 인한 해외 교류 부진 등으로 당초 계획한 해외학자 초빙, 유관 기관 및 해외 선진 연구 그룹과의 교류/견학, 대학원생들의 internship 및 장/단기 해외 연수 등 진행에 어려움이 있음. 제한적이거나 화상 강의/온라인 회의 플랫폼을 적극 활용하여 보완코자 함.</p>		
차년도 추진계획	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 지속적인 교육 프로그램 운영과 연구를 통하여 참여 학생들의 융합적 사회문제 해결 능력 향상</li> <li>2. 코로나 19 장기화로 인한 국제교류의 제약으로 온라인 및 비대면 교육 및 프로그램 개발을 통한 지속적인 교육 및 연구 인프라 구축.</li> </ol>		

## 1. 교육연구단장의 교육·연구·행정 역량

성 명	한 글	업무용	영 문	Um Wooyong
소 속 기 관	포항공과대학교		대학(원)	첨단원자력공학부

본 교육연구단장은 원자력 및 방사성폐기물 관리 분야에서 20여 년간 활발한 연구 활동을 펼쳐온 전문가로서, 방사성폐기물 관리 관련해서 연구 논문 241편 (국제저널 91편, 국제 및 국내 학회 150편) 과 1건의 국제 특허 등록 및 3건의 국내 특허 등록, 2권의 저서, 27편의 연구 보고서 편찬 등의 활발한 활동을 하고 있다. 이러한 다양한 경험을 바탕으로 국내 원자력발전소 운영이나 해체 시 발생하는 방사성폐기물의 처리 및 처분에 관련해 국제적으로 선진화된 기술개발에 큰 노력을 기울이고 있다. 대표적으로는 원자력발전소 해체 과정에서 발생하는 콘크리트 폐기물 감용 및 부지복원 기술개발을 위한 원자력환경선진연구센터 과제 책임을 맡고 있으며, 한국수력원자력, 한국원자력환경공단, 한국원자력연구원, 광주과학기술원, 울산과학기술원 등 다양한 기관과의 방사성폐기물관리 연구 협업에 앞장서 사회적 문제를 해결하는 데 크게 공헌하고 있다. 이러한 역량을 바탕으로 국외 저명학술지인 Environmental Science & Technology, Journal of Nuclear Materials의 방사성폐기물 관리 및 환경 분야의 전문가로서 논문 리뷰어로 활동하고 있으며, 국내 자원환경지질학회지 편집위원으로 활동하고 있다. 또한, 국내 자원환경지질학회, 한국원자력학회, 한국방사성폐기물학회에서 환경지구화학, 방사성폐기물관리, 중/저준위방사성폐기물관리 연구 분과의 전문위원을 맡고 있으며, 2020년부터는 한국방사성폐기물학회의 학술이사 및 연구재단 전문위원으로서 활동하고 있다.

교육 활동으로는 2011년 포항공과대학교 WCU 사업의 일환으로 첨단원자력공학부의 교수로 재직하면서 현재까지 박사 8명, 석사 14명의 인재를 배출하였으며, 이들은 졸업 후 한국원자력연구원, 한국원자력안전기술원, 한국원자력통제기술원, 한국원자력환경공단 등 국내 다양한 원자력 관련 기관에서 활발한 연구 활동을 펼치고 있다. 또한, 방사성폐기물 관리 분야의 인력 양성을 위한 다양한 교육 과목을 개설해 진행하고 있으며, 대표적인 기초과목인 **방사성폐기물 관리**, **환경 방사성오염물** 수업과 심화과목인 **고급 방사성폐기물 관리** 등 기초이론부터 심화 단계까지 전반적인 모든 내용을 학생들에게 교육하고 있다.

본 교육연구단장은 2019년부터 지금까지 포항공과대학교 첨단원자력공학부의 학부장으로 재임하고 있으며, 4차 산업혁명에 발맞춰 원자력뿐만 아니라 다양한 융복합연구의 지원을 통해서 참여교수 및 대학원생들의 뛰어난 연구 성과물 도출과 학부 발전에 크게 이바지하고 있다. 특히 원자력 환경 분야의 다양한 과제 책임연구원으로서 국내외 연구소 및 대학의 연구진들과 활발한 공동연구를 이끌어가고 있으며, 원전해체 및 제염산업에 필요한 국내 최고 시설 연구 인프라를 구축하고 우수인력양성에 큰 노력을 기울이고 있다. 또한 2017년부터는 원자력클러스터 및 원전지역 상생발전 포럼 위원 (기술개발 및 지역발전), 2018년부터는 해오름동맹 원자력혁신센터 운영위원, 그리고 2019년부터는 한국원자력환경공단의 기술자문위원회 외부이사와 월성원전 삼중수소 누출 문제 해결을 위한 전문위원으로서 지역발전 및 사회문제 해결을 위한 대외적인 활동에도 활발하게 이바지하고 있다.

이와 같이 본 교육연구단장은 4단계 BK21 사업을 통하여 원자력 분야에 기계, 물리, 화학, 환경, 로봇/인공지능 및 인문사회 등 다양한 학문의 융합을 통하여 원천 기술을 확보하고, 이를 바탕으로 산업 및 학문적 발전에 본 학과가 이바지할 수 있는 안정적인 기반을 만들어 나갈 것이다. 또한, 이번 교육 사업을 통하여 4차 산업혁명에 발맞춰 융복합 연구를 위한 교수 및 대학원생을 지속적으로 확충함으로써 포항공과대학교 첨단원자력공학부를 세계적인 원자력공학 전문대학원으로 성장시키고자하는 강한 의지를 가지고 있다. 따라서 본 교육연구단장은 앞서 서술한 바와 같이 풍부한 연구 경험과 깊이 있는 행정 경험을 바탕으로 본 사

업단을 효과적으로 이끌어 나갈 충분한 역량을 갖추고 있으며, 기초학문 교육 및 연구에서부터 실용화 및 융복합 연구까지 첨단원자력공학부를 세계적 연구·교육기관으로 발전시킬 수 있는 책임자이다.

## 2. 대학원 신청학과 소속 전체 교수 및 참여연구진

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

신청학과(부)	기준 학기	전체교수 수			참여교수 수		
		전임	겸임	계	전임	겸임	계
첨단원자력공학부	2021년 2학기	8	2	10	7	2	9
	2022년 1학기	8	2	10	7	2	9

<표 1-2> 최근 1년간 교육연구단 대학원 학과(부) 소속 전임/겸임 교수 변동 내역

연번	성명	변동 학기	전출/전임	변동 사유	비고
1	서지현	2021년 2학기	전임	겸임으로 신규 참여	

<표 1-3> 교육연구단 참여교수 지도학생 현황 (단위: 명, %)

신청학과(부)	기준 학기	대학원생 수											
		석사			박사			석·박사 통합			계		
		전체	참여	참여 비율 (%)	전체	참여	참여 비율 (%)	전체	참여	참여 비율 (%)	전체	참여	참여 비율 (%)
첨단원자력공학부	2021년 2학기	16	13	81.25	27	20	74.07	16	13	81.25	59	46	77.97
	2022년 1학기	16	12	75	29	23	79.31	12	12	100	57	47	82.46
참여교수 대 참여학생 비율				5.2									

- 인문사회학적 분석에 기반을 둔 학제 간 교육과정 개발에 기여할 수 있는 인문사회학부의 서지현 교수를 유치하고자 노력하여 2021년 12월 1일부로 교육연구단에 참여교수로 영입하였음. 서지현 교수의 전공 분야는 실험심리, 세부적으로는 지각/인지심리 전공자로 행동개입 지각양상 변화에 대한 연구를 지속해 오고 있어 딥러닝 기반 지능형 인공지능의 창출에도 효율적인 학습환경 구축이 가능할 것이며, 원자력 관련 이슈에 대한 개인의 갈등과 불안 요소를 파악하고 문제해결을 위한 인지 행동적 접근과정 연구를 수행 예정임. 향후 사회과학 분석 방법론 및 사회과학 실험설계 과목을 개설하여 대학원생의 연구역량 향상에 기여하고자 함.
- 또한, 현재 원자력소재 분야 전임교원 초빙을 진행하고 있으며, 향후 미래융합-플라즈마 및 가속기 분야 전임교원도 충원 예정에 있음.
- 본 교육연구단은 ‘현 가동원전에 대한 전문적 지식 함양’, ‘첨단미래원자력을 위한 융합적 지식 함양’ 그리고 ‘사회를 위한 원자력의 공학적 지식과 인문사회적 지식의 결합’ 이라는 목표를 위해 각 분야의 최고 전문가들로 교육연구단을 구성하고 있으며, 당초 제시한 참여연구진 구성 계획과 대비하여 대다수 연구진이 현재 각 분야의 연구를 진행 중이며, 참여 연구진의 연구 분야는 기존 구성과 같음.
  - 본 교육연구단 참여 전임교원 현황
- 원자력안전 분야 특성화: 후쿠시마 이후 보다 안전한 원자력 시스템 개발을 위하여 중대 사고를 포함한 다양한 사고 상황 분석 및 선진 시스템 개발 공동연구를 수행하여왔던 조항진 교수, 산업

체 및 대학에서 금속의 응고분야를 30여 년간 연구해오며 스테인레스강, 금속기지 복합재료, 고니켈 합금 등 원자력재료로 활용 가능한 고기능 금속재료의 제조공정 및 물성에 관한 연구를 수행하고 있는 **조중욱** 교수

- 원자력환경 분야 특성화: 방사성폐기물 관리와 원전 운영 시 발생하는 폐기물의 제염 및 노후 원전 해체 분야를 미국 PNNL에서부터 선도적으로 이끌어온 **임우용** 교수, 바이오마커 및 화학적 처리 방법 등을 활용한 방사성 안전 및 환경 모니터링 시스템을 선도하는 **박중문** 교수, 방사성폐기물의 안정적인 영구 처분을 위한 유리화 고화체 개발 및 원자력 관련된 재료 연구를 주도하는 **허종** 교수
- [미래융합] 플라즈마 및 가속기분야 특성화: 핵융합 플라즈마 물성 해석, 플라즈마 진단 기술과 산업용 플라즈마 활용에 대한 심도 깊은 연구를 진행하여 온 **윤건수** 교수
- [첨단융합] 인공지능 및 로봇 시스템 분야 특성화: 해양/수중 환경을 포함한 극한 환경에서의 로봇-인공지능 시스템을 연구하고 원자력 사고 상황이나 해체환경과 같은 극한환경에서도 적용 가능한 센싱 시스템에 대한 연구를 진행하여 온 **유선철** 교수
- [사회융합] 인문사회와 공학기술 융합 분야 특성화: 폭넓은 인문사회학과 공학의 융합 과목들을 수강할 수 있도록 인문과목들을 포함한 ‘사회융합 자유선택’ 과목을 정규교과과정에 포함하고 이를 위해서 정보사회학, 사회관계론, 소셜네트워크분석, 정보문화론, 통계적 연구방법 관련 15년 이상 활동하여 온 **배영** 교수, 원자력 관련 이슈에 대한 개인의 갈등과 불안 요소를 파악하고 문제해결을 위한 인지 행동적 접근과정 연구를 수행하고, 사회과학 분석 방법론 및 사회과학 실험설계 과목을 개설할 **서지현** 교수

- 본 교육연구단 참여 비전임교원 현황

- 전임교원 외에도 본 교육연구단은 학생 공동 지도교수제와 연구 인프라 지원을 통해 독립적으로 연구그룹을 이끌고 있는 전문성 높은 연구교수들이 참여하고 있는데, 방사성폐기물 관리 및 핵종 분석에 전문성을 가진 김원석 연구교수, 방사성폐기물의 유리화를 통한 고화체 개발을 수행하는 권영건 연구교수, 응축효율증진 및 계면현상을 이용한 기능성 소재개발 연구를 수행하는 한태양 연구교수가 참여하고 있음.
- 또한, 포항가속기연구소와 포스텍의 협의를 통하여 가속기 인력양성 교육을 본 교육연구단에서 진행하기로 결정함에 따라 포항가속기 소속 연구원인 이희석 박사, 박용운 박사, 한가람 박사 등이 겸직교수로서 정규 교과목을 개설하고 연구 및 교육을 공동으로 계속하여 수행하고 있으며, 플라즈마 및 가속기 분야의 교육 역량 강화를 위해 2022-1학기에 하태균 박사, 채길병 박사를 겸직교수로 영입하였음.
- 위의 교육연구단 구성에 더하여, 지난 10여 년 동안 본 교육연구단에 참여하면서 정규교과목 강의 및 공동연구 지도교수, 그리고 학위심사위원으로서 역할을 충실히 수행하여온 Massoud Kaviany 교수 (원자력 안전분야)가 해외 방문/석학 교수로서 본 교육연구단의 국제화 및 전문성 함양에 기여하고 있음.

## 2. 교육연구단의 비전 및 목표 달성정도

### <계획>

- 원자력과 관련된 사회문제 해결을 위한 현 가동 원전에 대한 전문적 지식 함양, 첨단미래원자력을 위한 융합적 지식 함양, 미래 원자력 사회를 위한 원자력의 공학적 지식과 인문사회학적 지식의 결합을 통한 전문적인 융합인재를 양성코자 함.
- 원자력 전 분야에 걸친 광범위한 보편적 교육 보다 원자력 분야의 사회 이슈에 대응하기 위한 전문 지식 특성화를 기함.



위한 사업에 착수하였음.

- 가속기 연구원(겸직교수) 강의 실적

교수명 \ 학기	2021-2학기	2022-1학기
이희석	방사선차폐와 몬테카를로분석	방사선 계측
신승환	가속기의 원리와 기술	

✓ [첨단융합] 인공지능 및 로봇시스템 분야 특성화: 인공지능 및 로봇 관련 기초지식을 습득하고 이를 원자력이라는 극한(고온/고압/복잡/방사선)환경에서 활용 가능한 시스템으로 구현하는 융합 교육과정을 개발하여 정식 교과목으로 개설하였음.

- 2021-2학기 <원자력안전-인공지능 융합심화>

- 2022-1학기 <인공지능-로봇공학입문>

✓ [사회융합] 인문사회와 공학기술 융합 분야 특성화: 우리 사회에서 나타나고 있는 원자력 관련 주요 이슈의 흐름과 내용을 다양한 데이터를 통해 살펴보고 전반적인 함의를 파악하기 위한 교과목을 개발, 개설하였음.

- 2021-2학기 <원자력과 사회문제캡스톤디자인>

- 2022-1학기 <원자력과 사회문제>

(3) 사회/미래/첨단적 가치를 창출하는 융복합화 실적

• 다학제 융합 교과과정 편성하고 이를 지원하는 교육/연구 인프라 구축

(단기평가(2년)지표) 프로젝트 수행을 포함한 실습형 융합 과목 ‘원자력과 사회문제’ 등 3과목 이상 개설, 사회융합과목 5개 이상 편성

✓ 지난 1년간 실습형 융합과목 5과목, 사회융합과목 3개 교과 개설 운영함으로써, 최근 2년간 프로젝트 수행을 포함한 실습형 융합과목 총 6과목, 사회융합과목 총 6개 교과를 개설하여 단기평가 지표를 완성하였음.

✓ 원자력 사회문제 해결을 위한 인문사회학 교과목과 원자력 공학 교과과정 융합: 지난 1년간 원자력 관련 복합적인 사회 문제 해결을 위한 교과목으로 <원자력과 사회문제>를 본 교육연구단의 공통과목으로 편성하여 모든 대학원생이 필수적으로 수강하도록 하였음. 본 교과는 우리 삶과 밀접한 관계에 있는 사회 문제와 이슈를 다양한 데이터에 기반하여 분석하고 함의의 도출과 함께 해결이 필요한 문제의 조건과 요소를 체계적으로 파악하고자 하여, 이를 위해 각종 통계자료는 물론 사회문화 관련 데이터를 추출, 분석함으로써 원자력 사회에 대한 전반적인 이해를 높이고, 미래에 마주하게 될 변화에 능동적으로 대처할 수 있는 역량을 증진하고자 함. 구체적으로 12개 핵심 영역을 중심으로 주요 이슈의 흐름과 지형을 살펴보고, 과학적 연구와 체계적 분석을 위한 데이터 추출 및 가공 방법들을 모색함. 이를 통해 거시/미시적인 차원에서의 분석 역량의 함양과 함께 자신의 생각을 논리적으로 전개하는 과정을 경험함으로써 근거에 기반한 주장이 갖는 유효성을 체득함. 또한, 프로젝트 수행을 포함한 실습형 융합 과목으로 <범용 공학용 전산도구 실습>, <원자력과 사회문제>, <원자력과 사회문제 캡스톤 디자인>, <원자력안전-인공지능 융합심화>, <원자로실험> 등의 과목을 개설하였고, 다양한 원자력 관련 사회문제 해결을 위한 기반을 제공하기 위해서 <미래사회 첨단원자력입문>, <원자력과 사회문제>, <원자력과 사회문제 캡스톤 디자인> 과목을 사회융합 교과목으로 개설하여 체계적이고 효과적으로 사회 융복합의 기본 목적을 구현할 수 있는 교육 인프라를 구축하였음.

✓ 학문 분야 간 경계를 넘는 다학제간 교육/연구 융합 시스템 인프라 구축 및 확대: 다학제간 교과목인 <원자력과 사회문제 캡스톤 디자인> 과목을 개발하여 2021-2학기에 개설하였음. 본 교과는 원자력을 둘러싸고 나타나는 다양한 이슈들을 점검하고, 국민들의 삶의 질과 효율적인 에너지 정책 효과성 제고를 위해 필요한 사회적, 제도적 조건들을 모색함. 이를 위해 원자력 관련 이슈와 주요 사례들을 시계열적으로 내용을 분석하고, 데이터 분석 및 현지 조사를 통해 원전 관련 전반적 인식 지형을 파악한 후, 원전 수용성 영향 요인 및 원전 관련 불신 요소와 이해관계자간 갈등 지점 및 근거를 추출하여 관련 문제의 해결과 원전 수용성 제고를 위한 장단기적 방안을 마련하고자 하였음.

(4) 전문 지식을 사회문제에 적용하여 보는 실용화 실적

(단기평가(2년)지표)사회문제 접수를 위한 온라인 플랫폼 완성

사회문제 해결을 위한 지역사회-산학연과 연계한 실용 연구센터 설립

사회문제 교육 및 연구주제로 총 3회 이상 학술 워크숍 개최 및 활용

매학기 정기 세미나 개최 및 운영

✓ 사회문제 접수를 위한 온라인 플랫폼 완성: 원자력 관련 사회문제 해결을 위한 제안 및 의견을 상시 개진할 수 있도록 교육연구단 홈페이지 내 온라인 플랫폼을 구축하였음. 제안된 산업 및 사회문제는 본 교육연구단의 사회문화데이터사이언스 연구소가 중심이 되어 해결 방안들을 모색해 나갈 것임.

✓ 사회문제 해결을 위한 지역사회-산학연과 연계한 실용 연구센터 설립: 한국수력원자력(주)와 해오름동맹지역 지방자치단체(울산광역시, 경주시, 포항시), 해오름동맹지역의 6개 대학(동국대학교, 위덕대학교, 울산과학기술원, 울산대학교, 포항공과대학교, 한동대학교)이 안정적인 산학협력 플랫폼을 구축함으로써 지역 상생모델 개발 및 지역사회/시민과의 소통을 강화하고자 하며 해오름동맹 지역 대학이 참여하는 ‘해오름동맹 원자력혁신센터’를 설립하고, 협력 연구를 수행하고 있음.

✓ 사회문제 교육 및 연구주제로 총 3회 이상 학술 워크숍 개최 및 활용:

.2021.11. ‘국민참여형 원자력안전규제 정책수립 제도 운영 경험과 성과’ 주제로 세미나(초청 강사: 원자력 안전재단의 원자력안전센터 이동욱 센터장)

.2021.12. 공론조사 방법론 세미나: 원자력과 공론조사(초청 강사: 이윤석 교수, 서울시립대 사회학과)

.2021.12. ‘원자력으로 인한 사회적 갈등의 배경과 원인’ 주제로 강연 및 토론 실시(초청 강사: 경주 환경운동연합 정현걸 의장)

✓ 국내·외 최고 전문가 초빙, 특강 및 유관기관 견학을 통한 연구개발의 실용화:

- 매 학기 국내·외 원자력분야 전문가 초청 세미나 개최: 2021-2학기 11회, 2022-1학기 13회

. 국내 원자력분야: 박태진 박사, 권순진 박사, 이제환 박사, 이경준 박사 등 총 15명

. 국외 원자력분야: Prof. Michael Corradini, Prof. Takayuki SASAKI 등 총 10명

- 융합연구 문화조성과 연구자 간 교류 확대를 위한 런치타임 세미나 총 4회 진행

✓ 국내·외 원자력 관련 기관 견학 및 교육

- (석사과정) 등 48명이 ‘원자력시설 해체교육’, ‘피동안전계통 기술혁신 workshop’ 등 13개의 교육 및 워크숍에 참가



- 국내외 학회 참가
  - . (박사과정) 등 36명이 ‘2022 춘계 한국원자력학회 학술발표회’ 등 8개의 국내 학술대회 발표 및 참가
  - . (통합과정) 등 8명이 ‘2021 ANS WINTER MEETING AND TECHNOLOGY EXPO’ 등 5개의 국외 학술대회 발표 및 참가

(5) 선도적 가치 창출하는 국제화 실적

(단기평가(2년)지표) 해외학자 초청을 통한 정규/비정규과목 3회 운영, 화상강의/회의 Webinar: International Colloquia 플랫폼 완성 및 운영, 100% 영어강의 진행

- ✓ 지난 2년간 해외학자 초청을 통한 정규과목 2회, 비정규과목 2회 운영, 화상강의/회의 플랫폼 운영, 개설과목의 영어강의 100% 진행으로 단기평가 지표를 달성하였음.
- ✓ 해외의 우수한 우수 전문기관과 교육/연구 공동 프로그램 운영 및 우수한 해외 인재 초빙 등을 통하여 긴밀한 협력 네트워크를 갖춘 국제화를 이루고자 노력하였음.
  - ▶ 해외 최고 전문가들의 정규/비정규 교과목 개설 및 운영
    - 지난 1년간 해외 석학교원을 활용한 정규 교과를 1회 운영하여 교육의 수월성을 제고하였음.
    - 2022-1학기 교수(Univ. Michigan-Ann Arbor), <열전달 물리학, 3학점>  
수강생: 첨단원자력공학부, 기계공학과, 신소재공학과, 전자전기공학과 등 70명
    - 해외 전문가가 참여한 비정규 수업 운영 실적은 다음과 같음.
      - .2022. 5. 3. 교수(Yeditepe Univ. Turkey), <Supercritical Flow 관련 수업>
      - .2022. 8. 24. 교수(Univ. Michigan-Ann Arbor), <Control and Enhancement of Flow-Boiling Crisis with Porous Metasurfaces>
- ✓ 화상강의/회의 플랫폼을 활용한 Webinar: International Colloquia 운영
  - 지난 1년간 학과의 정기세미나 24회 및 각 세부 전공분야에서 화상강의 플랫폼을 활용한 세미나를 운영하였음.
  - Oregon State University 연구팀과 신규 및 기존 원자력 재료의 열수력 안전성 평가를 높이기 위한 센서 설치 및 평가 기법에 대하여 매달 WEBEX 미팅을 수행하고 있음.
  - 2021년 9월 2일과 10월 12일 두 차례에 걸쳐 일본 원자력 기구(JAEA)와 동경대로부터 초청한 연사들을 중심으로 한 ‘NEST/ARTERD Pre-seminar 2021’ 이 개최되어 원전 조사를 위한 원격 조종 로봇, 방사능 매핑을 위한 로봇 플랫폼 등 원전 관리 및 사고 대응을 위한 다양한 로봇 기술 및 개발 사례를 공유하였음.
- ✓ 전 교과과정 영어 강좌 개설 및 해외 학생 유치
  - 본 학과에서는 지난 1년간 개설된 모든 교과 강의(2021-2학기 12과목, 2022-1학기 10과목)를 영어로 진행하였음.
  - 지난 1년간 우수 해외 학생 유치 실적  
본 교육연구단에서 박사학위를 취득한 외국인 학생들이 본국으로 돌아가 한국에서 습득한 지식은 토대로 대학 및 연구소에서 후진 양성에 도움이 되도록 교육하고 있으며, 이들 기관과의 교류를 통해 우수 외국인 학생 유치를 기하고 있음.
    - . 2021-2학기 입학 외국인 학생: (인도네시아), (튀르키예), (중국)

- . 2022-1학기 입학 외국인 학생: (튀르키예)
- . 특히, 2021-1학기에 입학한 학생은 유럽 폴란드 상위권 대학인 Warsaw University of Technology에서 석사 학위 후 Global Korea Scholarship(GKS) 정부초청장학제도 장학생으로 선발된 학생이며, 학생과 2022-1학기 입학한 학생은 튀르키예 정부의 원자력 국가 장학생임.

✓ 해외 선진 연구 그룹과 교육/견학을 통한 미래기술 습득 및 혁신적 가치 창출: 우수한 관련 분야 국외 학회 및 세미나의 정보를 알리고 참가를 적극 독려하여 다변화하는 국내의 원자력관련 이슈들에 대한 적극적인 대응의 기초를 마련하였음. 대상기간 중 American Nuclear Society(ANS)가 주최한 '2021 ANS Winter Meeting and Technology Expo' 등 우수한 국외 학회에 참가함으로써 해외 원자력 분야를 경험하고 가치를 창출할 수 있는 기회를 제공하였음. 국외 학회/교육 참가 실적은 다음과 같음.

- . (박사과정), (통합과정): 2021 ANS Winter Meeting and Technology Expo(American Nuclear Society, 2021.11.30.-12.03.)

- . (박사과정): WM2022 Conference(Waste Management Symposia, 2022.03.05.-03.10.)

- . (통합과정): 19th International Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermal Hydraulics(NURETH-19) (온라인, American Nuclear Society, 2022.03.06.-03.11.)

- . (박사과정): 49th IEEE International Conference on Plasma Science(ICOPS, 2022.05.22.-05.26.)

- . (박사과정): 13th International Particle Accelerator Conference(IMPACT Exhibition and Convention Center, 2022.06.12.-06.17.)

- American Nuclear Society(ANS)에서 주최하는 2021 ANS Meeting and Technology Expo에 참가하여, 원자력 환경, 핵융합, 원자력발전의 연구동향 등에 대한 강연을 직접 참관하며 연구방향과 전문성에 대한 의식 제고의 기회를 가졌으며, 전세계 방사성폐기물 분야에서 가장 큰 국제 학회인 Waste Management Symposia 2022에 참가하여 포스터 발표를 하고, 각 나라별 중저준위 및 고준위 폐기물 처리·처분에 관한 정책을 파악하고 최신 연구동향을 체득하였음. 열수력 분야에서는 온라인으로 개최된 International Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermal Hydraulics(NURETH)에 참가하여, 공동저자로 참여한 원자로 안전 기술개념 설계와 관련한 논문을 구두 발표하고, 원자력 열수력 분야에 있어 이상이동 및 안전해석 연구를 비롯하여 최근 각광받고 있는 소형모듈원전에 대한 국제적인 연구 동향을 파악함. 또한, 플라즈마 및 가속기분야에서는 미국에서 개최된 49<sup>th</sup> International Conference on Plasma Science에 참가하여 포스터 발표를 하고, 다양한 플라즈마 연구 결과를 공유하고 논의를 진행하였으며, 태국에서 개최된 13<sup>th</sup> International particle accelerator conference에도 참가하여 contributed oral presentation으로 발표를 진행하였으며, 향후 국내외 저명 학술지에 발표 내용인 실험 결과를 게재할 예정임.

✓ 다양한 분야의 특성화: UW-Madison은 기존 원자력 교육과정에 유관 분야 (재료개발, 우주항공, 물리/역학)를 융합 특성화하여 교육과정을 전문화함. 본 교육연구단도 기존 원자력 전공분야만으로 개설되었던 포스텍 첨단원자력공학부 교육과정을 '플라즈마 및 가속기', '인공지능 및 로봇시스템', '소셜 커뮤니케이션' 등의 다양한 유관 분야를 포함하는 다학제간 융복합 프로그램으로 확장하였음.

- 2021-2학기 <가속기의 원리와 기술>, <원자력안전-인공지능 융합심화>, <원자력과 사회문제 캡스톤 디자인>, <방사선차폐와 몬테카를로분석>

- 2022-1학기 <원자력과 사회문제>, <플라즈마 및 빔 물리>, <미래사회첨단원자력입문>, <인공지능-

로봇공학입문> 등 강의 개설

- 융복합화를 통한 새로운 산업화: UM-Ann Arbor/UC Berkeley는 원자력 의료 및 센싱 시스템 개발 분야를 강조하고, 소형/마이크로 원자로의 산업화에 앞장섬. 본 교육연구단에서도 ‘미래융합-플라즈마 및 가속기’ 분야를 활용하여 원자력 의료 분야를 넘어 신물질 개발과 같이 잠재력 높은 산업을 개척할 수 있는 인재를 양성하고, 원자력-융합 연구를 통해 소형/마이크로 원자로 산업화를 주도할 인재를 양성코자 함.
- 인공지능의 활용과 산업 적용을 위한 실용화: MIT는 인공지능의 활용을 특히 강조하는 교육 프로그램을 갖추고 있고, 사회재단 및 산업체 등을 통하여 사회문제에 관한 연구 및 자문 활동을 활발히 수행함. 본 교육연구단은 ‘인공지능’ 에서 더 나아가 드론과 로봇 (수중 드론 및 해양 로봇 포함) 분야를 원자력에 최적으로 적용할 수 있는 인력을 양성할 교육/연구 프로그램을 제공하고자 <원자력안전-인공지능 융합심화>, <인공지능-로봇공학입문> 등의 교육을 실시하였고, 원전 내부시설 안전 검사 수행이 가능한 로봇 플랫폼을 제안하였음.
- 교육연구단의 비전 및 목표 달성을 위한 애로사항

본 교육연구단에서는 원자력이라는 종합공학의 기술적 문제와 복합적인 사회적 이슈를 이해하고 해결할 수 있는 융복합 인재 양성을 목표로 하고 있고, 이를 위해 당초 계획 대비 사업 진행은 대부분 원활하게 진행되고 있음. 다만, 계속되는 코로나 19 상황으로 인한 해외 교류 부진 등으로 당초 계획한 해외 학자 초빙, 유관 기관 및 해외 선진 연구 그룹과의 교류/견학, 대학원생들의 internship 및 장/단기 해외 연수 등 진행에 어려움이 있음. 앞으로는 위드코로나 상황을 대비하여 제한된 상황에서도 진행할 수 있는 온라인 환경을 활용한 교육/연구 교류 플랫폼을 적극 활용하여 보완코자 함.

## □ 교육역량 대표 우수성과

## • 산업·사회문제 대응위한 인문사회 분야 융합 등 교과과정 전면 개편 운영

본 교육연구단에서는 원자력 산업·사회문제들에 대응하기 위하여 가속기, 인공지능, 로봇 시스템과 같은 새로운 분야로의 확대, 인문사회 분야와의 융합, 실제 산업·사회 문제에 밀접한 실용적 지식 양성을 위한 교육과정으로 발전시키고자 2021학년도 신입생부터 적용할 수 있도록 교과과정 전면 개편을 실시함. 기존 공학지식만을 가르치던 커리큘럼을 대폭 개편하여 인문사회 과목을 필수과목으로 편성하는 등 폭넓은 인문사회학과 공학의 융합과목을 수강할 수 있도록 교과과정을 운영하였음.

## • 우수 대학원생 유치

상시 Open lab. 연구참여 프로그램 등과 대학원생에게 독립적인 교육자이자 연구자로서의 환경 제공으로 지난 1년간 Warsaw University of Technology, 서강대, 포스텍 등 우수 대학원생 총 19명을 유치함으로써 계획 대비 원활한 성과가 있었음.

특히, 우수 외국인 학생으로 2021-1학기에 입학한 학생은 유럽 폴란드 상위권 대학인 Warsaw University of Technology에서 석사 학위 후 Global Korea Scholarship(GKS) 정부초청장학제도 장학생으로 선발된 학생이며, 학생과 2022-1학기 입학한 학생은 튀르키예 정부의 원자력 국가 장학생임.

지난 1년간 특성화 세부전공별 학생 총 19명의 유치 현황은 다음과 같음.

- 2021-2학기과 2022-1학기 특성화 세부전공별 입학인원

[원자력안전]	등 석사과정 4명,	등 박사과정 3명,	등 통합과정 2명
[원자력환경]	등 석사과정 3명,	등 박사과정 3명	
[플라즈마 및 가속기]	석사과정 1명,	등 박사과정 3명	

## • 대학원생 연구성과 활발

다양한 학술활동 참여를 통해 관련 연구 분야 전문가들과 인적 네트워크 조성 및 공동 연구 참여 기회 확보와 산업기술 습득 및 연구 활동 지원이 강화되었음. 원자력환경공단, 원자력연구원, 영국의 Sheffield 대학, 현대 Eng. 등과 공동 연구 참여로 인적 네트워크 조성 및 국제적인 선도기술 확보가 가능하였음.

참여대학원생은 지난 1년간 국제저명학술지에 총 15편(IF 합계: 88.292)의 논문을 게재하였음. 게재지의 JCR 기준 상위 Q1 value급인 Chemical Engineering Journal, J. of Hazardous Materials, Energy, Nuclear Fusion, J. of Environmental Chemical Engineering 등에 10편, RSC Advances 등 Q2 value급에 2편, 그 외 전문 관련 분야의 문제 해결을 제안한 논문 3편 등 총 SCI급 15편 중 12편의 논문(80%)을 Q2 이상 value급 저널에 게재함으로써 비교적 질적으로 우수한 평가를 내릴 수 있음.

또한, 참여대학원생은 지난 1년간 학술대회에서 국내 11편, 국외 6편, 총 17편을 발표하였고, 학술대회 우수논문발표 수상 1명, 국내 특허 출원 6건, 해외 특허 출원 1건, 국내 특허 등록 2건 있음.

## • 해외 기관과 협력을 통한 국제화

해외학자 Massoud Kaviany 교수(Univ. Michigan-Ann Arbor)가 2022-1학기 정규 교과목 <열전달 물리학, 3학점>을 개설하여 첨단원자력공학부 및 신소재, 화공과 등 70명이 수강함.

COVID-19 상황으로 인해 직접적인 인적 대면 교류가 어려웠지만, 미국 PNNL (Pacific Northwest

National Laboratory), 영국 University of Sheffield, 미국 Univ. of Wisconsin-Madison 등과의 비대면 교류로 공동 연구를 진행하고 논문 출판도 진행함.

• 참여교수 교육대표 실적

(1) 배영 교수

✓ 2021-2학기 <원자력과 사회문제 캡스톤디자인> 신규 개설: 원자력 관련 주요 이슈의 흐름과 내용을 살펴보고, 주요한 문제에 대해 해결방안을 모색하기 위한 교과목을 개발, 개설함. 원자력 관련 기술 적용의 문제와 함께 사회적 합의가 필요한 사항에 대해 토론 및 협업을 통한 아이디어의 발굴과 실행 방안을 체계적으로 접근함. 2022-1학기에 개설한 <원자력과 사회문제>와의 효과적인 결합을 통해 관련 영역에 대한 전반적인 이해와 실질적 문제해결 방안 모색.

(2) 엄우용 교수

✓ <방사성폐기물관리> 및 <고급방사성폐기물관리> 수업을 통해 원자력발전소 운용 중 혹은 사고 시 발생할 수 있는 방사성폐기물에 대한 이해도를 향상시키며, 기본적인 선행/후행핵연료주기, 방사성 폐기물 처리/처분, 방사성핵종 대상 고형화/고정화 방법, 방사성핵종 이동 등에 관한 학습을 함으로써 원자력환경에 관한 기초적인 실무 이해를 도움.

✓ <고급방사성폐기물관리> 수업을 통해서 보다 더 현장에 적용 가능한 방사성핵종의 표면흡착모델 개발 및 응용, 핵종의 거동특성 연구 등을 통해서 원자력시설에서의 핵종 거동 및 안정성 평가에 실제적으로 응용 가능한 모델링 학습 및 실습을 통한 원자력공학부 학생들의 실무 능력 향상에 도움을 줌.

(3) 유선철 교수

✓ 대학원 교과목 개발 및 개설 실적: 원자력안전-인공지능 융합심화 교과목을 신규 개설함.  
✓ 미래사회 첨단원자력 입문에서, 로봇인공지능 부문의 융합적 소양을 키우기 위하여, 관련 입문소양을 교육하였음. 미래사회를 위한 첨단원자력 기술의 5개의 중점 분야 중 하나인 Robotics/AI의 응용을 실제 사례에 비추어 소개함으로써 로봇인공지능 부문의 융합적인 소양을 기를 수 있는 교과목을 운영하였음.

(4) 윤건수 교수

✓ <양자물리와 양자컴퓨팅 기초> K-MOOC 강좌 개발 및 개설: 양자물리학에 대한 이해는 현대 과학 및 공학 전 분야에서 중요함. 수학적 이론 위주의 교육으로 인하여 접근성이 낮았던 양자물리학을 흥미로운 발견의 과정 및 컴퓨팅 관점에서 설명하는 신규 과목을 개발함.

(5) 조항진 교수

✓ 2021-2학기 학문후속세대양성 과목인 <범용 공학용전산도구 실습> 수업 기획: 학문후속세대양성의 일환으로 대학원생과 박사후연구원 등 신진연구자들과 함께 대학원생들에게 필요한 공학 전산 툴을 다루는 실습 과목 기획 및 진행

✓ 2022-1학기 공동 선택과목인 <미래사회첨단원자력입문> 수업 진행: 원자력관련 사회 및 기술적 이슈에 대한 소개를 진행하고 ‘원자력안전’ / ‘원자력환경’ / ‘플라즈마 및 가속기’ / ‘인공지능 및 로봇 시스템’ / ‘사회융합’ 각 트랙을 선택하여 프로젝트 발표 평가를 수행함. 각 트랙에서 우수한 발표를 진행한 발표자에 대해서 KINGS(KEPCO International Nuclear Graduate School), UNIST, 부산대가 같이 교류하는 ‘KRUP(Knowledge Power-Up Project/ KIGNS, POSTECH, UNIST, and PNU) Challenge Expo’ 에서 발표하도록 추천하여 진행함.

## 1. 교육과정 구성 및 운영

### 1.1 교육과정 구성 및 운영 현황과 계획

<계획>

- 기존 교육 과정을 바탕으로, 원자력 산업·사회문제들에 대응하기 위하여 가속기, 인공지능, 로봇 시스템과 같은 새로운 분야로의 확대, 인문사회 분야와의 융합, 실제 산업·사회 문제에 밀접한 실용적 지식 양성을 위한 교육과정으로 발전시키고자 함.
- 핵심역량 기반의 교육과정 개발과 인문사회학적 지식이 융합할 수 있도록 인문사회 과목을 공학전공 커리큘럼에 필수과목으로 편성한 **전인교육 교과과정**을 구축하고자 함.
- 실제 산업·사회문제를 **핸즈온 실습형 (hands-on-experience) 프로그램**에서 다루어 볼 수 있도록 전체 교과과정을 계획하고자 함.
- 해외 **우수학자 초청의 정규교과목 개설 및 운영** 등을 통하여 교육의 질적 국제화를 이루고자 함.

<실적>

- 새로운 분야로의 확대, 인문사회 융합된 학제간 교육과정 운영
- ✓ 본 교육연구단은 다양한 학부 전공을 가진 학생들에게 전문화되고 글로벌한 교육 및 연구 인프라를 제공하여 원자력 관련 전문가를 육성하여 왔음. 이러한 기반에 더하여, 다양화되고 복합화 되어가는 원자력 관련 사회문제에 대하여 기존의 접근 방식의 한계를 극복할 수 있게 하는 새로운 학문적인 요소로서, 로봇과 인공지능 시스템 분야의 기술 접목, 방사선 의료 및 핵물질 생성 등 가속기 기반의 원자력 기술을 확장하기 위하여 포항가속기연구소와 협력하여 인력 양성교육 시스템 구축, 이에 더하여 거대과학으로서 원자력, 핵융합, 가속기 분야 공통의 공학적 요소를 이해하며 인문사회학적 분석 능력을 겸비한 융합 인재 육성으로 발전하기 위한 인문사회학과 공학이 융합된 학제간 교육과정을 편성하였음. 또한, 기존 공학지식만을 가르치던 커리큘럼을 대폭 개편하여 <원자력과 사회문제>의 인문사회 과목을 필수과목으로 편성하는 등 폭넓은 인문사회학과 공학의 융합과목을 수강할 수 있도록 교과과정을 운영하였고, ‘인공지능’에서 더 나아가 드론과 로봇 (수중 드론 및 해양 로봇 포함) 분야를 원자력에 최적으로 적용할 수 있는 인력을 양성할 교육/연구 프로그램을 제공하고 자 <원자력안전-인공지능 융합심화> 등의 교육을 실시하였음.

- 2021-2학기~2022-1학기 개설과목 현황

구분	원자력안전	플라즈마 및 가속기	원자력환경	인공지능 및 로봇시스템
공통과목 (필수)	.원자로물리학 .원자력공학 .원자력과 사회문제			
공통과목 (선택)	.원자로실험 .방사선계측 .미래사회첨단원자력입문			
전공필수	.원자력열수리학		.방사성폐기물관리	
전공선택	.안전공학과 원자력 안전법 .열전달물리학 .이상유동 .원전안전과 규제	.가속기의 원리와 기술 .방사선차폐와 몬테 카를로분석 .플라즈마 및 빔 물리	.비정질세라믹스 .원전 해체폐기물관리 .고급방사성폐기물관리	.원자력안전-인공지능 융합심화 .인공지능-로봇공학 입문
	.범용 공학용 전산도구 실습			
사회융합	.원자력과 사회문제 캡스톤 디자인 .원자력과 사회문제 .미래사회첨단원자력입문			

- ✓ 핸즈온실습형 과목: 학문후속세대 강의 개설 지원으로 <범용 공학용 전산도구 실습> 개설 및 <원자력안전-인공지능 융합심화>, <원자로실험>, <원자력과 사회문제>, <원자력과 사회문제 캡스톤디자인>

등 지난 1년간 총 5과목의 프로젝트 수행을 포함한 실습형 융합과목을 편성, 개설함으로써 본 교육 연구단이 목표한 실습형 융합 과목 3과목 이상 개설의 단기평가지표를 달성하였음. 또한, 융합 실습 교과를 통하여 향후 공동연구로 발전시키고 그 결과물을 다시 연구 센터 등을 통해 지자체 및 산업체, 연구소와 공유하여 실용적 인재의 양성과 동시에 산업 분야에 기여할 수 있는 교육과 연구의 선순환 구조의 기초를 마련하였음.

✓ 사회융합과목: 공학기술과 인문사회 분야의 융합, 기존 원자력 분야에서 다루어지지 않던 새로운 분야들의 융합을 포함한 과목들로서 <원자력과 사회문제>, <원자력과 사회문제 캡스톤 디자인>, <미래 사회첨단원자력입문> 등 지난 1년간 총 3개 교과 개설하였음.

✓ 아래와 같이 지난 2년간 실습형 융합과목 6과목, 사회융합과목 6개 교과를 편성 운영함으로써 단기 평가 지표를 완성하였고 개설 현황은 다음과 같음.

- 실습형 과목 및 사회융합 과목 개설 현황

구분	학년도-학기	교과목명	이수구분
실습형	2020-2학기	범용 공학용 전산도구 실습	전공선택
실습형	2021-2학기	범용 공학용 전산도구 실습	전공선택
실습형	2020-2학기	원자력안전-인공지능 융합심화	전공선택
실습형	2021-2학기	원자력안전-인공지능 융합심화	전공선택
실습형	2020-2학기	원자로실험	전공선택
실습형	2021-2학기	원자로실험	전공선택
실습형	2021-1학기	인공지능-원자력 기초 실습	전공선택
실습형 or 사회융합	2021-1학기	원자력과 사회문제	전공필수
실습형 or 사회융합	2022-1학기	원자력과 사회문제	전공선택
실습형 or 사회융합	2021-2학기	원자력과 사회문제 캡스톤 디자인	전공선택
사회융합	2020-2학기	극한환경로봇과 사회문제해결	전공선택
사회융합	2021-1학기	미래사회첨단원자력입문	전공선택
사회융합	2022-1학기	미래사회첨단원자력입문	전공선택

✓ 지난 1년간 교과목을 신규 개발하여 개설한 현황은 다음과 같음.

<인공지능-로봇공학입문> 정규교과목 운영(2022-1학기)

<원자력과 사회문제캡스톤 디자인> 정규교과목 운영(2021-2학기)

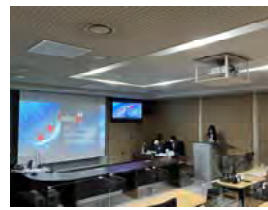
✓ 학문 분야 간 경계를 넘는 다학제간 교육/연구 융합 시스템 인프라 구축 및 확대

- 다학제간 교과목인 <원자력과 사회문제 캡스톤 디자인> 과목을 개발하여 2021-2학기 신규 개설하였고, <미래사회 첨단원자력입문> 과목을 개발하여 2021-1학기부터 개설하고 있음. 본 교과는 국내 및 국외 원자력 이슈들을 이해하고 그 해결방법 도출을 위한 과정을 학습하는 것으로 첨단원자력공학부의 5개 중점분야(원자력 안전, 원자력 환경, 플라즈마 및 가속기, 인공지능 및 로봇시스템, 인문사회 융합)를 포괄적으로 인식하여 각 영역에서 잘 정의된 사례 문제를 바탕으로 실습이 병행되기도 함. 이 수업에서 추천된 학생들의 결과물로 2022. 6. 14. 한국전력국제원자력대학원대학교(KINGS)에서 개최한 2022 KPUP Challenge EXPO에 본 학과 5명의 학생이 아래와 같은 Topic으로 참가하였음. 이번 EXPO는 원전이 위치한 동해안 벨트권 인근 지역 원자력산업 분야 전공 4개 대학(POSTECH, UNIST, PNU, KINGS) 학생들이 프로젝트형 수업의 결과물 발표를 통한 학술교류의 장으로 마련된 것임.

. (박사과정) Discussion for improving nuclear power generation acceptability: based on framing theory

. (박사과정) Layered double hydroxides modified bentonite to enhance anion radionuclides

- . (석사과정) Proposal for spent fuel pools management using extreme environment robots
- . (석사과정) Introduction to Plasma Disruption
- . (박사과정) Electrochemical Tritium ( $^3\text{H}$ ) Separation by Isotope Selective Transport through 2D Crystals



- 해외 우수학자 초청 정규교과목 개설 및 운영
  - 2022-1학기, Massoud Kaviany 교수(Univ. Michigan-Ann Arbor), <열전달 물리학, 3학점>
  - 수강생: 첨단원자력공학부, 기계공학과, 신소재공학과, 전자전기공학과, 철강에너지소재학과 등 2022-1학기 70명
- 매 학기 국내·외 원자력분야 전문가 초청 세미나 개최: 2021-2학기 11회, 2022-1학기 13회
  - . 국내 원자력분야: 박태진 박사, 권순진 박사, 이제환 박사, 이경준 박사 등 총 15명
  - . 국외 원자력분야: Prof. Michael Corradini, Prof. Takayuki SASAKI 등 총 10명
- ✓ 2021-2학기, 2022-1학기 정기세미나 세부현황
  - Dr. Young Soo Park & Lawrence E. Boing (Argonne National Laboratory, 2021.09.10.), “Robotics and Remote Systems for D&D and Key Elements for Managing Decommissioning Projects”
  - Dr. Shineyoung Kang (SEABORG Senior vice president, 2021.09.16.), “Seaborg CMSR Technology”
  - Prof. Massoud Kaviany (University of Michigan, Ann Arbor, 2021.09.24.), “Atomic-level, Energy-conversion Heat Transfer”
  - 박태진 박사 (KAERI, 2021.09.30.), “Buffer characterization under the elevated temperature conditions for SNF disposal”
  - 정해권 박사 (POSCO Technical Research Laboratories, 2021.10.07.), “An Introduction to Immersed Boundary - Lattice Boltzmann Method for Multi-physical Problems”
  - 류정하 박사 (Max Planck Institute for Plasma Physics, 2021.10.14.) “Critical Materials Issues for Nuclear Fusion Reactor Technology”
  - 윤창원 교수 (POSTECH, 2021.11.04.), “Chemical Hydrogen Storage Technology for High Capacity and Long Distance Transportation”
  - 박상후 박사 (Korea Institute for Fusion Energy, 2021.11.11.), “Introduction to Atmospheric-Pressure Plasma from Characterization to Application”
  - 김희경 박사 (KAERI, 2021.11.25.), “Chemical speciation and coordination structures of aqueous Am(III)-dicarboxylate complexes by using spectroscopies and DFT calculations”
  - 이동휘 교수 (전북대학교, 2021.12.09.), “Flow boiling heat transfer experiment for ATF (Accident Tolerant Fuel) cladding materials in low and high-pressure conditions”
  - 박병하 박사 (KAERI, 2021.12.16.), “Development and Trends in Solid Core Reactors: VHTR and HPR”
  - 이제환 박사 (KAERI, 2022.02.24.), “Introduction to SFR System”
  - 권순진 박사 (Korea Mine Rehabilitation & Mineral Resources Corporation, 2022.03.03.), “For understanding Future Strategic Industries, Upstream Value Chain of Uranium”
  - Prof. Hanwool Woo (The University of Tokyo, 2022.03.10.), “Utilization of Robot Technology for Fukushima



Decommissioning”

- Dr. Tatsuhiko Sato(Japan Atomic Energy Agency, 2022.03.17.), “Radiation environment in space and recent progresses on space weather research for cosmic-ray dosimetry”

- 권장순 박사 (KAERI, 2022.03.24.), “Nuclide Transport and Radiological Surveillance in a Subsurface Environment at Nuclear Facilities”

- Prof. Michael Corradini (University of Wisconsin-Madison, 2021.04.01.), “FUTURE OF NUCLEAR POWER – ADVANCED REACTORS”

- 나용수 교수 (서울대학교, 2022.04.07.), “Overview of Fusion Reactor Based on Tokamak Concept”

- 강홍식 박사 (포항가속기연구소, 2022.04.21.), “The brightest Light Source: X-ray Free Electron Laser”

- Dr. Ji-Gwang Hwang (Helmholtz Zentrum Berlin, 2022.04.28.), “Introduction to Beam Diagnostics for Light sources”

- 이경준 교수 (가천대학교 2022.05.12.), “Technology to secure safety of nuclear power plant using tribology technology”

- Prof. Takayuki SASAKI (KYOTO University, 2022.05.19.), “Radionuclide Solubility and Thermodynamics in Aqueous Systems”

- Prof. Su-Jong Yoon (Idaho National Laboratory, 2022.05.27.), “What do you think “A Research“ is? The things the graduate students have to know”

- 서지현 교수 (POSTECH, 2022.06.02.) “Cognitive Psychology: The Science of How We Think”

<융합연구 세미나 개최>

✓ 융합연구 문화조성과 연구자 간 교류 확대를 위한 런치타임 세미나를 2022년 3월 본 교육연구단에 서 총 4회 진행함.

- 조항진 교수(POSTECH, 2022.03.08.) “Micro-reactor for Future Energy: 미래 에너지 초소형 원자력 시스템”

- 조중욱 교수(POSTECH, 2022.03.15.) “금속 3D 프린팅을 활용한 원자력 재료 개발”

- 박종문 교수(POSTCH, 2022.03.22.) “Radionuclide Monitoring Through ‘The Mussel Watch Program’ Concept in the Sea of South Korea”

- 엄우용 교수(POSTECH, 2022.03.29.) “Is Nuclear Energy Green?”



• 최근 1년간(2021.9.1.~2022.8.31.) 전임교수 대학원 강의 실적

- 엄우용: 방사성폐기물 관리(전공필수), 원자로실험(전공선택), 고급방사성폐기물관리(전공선택), 미래 사회 첨단원자력입문(공통선택/공동강의)

- 배영: 원자력과 사회문제(공통필수), 원자력과 사회문제 캡스톤 디자인(전공선택), 미래사회 첨단원자력입문(공통선택/공동 강의)

- 유선철: 원자력안전-인공지능 융합심화(전공선택), 인공지능-로봇공학입문(전공필수), 미래사회 첨단 원자력입문(공통선택/공동강의), 범용 공학용 전산도구 실습(전공선택/공동강의)

- 윤건수: 플라즈마 및 빔 물리(전공필수), 미래사회 첨단원자력입문(공통선택/공동강의), 범용 공학용 전산도구 실습(전공선택/공동강의)

- 조중욱: Solidification, Structure & Properties of Slags & Glas
- 조항진: 원자력열수력학(전공필수), 이상유동(전공선택), 미래사회 첨단원자력입문(공통선택/공동강의), 범용 공학용 전산도구 실습(전공선택/공동강의)
- 허중: 비정질세라믹스(전공선택)

- 입학에서 졸업까지 체계적인 학사관리 제도 운영
- 유연한 입시제도 운영: (상시지원제도) 연중 상시모집으로 지원자가 입학 희망시기를 1학기 또는 2학기로 선택 가능하도록 운영해 옴.
- 지도교수 및 세부 전공선택: 입학 지원 시 희망 지도교수를 선택해오고 있으며, 지도교수의 지도와 상담을 통해 연구 주제를 정하여 세부 전공선택을 확정하고 있음. 각 연구실의 연구소개 및 성과 확산 발표를 연 1~2회정도(2021.12.1/ 2022.2.17) 실시해 옴으로써 연구실 정착 및 세부 전공선택에 도움을 주고 있음.
- 엄정성 및 우수성 확보를 위한 학위수여 요건 실시: 학위논문 영문작성 의무화로 최근 1년간 학위논문 17편(박사 11편, 석사 6편)을 100% 영어로 작성하였고, 박사학위자 경우 학과 및 대학에서 인정하는 국제학술지에 1편 이상 논문을 주저자로 게재해야만 학위수여가 가능하도록 하고 있음.

- 강의평가 실적
- 학생들의 적극적인 강의평가를 유도하기 위하여 기말고사 실시 후 전산입력을 통한 강의평가에 참여해야만 학생들이 자신의 성적을 조회할 수 있도록 강의평가 시스템을 운영하고 있음. 강의평가 결과는 수요자 중심교육의 일환으로 학생들이 수강신청 시 해당 교과목에 대한 수강 결정의 참고자료로 활용 할 수 있도록 그 결과를 공개하고 있음.
- 강의평가 결과: 5점 만점을 기준으로 2021년 2학기 및 2022년 1학기 모두 평균 4.78로 대학원 전체 평균보다 월등하게 우수한 평가를 받고 있음.
  - 대학원 개설과목 강의평가 평균

구분	2021-2학기	2022-1학기
대학원 전체	4.72	4.66
첨단원자력공학부	<b>4.78</b>	<b>4.78</b>

- 강의평가 환류: 강의평가 결과는 해당 교과목의 수업 내용과 강의 방법 개선 등에 적극 활용되고 있으며, 매년 실시하는 교수 업적평가와 교수 승진 심사에 반영함으로써 교육의 질적 향상과 학생들의 수업 선택권 보장에 기여하고 있음.

- 전문분야 영어 논문작성법 강의 지원 실적
- 글로벌 인재양성을 위하여 본교의 어학센터(POSTECH Language Education Center)를 활용하여 영작문, 영어 논문 작성 등에 대한 영어 수업을 수강토록 장려하였음. 어학센터의 원어민 전문 교수들로부터 전문분야 영어논문/발표 역량 강화를 위한 공학적 전문지식 및 공학 분야의 논문 작성법에 대한 교육에 다음과 같이 참여하였음.
  - . 2021-2학기 어학센터 수강 실적: 대학원생을 위한 영어논문발표연습 등/ 김경태(석사과정), 황돈관(통합과정) 등 8명

- 글로벌 수준의 연구윤리 확보를 위한 교육 실시
- 매 학기 학교차원에서 대학원 신입생 오리엔테이션 시 연구윤리 교육이 실시되고 있는데 최근 1년간은 코로나 상황으로 온라인 교육으로 실시되었음. 교육 후 ‘포항공과대학교 대학원 윤리서약서’를 직접 쓰고 서명하게 함으로써 연구윤리 준수 의식을 꾸준히 강조해오고 있음. 또한, 외부 강사가 실시한

교원 대상 연구윤리 교육과 연구수행 중의 연구윤리(출판윤리) 교육이 있었음.

- 본 교육연구단 차원에서는 매 학기 실시하는 학과 신입생 오리엔테이션 중에 윤리강령을 꾸준히 교육하고 있음.
- 교내외 학과 간 공동 교과목 개발 실적
- 본 학부와 융합연구가 가능한 학과에 관련 교과목을 적극적으로 오픈한 결과, 본 사업단의 교과목을 수강하는 학과가 늘어나고 있는 추세임. 대표적인 교과목은 아래와 같음.
  - .열전달물리학(기계공학과, 물리과, 신소재공학과, 전자전기공학과, 철강에너지소재학과, 첨단재료과 학부, 화학공학과, 화학과)
  - .미래사회첨단원자력입문(기계공학과)
  - .원자력열수력학(기계공학과)
  - .범용 공학용 전산도구 실습(기계공학과)
  - .인공지능-로봇공학입문(전자전기공학과)
  - .원자력과 사회문제(소셜데이터사이언스 전공)
  - .원자력과 사회문제 캡스톤 디자인(기계공학과)
- 향후 추진계획  
 지속적인 융합교육과정 개발을 통한 전문인력 양성을 목표로 인문사회학과 공학이 융합된 학제간 교육과정 유지와 대면 및 비대면을 통한 우수 해외학자 초청 및 국제교류로 교육의 질적 국제화를 추진코자 함.

## 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)	2021년 2학기	13	20	13	46
	2022년 1학기	12	23	12	47
	계	25	43	25	93
배출 (졸업생)	2021년 2학기	3	1		4
	2022년 1학기	2	4		6
	계	5	5		10

### 2.2 교육연구단의 우수 대학원생 확보 및 지원 계획

#### <계획>

- 각종 홍보 행사를 통한 우수대학원생 확보
- 원자력 사회문제 해결에 앞장 설 우수 인재 확보를 위해 대학원생에게 지원프로그램 확장

#### <실적>

##### 1. 각종 홍보 행사를 통한 우수대학원생 확보 실적

- 우수 대학원생 유치
- ✓ 상시 Open lab. 연구참여 프로그램 등과 대학원생에게 독립적인 교육자이자 연구자로서의 환경 제공으로 지난 1년간 총 19명의 신입생을 유치하였음.
  - 2021-2학기와 2022-1학기 특성화 세부전공별 입학인원
    - [원자력안전] 등 석사과정 4명, 등 박사과정 3명, 등 통합과정 2명
    - [원자력환경] 등 석사과정 3명, 등 박사과정 3명
    - [플라즈마 및 가속기] 석사과정 1명, 등 박사과정 3명
- ✓ 우수 학생 확보를 위한 교육연구단 차원의 노력으로 신입생 대상 우수 학생 포상 제도를 2022학년도부터 적용하도록 신설함.
- 상시 Open-lab. 프로그램 실시
- ✓ 기존 하계/동계 방학 기간 중에만 운영하던 Open-lab.을 상시적으로 개최함에 따라 일정에 구애받지 않고 참석할 수 있도록 편의성을 도모하고자 했으나, 코로나-19 상황으로 총 1회(2022.4.2) 2명이 참가한 오픈랩을 실시하였음.
- 대학원 설명회
- ✓ 코로나-19 상황으로 온라인을 통해 대상기간 중 학과차원의 총 2회 대학원 설명회를 실시하였음.
  - . 2021.09.28. 부산대, 전북대, 충남대, 전남대, 건양대, Nagoya Univ. GH Raisonni College, PIEAS, IMT Atlantique 등 9명 참석 → 설명회 참석자 중 6명이 전형에 응시하여 3명이 합격함
  - . 2022.03.25. POSTECH, 경희대, 인제대, 서강대, 전북대, Nazarbayev Univ, PIEAS 등 8명 참석 → 설명회 참석자 중 5명이 전형에 지원하여 모두 합격함
- 연구참여 프로그램(타 대학 대상)
- ✓ 타 대학 재학생이 본 대학원에서 연구 참여를 원하는 경우 희망 연구실과 연결하여 대학원 생활 및 연구 경험을 할 수 있도록 유연하게 운영함. → 서강대학교 이요한 학생이 2021년 8월부터 2022년 1월까지 조항진 교수 연구실에서 연구참여 후 2022-1학기 입학함.
- 해외 우수인재 및 산업체 종사자 관련 홍보
- ✓ 해외 학생 유치 및 확보 실적
 

본 교육연구단에서 박사학위를 취득한 외국인 학생들이 본국으로 돌아가 한국에서 습득한 지식을 토대로 대학 및 연구소에서 후진 양성에 도움이 되도록 교육하고 있으며, 이들 기관과의 교류를 통해 우수 외국인 학생 유치를 기하고 있음.

  - ▶ 지난 1년간 해외 학생 유치 현황은 다음과 같음.
    - 2021-2학기 입학: 유럽 폴란드 상위권 대학인 Warsaw University of Technology에서 석사 졸업한 Global Korea Scholarship(GKS) 정부초청장학제도 장학생 (인도네시아), 튀르키예 정부의 원자력 국가장학생 (중국)
    - 2022-1학기 입학: 튀르키예 정부의 원자력 국가장학생 Halil Akin Cezayirli
    - 상기와 같이 지난 1년간 신규 입학한 학생 외에도 튀르키예 정부의 원자력 국가 장학생인 (필리핀), (말레이시아), (파키스탄), (이란) 등의 학생이 참여하였음.
- ✓ 원자력 유관 기관의 전문가들을 초빙 시 산업체 종사자들의 학위 취득을 위한 진학 방안에 대하여

홍보해 오고 있음.

<대상기간 중 산업체 종사자 입학현황>

- . 한국원자력환경공단: (석사과정), 2021-2학기
- . 한국원자력연구원: (박사과정), 2022-1학기

## 2. 우수 대학원생 지원 실적

- 대학원생 전원 장학금 지원 및 연구 활동 지원
- ✓ 대학원생 전원에게 매월 등록금 및 일정 금액의 생활비를 장학금으로 지급하여 대학원생들이 학업과 연구에 전념할 수 있도록 안정적인 처우를 보장하고 있음.
- ✓ 2022년 기준 매월 석사과정은 1,380.5천원, 통합 및 박사과정은 1,857천원을 기본으로 개인의 연구역량 및 프로젝트 참여율에 따라 추가생활비를 지급하고 있음.
- ✓ 또한, 논문 출판을 위한 비용을 적극 지원하고 있으며, 논문교정료 및 게재료 지원을 총 17편에 9,492천원이 지원되었음.
- ✓ 외국인 대학원생 대상 FA(Foreigner Assistant) 조교 운영: 연구실 내에서 임의로 이뤄지는 외국인 지원활동에 대한 내국인 대학원생 부담경감 및 지원업무를 체계화하고, 외국인 대학원생의 정착 및 연구수행 시 어학, 문화, 시스템 등의 이해도가 낮은 부분에 대한 지원을 명확화 하고자 2021학년도부터 신설하여 운영하고 있음.
  - . 2021-2학기 FA 조교 선정: (석사과정), (석사과정), (통합과정, 기계)
  - . 2022-1학기 FA 조교 선정: (석사과정), (석사과정)
- ✓ 대학원생 통합재정지원제도(RA/TA) 강화: 대학원생들이 학업과 연구에 전념할 수 있도록 학교가 책임지고 안정적인 처우를 보장하고자 ‘대학원생 통합재정지원 제도’를 강화하여 RA/TA를 선발하여 지원함.
  - . 2021-2학기 TA/RA 선정: (박사과정), (박사과정)
  - . 2022-1학기 TA/RA 선정: (박사과정), (박사과정)
- ✓ 대학원 학생회장 장학금 지급: 학생회 활동으로 대학원생의 건강하고 지속적인 연구 활동을 위하여 건의사항 등을 적극적으로 수용하고 발전하는 연구 환경 개선에 목적을 두며, 학업 및 연구성과의 능력향상을 기대함. 첨단원자력공학부 대학원생을 대표하여 학생회 활동을 운영하는 학생회장에게 별도의 장학금을 지급하였음.
  - . 2021학년도 ~ 2022학년도 (박사과정)
- 대학원생에게 독립적인 교육자이자 연구자로서의 환경 제공
- ✓ 본 교육연구단에서는 박사과정 2년차 이상의 학생은 지도교수와 협의 및 학과 교과운영회 회의 심의를 거친 후, 포스텍의 ‘학문후속세대’로서 강의 기회를 제공하기로 함에 따라, 학생의 학습권을 보장하기 위하여 ‘학문후속세대’ 강의 자격을 일정 이상으로 부여하고 전임교원의 지도하에 공동강의 형태로 개설하여 질적으로도 좋은 수업이 학생들에게 제공될 수 있도록 지원 운영하였음.
  - . 2021-2학기 학문후속세대 담당 강의 실적: <범용 공학용 전산도구 실습, 3학점>, (통합과정), (통합과정), (통합과정)
- 해외 우수 기관들과 공동 교육 프로그램 개발 및 지원
- ✓ 본 학부에서는 소속 대학원생들에게 다양한 교육기회를 제공하고 국제적인 연구역량을 배양하기 위하여 국내 뿐만 아니라 해외 우수 기관들과 공동 교육 프로그램을 기획·지원 하고 있음.
- ✓ 미국 PNNL (Pacific Northwest National Laboratory), 영국 University of Sheffield, 일본 University of

- Tokyo 등과의 공동 교육 프로그램은 COVID-19 상황으로 인해 직접적인 인적 대면 교류가 어려웠기 때문에 비대면으로 교육 프로그램을 논의하고, 공동 연구 및 실험을 진행하였음.
- ✓ 미국 Utah State Univ.의 지정영 교수가 2021년 12월초 1주간의 방문기간 동안 고밀도 플라즈마에서 적용 가능한 이론 연구지도를 수행하였음.
  - ✓ 미국 PNNL(Pacific Northwest National Laboratory)의 Malsoon Lee 박사가 2021년 10월 초순부터 약 2달간 방문하여 공동 연구 및 CP2K 프로그램 사용법 및 데이터 해석 교육 등 연구지도를 수행하였음.
  - 교내 교육프로그램 활용
  - ✓ 대학원생들의 영어 논문 작성 및 발표 능력 향상을 위하여 본교 어학센터(POSTECH Language Education Center)를 활용하여 영어 논문 작성법 등의 영어 관련 수업들에 소속 대학원생의 참석을 유도함으로써 글로벌 인재로서 갖추어야 할 적합한 소양을 갖추도록 운영하고 있음. 2022학년도 부터는 대학원 공통과목으로 대학에서 제공하고 본 학과에서도 자유선택 과목으로 인정하고 있음.
    - . 2021-2학기 어학센터 수강 실적: 대학원생을 위한 영어논문발표연습 등/ (석사과정), (통합과정) 등 8명
  - 연구에 전념할 수 있는 주거 환경 제공
  - ✓ 포항공과대학교는 개교 이래 모든 학부 및 대학원생 전원이 기숙사에 거주할 수 있도록 지원하고 있어서, 학생이 주거문제에 얽매이지 않고 교육과 연구에 전념할 수 있는 환경이 갖추어져 있음. 특히, 기혼자인 대학원생을 배려하기 위해 기혼자 아파트를 함께 운영하고 있음.
  - ✓ 또한, 2021년에는 대학 시설 인프라 개선사업을 지속적으로 추진하여 대학원아파트를 1인실로 리모델링하여 새롭게 오픈한 ezse HAUS는 정주 여건을 크게 개선한 것으로 학생들의 만족도가 높음.

### 2.3 대학원생 학술활동 지원 계획

- <계획>
- 국내외 학술활동 참여 지원
  - 학술활동 참여를 통해 관련 연구 분야 전문가들과 인적 네트워크 조성 및 공동 연구 참여 기회 확보
  - 산업기술 습득 및 연구 활동 지원 강화
- <실적>
- 국내외 학술활동 참여 지원
    - ▶ 국내 학회 참석 (총 8건, 36명 지원)
      - (박사과정) 외 2명: 2021 추계 지질과학연합학술대회 참석 및 발표(2021.10.26-10.28.)
      - (통합과정) 외 1명: 2021 대한기계학회 추계 학술대회 참석 및 발표(2021.11.03.-11.06.)
      - (박사과정): 2021 추계 한국콘크리트학회 참석(2021.11.03.-11.05.)
      - (통합과정) 외 15명: 2021 추계 한국방사성폐기물학회 참석 및 발표(2021.11.17.-11.19.)
      - (박사과정): 2022 한국진공학회 동계 정기 학술대회 참석(2022.02.15.-02.18.)
      - (석사과정) 외 5명: 2022 한국원자력연차대회 참석(2022.04.27.)
      - (박사과정) 외 3명: 2022 춘계 한국원자력학회 학술발표회 참석 및 발표(2022.05.18.-05.20.)
      - (석사과정) 외 2명: 2022 춘계 한국방사성폐기물학회 참석 및 발표(2022.05.25.-05.27.)

▶ 국외 학회 참석 (총 5건, 8명 지원)

- (통합과정) 외 2명: 22021 ANS WINTER MEETING AND TECHNOLOGY EXPO(2021.11.29.-12.06.)
- (박사과정) 외 1명: WM2022 Conference 발표(2022.03.04.-03.12)
- (통합과정) 19th International Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermal Hydraulics (NURETH-19) 온라인 발표(2022.03.06.-03.11.)
- (박사과정) INTERNATIONAL CONFERENCE OF PLASMA SCIENCE(ICOPS) 발표 (2022.05.19.-05.29.)
- (박사과정): 13TH INTERNATIONAL PARTICLE ACCELERATOR CONFERENCE 발표 (2022.06.12.-06.18)

▶ 워크숍 참석 (총 5건, 16명 지원)

- (석사과정) 외 1명: (APCTP WORKSHOP) FRONTIERS ON PLASMA PHYSICS: DIAGNOSTICS AND MODELING(2021.12.09.-12.11.)
- (박사과정) 외 1명: 한국수력원자력 WORKSHOP(2021.12.16)
- (통합과정) 외 2명: 한국원자력안전기술원, 2022 NUSTEP MEETING(2022.07.05.-07.06.)
- (통합과정) 외 5명: 한국원자력연구원, 피동안전계통 기술혁신 WORKSHOP(2022.07.08.)
- (석사과정) 외 2명: 포항가속기연구소, 13회 PAL 여름학교(2022.08.02.-08.03.)

▶ 국내 타 기관 교육 지원 (총 8건, 32명 지원)

- (통합과정) 외 1명: 데이터전문가과정 - 라이다 센서과정 교육(SOS Lab, 2021.11.20.-11.21.)
- (박사과정) 외 1명: 방사성핵종 분석교육(알엠텍, 2021.12.16.-12.17.)
- (통합과정) 외 3명: 사용후핵연료 처분시스템 SAFETY CASE 교육(한국원자력연구원, 2022.03.21.-03.24)
- (석사과정) 외 6명: 2022년도 원자력시설 해체교육(한국원자력연구원, 2022.06.26.-06.30.)
- (통합과정): SPACE and PAPIRUS Tutoring Program 교육(한국수력원자력, 2022.07.18.-07.21.)
- (통합과정) 외 1명: Laser Ablation 분석 기술 활용 세미나(한국암석학회, 2022.07.19.-07.20.)
- (석사과정) 외 1명: 8th Powder Crystallography Tutorial(한국방사광이용자협회, 2022.08.17.-08.18.)
- (박사과정) 외 11명: 경희대학교 원자로실험 단기교육과정(경희대 원자로센터, 2022.08.16.-08.19.)

• 학술활동 참여를 통해 관련 연구 분야 전문가들과 인적 네트워크 조성 및 공동 연구 참여 기회 확보/ 산업기술 습득 및 연구 활동 지원 강화

- (석사과정), : 원전 해체 방사성폐기물 포장, 운반, 처분용기 개발과제를 통해서 원자력환경공단, 원자력연구원, 코넥스 참여 연구원들과 공동연구 진행 (2020.01.01.- 현재)
- (석사과정), (석사과정): 영국의 Sheffield 대학의 연구진들과 원전운영 시 발생하는 C-14으로 오염된 폐수지 처리 및 고화에 관한 공동연구를 통한 인적 네트워크 조성 및 국제적인 선도기술 확보 (2020.04.01.-2022.03.31.)
- : 원자력연구원, GIST, 강원대학교 연구진들과 같이 “원전해체 시 발생하는 콘크리트 및 토양 폐기물 처리 기술 개발” 공동연구 진행 (2020.01.- 현재)
- : 원자력연구원과 같이 “벤토나이트 표면개질을 통한 기능 향상된 인공방벽물질 개발” 공동연구 진행 (2021.04.15.- 현재)

-	(석사과정), : 원자력연구원 연구진과 같이 “다양한 처분환경에서의 비방사성 오염물질의 수착, 확산, 용해도 특성 평가” 와 관련된 공동연구 진행 (2021.04.22.- 현재)
-	: 한국원자력연구원 연구진과 “초임계 CO2 발전시스템을 위한 신개념 유로형상 PCHE 기초설계 및 모듈 시스템 기술 개발“ 에 관한 연구 진행 (2020.08.-현재)
-	: 한국산업기술연구원과 “고효율 tube insert 열전달 성능 시험“ 에 관한 공동연구 진행 (2021.09.-2021.10.)
-	: 현대자동차 연구진과 “연료전지 셀 요소부품의 설계 최적화를 위한 X-ray 가시화 기법 개발“ 에 관한 공동연구 수행 (2021.04.-2022.04.)
-	: 한국생산기술연구원, 한국산업기술시험원, 인하대학교 등 8개 기관 연구진들과 “중저온 산업폐열 이용 하이브리드 발전시스템 개발 및 실증“ 에 관한 연구 수행 (2022.04.-현재)
-	: 한양대학교, 인하대학교, 국민대학교, 경상대학교, 고려대학교 및 공주대학교의 6개 학교 연구진들과 함께 “헤테로제닉 금속적층제조 소재부품 연구센터“ 과제 수행 (2022.06.-현재)
-	: 한국원자력연구원 연구진들과 “디버터 열속 처리 기술 개발“ 연구 수행 (2017.09.-2021.12.)
-	: 한국핵융합에너지연구원과 “실증로 디버터의 냉각 성능 향상 연구“ 공동연구 수행 (2022.02.-2022.11.)
-	: 한국과학기술원, 한국원자력연구원과 “실증로급 디버터 형상 특성 조건을 반영한 냉각 기술 개발 및 성능 검증“에 관한 공동연구 수행 (2022.05.-2026.12.)

#### 2.4 참여대학원생의 취(창)업의 질적 우수성

〈표 2-2〉 2021년 8월 및 2022년 2월 졸업한 교육연구단 소속 학과(부) 참여대학원생 취(창)업률 실적(단위: 명, %)

구 분	졸업 및 취(창)업현황 (단위: 명, %)						취창업률% (D/C)×100
	졸업자 (G)	비취업자(B)			취(창)업대상자 (C=G-B)	취(창)업자 (D)	
		진학자		입대자			
		국내	국외				
2021년 8월 졸업자	석사	3	2	-	-	1	100
	박사	1	X		-	1	
2022년 2월 졸업자	석사	2	2	-	-	-	100
	박사	4	X		-	4	

<p>〈실적〉</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 취업 실적</li> <li>✓ 본 학부는 2010년 12월에 설립되어 2013년 2월부터 첫 졸업생을 배출하기 시작하여, 짧은 역사를 가진 대학원임에도 불구하고 매년 취업률 100%를 기록하고 있음.</li> <li>✓ 대상기간 (2021년 8월, 2022년 2월 졸업)내 본 학과의 졸업생은 석사 6명, 박사 9명이며, 이 중 참여대학원생으로서 졸업생은 석사 5명, 박사 5명임. 참여대학원생으로서 석사학위 5명 중 취업대상자 1명(전*성)은 삼성전자로 취업하였고, 3명(김*주, 안*영, 김*태)은 본 학부의 박사과정으로, 다른 1명(이*민)은 타 대학(서울대)으로 진학하였음. 참여대학원생으로서 박사학위 취업대상자 5명 중 1명(이*욱)은 본교 박사후연구원으로, 다른 4명(이*모, 김*균, 표*영, Aa*ir)은 삼성전자 생산기술연구소, 한국원자력연구원, Pakistan Atomic Energy Commission으로 취업 완료하였음.</li> <li>✓ 또한, 본 학부 2022년 8월 졸업생(석사 3명, 박사 3명) 중 참여대학원생으로서 석사학위 취업대상자 1명(Ca*lo)은 Belgium에 위치한 Center for Microbial Ecology and Technology에 연구원으로 취업하</li> </ul>
---



고, 1명(Ce\*da)은 본 학부의 박사과정으로 진학하였음. 참여대학원생으로서 박사학위 취업대상자 2명(강\*혁, 김\*형)은 본교 박사후연구원으로 취업하였음.

• 졸업자의 대표적 취(창)업 사례 및 취업기관의 전공적합성

. (2021년 8월, 통합과정 졸업, 첨단원자력공학부 박사후연구원으로 취업): 박사는 박사학위 과정 중 핵융합 플라즈마 파동역학의 이론해석 및 전산모사에 관한 연구를 수행하였음. 학위를 마친 후 본교 윤건수 교수 연구실에서 박사후연구원으로 취업하여, 플라즈마 파동역학 모델 확장 및 응용 연구를 계속하여 수행하고 있음. 또한, 우수한 연구 성과를 바탕으로 한국수자력연구원 지원 “미래 핵융합분야 선도를 위한 인력 양성 프로그램”의 박사후연구원 펠로우십에 선정되었음.

. (2022년 2월, 통합과정 졸업, 한국원자력연구원 취업): 박사는 박사학위 과정 중 유리 및 인산 마그네슘 시멘트를 이용한 방사성 폐기물의 고정화 연구로 학위를 받고, 학위 과정 동안 폐수지로부터의 14C처리 및 안정화 기술 개발 등 관련 연구에 참여하고 한국원자력연구원에 선임 연구원으로 취업하였음.

3. 참여대학원생 연구실적의 우수성

① 참여대학원생 저명학술지 논문의 우수성

<실적>

- 참여대학원생 국제저명학술지 논문 게재 실적
- ✓ 지난 1년간 국제저명학술지에 총 15편(IF 합계: 88.292)의 논문을 게재하였음.
- ✓ 총 15편의 게재 논문에서 2021년 게재지의 JCR 기준 상위 Q1 value급에 10편 (Chemical Engineering Journal, J. of Hazardous Materials, Energy, Nuclear Fusion, J. of Environmental Chemical Engineering 등), Q2 value급에 2편 (RSC Advances 등), 그 외 전문 관련 분야의 문제 해결을 제안한 논문 3편 등 총 SCI급 15편 중 12편의 논문(80%)을 Q2 이상 value급 저널에 게재함으로써 비교적 질적으로 우수한 평가를 내릴 수 있음.
- 대표적인 참여대학원생 국제저명학술지 게재 논문 (2021년 JCR 기준 IF 우수 논문 3편 선정)
  - . “Removal of iodine (I-and IO3-) from aqueous solutions using CoAl and NiAl layered double hydroxides”, Chemical Engineering Journal, 2022.02., (IF: 16.744)
  - . “Development of geopolymers waste form for immobilization of radioactive borate waste”, Journal of Hazardous Materials, 2021.10., (IF: 14.224)
  - . “Cycle analysis and economic evaluation for seawater-LNG Organic Rankine Cycles”, Energy, 2021.11., (IF: 8.857)

② 참여대학원생 학술대회 대표실적의 우수성

<실적>

- 참여대학원생 학술대회 발표 실적
- ✓ 지난 1년간 국내 11편, 국외 6편, 총 17편의 논문을 발표함. 이 중 우수논문 발표상은 다음과 같음.
  - . (박사과정): 한국원자력학회 (2021 추계 학술발표회)
  - 제목: Structural Evolution of Phosphate-Based Geopolymer Waste Forms to Immobilize Radioactive Borate Waste
  - 수여일자: 2022년 5월 19일

- ✓ 이외에도 한국원자력협력재단에서 실시한 G-NIUS 원자력 글로벌 아이디어 제안전에서 아래와 같은 성과가 있었음.
  - . (박사과정): G-NIUS 원자력 글로벌 아이디어 제안전 대상
  - . (박사과정): G-NIUS 원자력 글로벌 아이디어 제안전 최우수상
- ✓ 2021년 8월 졸업한 박사가 2022년도 한국물리학회의 <플라스마물리학 신진과학자상>에 선정되었음. 이 상은 플라스마물리학과 회원으로서 국내외 저명 학술지에 우수한 논문을 발표하였거나 우수한 학위논문을 집필하는 등 연구업적이 탁월하여 앞으로 한국 플라스마 및 가속기물리학 분야의 발전에 크게 기여할 것이라 기대되는 신진연구자로서 추천마감일을 기준으로 석·박사 학위과정 중이거나 박사학위를 받은 지 5년이 넘지 않은 자에게 수여하는 것임.

### ③ 참여대학원생 특허, 기술이전, 창업 실적의 우수성

<실적>

- 참여대학원생 특허, 기술이전, 창업 실적
- ✓ 지난 1년간 국내 특허 출원 7건, 해외 특허 출원 1건, 국내 특허 등록 2건이 있었고 내역은 다음과 같음.
  - 참여대학원생의 특허 출원 실적

구분	출원일자	발명명칭	발명자
국내 특허	2022-05-26	층상이중수산화물로 개질된 벤토나이트로 구성된 완충재 및 이의 제조방법	
국내 특허	2022-03-31	직각 공진 전극을 구비한 플라스마 발생기 및 이를 이용한 수소 제조 방법	
국내 특허	2021-11-25	모의 표면오염 콘크리트 시료 제조방법	
국내 특허	2021-12-28	멀티스케일 구조 설계를 통한 증진된 열전달 성능을 가지는 사각구조의 디버터 플라스마 대면체	
국내 특허	2021-12-17	이중 고주파수에 의해 확장된 플라스마를 이용한 화학반응 활성화 장치 및 방법	
국내 특허	2021-11-08	고 큐 인자 실시간 임피던스 매칭이 가능한 공진기	
국내 특허	2022-08-03	EGME와 동결-해동 과정을 이용한 세슘으로 오염된 점토광물에서의 세슘 제거방법	
해외 특허	2022-02-04	수소 동위원소에 대한 차별적 결합 특성을 갖는 수소 동위원소 흡착제, 이의 제조방법 및 이를 이용한 수소 동위원소 분리방법	

- 참여대학원생의 특허 등록 실적

구분	등록일자	발명명칭	발명자
국내 특허	2022-03-11	붕소가 포함된 방사성 폐기물 고화방법 및 이에 따른 방사성 폐기물 고화체	
국내 특허	2021-12-17	프러시안 블루로 코팅된 층상이중수산화물로 구성된 방사성물질 흡착제 및 이의 제조방법	

#### 4. 신진연구인력 현황 및 실적

##### <계획>

- 국내·외 우수 기관의 관련 분야 연구자들의 인력풀을 관리하고, 적극적인 리쿠리팅과 본인의 역량을 성장시킬 수 있는 교육/연구 환경을 제공하여 우수인력을 확보하고자 함.
- 안정적 학술 및 연구 활동을 수행할 수 있도록 공동지도교수 시스템을 활용하여 학생 지도 및 독립적인 연구 지원 환경 제공하고자 함.

##### <실적>

###### 1. 우수 신진연구인력 확보 실적

- 지난 1년간 1명의 연구교수와 2명의 박사후연구원을 신규로 확보하여 원자력안전, 플라즈마 물리, 사회융합 등의 연구분야에서 신진연구인력으로 활동하였음.

###### · 연구교수:

- 연구과제 수행: 원자력 발전소 운영 시 발생하는 방사성 폐기물 처리 기술 개발, 폐수지로부터의 14C 처리 및 안정화 기술 개발, 제염 폐기물 세라미크리트 고형화 등 3건의 독자 및 공동 연구
- 학술활동: J. of Korean Ceramic Society(IF: 2.506) 기타저자로 1편 게재

###### · 박사후연구원 및 연구조교수:

- 연구과제 수행: 3차원적 뇌혈관 모델 및 유동실험을 이용한 뇌경색 원인 분석, 디버터 열속처리 기술 개발, 고성능 휴대용전자기기 냉각을 위한 박판형 증기챔버의 성능증진 등 3건의 연구 진행
- 학술활동: International Journal of Heat and Mass Transfer(IF: 5.431), ACS Applied Materials & Interfaces(IF: 10.383), APPLIED THERMAL ENGINEERING(IF: 6.465) 주저자로 3편, 기타저자로 1편 등 SCI급 저널에 총 4편 게재

###### · 박사후연구원:

- 연구과제 수행: 다양한 환경조건에서의 휘발성 요오드 거동 특성 연구, 원전해체 방사성폐기물 포장, 운반, 저장 용기 개발 등 2건의 연구과제 참여
- 학술활동: Chemosphere(IF: 8.943), Environmental Advances 등 SCI급 저널에 기타저자로 3편 게재, 국내 학술회의 1편

###### · 박사후연구원:

- 연구과제 수행: 클러스터가 포함된 초임계 유체에서의 강결합 플라즈마 등 2건의 연구과제 참여
- 학술활동: Plasma Physics and Controlled Fusion(IF: 2.532) SCI급 저널에 주저자로 1편 게재, 국외 학술회의 1편

###### · 박사후연구원:

- 연구과제 수행: 원전 수용성 제고를 위한 지역협력 방안 연구 등 3건의 연구과제 참여
- 학술활동: Korea Observer(IF: 0.286), Sage Open(IF: 2.032), Contemporary Politics(IF: 1.699) SSCI급 저널에 주저자로 총 3편 게재, 국내 학술회의 2편, 국외 학술회의 3편

###### 2. 우수 신진연구인력 지원 실적

- 신진연구인력들에게 본인 연구에 매진할 수 있도록 충분한 실험실 공간을 제공하며, 자립적인 연구 환경을 제공하였음.

- 포스텍 대학 전체 차원에서 진행하는 학문후속세대 (박사후연구원 및 박사/통합과정생)의 강의 개설 지원 프로그램을 본 교육연구단의 교과과정에 맞게 적용하여, 신진연구인력의 교육역량 강화 및 경력 개발의 기회로 제공하고 있음.
  - . 2021-2학기 학문후속세대 담당 강의 실적: <범용 공학용 전산도구 실습, 3학점>, (통합과정), (통합과정), (통합과정)

## 5. 참여교수의 교육역량 대표실적

### (1) 배영 교수

- 2021-2학기 <원자력과 사회문제 캡스톤디자인> 신규 개설: 원자력 관련 주요 이슈의 흐름과 내용을 살펴보고, 주요한 문제에 대해 해결방안을 모색하기 위한 교과목을 개발 개설함.
- 원자력 관련 기술 적용의 문제와 함께 사회적 합의가 필요한 사항에 대해 토론 및 협업을 통한 아이디어의 발굴과 실행 방안을 체계적으로 접근함. 2022-1학기에 개설한 <원자력과 사회문제>과의 효과적인 결합을 통해 관련 영역에 대한 전반적인 이해와 실질적 문제해결 방안 모색.

### (2) 엄우용 교수

- <방사성폐기물관리> 및 <고급방사성폐기물관리> 수업: 원자력발전소 운용 중 혹은 사고 시 발생할 수 있는 방사성폐기물에 대한 이해도를 향상시키며, 기본적인 선행/후행핵연료주기, 방사성폐기물 처리/처분, 방사성핵종 대상 고형화/고정화 방법, 방사성핵종 이동 등에 관한 학습을 함으로써 원자력환경에 관한 기초적인 실무 이해를 도움.
- <고급방사성폐기물관리> 수업을 통해서 보다 더 현장에 적용 가능한 방사성핵종의 표면흡착모델 개발 및 응용, 핵종의 거동특성 연구 등을 통해서 원자력시설에서의 핵종 거동 및 안정성 평가에 실제적으로 응용 가능한 모델링 학습 및 실습을 통한 원자력공학부 학생들의 실무 능력 향상.

### (3) 유선철 교수

- 미래사회 첨단원자력 입문에서 미래사회를 위한 첨단원자력 기술의 5개의 중점 분야 중 하나인 Robotics/AI의 응용을 실제 사례에 비추어 소개함으로써 로봇인공지능 부문의 융합적인 소양을 기를 수 있는 교과목을 운영하였음.
- 인공지능-로봇공학입문 및 범용 공학용 전산도구 실습에서 실제 원자력 공학에 응용되는 로봇 시스템과 로봇에 탑재되는 인공지능, 나아가 이러한 로봇 개발을 위해 활용되는 소프트웨어 툴 및 하드웨어 설계 소양을 연계하여 교육하였음.

### (4) 윤건수 교수

- <양자물리와 양자컴퓨팅 기초> K-MOOC 강좌 개발 및 개설: 양자물리학에 대한 이해는 현대 과학 및 공학 전 분야에서 중요함. 수학적 이론 위주의 교육으로 인하여 접근성이 낮았던 양자물리학을 흥미로운 발견의 과정 및 컴퓨팅 관점에서 설명하는 신규 과목을 개발함.

### (5) 조항진 교수

- 2021-2학기 사회융합 자유선택 과목인 ‘에너지시스템’ 수업 진행: 에너지 전반 기술에 대한 전공 이해를 높이고, 에너지 사회 이슈에 기술적 개선을 바탕으로 한 프로젝트 평가 진행
- 2021-2학기 학문후속세대양성 과목인 ‘범용 공학용전산도구 실습’ 수업 진행: 학문후속세대양성의 일환으로 대학원생과 박사후연구원 등 신진연구자들과 함께 대학원생들에게 필요한 공학 전산 툴을 다루는 실습 과목 기획 및 진행

- 2021-2학기 원자력안전 전공 트랙 필수과목인 ‘원자력열수리학’ 수업 진행: 원자력안전 전공 트랙 필수 과목으로 원자력 안전 및 전체 시스템 이해를 위해 필요한 내용 교육 진행
- 2022-1학기 원자력안전 전공 트랙 선택과목인 ‘이상유동’ 수업 진행: 원자력 사고 상황 등에서 빈번히 발생하는 2상의 열전달 및 물질 전달에 대한 전공 이해를 높이는 교육 진행
- 2022-1학기 공통 선택과목인 ‘미래사회첨단원자력입문’ 수업 진행: 원자력관련 사회 및 기술적 이슈에 대한 소개를 진행하고 ‘원자력안전’ / ‘원자력환경’ / ‘플라즈마 및 가속기’ / ‘인공지능 및 로봇 시스템’ / ‘사회융합’ 각 트랙을 선택하여 프로젝트 발표 평가를 수행함. 각 트랙에서 우수한 발표를 진행한 발표자에 대해서 KINGS(KEPCO International Nuclear Graduate School), UNIST, 부산대가 같이 교류하는 ‘KRUP(Knowledge Power-Up Project/ KIGNS, POSTECH, UNIST, and PNU) Challenge Expo’ 에서 발표하도록 추천하여 진행함.

## 6. 교육의 국제화 전략

### ① 교육 프로그램의 국제화 현황 및 계획

<p>&lt;계획&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 해외학자 정규 교과목 개설 및 운영</li> <li>• 해외 기관과 협력을 통한 summer/winter school 개설</li> <li>• International workshop과 연계한 단기 shortcourse 개발</li> <li>• 화상통화 플랫폼을 활용한 컨설팅 및 Webinar: International Colloquia 운영</li> <li>• 적극적인 외국인 학생 유치와 영어강의 및 영어 논문 작성 지원</li> </ul> <p>&lt;실적&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 해외학자 정규 교과목 개설 및 운영           <ul style="list-style-type: none"> <li>- 2022-1학기, Massoud Kavianiy 교수(Univ. Michigan-Ann Arbor), &lt;열전달 물리학, 3학점&gt; 수강생: 기계공학과, 신소재공학과, 전자전기공학과, 철강에너지소재학과, 화학공학과 등 70명</li> </ul> </li> <li>• 영어강의 및 전문분야 영어 논문작성법 강의 수강 실적</li> <li>✓ 본 학부에서는 개설된 모든 강의(2021-2학기 12과목, 2022-1학기 10과목)를 영어로 진행하였으며, 최근 1년간 학위논문 17편(박사 11편, 석사 6편)을 100% 영어로 작성함.</li> <li>✓ 글로벌 인재양성을 위하여 본교의 어학센터(POSTECH Language Education Center)를 활용하여 영작문, 영어 논문 작성 등에 대한 교육 프로그램을 수강토록 장려하였음. 어학센터의 원어민 전문 교수들로부터 전문분야 영어 논문/발표 역량 강화를 위한 공학적 전문지식 및 공학 분야의 논문 작성법에 대한 교육에 본 학과 대학원생이 다음과 같이 참여하였음. 2022학년도부터는 대학원 공통과목으로 대학 차원에서 정규교과로 제공하고 본 학과에서도 수강을 권장하고 있음.           <ul style="list-style-type: none"> <li>. 2021-2학기 어학센터 수강 실적: 대학원생을 위한 영어논문발표연습 등/ (석사과정), (통합과정) 등 8명</li> </ul> </li> <li>• 우수 외국인 유치 현황 및 계획           <p>본 교육연구단에서 박사학위를 취득한 외국인 학생들이 본국으로 돌아가 한국에서 습득한 지식을 토대로 대학 및 연구소에서 후진 양성에 도움이 되도록 교육하고 있으며, 이들 기관과의 교류를 통해 우수 외국인 학생 유치를 기하고 있음.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 지난 1년간 해외 학생 유치 현황은 다음과 같음.               <ul style="list-style-type: none"> <li>. 2021-2학기: 유럽 폴란드 상위권 대학인 Warsaw University of Technology에서 석사 졸업한</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>
---

Global Korea Scholarship(GKS) 정부초청장학제도 장학생 (인도네시아), 튀르키예 정부의 원자력 국가장학생 (중국)

. 2022-1학기: 튀르키예 정부의 원자력 국가장학생

• 해외학자 초청 세미나 현황

- Dr. Young Soo Park & Lawrence E. Boing (Argonne National Laboratory, 2021.09.10.), “Robotics and Remote Systems for D&D and Key Elements for Managing Decommissioning Projects”
- Dr. Shineyoung Kang (SEABORG Senior vice president, 2021.09.16.), “Seaborg CMSR Technology”
- Prof. Massoud Kaviany (University of Michigan, Ann Arbor, 2021.09.24.), “Atomic-level, Energy-conversion Heat Transfer”
- Prof. Hanwool Woo (The University of Tokyo, 2022.03.10.), “Utilization of Robot Technology for Fukushima Decommissioning”
- Dr. Tatsuhiko Sato(Japan Atomic Energy Agency, 2022.03.17.), “Radiation environment in space and recent progresses on space weather research for cosmic-ray dosimetry”
- Prof. Michael Corradini (University of Wisconsin-Madison, 2021.04.01.), “FUTURE OF NUCLEAR POWER – ADVANCED REACTORS”
- Dr. Ji-Gwang Hwang (Helmholtz Zentrum Berlin, 2022.04.28.), “Introduction to Beam Diagnostics for Light sources”
- Prof. Takayuki SASAKI (KYOTO University, 2022.05.19.), “Radionuclide Solubility and Thermodynamics in Aqueous Systems”
- Prof. Su-Jong Yoon (Idaho National Laboratory, 2022.05.27.), “What do you think “A Research“ is? The things the graduate students have to know”

**[1] 원자력안전 분야**

- Prof. Kaviany(Univ. Michigan-Ann Arbor) 2022-1학기, 열전달 물리학, 3학점의 정규 교과목을 개설하였으며, 기계공학과, 신소재공학과, 전자전기공학과, 철강에너지소재학과 등 70명의 수강생이 이수하였음.
- 중국 유수의 공대인 China University of Mining and Technology-Beijing에서 응축 현상을 연구하는 학생 선발
- Univ. Wisconsin-Madison과 원자력 관련 short course를 논의 중이나 코로나 팬데믹으로 인해 유예 상태

**[2] 원자력환경 분야**

(1) 미국 PNNL (Pacific Northwest National Laboratory)와의 교류

- 10-11/2021 동안 PNNL의 Dr. Malsoon Lee가 POSTECH에 방문하여 방사성요오드 핵종과 이중층상수산화물과의 반응기작 확인을 위한 ab initio molecular dynamics simulations 연구를 공동 진행함. 또한, 2022년 1학기 동안 지속적인 온라인 회의 및 연구토의를 통해서 지속적인 시뮬레이션에 관한 공동연구를 진행하고 있으며, 해당 연구 결과는 2022-2023 내에 논문으로 출판 예정임.
- 심층처분장 핵종거동 관련 연구에서 방사성 Tc를 사용하여 실제 처분장 환경 조건에서 수착/확산/용해도 실험을 진행하기 위해 PNNL과 공동 연구를 진행하였음. POSTECH에서 심층 처분장 환경을 모사한 산화 및 환원 환경과 다양한 환경(강염기/고온/염수 조건)의 합성지하수를 제조한 후 PNNL 측에서 방사성 Tc를 넣어 완충재와 암반에서의 수착/확산/용해도를 평가하였음. 또한, COVID-19 상황으로 지속적인 비대면 회의로 실험 결과를 공유하며 다양한 환경변화에 따른 Tc 핵종 거동 입력자

료를 구축하기 위하여 다년도 공동연구를 진행중.

(2) 영국 University of Sheffield와의 교류

- 당초 1년에 한 번씩 양쪽 기관을 방문하여 사용후레진 및 C-14 처리와 고화체 개발에 대한 인력양성을 위한 워크숍 및 단기강좌를 개최하여 지속적인 인적 교류를 계획하였으나, COVID-19 이슈로 인하여 직접적인 대면 교류는 어려웠고, 비대면 회의 및 전자메일로 교류하며 해당 Sheffield 대학 영국 연구진과 공동연구를 진행하였고, 연구 결과는 논문으로 출판됨 (Fenton and Fenton-like wet oxidation for degradation and destruction of organic radioactive wastes, *Nature partner journals Materials Degradation*, 5(1), 50).
- Sheffield 대학 영국 연구진과  $\text{SrCO}_3$ 를 고형화하는 고화체 및 Fenton 반응의 혼합 촉매에 관한 연구 내용을 지속적으로 교류하였으며, 2차년도에 진행한 Fenton-like 공정의 현장 적용성을 높이기 위해 비대면 회의를 진행함. 이를 바탕으로 Sulfate-radical을 이용한 PMS 기반의 고도산화공정 최적화 연구를 진행하여 공동으로 논문을 출판함 ( $\text{Co}_2^+$ /PMS based sulfate-radical treatment for effective minrealization of spent ion exchange resin, *Chemosphere*, 287(4), 132351).

(3) 말레이시아 UKM (National University of Malaysia)과의 교류

- 08/2021-07/2022 동안 말레이시아 UKM에서 온 박사과정 학생들과 함께 U-238, Co-60로 오염된 고분산성 방사성 오염물질 섭취에 따른 생체역동학 및 위험도 평가 모델 개발을 위한 오염물질 샘플을 준비함. IAEA-312 토양 및 U, Co로 오염된 콘크리트를 모의 제작한 뒤 샘플에 대한 특성을 FT-IR, XRD, SEM-EDS로 평가하고 U, Co의 농도를 ICP-MS로 확인한 결과 생체접근도 평가를 위한 시험에 적합하여, 향후 UBM 생체 외 분석(UBM *in vitro* method)을 진행해 생체접근도를 평가한 뒤 생체역동학적 모델 및 위험도 평가 모델을 개발할 예정임.
- 말레이시아와의 지속적인 공동연구를 통한 방사성폐기물 관리 연구도 논문으로 출판됨 (Characterization of phosphorylated natural rubber as thorium bio-adsorbent prepared by radiation-induced graft polymerization, *Radiation Physics and Chemistry*, 187, 109546).
- UKM 대학과의 지속적인 공동연구를 통한 방사선 영향 및 환경방사능 평가에 관한 연구를 진행하여 고분산성 방사성폐기물 흡입에 따른 인체영향 평가 및 생체역동학 모델 개발 연구를 진행함.

**[3] 미래융합-플라즈마 및 가속기분야**

(1) 영국 Warwick University와의 교류

- 코로나 팬데믹 상황으로 인하여 학생 교류가 중단된 상태임.
- 이메일 서신을 통하여 공동연구를 지속하였으며 공동연구 논문 1편을 게재함
- Reman et al., "First observation and interpretation of spontaneous collective radiation from fusion-born ions in a stellarator plasma", *Plasma Phys. Control. Fusion* 64 (2022) 085008

(2) 미국 Utah State University(USU)와의 교류

- USU 지정영 교수와 지속적으로 공동 연구, 공동 학위지도를 수행함.
- 플라즈마 동역학 관련한 공동연구의 성과를 바탕으로 논문 1편을 게재함. 본 논문은 이전 기간 성과를 (Lee MU et al., *Nuclear Fusion* 60 (2020) 126036) 확장한 결과임.
- Minuk Lee, Jeong-Young Ji\*, and Gunsu Yun\*, "Nonlinear harmonics coupled by parallel wave propagations in a time-dependent plasma flow", *Plasma Phys. Control. Fusion* 64 (2022) 055005
- USU 지정영 교수의 박사과정 지도학생인 학생이 본 연구실을 방문하여 (22년 8월) 고에너지 밀도 플라즈마에서의 Boltzmann collision을 이해하기 위한 분자동역학 전산모사 연구를 수행함.

(3) 미국 Lawrence Livermore National Laboratory(LLNL)와의 교류

- 코로나 팬데믹 상황으로 인하여 LLNL과의 고에너지 플라즈마 분야 연구 교류가 이루어지지 못하였음.
  - LLNL과의 교류를 대체하기 위하여 Max Planck-POSTECH 연구소의 Attosecond Science Center와 협력을 강화함.
  - 위와 같은 대체 교류를 통하여 초임계 유체를 이용한 강결합 플라즈마 생성에 대한 최초의 논문을 게재함. 이 논문은 지난번 대표 성과였던 초임계 유체에서의 상분리 현상 (Lee ST et al., Nature Commun. 12 (2021) 4630) 논문의 후속 연구 결과임.
- Seungtaek Lee, Juho Lee, Young Dae Yoon, Dong Eon Kim, and Gunsu Yun\*, "Characterization of strongly coupled plasmas produced in argon supercritical fluids", Plasma Phys. Control. Fusion 64 (2022) 095010

**[4] 첨단융합-인공지능 및 로봇시스템 분야**

(1) 일본 동경대(The University of Tokyo), JAEA와 교류

- 동경대, JAEA의 NEST Advanced remote technology and robotics for decommissioning (ARTERD) project를 통한 교류를 위하여 업무 협약을 갱신하고 첨단 원자력 로봇 관련 기술 교류 워크샵, 교육 프로그램을 논의함.
- 후쿠시마 원전해체 로봇 개발의 책임자이자 국제제어자동화학회(IFAC) 회장인 동경대 Asama Hajime 교수와 협업하여 원자력발전소와 같은 환경을 상정한 필드로봇/극한환경로봇을 운용한 경험을 공유함. 이를 바탕으로 원전 탐사를 위한 첨단 로봇시스템을 개발함.

(2) 미국 Argonne National laboratory(ANL) 교류

- 2021년 9월 10일, 미국 Argonne National Laboratory의 Dr. YoungSoo Park, Mr.Lawrence E. Boing을 초청하여 Robotics and remote systems for D&D and key elements for managing decommissioning project 등 원전 관리, 운용, 해체 전반에 활용되는 로봇틱스 기술을 다루는 강연을 실시함.
- 교육 프로그램의 국제화 향후 추진 계획  
위와 같은 세부분야에 대해 화상통화 플랫폼을 활용한 비대면 국제화 교육 프로그램을 운영하고자 함. 최종적으로 이는 대면/비대면 방식의 융합을 통해 보다 많은 전 세계 전문가들로부터 학생들이 교육을 받을 수 있는 기회를 제공하고자 함.

본 교육연구단은 전 세계 유수의 기관들과 인적 네트워크를 형성하고 있음. COVID-19로 해외 기관과의 교류가 어려웠으나 향후 해외 학자 및 외국인 연구원의 확대와 해외 우수인재 유치 활성화를 위한 리쿠리팅 및 지원 프로그램을 더욱 강화할 것임. 이를 바탕으로 적극적으로 우수한 학생을 리쿠리팅하고, 외국 학생들을 대상으로 1년에 1회 정도 Webinar 설명회도 가지고자 함. Webinar를 통하여 해외에서도 학생들이 관심분야 교수들에게 직접 설명도 듣고 본 교육연구단에 대해 이해도 높일 수 있는 기회가 될 것으로 기대함.

**② 참여대학원생 국제공동연구 현황과 계획**

**<계획>**

- 각 분야의 세계 우수 기관들과 형성한 네트워크를 통해 국제 공동연구 프로그램을 진행하고 대학원



생들의 internship 및 장/단기 해외 체류 및 연구 수행을 지원하고자 함.

### <실적>

- 본 교육연구단은 그 동안 해외 유수의 기관들과 활발한 인적교류, 공동 교육/연구프로그램을 통하여 원자력관련 이슈들에 대해 효과적으로 대응하고자 노력하여 옴. 특히, 관련 분야 중에 최고 해외 전문가들을 초청하여 초빙교수 혹은 객원교수의 지위를 부여하고 관련 유관분야의 전임교원과 희망하는 대학원생들에게 공동지도교수로 연구 지도를 할 수 있도록 시스템을 운영함. 이를 통하여 본 교육연구단 학생들은 국내에서도 세계 유수 기관의 연구흐름과 최고 전문가의 식견과 선진기법을 익히고 연구에 적용하여 볼 수 있었음. 공동지도교수가 아닌 경우에도 박사학위 심사에 본 교육연구단의 해외 학자들이 심사위원으로 참석하여 박사학위 논문의 질적 향상을 위한 지도를 할 수 있도록 운영함. 코로나 19로 대학원생의 장/단기 해외연수가 어려웠으나 해외 기관과의 ZOOM 등을 이용한 비대면 교류로 공동연구를 지속적으로 추진하였음.

### [1] 원자력안전 분야

#### (1) 미국 UW-Madison과의 교류

- 원자력 재료와 열수력을 결합한 안전 연구: 미국 UW-Madison 대학의 액체금속 및 초임계유체 열수력 실험 전문가인 Mark Anderson 교수팀과 본 학과의 박사과정 학생이 수송용 소형/초소형 원자로를 위한 통합형 고집적 열교환기 및 동력변환계통 설계를 위한 한-미 원자력국제공동연구(I-NERD)를 수행하고 있음. 미국 UW-Madison으로부터 히트파이프 원자로의 설계 정보, 정상운전 및 과도운전에 따른 히트파이프 성능 데이터를 제공받아 통합형 열교환기 및 원자로 동력변환계통 설계를 수행하였으며, 설계에 대한 예비 성능 평가를 수행함. 수행된 설계를 바탕으로 장치 제작 및 실험이 수행될 예정이며, 본 연구팀의 실험 연구 결과 및 UW-Madison에서 수행중인 고정밀 실험 결과를 바탕으로 히트파이프 통합형 열교환기 설계 및 분석 모델을 개발하여 초소형원자로 및 동력변환계통 설계에 필요한 연구를 수행할 예정임. 이를 위하여 정기적인 온라인 미팅과 워크숍을 진행하여 상호간의 활발한 연구 교류가 이루어지도록 할 계획임.

### [2] 원자력환경 분야

#### (1) 미국 PNNL (Pacific Northwest National Laboratory)와의 교류

- 방사성 Tc의 산화 환경조건에서의 용해도를 평가하기 위한 공동 연구를 진행하였으며, PNNL의 Drs. Guohui Wang, Sarah Saslow, Malsoon Lee 등과 2단계 처분장 안전성 평가 및 방사성요오드의 전산모사 공동계획을 수행하고 있음.
- PNNL의 Dr. Malsoon Lee와 본 학과의 강제력 박사과정 학생이 분자동역학 시뮬레이션을 통해 이중층상수산화물을 이용한 방사성요오드 핵종 제거반응기작 평가 공동연구를 수행하고 있음.

#### (2) 영국 University of Sheffield와의 교류

- 영국 Sheffield 대학교의 방사성 핵종 고정화 연구소와 방사성 폐기물 관리 및 처분 기술 분야의 국제협력을 통한 상호 대학원생 교육 및 연구를 수행함.
- COVID-19 이슈로 인하여 직접적인 대면 교류가 어려워져, 비대면 회의 및 전자메일로 교류하며 해당 Sheffield 대학 영국 연구진과 본 학과의 학생들이 참여하여 공동연구를 진행하였고, 연구 결과는 논문으로 출판됨 (Fenton and Fenton-like wet oxidation for degradation and destruction of organic radioactive wastes, *Nature partner journals Materials Degradation*, 5(1), 50).
- 펜톤반응을 통한 사용후이온교환수지 분해 공정 개발을 위한 촉매 선정 및 C-14를 고정화하기 위한 SrCO<sub>3</sub>를 고형화하는 고로슬래그 시멘트 개발에 관한 연구내용을 서로 비대면 회의 및 전자메일로

교류하였으며, 그 결과 영국 연구진과 공동으로 논문을 출판함 ( $\text{Co}_2^+$ /PMS based sulfate-radical treatment for effective minrealization of spent ion exchange resin, Chemosphere, 287(4), 132351).

(3) 말레이시아 UKM (National University of Malaysia)와의 국제공동연구

- 말레이시아 국립대학교(UKM)의 Dr. Syazwani Mohd Fadzil는 방사성 폐기물 및 환경화학의 전문가로, 232-Th, 238-U이 인체에 미치는 영향에 대해서 공동연구 수행 중임. 이를 바탕으로 대학원생 해외 연수 지원 및 해외저널 투고 등의 좋은 성과를 도출하고자 함.
- (박사과정)는 2022.07-20223.08 동안 말레이시아 UKM에 in vivo/vitro 실험을 위해 방문하여 공동연구 프로젝트를 수행함.

**[3] 플라즈마 및 가속기 분야**

(1) 미국 Utah State University (USU) 교류

- USU 지정영 교수와의 공동 학위지도를 통해 배출된 박사가 USU의 박사후연구원으로 임용되어 플라즈마 동역학 분야의 연구를 지속함.
- Minuk Lee, Jeong-Young Ji\*, and Gunsu Yun\*, “Nonlinear harmonics coupled by parallel wave propagations in a time-dependent plasma flow“, Plasma Phys. Control. Fusion 64 (2022) 055005
- 공동 학위지도를 통해 배출된 박사는 한국물리학회 “플라즈마물리학 신진과학자상”을 수상함. (수상 업적 내용: 플라즈마 분야의 이론 및 PIC 시뮬레이션 연구를 수행하며 탁월한 성과를 발표함)

(2) 영국 Warwick University와의 교류

- 코로나 팬데믹 상황이 완화되면 학생 파견교육 등의 교류를 재개할 예정임.

**[4] 인공지능 및 로봇시스템분야**

(1) 일본 동경대(The University of Tokyo)와 국제 공동연구

- 동경대의 NEST Advanced remote technology and robotics for decommissioning (ARTERD) project를 통한 연구 교류를 위하여 업무 협약을 갱신하였음. 양국의 공동 연구 프로그램 및 첨단 원자력 로봇 관련 기술 교류 워크샵의 개최를 논의함. 원전 사고 환경에서의 공동 실험을 위하여 대학원생을 중·단기간 일본으로 파견할 계획이었으나 COVID-19로 인하여 순연됨.
- 후쿠시마 원전해체 로봇 개발의 책임자이자 국제제어자동화학회(IFAC) 회장인 동경대 Asama Hajime 교수와 협업하여 원자력발전소와 같은 환경을 상정한 펠드로봇/극한환경로봇을 운용한 경험을 공유함. 이를 바탕으로 원전 탐사를 위한 첨단 로봇시스템을 개발함.

## □ 연구역량 대표 우수성과

## • 국내 및 해외기관 연구비 수주 실적

최근 1년간 이공계열 참여교수의 연구비 수주 실적은 인당 908,330천원으로 지속적인 연구수행 실적이 탁월함.

## • 참여교수 논문실적

참여교수는 해당 기간 동안 SCI급 저널 및 저술 활동을 통해 총 55편(IF 합: 337.247) 게재하였음.

- JCR 기준 상위 Q1 value급 논문 36편, Q2 value급 10편, Q3 value급 7편, Q4 value급 1편, 그 외 전문 관련 분야의 문제 해결을 제안한 논문 1편 등 총 55편의 SCI급 논문

## • 참여교수 특허실적

특허 출원 11건(국내 9건, 해외 2건), 특허 등록 6건(국내 5건, 해외 1건)

## • 산업·사회문제 해결 기여

한국수력원자력(주)와 해오름동맹지역 지방자치단체(울산광역시, 경주시, 포항시), 해오름동맹지역의 6개 대학(동국대학교, 위덕대학교, 울산과학기술원, 울산대학교, 포항공과대학교, 한동대학교)이 지역 협력, 원전지역 특화연구, 지역수용성 증진연구 개발에 대한 상호협력관계를 구축하고자 ‘해오름동맹 원자력혁신센터’를 설립하고, 원전 관련 사회적 이슈와 관계지역주민의 인식 파악을 기반으로 원전 수용성 제고를 위한 지역 협력방안 마련을 목표로 한 ‘원전 수용성 제고를 위한 지역협력 방안 연구’, 원전 제염/해체 사업 전문 인력양성과 지역 중소기업 및 민간/정부 연구소의 인력양성에 도움을 주고자 해오름동맹 연합 교육프로그램인 ‘핵종분석 실험실습 프로그램 개발’ 연구를 2021년 하반기부터 수행하고 있음.

## • 해외기관과의 공동연구

미국 PNNL(Pacific Northwest National Laboratory), Utah State Univ., NASA Goddard Space Flight Center, Univ. of Wisconsin-Madison, Univ. Michigan-Ann Arbor, 영국 Univ. of Sheffield, Warwick Univ., 말레이시아 Univ. of Malaysia, 파키스탄 PINSTECH, 일본 Masaki Tech., Univ. of Tokyo 등과의 공동연구로 논문게재 등 활발한 교류가 지속되었음.

## • 대표 연구 업적

- ▶ “Removal of iodine (I<sup>-</sup> and IO<sub>3</sub><sup>-</sup>) from aqueous solutions using CoAl and NiAl layered double hydroxides”, CHEMICAL ENGINEERING JOURNAL, Vol. 430, 2022, [IF 16.744, JCR: 상위 2%]
- ▶ “Development of geopolymers waste form for immobilization of radioactive borate waste”, Journal of Hazardous Materials, Vol. 419, 2021, [IF 14.224, JCR: 상위 3%]
- ▶ “Cycle analysis and economic evaluation for seawater-LNG Organic Rankine Cycles,” Energy, Vol. 234, 2021, 121259 [IF 8.857, JCR: 상위 4 %]
- ▶ “Fast nucleation of water by self-arrangement of hydrophilic crystals on a hierarchically structured surface promoting coalescence-induced droplet jumping,” Applied Thermal Engineering, Vol. 198, 2021, 117444 [IF 6.465, JCR: 상위 7 %]
- ▶ “Numerical modeling of oxide particle evolution during additive manufacturing”, Additive Manufacturing,

Vol. 51, 2022, [IF 11.632, JCR: 상위 1%]

- ▶ 해외 특허등록 (11330698) 이종의 고주파수를 이용한 플라즈마의 시스와 벌크의 확장방법 < , 2022.05.10.>
- ▶ 해외 특허출원 (PCT/KR2021/015604) 수중 물체에 대한 3차원 체적 모델을 획득하는 방법 및 시스템 < , 2021.11.01.>
- ▶ 해외 특허출원 (미국 17/592,799) 수소 동위원소에 대한 차별적 결합 특성을 갖는 수소 동위원소 흡착제, 이의 제조방법 및 이를 이용한 수소 동위원소 분리방법 < , 2022.02.04.>

## 1. 참여교수 연구역량

### 1.1 국내 및 해외기관 연구비 수주 실적

<표 3-1> 최근 1년간(2021.9.1.-2022.8.31.) 이공계열 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(2021.9.1.-2022.8.31.) 실적	비고
정부 연구비 수주 총 입금액	9,576,775	5,349,878	
산업체(국내) 연구비 수주 총 입금액	2,484,451	1,008,435	
해외기관 연구비 수주 총 (환산)입금액	143,798	0	
이공사회계열 참여교수 수	6	7	
1인당 총 연구비 수주액	2,034,170	908,330	

<표 3-1-1> 최근 1년간(2021.9.1.-2022.8.31.) 인문사회계열 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(2021.9.1.-2022.8.31.) 실적	비고
정부 연구비 수주 총 입금액	0	41,250	
산업체(국내) 연구비 수주 총 입금액	0	275,000	
해외기관 연구비 수주 총 (환산)입금액	0	0	
인문사회계열 참여교수 수	1	2	
1인당 총 연구비 수주액	0	158,125	

### 1.2 연구업적물

#### ① 참여교수 연구업적물의 우수성

<계획>

- 현안 해결을 위한 가동 원자력 기술 역량 향상

- 미래 원자력을 위한 기술 융합
- 미래 원자력사회를 위한 사회 융합

<실적>

[1] 현안 해결을 위한 가동 원자력 기술 역량 향상

(1) 원자력 안전

- 2021년 EU taxonomy는 원자력 발전을 Sustainable’ 에너지원으로 분류하면서 안전성과 폐기물 처리의 중요성을 강조함. 이에 맞추어 사고저항성 핵연료봉 및 고연소도 핵연료봉의 적용 안전성에 대한 연구를 수행함. 그리고 최근 점점 격화되고 있는 소형원전 시장의 자체 기술 및 경쟁력 확보를 위하여 효율적인 에너지 사이클 설계 평가 및 향상된 열교환기 설계 기술 평가 연구 등 원자력안전 및 에너지시스템 설계에 대한 연구를 다양하게 수행하여 2021년 9월부터 2022년 8월까지 총 16편의 SCI 저널을 발표함. IF 10.383인 ‘ACS Applied Materials and Interfaces’ 및 분야내에서 상위 5%인 ‘Energy’, 상위 7% ‘Applied Thermal Engineering’ 등에 논문을 출판하였으며, 원자력 전체 분과(재료, 환경, 방사성, 센서 및 안전 등)에 묶여 있어 분야별 %는 높지 않더라도 원자력안전 및 열수력 관련해서 공신력 있는 저널인 ‘Nuclear Engineering and Design’, ‘Nuclear Engineering and Technology’ 등에 연구 내용을 발표함. 아래는 전체 16편 중 대표 논문 7편에 대한 정보를 첨부함.

1. “Numerical analysis of shock energy dissipation in microbubble clouds,” Alexandria Engineering Journal, Vol. 61, 2022, 6465-6475 [IF 6.626, JCR: 상위 8%]
2. “Film condensation heat transfer of high-pressure and low-mass-flux steam in inclined tube,” International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 189, 2022, 122714 [IF 5.431, JCR: 상위 11 %]
3. “Evaluation of thermal-hydraulic performance and economics of Printed Circuit Heat Exchanger (PCHE) for recuperators of Sodium-cooled Fast Reactors (SFRs) using CO2 and N2 as working fluids,” Nuclear Engineering and Technology, Vol. 54, 2022, 1874-1889 [IF 2.817, JCR: 상위 17 %]
4. “Performance and size comparison of two-stage and three-stage axial turbines for a nitrogen gas Brayton cycle coupled with a sodium-cooled fast reactor,” Nuclear Engineering and Design, Vol. 380, 2021, 111309 [IF 1.90, JCR: 상위 34%]
5. “Fast nucleation of water by self-arrangement of hydrophilic crystals on a hierarchically structured surface promoting coalescence-induced droplet jumping,” Applied Thermal Engineering, Vol. 198, 2021, 117444 [IF 6.465, JCR: 상위 7 %]
6. “Cycle analysis and economic evaluation for seawater-LNG Organic Rankine Cycles,” Energy, Vol. 234, 2021, 121259 [IF 8.857, JCR: 상위 4 %]
7. “Pixelated Microsized Quantum Dot Arrays Using Surface-Tension-Induced Flow,” ACS Applied Materials and Interfaces, Vol. 13, 2021, 51718-51725 [IF 10.383, JCR: 상위 15 %]

(2) 원자력 환경

- 방사성폐기물 관리: 원자력발전소 운영 및 해체로 인한 방사성폐기물의 발생과 제염, 처리/처분, 부지 복원 등의 현안을 해결하기 위해, 해당 분야에 대한 기술 개발 및 연구 역량을 국내외 공동연구를 통하여 지속적으로 향상시키고 있음.
  - 사용후핵연료의 중간저장시설 및 최종 처분장의 안전한 처분기술 확보를 위한 국내의 다부처 예타사업에 참여하여, 주관기관인 원자력연구원과 함께 사용후핵연료 처분시설 안정성 평가 기술 연구 사업에 참여함. 또한, 추가적으로 원자력연구원과 공동으로 처분장에서 사용되는 공학적방벽 뒤채움

재의 성능개선을 위한 연구과제에도 참여하여 국내 전문가들과 소통하며 지속적으로 방사성폐기물 관리에 관련된 연구역량을 향상시키고 있음.

- “2단계 표층처분시설 핵종이동특성평가 및 핵종 흡착특성 예측모델 개발” 을 통해 처분장의 안전성 평가 수행 역량을 향상하였고, 대표핵종 흡착 및 용해도에 관한 실험적 데이터베이스를 구축.

- 방사성폐기물의 제염 기술과 관련하여 플라즈마를 이용한 CRUD 물질의 제염, 중액분리법을 이용한 방사화콘크리트 폐기물의 제염 및 부피저감 등의 기술 개발.

- 부지복원 기술과 관련하여 유기물질을 사용해 점토 광물의 층간 간격을 넓혀서 토양 내 점토광물에 고착된 핵종을 제거하는 연구 진행 중.

- 원자력발전소 해체 시 발생할 수 있는 다양한 성상의 폐기물 (농축폐액, 폐수지, 콘크리트, 토양, 폐필터, 금속) 대상으로 고형화 및 고정화 연구사업을 수행 중. 이를 위해, 중저준위방사성폐기물 인수기준을 기준으로 다양한 시험 (구조적 안전성 및 침출성)을 진행하여, 최적화된 고화체 개발 연구를 진행 중.

- 부식성슬러지가 담지 된 시멘트 고화체 대상으로 다양한 감수제와의 반응 및 침출 영향 평가 연구를 진행 중.

- “사용후레진 및 C-14의 처리와 고화체 개발”, “ $\text{SrCO}_3$ 를 고형화하는 고화체 및 Fenton 반응의 혼합 촉매에 관한 연구” 를 진행하여 방사성폐기물의 처리 및 처분 연구 역량을 향상시키고 있음.

- 원자력발전소 운용 중 및 사고 시 유출될 수 있는 방사성요오드 대상 처리를 위한 흡착제 개발 및 반응기작 평가 연구를 지속적으로 진행 중.

- 원자력발전소 운용 중 및 사고 시 방사성테크니슘 대상 처리 및 처분을 위한 레늄 연구 및 다양한 흡착 반응기작과 고화체 평가 연구를 진행 중.

• 연구 인프라 구축: 원자력발전소 운영, 중대사고 발생, 해체 과정에서 다양한 종류의 방사성 핵종들이 환경으로 유출될 수 있음. 해당 문제 해결을 위해 다양한 국제적인 공동연구를 통한 인프라 강화를 추진할 필요가 있음.

- 일반적인 음이온성 및 양이온성 방사성 핵종들의 각기 다른 수착 특성 및 반응 기작을 고려하여 이중층수산화물(Layered Double Hydroxide), 벤토나이트(Bentonite) 등 다양한 흡착제를 개발하여 핵종 제거 효율을 높임.

- 원자력발전소 해체 시 발생하는 금속폐기물의 제염 기술과 관련하여 수증 플라즈마를 이용한 제염 및 부피저감 등의 기술 개발

- 코로나 팬데믹으로 인해 직접적인 대면 교류는 어려웠으나, 비대면 회의 및 이메일을 통한 교류를 통해 PNNL, Sheffield 대학 등과 공동 연구활동을 지속하고 있음. 특히, PNNL의 경우 방폐장 안전성 평가를 위한 Tc의 용해도 실험 및 요오드 제거를 위한 흡착제 평가 실험을 공동으로 진행하여 논문을 출판하였고, Sheffield 대학의 경우 사용후이온교환수지 및 C-14의 처리 및 처분을 위한 연구를 공동으로 진행하여 논문을 출판하였음. 지속적으로 연구자 방문 및 교류를 통해 연구역량 향상 및 신기술 도입을 추진할 계획임.

- 분리하기 어려운 비반응성 라돈(Rn)의 거동 기작 및 동위원소 효과를 이용하는 삼중수소의 제거 반응 기작에 대한 자료를 구축 중.

- 국내 한국원자력학회, 한국방사성폐기물학회 및 대한자원환경지질학회의 경우 코로나 상황으로 인해 비대면 및 대면으로 진행되었으며, 다수의 대학원생이 해당 학회에 구두 및 포스터 발표를 수행하여 국내 유관기관과 연구 교류를 지속하였음.

• 아래는 출판 저널 정보임.

1. Samuel Walling, Wooyong Um, Claire Corkhill, and Neil Hyatt, 2021, “Fenton and Fenton-Like Wet

Oxidation for Degradation and Destruction of Organic Radioactive Wastes”, npj Materials degradation, 5(50)

2. Muhammad Aamir Hafeez, Seok Ju Hong, Junsung Jeon, Juhyeok Lee, Bhupendra Kumar Singh, Neil C. Hyatt, Samuel A. Walling, Jong Heo, and Wooyong Um, 2022, “Co<sup>2+</sup>/PMS based sulfate-radical treatment for effective mineralization of spent ion exchange resin”, Chemosphere, 287, 132351.
3. Jaehyuk Kang, Ferdinan Cintron-Colon, Hyojoo Kim, Jueun Kim, Tamas Varga, Yingge Du, Odeta Qafoku, Wooyong Um, and Tatiana G. Levitskaia, 2022, “Removal of iodine (I<sup>-</sup> and IO<sub>3</sub><sup>-</sup>) from aqueous solutions using CoAl and NiAl layered double hydroxides”, Chemical Engineering Journal, 430, 132788.
4. Seongsik Nam and Wooyong Um, 2022, “Decontamination of radioactive metal wastes using underwater microwave plasma”, Journal of Environmental Chemical Engineering, 10(1), 107090.
5. Jueun Kim, Jaehyuk Kang, and Wooyong Um, 2022, “Simultaneous removal of cesium and iodate using prussian blue functionalized CoCr layered double hydroxides (PB-LDH)”, Journal of Environmental Chemical Engineering, 10(3), 107477.
6. Guohui Wang, Dong-Sang Kim, Matthew J. Olszta, Mark E. Bowden, Daniel K. Schreiber, Sarah A. Saslow, Wooyong Um, Brian J. Riley, Jing Wang, and Albert A. Kruger, 2022, “Metallic technetium sequestration in nickel Core/Shell microstructure during Fe(OH)<sub>2</sub> transformation with Ni doping”, Journal of Hazardous Materials, 425, 127779.
7. Agathe Bourchy, Sarah A. Saslow, Benjamin D. Williams, Nancy Avalos, Wooyong Um, Nathan Canfield, Lucas Sweet, Gary L. Smith, R. Matthew Asmussen, 2022, “The evolution of hydrated lime-based cementitious waste forms during leach testing leading to enhanced technetium retention”, Journal of Hazardous Materials, 430, 128507.
8. Mumtaz Khan, Wooyong Um, Sangsoo Han, Jaehyuk Kang, Abdul Jabbar, Muhammad Adnan Iqbal, 2022. “Kinetics and mechanism of rhenium-ethylenediaminetetraacetic acid (Re(IV)-EDTA) complex degradation; For <sup>99</sup>Tc-EDTA degradation in the natural environment”, Environmental Technology and Innovation, 27, 102492.

## [2] 미래 원자력을 위한 기술 융합

### (1) 플라즈마 및 가속기

- 거대과학 공학기술 지원: 거대과학 시설인 가속기 및 핵융합플라즈마 장치에서 공통적으로 요구되는 진공, 고출력전원, 전자석, 냉각 등의 공학 기술을 고도화하기 위한 실험 지원 및 자문 체계를 구축해 나아가고 있음. 포항가속기 연구소에서 1인의 연구원을 겸직교수로 영입하였으며 공동 박사학위 지도 학생을 선발하였음. 추가로 2인의 연구원을 겸직교수로 영입할 준비를 하였으며 진동 공학 분야에서 공동 학위지도를 시작함. 2022년 8월에는 교내에서 제1회 “ATE 가속기 여름학교”를 개최함.
- 거대과학을 위한 초고속 컴퓨팅 개발 동참: 한국핵융합에너지연구원이 보유한 슈퍼컴퓨터인 KAIROS를 활용한 핵융합 플라즈마 가상화 플랫폼 개발에 참여하고 있음. 또한, KAIROS를 우주 플라즈마 연구에도 활용함으로써 초고속 컴퓨팅의 가치를 제고함 (Yoon YD, Wendel DE, and Yun GS, “Equilibrium selection via current sheet relaxation and guide field amplification” under review at Nature Comm.). 이와 더불어, 거대과학 공학 설계 기술 및 빅데이터 처리 기술을 고도화하기 위한 기계학습 스터디 그룹 활동을 지속하고 있음.
- 핵융합 플라즈마 진단기술 고도화: KSTAR 프로그램에 계속하여 적극적으로 참여하여 세계적인 경쟁력을 보유한 핵융합플라즈마 영상진단 및 파동 측정 기술을 지속적으로 발전시킴. 파동측정 기술

을 국내외의 공동 연구 장치 (서울대학교 VEST 토카막, 일본 NIFS 연구소의 LHD 장치, 일본 규슈대학교의 QUEST 토카막 등)에 확산하고 있으며, 이것은 한국-일본 양국 간의 핵융합 개발 협력 활동의 공식적인 항목으로 채택되어 있음. 국내의 KFE 및 KISTI, 미국 PPPL 연구소와 함께 플라즈마 진단 대용량 데이터의 고속전송 및 후처리 시스템 구축에 동참하고 있음. 해당 내용을 바탕으로 한국 핵융합에너지연구원의 Program Advisory Committee (PAC)에서 핵융합 플라즈마 진단기술의 개발 방향에 대해 발표함 (22년 8월).

- **극한상태 물성 연구 개척:** 핵융합 플라즈마 연구에서 축적한 기술력을 바탕으로 추진하고 있는 극한상태 물성 연구를 개척하고 있음. 교내의 Max Planck-POSTECH 아토초 과학 센터와 펄스 레이저 교육 및 공동 연구를 수행하고 있음. 포항가속기 연구소의 XFEL 인프라 및 한국원자력연구원의 하나로 중성자빔 활용을 위한 준비를 진행하였음. 22년 8월에는 아시아태평양 이론물리센터 (APCTP)의 지원을 받아 고에너지밀도 플라즈마에 대한 학술 워크숍을 진행함 (APCTP workshop on Fundamental Processes in High Energy Density and Strongly Coupled Plasmas).
- **산업계로의 기술 전파:** 거대과학 연구로부터 축적된 공학 기술을 철강 산단 등 지역 산업의 현안 해결에도 활용하기 위한 자문위원회를 조직하기 위하여 포항가속기연구소의 가속기장치부 연구원들과의 교류를 진행함. 또한 포항산업과학기술연구소, 한국생산기술연구원 울산분원 연구원들과 교류를 지속함.

## (2) 인공지능 및 로봇 시스템

- **지능형 원전 모니터링:** 원자로 내부에서 유지 보수 작업을 수행하는 경우 수중 환경에서 작업을 해야하는 경우가 있으며, 수중 임무를 위해서는 신뢰도 높은 환경 인식이 필요함. 초음파를 활용하는 소나 센서는 평면 이미지를 획득하는 광학 카메라와 달리 3차원 환경 인식을 통한 체적 모델 복구 (3D Reconstruction)가 가능하다는 장점이 있음. 멀티빔 소나(Forward-Looking Multibeam Sonar, FLS)와 프로파일링 소나(Profiling Sonar, PS)의 센서 정보 융합 및 로봇 지능 기반의 3차원 모델 복구 방법을 제안하였음. (“Probabilistic 3D Reconstruction Using Two Sonar Devices”, Sensors, 2022, IF: 3.847)
- **원전 내부시설 안전검사:** 원전 내부 격납 용기의 천장 혹은 벽면의 균열을 관찰하는 등 정밀 유지 보수를 위해서는 로봇이 벽면에 흡착되어 작업을 수행할 수 있는 로봇을 개발함. 힌지 구조로 연결된 두 개의 유닛이 배관이나 지지대 등의 장애물을 넘어 다니면서 정밀 안전 검사를 수행할 수 있는 로봇 플랫폼을 제안하였음. (“Development of Dual-Unit Ceiling Adhesion Robot System with Passive Hinge for Obstacle Traversal Under Kinodynamic Constraints”, IEEE Access, Under Review, 2022, IF: 3.476)
- **사고 상황 원전 탐사:** 원전 내부의 사고 상황 등에서는 공기 중의 비산물 및 수증기 등에 의해서 시야 확보가 어려울 수 있음. 이러한 환경에서도 신뢰도 높은 원전 탐사 및 원격 임무 수행을 위하여 Lidar 및 열화상 카메라를 사용하여 안정적으로 원전 내부의 환경 스캔을 할 수 있는 기술을 제안하였음. (“LiDAR-Stereo Thermal Sensor Fusion for Indoor Disaster Environment”, IEEE Sensors Journal, Under Review, 2022, IF: 4.325)

## [3] 미래 원자력사회를 위한 사회 융합

- 배 영. “인물정보서비스의 법적 쟁점과 사회적 의미”, 홍익법학 (KCI급)
- 한국수력원자력(주)와 해오름동맹지역 지방자치단체(울산광역시, 경주시, 포항시), 해오름동맹지역의 6개 대학(동국대학교, 위덕대학교, 울산과학기술원, 울산대학교, 포항공과대학교, 한동대학교)이 지역 협력, 원전지역 특화연구, 지역수용성 증진연구 개발에 대한 상호협력관계를 구축하고 2021년 8월부터 총 3년간 R&D 연구과제를 진행하고 있음.



- 배영 교수의 해오름동맹 연구과제인 ‘원전 수용성 제고를 위한 지역협력 방안 연구’에서는 원전 관련 사회적 이슈와 관계지역주민의 인식 파악을 기반으로 원전 수용성 제고를 위한 지역 협력방안 마련을 목표로 하며, 김원석 교수의 ‘원자력발전소 제염/해체 기술 교육 프로그램 개발’은 원전 제염/해체 사업에 참여할 지역 중소기업 및 민간/정부 연구소의 제염/해체 기술개발 애로점 해결의 지원을 목표로 하며, 해오름동맹 연합 교육프로그램의 ‘핵종분석 실험실습 프로그램 개발’은 핵종으로 오염된 원전 해체 폐기물의 핵종 오염 정도를 파악하기 위한 분석 교육 프로그램을 개발함으로써, 원전 제염/해체 사업에 참여할 전문 인력양성과 지역 중소기업 및 민간/정부 연구소의 인력양성에 도움을 주고자 함.

## ② 이공계열 참여교수 특허, 기술이전, 창업 실적의 우수성

### (1) 업무용 교수

- 국내 특허등록 (10-2375027) 붕소가 포함된 방사성 폐기물 고화방법 및 이에 따른 방사성 폐기물 고화체 < 2022.03.11.>
- 국내 특허등록 (10-2342149) 프러시안 블루로 코팅된 층상이중수산화물로 구성된 방사성물질 흡착제 및 이의 제조방법 < , 2021.12.17.>
- 국내 특허출원 (10-2022-0064675) 층상이중수산화물로 개질된 벤토나이트로 구성된 완충재 및 이의 제조방법 < , 2022.05.26.>
- 국내 특허출원 (10-2021-0164180) 층모의 표면오염 콘크리트 시료 제조방법 < , 2021.11.25.>
- 국내 특허출원 (10-2022-0096573) EGME와 동결-해동 과정을 이용한 세슘으로 오염된 점토광물에서의 세슘 제거방법 < , 2022.08.03.>
- 해외 특허출원 (미국 17/592,799) 수소 동위원소에 대한 차별적 결합 특성을 갖는 수소 동위원소 흡착제, 이의 제조방법 및 이를 이용한 수소 동위원소 분리방법 < , 2022.02.04.>

### (2) 유선철 교수

- 국내 특허등록 (10-2348012) 수중 작업자를 위한 안전 관리 시스템 및 이를 이용한 안전 관리 방법 < , 2022.01.03.>
- 국내 특허등록 (10-2383320) 양식장 모니터링 시스템 < , 2022.04.01.>
- 국내 특허출원 (10-2022-0035805) 사물 인터넷 기반 원자력 발전소 모니터링 장치, 모니터링 방법 및 모니터링 시스템 < , 2022.03.23.>
- 국내 특허출원 (10-2021-0179394) 수중 관찰 장치 < , 2021.12.15.>
- 해외 특허출원 (PCT/KR2021/015604) 수중 물체에 대한 3차원 체적 모델을 획득하는 방법 및 시스템 < , 2021.11.01.>

### (3) 윤건수 교수

- 해외 특허등록 (11330698) 이중의 고주파수를 이용한 플라즈마의 시스와 벌크의 확장방법 < , 2022.05.10.>
- 국내 특허출원 (10-2022-0040494) 직각 공진 전극을 구비한 플라즈마 발생기 및 이를 이용한 수소 제조 방법 < , 2022.03.31.>
- 국내 특허출원 (10-2021-0181529) 이중 고주파수에 의해 확장된 플라즈마를 이용한 화학반응 활성화 장치 및 방법 < , 2021.12.17.>
- 국내 특허출원 (10-2021-0151956) 고 큐 인자 실시간 임피던스 매칭이 가능한 공진기 <

수, 2021.11.08.>
(4) 조중욱 교수 - 국내 특허등록 (10-2300852) 몰드 플렉스 및 이를 이용한 연속 구조방법 < , 2021.09.06.>
(5) 조향진 교수 - 국내 특허출원 (10-2021-0190418) 멀티스케일 구조 설계를 통한 증진된 열전달 성능을 가지는 사각 구조의 디버터 플라즈마 대면체 < , 2021.12.28.>

③ 연구의 수월성을 대표하는 연구업적물 (최근 1년(2021.9.1.-2022.8.31.))

연번	대표연구업적물 설명
1	“Removal of iodine (I <sup>-</sup> and IO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) from aqueous solutions using CoAl and NiAl layered double hydroxides” , CHEMICAL ENGINEERING JOURNAL, Vol. 430, 2022, [IF 16.744, JCR: 상위 2%]
2	“Development of geopolymer waste form for immobilization of radioactive borate waste” , Journal of Hazardous Materials, Vol. 419, 2021, [IF 14.224, JCR: 상위 3%]
3	“Co <sub>2</sub> +PMS based sulfate-radical treatment for effective mineralization of spent ion exchange resin” , Chemosphere, Vol. 287, 2022 [IF 8.943 JCR: 상위 12%, FWCI: 7.29]
4	“Cycle analysis and economic evaluation for seawater-LNG Organic Rankine Cycles,” Energy, Vol. 234, 2021, 121259 [IF 8.857, JCR: 상위 4 %]
5	“Fast nucleation of water by self-arrangement of hydrophilic crystals on a hierarchically structured surface promoting coalescence-induced droplet jumping,” Applied Thermal Engineering, Vol. 198, 2021, 117444 [IF 6.465, JCR: 상위 7 %]
6	“Flow-boiling canopy wick capillary-viscous limit” , International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 181, 2021, [IF 5.431, JCR: 상위 11%]
7	해외 특허등록 (11330698) 이중의 고주파수를 이용한 플라즈마의 시스와 벌크의 확장방법 < , 2022.05.10.>
8	해외 특허출원 (PCT/KR2021/015604) 수중 물체에 대한 3차원 체적 모델을 획득하는 방법 및 시스템 < , 2021.11.01.>
9	해외 특허출원 (미국 17/592,799) 수소 동위원소에 대한 차별적 결합 특성을 갖는 수소 동위원소 흡착제, 이의 제조방법 및 이를 이용한 수소 동위원소 분리방법 < , 2022.02.04.>
10	“Catalytic effect of laser-combined atmospheric pressure plasma in lowering the reduction temperature of hematite” , RSC Advances, Vol. 11, 2021, [IF 4.036]
11	“Probabilistic 3D Reconstruction Using Two Sonar Devices” , Sensors, 2022, [IF 3.847]
12	“Numerical modeling of oxide particle evolution during additive manufacturing” , Additive Manufacturing, Vol. 51, 2022, [IF 11.632, JCR: 상위 1%]

2. 산업·사회에 대한 기여도

<p>&lt;계획&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 축적된 핵심 기술 역량을 바탕으로 사회 인문학적 역량의 개발과 융합을 강조</li> <li>• 과학기술의 사회적 수용성 제고</li> <li>• 기술의 사회적 융합에 중점을 둔 원자력 산업의 현안 해결</li> <li>• 미래 원자력 관련 산업의 원천 기술 확보와 인공지능 및 로봇 시스템 첨단 기술 확산 노력</li> </ul>
---

## <실적>

### [1] 원자력 현안 해결

#### (1) 안전 분야

- 안전 컴포넌트 평가 시설 구축: 현재 인허가 진행과정에 있는 연구로 계통의 안전성 평가를 위하여 연구로 계통을 스케일링한 국내 유일의 실제 높이를 구현한 실증 실험 장치를 구축하였고 인허가 실험 데이터를 생성함.
- 소형/마이크로 원자로 연구 선도: 마이크로 원자로 관련하여 경험이 풍부한 미국과 한-미 국제공동 연구 International Nuclear Energy Research Initiative(I-NERI)를 수행하고 있음. 마이크로 원자로 시스템 설계 및 성능 평가를 수행하는 내용으로, 소형원전 설계 핵심 요소 기술 확보에 기여할 수 있을 것으로 기대됨.
- 연료봉 안정성 평가 기술 확산: 사고 저항성 핵연료봉과 고연소도 핵연료봉 등 새로운 핵연료봉 규제 사항과 관련하여 유관기관들과 정보를 공유하며 필요한 핵심 기술에 대해 논의 및 실험 수행 중.
- 심층처분장 안전 규제 연구: 고준위 심층처분장의 설계 및 안전도를 평가하는 규제 관련 연구를 수행하여, 추후 폐기물 처리시설의 안전성 평가에 기여할 것으로 기대됨.
- 5년마다 원자력 전체 연구 방향에 대한 계획을 세우는 ‘제6차 원자력진흥종합계획 융합과 혁신(원자력) 분과’에 조항진 교수가 참여하여 사회 이슈들에 대응할 수 있는 새로운 기술의 개발과 안전성 향상을 위한 혁신 내용에 대한 계획 수립에 기여함.
- 조항진 교수는 경상북도 탄소중립추진위원회, 지방시대주도 경상북도 준비위원회 에너지-환경 분과 위원회, 경상북도 원자력클러스터 추진위원회 등에 참여하며 지역적으로 원자력 발전소를 가장 많이 보유하고 있는 경상북도의 원자력 사회현안에 대해 적극적으로 참여하며 대응하고 있으며, 지난 2022년 7월에는 경상북도지사, 대통령실 시민사회수석, 한국수력원자력 원전수출처장, 산업부 원전산업정책국장, 환경부 자연보전국장, 경상북도 동해안전락산업국장, 두산에너지빌리티 상무 등이 참여한 ‘글로벌 원전 최강국 건설을 위한 정책포럼’에서 ‘미래산업을 선도할 글로벌 원자력 인력양성 방안’에 대해 발표하는 등 활발한 활동을 수행함.
- 이상 기온 등의 지구 온난화에 따라 지속 가능한 에너지 발굴차원에서 수소에너지 이슈가 각광받고 있으나 생산과정에서 이산화탄소가 생성되지 않는 그린 수소 생산을 위해서는 원자력과 협력이 중요한 상황. 이에 따라 2021년 6월 POSTECH-경상북도-울진군-RIST-한국원자력연구원-현대엔지니어링-포스코 이렇게 7개의 산학연-지자체 기관이 ‘원자력 활용 그린수소생산 기술개발’을 위한 MOU를 체결함. 이 MOU를 기반으로 국내의 에너지 현안인 청정수소 생산을 위한 안전한 원자력 활용 활동을 진행하고자 함.

#### (2) 환경 분야

- 원자력발전소 해체 시 대량으로 발생하는 금속폐기물의 부피 감용을 위해 수증 플라즈마 기법을 사용한 제염 기술 및 공정을 개발함. 연구실 규모로 실험한 결과 효과적인 무게 저감 효율을 보였음. 본 연구결과는 논문 1편 [Seongsik Nam and Wooyong Um, 2022, “Decontamination of radioactive metal wastes using underwater microwave plasma”, Journal of Environmental Chemical

Engineering,10(1), 107090]을 출판하였으며, 지속적인 연구개발을 통해서 오염된 콘크리트 및 토양 폐기물 처리 및 부피 감용 기술에 기여할 수 있을 것으로 예상됨.

- 폐기물 처분 후의 안정성 평가를 크게 폐기물의 최종 처분 형태인 고화체의 안정성 평가와 방폐장의 안정성 평가로 나누어 연구를 진행하였음. 고화체의 안정성 평가의 경우, 압축강도, 침수 및 침출 시험, 방사선 조사, 유리수, 열순환 시험 등을 진행하였으며, 방폐장 안전성 평가의 경우, 방폐장 인근 지하수 및 해수 조건, 방폐장 콘크리트와 반응한 반응 수 조건에서 방사성 핵종의 수착 특성 및 용해도 실험을 통해 안전성 평가를 진행하였고, 2단계 천층처분 안전성 평가 보고서 제출 및 사용후 핵연료 처분장 안전성 평가 사업을 새롭게 수행하면서 지속적인 연구수행 중.
- 원자력발전소 운영 및 해체 시 발생하는 대표적인 방사성폐기물 중 폐수지, 농축폐액, 폐필터, 금속 등을 중심으로 안전한 처분을 위해 다양한 조성의 시멘트 및 지오폴리머 고화체를 개발하고 압축강도 및 침출시험 등의 안전성 테스트를 진행함. 실제적인 기술적 문제 해결을 위해 산업체와의 협업을 기반으로 Pilot scale의 고화체를 제작 후 안전성 테스트를 계획하고 있으며, 방사선 조사 후 고화체 안정성 평가 수행하였음. 이를 통해, 논문 1편을 출판함 [Byoungkwan Kim, Juhyeok Lee, Jaehyuk Kang, and Wooyong Um, 2021, “Development of geopolymer waste form for immobilization of radioactive borate waste”, *Journal of Hazardous Materials*, 419, 126402.].
- 현재까지 해체를 경험한 국가에서 원자력발전소 해체 과정 시 발생한 방사성폐기물의 양에 대한 자료를 확보함. 국내의 경우, 원자력발전소 해체 경험이 전무하기 때문에 관련된 실무 및 분석 인력 양성의 필요성이 대두됨. 이에 원전해체폐기물관리라는 수업을 개설하여 방사성폐기물의 핵종 분석을 위한 전처리 방법 및 질량분석을 기반으로 하는 ICP-MS 분석법, 방사선에 의한 섬광을 기반으로 하는 LSC 분석법, 기체상 라돈을 측정하는 Alpha-guard 분석법 등 다양한 분석 방법을 정립하고 교육하여 핵종 분석 전문 인력을 양성함.
- 방사선 및 방사성폐기물의 안전성 확보를 위한 주민 공감대 향상을 위해서 자연적으로 발생하는 방사성 라돈에 대한 연구 및 처리 기술을 개발을 진행하고 있음. 또한, 월성원전주변 삼중수소 관리 안전성 확보를 위한 조사업무를 통해 환경감시망을 중심으로 부지내 및 주변 지역에서 시료를 채취 및 분석하여 현지조사를 실시하고 그 내용 및 결과를 분석. 결과적으로, 경주월성 삼중수소 누출에 따른 민간합동조사단 자문위원으로 참여하여, 월성발전소에서 누출된 삼중수소의 원인 및 토양/지하수에서의 삼중수소 농도와 지역주민들의 인체유해도 평가에 관한 자문역할을 통해서 삼중수소 누출에 의한 지역사회 및 주민들의 원자력에 대한 수용성 향상 및 이해도 증가에 기여.
- 원자력발전소 운영 중 혹은 사고 시 발생할 수 있는 방사성요오드 폐기물에 대한 안전한 처리 및 처분을 위한 연구를 진행하였음. 다양한 이중층상수산화물을 준비하여, 액상의 방사성요오드 종 대상으로 흡착 및 탈착 실험과 특성평가를 진행하였음. 본 연구의 결과로써 논문 2편 [(1) Jaehyuk Kang, Ferdinan Cintron-Colon, Hyojoo Kim, Jueun Kim, Tamas Varga, Yingge Du, Odeta Qafoku, Wooyong Um, and Tatiana G. Levitskaia, 2022, “Removal of iodine ( $I^-$  and  $IO_3^-$ ) from aqueous solutions using CoAl and NiAl layered double hydroxides”, *Chemical Engineering Journal*, 430, 132788.][(2) Jueun Kim, Jaehyuk Kang, and Wooyong Um, 2022, “Simultaneous removal of cesium and iodate using prussian blue functionalized CoCr layered double hydroxides (PB-LDH)”, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(3), 107477.]을 출판하였으며, 분자동역학을 이용한 시뮬레이션 연구를 지속적으로 진행하고 있음.

## [2] 기술 융합 및 미래 첨단기술

### (1) 핵융합 플라즈마 및 플라즈마 기술 응용:

- 원전 폐수 및 냉각수 처리: 수중 플라즈마 원천 기술을 지속적으로 발전시켰으며 이를 바탕으로 원전 폐수 중의 하나인 금속-EDTA 착화물 폐용액, 반도체공정 폐액 등 난분해성 폐용액의 안전한 처리가 가능한 기술을 확보함. 한국생산기술연구원과의 협력을 통해 산업적 스케일의 플라즈마 수처리 시스템 개발 과제를 기획하고 있음. 또한, 본 사업단의 유선철 교수 그룹과의 협력을 통하여 지역의 양식수산업계로 확산시키고자 함.
- 철강재 산화막 제어: 플라즈마 고속 산화 및 환원 기술을 지속적으로 고도화하여 특허 1건을 등록하였고 연구논문 1건을 게재하였음. 본 기술은 철강재 표면 물성 제어, 금속산화물 촉매 물성 제어 등 다양한 산업에 활용될 수 있을 것으로 기대함. .  
- 특허: (등록번호 10-2251801) 레이저 가열과 플라즈마를 이용한 산화환원 처리방법
- 수소 생산: 위의 기술을 열화학 촉매기술과 결합하여 물분해 수소생산 기술 개발 과제를 수주하여 수행 중에 있음. 고압력 플라즈마 기술을 활용한 대규모 수소생산 기술 개발 과제를 수행하고 있음. 플라즈마-촉매 반응의 원리를 규명하는 연구와 고온 습식 환경에서 수소 생산 공정을 개발하고 있음. 포항 및 울산 산단 지역에서 대규모 수소 경제 체제를 구축하는 데에 기여할 것으로 기대함.
- 차세대 반도체 공정: 삼성전자 설비기술연구소 및 (주)세메스 연구소 등과 반도체공정기술 고도화를 위한 교류를 지속함.

### (2) 가속기

- 의료용 가속기: 암치료용 입자가속기 국산화를 통해 국내 환자들에게 저렴한 비용으로 암치료 기회를 확대하여 국민 복지 향상을 도모하고, 한국 의료 산업의 세계 시장 진출에 기여하고자 기존 국외 입자치료기보다 성능이 향상된 입자치료기 개발을 연구 중임.
- 고출력 가속기 기반의 원자력 기술: 가속기 구동식 원자로 시스템 연구를 통해 안전한 원자력발전소를 운영할 수 있는 기초를 다지고 방사성폐기물 처리에 대한 해법을 제시하여 국내외의 원자력 운영과 관련된 방사성폐기물 문제 해결 연구를 진행 중임.

### (3) 인공지능 및 로봇 시스템

- 원전 사고 대응 로봇: 원전 내부 안전 검사 및 사고 대응을 위하여 벽 흡착 로봇을 개발하였음. 격납 용기 등 높이가 높은 구조물의 안전 검사는 일반적인 지상 로봇으로 수행하기에는 한계가 있음. 개발한 벽 흡착 로봇은 덕트 팬을 이용하여 내벽 및 천장과 같이 조사하고자 하는 관심 영역에 흡착되어 이동할 수 있음. 또한, 현지 구조를 통해 벽에 배관 등 구조물이 있는 비정형 환경에서 운용할 수 있음. 카메라, 레이저 등의 센서를 탑재하여 벽에 흡착된 상태로 근거리에서 정밀 균일 탐지가 가능함. 액추에이터를 부착하여 사고 이후의 대응 작업에도 활용이 가능할 것임.
- 방사선 맵핑: 원전 운용 중 방사성 물질의 유출, 폐로 시 철거물의 추락, 낙하 등 여러 원전 사고가 발생할 수 있음. 특히 이러한 원전 사고의 경우 방사능을 동반한다는 점에서 일반 산업 사고와는 차이점이 있음. IoT 기반의 폐로 작업 모니터링 시스템 특허를 출원, 방사능을 실시간으로 모니터링하는 동시에 자이로스코프 등 센서를 사용하여 구조물의 움직임을 감지하는 시스템을 제안하였고 핵

심 기술을 개발 중임. 또한 상기의 벽 흡착 로봇에 방사능을 측정할 수 있는 가이거 계수기를 탑재하여 로봇이 움직이며 방사성 물질의 누출 여부 등을 확인하는 것이 가능함.

### [3] 사회 융합

- 지역 주민의 삶의 질 개선을 위한 기술 개발: 원자력 관련 사회적 수용성 제고 방안의 학문적, 실질적 마련을 위해 해오름동맹지역 6개 대학 R&D 사업에 참여. ‘원전 수용성 제고를 위한 지역협력 방안 연구’를 주제로 하여 향후 3년간 연구 진행(21.8 ~24.8). 해당 연구가 본격적으로 진행되는 21-2학기부터는 주요한 사회문제의 파악 및 분석, 사회문제 해결을 위한 거버넌스의 구축, 이슈별 문제해결 방향에 대한 구체적인 방안의 마련 및 실행이 이루어질 것으로 예상됨.
- 사회문제 해결을 위한 협력 거버넌스 구축: 해오름동맹 연구과제의 진행에 있어 이론적인 차원 뿐 아니라 다양한 이해관계자의 의견을 수렴하여 원자력 관련 주요 현안들을 풀 수 있는 협력 네트워크의 구축을 위한 노력도 지속하고 있음. 한국수력원자력, 원자력안전재단, 서울대 사회발전연구소 등 주요한 관련기관들과의 협업적 활동 및 연구교류와 함께 방폐장 민간환경감시기구, 경주환경운동연합 등 민간 단체와의 소통 및 협력방안을 연구 의제로 연결함.
- 지역환경 및 취업관련 지역밀착형 해결: 사업 및 사회문제 해결을 위해 사회문화데이터사이언스연구소(ISDS)의 민원데이터 분석 시스템을 활용하여 원자력 관련 사회문제의 현황과 내용을 파악하고 있음. ISDS는 국민권익위원회의 민원데이터를 이관 받아 연구 및 교육 목적에 한해 분석에 활용 중.
  - 국내 원자력 관련 기관 견학
    - (통합과정) 외 12명이 2021.11.8. 한국수력원자력본부, 원자력 환경공단, 월성 방사능방재 센터 등을 방문하여 현황을 파악하고, 주요 갈등 요소 및 이해 관계자간 대립 지점 파악.



- 전문 지식을 사회문제에 적용하여 보는 실용화 실적
  - 사회문제 접수를 위한 온라인 플랫폼 완성: 2021.12. 경주 및 기타 지역 주민들을 대상으로 원전에 대한 인식과 수용성에 대한 설문조사를 실시하고, 그 분석 결과를 바탕으로 이해관계자간 중재 및 소통을 위한 전략을 도출하고 있음. 또한, 원자력 관련 사회문제 해결을 위한 제안 및 의견을 상시 개진할 수 있도록 교육연구단 홈페이지 내 온라인 플랫폼을 구축하였음. 제안된 산업 및 사회 문제는 본 교육연구단의 사회문화데이터사이언스 연구소가 중심이 되어 해결 방안들을 모색해 나갈 것임.
  - 사회문제 해결을 위한 지역사회-산학연과 연계한 실용 연구센터 설립: 한국수력원자력(주)와 해오름동맹지역 지방자치단체(울산광역시, 경주시, 포항시), 해오름동맹지역의 6개 대학(동국대학교, 위덕대학교, 울산과학기술원, 울산대학교, 포항공과대학교, 한동대학교)이 지역협력, 원전지역 특화연구, 지역수용성 증진연구 개발에 대한 상호협력관계를 구축하고자 2021년 8월에 제2기 해오름동맹 지역공동연구사업 협약을 체결하였음. 안정적인 산학협력 플랫폼을 구축함으로써 지역 상생모델 개발 및

지역사회/시민과의 소통을 강화하고자 하며 해오름동맹 지역 대학이 참여하는 ‘해오름동맹 원자력 혁신센터’를 설립하고, 원전 관련 사회적 이슈와 관계지역주민의 인식 파악을 기반으로 원전 수용성 제고를 위한 지역 협력방안 마련을 목표로 한 ‘원전 수용성 제고를 위한 지역협력 방안 연구’, 원전 제염/해체 사업 전문 인력양성과 지역 중소기업 및 민간/정부 연구소의 인력양성에 도움을 주고자 해오름동맹 연합 교육프로그램인 ‘핵종분석 실험실습 프로그램 개발’ 연구를 수행하고 있음.

- 사회문제 교육 및 연구주제로 총 3회 이상 학술 워크숍 개최 및 활용:

- .2021.11. ‘국민참여형 원자력안전규제 정책수립 제도 운영 경험과 성과’ 주제로 세미나(초청 강사: 원자력 안전재단의 원자력안전센터 이동욱 센터장)
- .2021.12. 공론조사 방법론 세미나: 원자력과 공론조사(초청 강사: 이윤석 교수, 서울시립대 사회학과)
- .2021.12. ‘원자력으로 인한 사회적 갈등의 배경과 원인’ 주제로 강연 및 토론 실시(초청 강사: 경주 환경운동연합 정현걸 의장)

- 참여교수의 원자력과 관련된 현안에 대한 사회적 논의 및 해결 방안 모색에 기여하기 위한 사회문제 해결 위원회 활동 실적

교수명	기관/회사명	활동위원회/조직명	역할/직책
박종문	경주시	월성원전감시위원회	위원
업무용	에너지산업진흥원/경상북도	원전지역 상생발전 포럼 위원	지역발전 분과 위원
업무용	한국원자력환경공단	기술자문위원	외부이사
업무용	한국원자력환경공단	방사성폐기물안전위원회	사의위원
업무용	경주시월성원전방폐장민간 환경감시센터	월성원전삼중수소 관리 안전성 확보를 위한 민간합동조사단 전문가 활동	기술자문위원회
조항진	포항테크노파크	Nu-Leader 원자력산업 서포터즈	전문가 자문
조항진	한국연구재단	2021년 미래수소원천기술개발사업 신규과제 상세기획회의	기획위원
조항진	에너지산업진흥원	원전산업 육성포럼	
조항진	한국원자력연구원	용융염원자로 (MSR) 협의체	
조항진	한국원자력연구원	제 6차 원자력진흥종합계획 융합과 혁신 (원자력) 분과	
조항진	경상북도	경상북도 탄소중립추진위원회	위원
조항진	글로벌오픈파트너스	수소 전 주기 기술개발 전략 재정비를 위한 사전연구 수소생산 분과	
조항진	경상북도	지방시대주도 경상북도 준비위원회 ‘에너지-환경’ 분과위원회	위원
조항진	경상북도	경상북도 원자력클러스터 추진위원회	위원

### 3. 연구의 국제화 현황

#### ① 참여교수의 국제적 학술활동 참여 실적 및 현황

- 국제학회/학술대회 활동: 기타 초청 강연

교수명	일정	강연제목	초청학회명
업무용	2021.11.25.~ 2021.11.29.	Decontamination of concrete waste from NPP decommissioning in South Korea	European Joint Program on Radioactive Waste Management (EURAD)-Cement Organic Radionuclide Interactions (CORD) Workshop

업무용	2021.12.16.~ 2021.12.21.	Waste form development for immobilization of radioactive waste	Pacificchem
- 국제 학술지 관련 활동: 편집위원 등 관련 활동			
교수명	저널명		역할/직책(직위)
박종문	Water Research		Associate Editor
박종문	Journal of Hazardous Materials		Editorial Board Member
박종문	Bioresource Technology		Associate Editor
박종문	Current Biotechnology		Editorial Board Member
박종문	Current Environmental Engineering		Editor in Chief
박종문	Journal of Engineering		Editor
윤건수	Plasma Physics and Controlled Fusion		Editorial Board Member
윤건수	Plasma Research Express		Editorial Board Member
윤건수	Association of Asia Pacific Physical Societies (AAPPS) Bulletin		Editorial Board Member; Scientific Committee Member
- 국외 학술/학회 활동			
교수명	학회/학술명		역할/직책(직위)
박종문	INTERNATIONAL WATER ASSOCIATION		정회원
박종문	AMERICAN CHEMICAL SOCIETY		정회원
유선철	IFAC( INTERNATIONAL FEDERATION OF AUTOMATIC CONTROL)		IFAC TECHNICAL COMMITTEE ON MARINE SYSTEMS(TC 7.2)
유선철	INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONTROL, AUTOMATION AND SYSTEMS(ICASS) 2022		ORGANIZATION COMMITTEE
윤건수	ASSOCIATION OF ASIA-PACIFIC PHYSICS SOCIETIES (AAPPS) DIVISION OF PLASMA PHYSICS (DPP)		PROGRAM COMMITTEE MEMBER OF THE 2020 AAPPS-DPP CONFERENCE
윤건수	ASSOCIATION OF ASIA-PACIFIC PHYSICS SOCIETIES (AAPPS) DIVISION OF PLASMA PHYSICS (DPP)		BASIC SESSION VICE-CHAIR
- 국제기구/대외활동			
교수명	기관/회사 명	활동 위원회/조직 명	역할/직책(직위)
윤건수	ITER Organization	ITER Council Science and Technology Advisory Committee.	한국 멤버
윤건수	ITER Organization	International Tokamak Physics Activities (ITPA) Diagnostics Topical Group	부의장 및 한국대표

## ② 국제 공동연구 실적

### 1) <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	업무용	Mumtaz Khan 외 2명	파키스탄/ PINSTEC H	테크니슘-EDTA 저하 평가를 위한 레늄-EDTA 평가 연구를 함께 진행하여, PINSTEC 연구진과 공동으로 논문을 1편 출판함.	<a href="https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102492">https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102492</a>



2	업무용	Agathe Bourchy 외 7명	미국/ PNNL	테크니슘 처분을 위한 hydrated lime-based cementitious 고화체 침출 평가 연구를 함께 진행하여, PNNL 연구진과 공동으로 논문을 1편 출판함.	<a href="https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.128507">https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.128507</a>
3	업무용	Guohui Wang	미국/ PNNL	Ni 도핑에 따른 Fe(OH) <sub>2</sub> 의 광물상의 변화를 통해 테크니슘 처리 연구를 함께 진행하여, PNNL 연구진과 공동으로 논문을 1편 출판함.	<a href="https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.1.127779">https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.1.127779</a>
4	업무용	Tatiana G. Levitskaia	미국/ PNNL	다양한 이중층상수산화물을 이용한 방사성요오드 처리 관련 연구를 함께 진행하여, PNNL 연구진과 공동으로 논문을 1편 출판함.	<a href="https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.132788">https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.132788</a>
5	업무용	Neil. C. Hyatt	영국/ University of Sheffield	유기 방사성폐기물의 처리 관련 연구를 함께 진행하여, Sheffield 대학 연구진과 공동으로 논문을 1편 출판함.	<a href="https://doi.org/10.1038/s41529-021-00192-3">https://doi.org/10.1038/s41529-021-00192-3</a>
6	업무용	Nurrul Assyikeen Md Jaffary 외 7명	말레이시아/ University of Malaysia	Phosphorylated된 천연 고무를 제조하여 토륨 원소를 흡착하는 흡착제 개발에 관한 연구를 함께 진행하여 University of Malaysia 연구팀과 논문을 1편 출판함	<a href="https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2021.109546">https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2021.109546</a>
7	윤건수	Jeong-Young Ji	USA/Utah State University, Logan	Minuk Lee, Jeong-Young Ji*, and Gunsu Yun*, "Nonlinear harmonics coupled by parallel wave propagations in a time-dependent plasma flow", Plasma Phys. Control. Fusion 64 (2022) 055005	<a href="https://doi.org/10.1088/1361-6587/ac57cd">doi.org/10.1088/1361-6587/ac57cd</a>
8	윤건수	Deirdre Wendel	USA/NASA Goddard Space Flight Center	Young Dae Yoon*, Deirdre Wendel, and Gunsu Yun*, "Equilibrium selection via current sheet relaxation and guide field amplification", <u>Nat. Commun.</u> under review.	<a href="https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1423536/v1">doi.org/10.21203/rs.3.rs-1423536/v1</a>
9	윤건수	Richard Dendy	UK/Warwick University	BCG Reman et al., "First observation and interpretation of spontaneous collective radiation from fusion-born ions in a stellarator plasma", Plasma Phys. Control. Fusion 64 (2022) 085008	<a href="https://doi.org/10.1088/1361-6587/ac7892">doi.org/10.1088/1361-6587/ac7892</a>
10	조항진	Julio Ferreira, and Massoud Kaviany.	미국, University of Michigan-Ann Arbor	유동 비등에서 한계점인 임계열유속을 향상 시키기 위하여 다공성 구조 표면을 제작하여 기존의 한계점을 실험적으로 돌파하였는데, 이 현상에 대해 수치해석 및 정량적 해석에 대해 University of Michigan-Ann Arbor 연구팀과 공동으로 수행하여 논문을 출판함.	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0017931021011054">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0017931021011054</a>
11	조항진	Moriyama Kiyofumi	일본, Masaki Tech	관내응축열전달 현상을 높이기 위하여 소수성 표면을 사용하고 이를 고압 저유량 조건에서 성능을 평가하였고 특정 압력까지만 성능이 향상하는 실험결과를 모델링을 통하여 설명하였고, 이 과정에서 현재 Masaki Tech에 있는 Moriyama Kiyofumi 연구원과 공동연구를 진행함.	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0017931021011522#">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0017931021011522#</a>
12	조항진	Hwasung Yeom and Kumar Sridharan	미국, University of Wisconsin-Madison	사고저항성 핵연료봉에 대한 관심이 커져가며 후보 물질에 대한 열수력학적 인자에 대한 평가가 필요하게 되었고, 이 연구에서 유동비등상황에서 그 열수력학적 성능 평가를 수행함. 미국 사고저항성 핵연료봉 개발 연구를 활발히 진행한 University of Wisconsin-Madison 연구팀과 공동연구를 수행함.	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431122001272">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431122001272</a>

### ③ 외국 대학 및 연구기관과의 연구자 교류 실적 및 계획

#### [1] 원자력

##### (1) 안전 분야

- Univ. Wisconsin-Madison 연구팀과 사고저항성 핵연료봉 개발에 대한 연구를 지속적으로 수행하여 SCI 저널 (Applied Thermal Engineering)에 출간함.
- Univ. Wisconsin-Madison 연구팀과 마이크로 원자로 연구를 한-미 국제공동연구 International Nuclear Energy Research Initiative(I-NERI) 연구제안서를 공동으로 제출하여 ‘Design of Integrated-Compact Heat Exchanger and Power Conversion System for Transportable Small Modular Reactors (SMRs) and Microreactors’ 과제가 2021년 7월에 선정됨. 이에 따라 추후 3년간 지속적인 미팅을 통해 한미 공동연구를 수행 중.
- Univ. Michigan-Ann Arbor 연구팀과 유동비등에서 원자력안전 설계 인자이기도 한 임계열유속을 향상시키기 위한 새로운 형태의 다공성 구조 표면을 제안하였고 성능 향상 메커니즘에 대해 수치해석을 수행하여 보다 높은 안전성을 담보할 수 있는 시스템을 제안하고 이를 SCI저널 (Int. J. Heat and Mass Transf.)에 출간함.
- Oregon State University 연구팀과 신규 및 기존 원자력 재료의 열수력 안전성 평가를 높이기 위한 LOCA 상황에서의 핵연료봉 특성 평가를 위한 센서 설치 및 평가 기법에 대하여 매달 WEBEX 미팅을 수행하고 있음.
- 원자력 시스템 안전성 향상을 위한 피동형시스템의 성능 및 설계에 영향을 미치는 관내응축 성능 향상에 대한 연구를 수행하였고, 표면 개질이 미치는 성능에 대해 실험적으로 확인하고 이를 설명하는 모델을 제안함. 이 과정에서 현재 일본 Masaki Tech에서 근무하는 Moriyama Kiyofumi 연구원과 협력하여 SCI저널 (Int. J. Heat and Mass Transf.)을 출간함.
- 해외 전문가가 참여한 비정규 수업 운영  
.2022. 5. 3. Erdem An 교수(Yeditepe Univ. Turkey), <Supercritical Flow 관련 수업>  
.2022. 8.24. Massoud Kaviani 교수(Univ. Michigan-Ann Arbor), <Control and Enhancement of Flow-Boiling Crisis with Porous Metasurfaces>

##### (2) 환경 분야

코로나 팬데믹으로 인해 직접적인 대면 교류는 어려웠으나, 비대면 회의 및 이메일을 통한 교류를 통해 PNNL, Sheffield, UKM 대학과 공동 연구활동을 지속하고 있음.

- 영국 University of Sheffield: Neil. C. Hyatt 교수와 공동으로 사용후레진 및 C-14 처리와 이를 담지하는 고화체 개발과 관련된 연구를 함께 진행하여, Sheffield 대학 연구진과 공동으로 논문을 1편 출판하였으며, 연구를 지속적으로 수행할 계획임.
- 미국 Pacific Northwest National Laboratory (PNNL): 처분장 안전성평가를 위한 공동 실험의 일환으로 산화환경 조건에서 Tc 핵종의 용해도 특성을 평가 및 방사성요오드의 처리를 위한 흡착제 개발 및 평가를 하기 위해 공동 연구를 진행하여 연구결과를 공동논문 3편으로 출판함. 추가로 Drs. Wang, Saslow, Rod, Lee 등과 지속적으로 공동연구를 진행중. Dr. Lee는 10-11/2021에 포스텍에 방문하여 분자동력학 전산모사 단기코스 및 공동연구를 진행하였고, 현재 온라인을 통해 지속적으로 공동 연구 수행 중.
- 말레이시아 국립대학교 (Universiti Kebangsaan Malaysia: UKM): 학생 1인 (Nur Shahidah Binti Abdul Rashid)이 UKM에서의 교육 연수를 통하여 Sprague Dawley 쥐를 이용해 Th-232, U-238이 생체에 미치는 영향 연구를 진행하였고 지속적으로 수행 중이며 논문 1편을 출판함.

- 미국 Pacific Northwest National Laboratory (PNNL): 사용후핵연료 처분장 안정성 평가를 위한 핵종의 흡착, 확산, 용해도 특성에 대한 공동연구를 지속적으로 진행하고 있음.
- 파키스탄 Pakistan Institute of Nuclear Science and Technology (PINSTECH): 테크니슘-EDTA 저하 평가를 위한 대체 연구로써 레늄-EDTA 평가 연구를 공동으로 진행하여, PINSTECH 연구진과 공동으로 논문을 1편 출판하였고, 연구를 지속적으로 수행할 계획임.

## [2] 기술 융합 및 미래 기술

### (1) 핵융합 플라즈마 및 가속기

- 지속 활동: 코로나 팬데믹으로 인하여 학생 연수 프로그램이 중단되었음. 본 교육연구단이 보유한 세계 최고 수준의 핵융합 플라즈마 진단 분야의 경쟁력을 기반으로 NIFS 연구소의 Large Helical Device, 규슈 대학교 QUEST 핵융합 실험 장치에 진단 시스템 개발을 지원하였음.
- 미국 Princeton Plasma Physics Laboratory (PPPL): 핵융합 플라즈마 데이터 분석에 기계학습 기술을 적용하는 연구에서 Bill Tang 교수 그룹과 협력하고 있음. PPPL의 Steve Sabbagh 교수 그룹이 진행하고 있는 핵융합 플라즈마 이미징 진단 신호의 실시간 후처리 시스템 개발에 참여하고 있음.
- 미국 Argonne National Laboratory: 코로나 팬데믹으로 인하여 ANL 학생 파견은 이루어지지 못하였고 차년도에 추진할 계획임.
- 일본 NIFS 연구원 (National Institute for Fusion Science)과 공동 워크숍을 개최할 계획임: “Mini Workshop on RF emission (ICE) measurements” (2023년 상반기)

### (2) 로봇 시스템

- 2021년 9월 2일과 10월 12일 두 차례에 걸쳐 일본 원자력 기구(JAEA)와 동경대로부터 초청한 연사들을 중심으로 한 ‘NEST/ARTERD Pre-seminar 2021’ 이 개최되어 원전 조사를 위한 원격 조종 로봇, 방사능 매핑을 위한 로봇 플랫폼 등 원전 관리 및 사고 대응을 위한 다양한 로봇 기술 및 개발 사례를 공유하였음.
- 2021년 9월 10일, 미국 Argonne National Laboratory의 Dr. YoungSoo Park, Mr. Lawrence E. Boing을 초청하여 Robotics and remote systems for D&D and key elements for managing decommissioning project 등 원전 관리, 운용, 해체 전반에 활용되는 로봇 기술에 다루는 온라인 강연을 개최하였음.
- 2022년 3월 10일, 동경대 우한울 교수를 초청하여 후쿠시마 원전 탐사 및 해체를 위한 로봇 기술을 소개하는 세미나가 온라인으로 진행되었음. 핵연료 잔해를 제거하는 동안 원자로 내부를 파악하는 모니터링 플랫폼 구축하는 연구에 대하여 강연함.