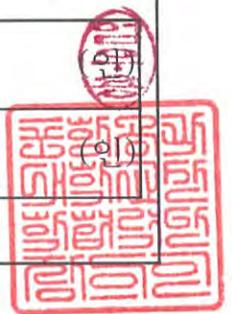


**『4단계 BK21사업』 혁신인재 양성사업(산업·사회 문제 해결 분야)
교육연구단 자체평가보고서**

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)	4차년도 (23.3~24.2)		
	국고지원금	351	754	759	900		
총 사업기간	2020.9.1.-2027.8.31.(84개월)						
자체평가 대상기간	2022.9.1.-2023.8.31.(12개월)						
<p>본인은 관련 규정에 따라, 『4단계 BK21사업』 관련 법령, 귀 재단과의 협약에 따라 다음과 같이 자체평가보고서 및 자체평가결과보고서를 제출합니다.</p> <p align="right">2023년 12월 26일</p>							
작성자	교육연구단장			엄우용			
확인자	포항공과대학교 산학협력단장			김종규			



<자체평가 보고서 요약문>

중심어	원자력발전	원자력안전	원자력환경
	원자력미래융합	원자력첨단융합	원자력사회융합
	미래사회원자력기술	방사성폐기물관리	글로벌융복합인재양성
교육연구단의 비전과 목표 달성정도	<p>본 “미래사회를 위한 첨단원자력융합” 교육연구단에서는 ‘원자력’이라는 종합공학의 기술적 문제와 복합적인 사회적 이슈를 이해하고 해결할 수 있는 융복합 인재 양성을 목표로 하고 있으며, 이를 위해서 “원자력공학”의 기초교육 및 분야별 전문 교육과정을 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. 2021년부터 새로운 교육과정 개편 및 분야별 특성화 연구를 통하여 공학적 기술에 인문사회적 공감대를 갖춘 인간 중심의 미래사회를 위한 원자력 융복합 인재 양성의 초석을 마련하였고, 목표 달성을 위한 전략에 맞춰 단계별 목표를 달성하고 있음.</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 교과 과정을 개편하여, 공통필수 3과목에 공학적 필수분야인 원자력공학, 원자물리학 이외에 인문사회학 분야인 “원자력과 사회문제” 과목을 추가 편성하였음. 또한, 지난 1년간 특성화 세부전공별 신입 대학원생 총 13명을 확보하였으며, 지속적으로 해외 우수 전문기관과 교류 및 해외연수를 통하여 국제적 감각의 융합인재 교육역량을 확보하였음. 참여대학원생의 학술활동 및 공동연구 참여로 총 21편(IF 합계: 97.784) 논문 게재, 국내·외 학술회의 55편 발표(우수논문발표 2명 수상), 특허 등록 4건(국내 3건, 국외 1건), 특허 출원 6건(국내 1건, 국외 5건)의 성과를 이루었고, 5명의 신진연구인력은 논문 10편, 연구과제 참여 등 독자적 연구환경을 조성하였음.</p>		
연구역량 영역 성과	<p>참여교수들의 탁월한 연구비 수주와 SCI급 저널 총 38편(IF 합계: 201.334), 특허 등록 10건(국내 9건, 국외 1건), 특허 출원 13건(국내 8건, 국외 5건)을 완료하였음. 또한, 미국 PNNL(Pacific Northwest National Laboratory), Univ. of Wisconsin-Madison, Utah State Univ., 영국 Sheffield 대학, 일본 Univ. of Tokyo 등 11개 기관과의 국제 공동연구를 통해서 논문게재 등 활발한 교류가 지속되었음.</p>		
달성 성과 요약	<ol style="list-style-type: none"> 1. 사회문제 해결에 필요한 “원자력사회문제융합” 과정 신설 등 전면적인 교과과정 개편과 우수 대학원생 확보 2. 지속적인 국제적 교류 (교육 및 연구 분야) 3. 학생/참여교수의 연구 성과물 (논문/학회발표/특허 등) 		
미흡한 부분 / 문제점 제시	<p>본 교육연구단의 계획 대비 현재 진행사업은 원활하게 진행되고 있음. 다만, 계속되는 코로나 19로 인한 해외 교류 부진 등 당초 계획한 해외학자 초빙, 유관 기관 및 해외 선진 연구 그룹과의 교류/견학, 대학원생들의 장/단기 해외 연수 등 진행에 어려움이 있음. 제한적이거나 해외 선진 연구 그룹 견학을 실시하고, 화상강의/온라인 회의 플랫폼을 적극 활용하여 보완코자 함.</p>		
차년도 추진계획	<ol style="list-style-type: none"> 1. 지속적인 교육 프로그램 및 연구 활동으로 참여 학생들의 융합적 사회문제 해결 능력 향상 2. 온라인 및 비대면 교육 및 프로그램 개발을 통한 교육 및 연구 인프라 활성화 3. 단기강좌 개발 및 해외 우수기관 학생 파견 교육 프로그램 강화 		

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 10명, 석사 18명의 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 2023년 2월까지 포항공과대학교 첨단원자력공학부의 학부장으로 재임하며, 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 성장시키고자 하는 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 적임자이다.

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	2022년 2학기	5	4	9	4	4	8
	2023년 1학기	6	3	9	5	3	8

<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		2022년 2학기	전출	정년 퇴직	
2		2023년 1학기	전임	신규 임용	

<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	2022년 2학기	18	14	77.78	29	25	86.21	11	11	100	58	50	86.21
	2023년 1학기	16	14	87.50	32	27	84.38	10	8	80.00	58	49	84.48
참여교수 대 참여학생 비율				6.2									

- 원자력 안전 및 원자력 환경 분야의 재료기반의 전임교수를 유치하고자 노력하여 박사(를) 2023년 2월 20일부로 첨단원자력공학부 신입교원으로 초빙하고 교육연구단에 참여교수로 영입하였음. 교수의 전공 분야는 차세대 원자로 핵연료 및 구조재료 개발과 사용후핵연료 저장/처분 용기 개발 연구로써, 원자력 전공학생들에게 필요한 필수과목인 핵연료의 전행과 후행을 모두 다루는 정규 교과목을 개설하고, 원자력재료 분야에서 국제적으로 연구 네트워크를 가지고 있음. 이미 연구조교수/부교수를 거치면서 연구와 멘토링 경험이 풍부하여 대학원생의 교육 및 연구역량 향상에 기여할 것임.
- 또한, 신입교수 충원을 지속적으로 노력한 결과 현재 미래융합-플라즈마 및 가속기 분야 전임교원도 충원 예정에 있음.(2024년 2월 부임 예정)
- 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 교수, 산업체 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 교수
 - 원자력환경 분야 특성화: 방사성폐기물 관리와 원전 운영 시 발생하는 폐기물의 제염 및 노후 원전 해체 분야를 미국 PNNL에서부터 선도적으로 이끌어 온 교수, EU 그린 텍소노미 원자력 포함에 필수적인 고성능 사고저항성 핵연료 개발과 평가, 안전한 방사성폐기물의 저장과 처분 용기 개발 연구를 미국 위스콘신대학에서 이끌어 왔던 교수
 - [미래융합] 플라즈마 및 가속기분야 특성화: 핵융합 플라즈마 물성 해석, 플라즈마 진단 기술과 산업용 플라즈마 활용에 대한 심도 깊은 연구를 진행하여 온 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 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 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 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 연구교수, 정년퇴임 후 계속하여 방사성폐기물의 유리화를 통한 고화체 개발을 수행하는 연구교수가 참여하고 있고, 응축효율증진 및 계면현상을 이용한 기능성 소재개발 연구를 수행하는 연구교수가 2022년-2학기까지 참여하였음.
 - 또한, 포항가속기연구소와 포스텍의 협의를 통하여 가속기 인력양성 교육을 본 교육연구단에서 진행하기로 결정함에 따라 포항가속기 소속 연구원인 박사, 박사, 박사 등이 겸직교수로서 정규 교과목을 개설하고 연구 및 교육을 공동으로 계속하여 수행하고 있으며, 플라즈마 및 가속기 분야의 교육 역량 강화를 위해 2022-2학기에 박사, 박사, 박사 겸직교수로 영입하였음.
 - 위의 교육연구단 구성에 더하여, 지난 10여 년 동안 본 교육연구단에 참여하면서 정규교과목 강의 및 공동연구 지도교수, 그리고 학위심사위원으로서 역할을 충실히 수행하여온 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.

- 다학제 융합 교과과정 편성하고 이를 지원하는 교육/연구 인프라 구축
- 원자력 관련 산업/사회 문제 해결을 위하여 전문 지식을 사회문제에 적용하여 보는 실용화
- 해외 우수 전문기관과 지속적인 교육/연구 교류를 통하여 선도적 가치를 창출하는 국제화

<실적>

(1) 인문-공학 융복합, 다학제간 융복합 교육과정 운영

- 본 교육연구단의 비전 및 목표에 부합하는 인재양성을 위해 기존 교육 과정을 바탕으로, 원자력 산업·사회문제들에 대응하기 위하여 가속기, 인공지능, 로봇 시스템과 같은 새로운 분야로의 확대, 인문·사회 분야와의 융합, 실제 산업·사회 문제에 밀접한 실용적 지식 양성이 가능하도록 교과과정을 개편하여 다학제간 융복합 교육 프로그램을 운영하였음.

구분	개편 후(2021년부터)
교과이수 기본	<ul style="list-style-type: none"> - 공통과목 3과목(원자력공학, 원자로물리학, 원자력과 사회문제) 필수 수강 - 공통선택과목 3과목(방사선계측 및 안전, 원자로실험, 미래사회첨단원자력입문) 중 1과목 선택 수강 - 전공선택필수 4과목 중 1과목 선택 필수 수강 - 전공선택 공통과목 중 3학점 이상 이수/ 사회융합 과목 중 3학점 이상 이수 - 세미나

(2) 사회 이슈에 대응하기 위한 전문 지식 특성화 실적

(단기평가(2년) 지표) 특성화 세부전공 석사/박사/석박사통합 과정 학생 총 30명 확보

(장기평가(8년) 지표) 특성화 세부전공 석사 및 박사 졸업자 총 70명 배출

- 아래와 같이 지난 1년간 특성화 세부전공별 학생 총 13명 확보로 최근 3년간 총 49명의 입학생을 확보하였고, 이미 단기평가(2년) 지표는 달성하였음.
- 2022-2학기와 2023-1학기 특성화 세부전공별 입학인원
 [원자력안전] 석사과정 1명, 박사과정 1명
 [원자력환경 및 재료] 석사과정 4명, 박사과정 2명
 [플라즈마 및 가속기] 석사과정 3명, 박사과정 2명
- 사업시작 후 2023.8.까지 연구단 수행 학과의 석사 및 박사 졸업자는 40명으로 장기평가(8년) 지표의 57%를 이미 달성하였고, 목표로 세운 70명도 충분히 가능할 것으로 예상함.

✓ 원자력안전 분야 특성화: 현장에서 발생하는 문제들에 대해 실습으로 접하고 전문 연구로 연계할 수 있도록 교육하여 사고저항성 핵연료봉 및 고연소도 핵연료봉의 적용 안전성에 대한 연구, 원자력안전 및 에너지시스템 설계에 대한 연구 등 현안 해결을 위한 연구를 다양하게 수행하였음.

✓ 원자력환경 분야 특성화: 지역사회문제 해결을 위한 방안 모색으로 원자력발전소 해체, 방사성 폐기물의 처리 및 처분 기술 교육 프로그램을 개발하였음. 원전 해체 사업에 참여하는 경상북도 소재 중소기업의 제염 기술개발 시 문제점 및 애로사항을 조사하고 해결한 솔루션 제공과, 컨설팅 및 기업에서 필요로 한 분야의 교육 자료 정리.

✓ [미래융합] 플라즈마 및 가속기분야 특성화: 플라즈마와 가속기 공학은 원자력 관련 신사업분야를 개척하는 데 중요한 역할을 할 수 있는 주요 분야임. 본 교육연구단은 방사광가속기에 대한 핵심

지식을 교육하며, 가속기 연구원들이 실제 산업 이슈와 연관된 실질적 문제들을 강의함으로써 학생들의 사회적 문제 해결 능력을 배양할 수 있는 정규교육과정을 편성/운영하였음. 또한, 가속기 분야 인력양성을 위해 본 학과가 주관이 되어 6개의 공동연구대학과의 컨소시엄을 통해 미래기반 가속기 전문인력양성 사업단을 구성하고, 가속기 건설 및 운영에 필요한 전문 교육 프로그램을 진행하고 있음.

- 가속기 연구원(겸직교수) 강의 실적: 겸직교수 2023-1학기 <방사선계측>
- GIST, UNIST와 공동 실시간 화상강의 실시: 연구교수 2023-1학기 <중급 빔물리>

✓ [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 지난 1년간 신규 개발하였고, 2023-2학기부터 개설하였음.

- 신규 개발 교과목: <필드 로봇공학>

✓ [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.

- 2022-2학기 <통계적 연구방법론>
- 2023-1학기 <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
(장기평가(8년)지표) 융합교과목으로 40명 이상의 학생 교육, 융합교과목 실습에서 가능성을 인정받은 ‘혁신형 프로젝트’ 5개 이상 선정 및 지원

✓ 지난 1년간 실습형 융합과목 3과목, 사회융합과목 3개 교과 개설 운영하였음. 지난 2년간의 이행점검 시 프로젝트 수행을 포함한 실습형 융합과목 총 6과목, 사회융합과목 총 6개 교과를 개설하여 단기평가 지표는 완성하였고, 최근 3년간 총 실습형 융합과목 총 13개, 사회융합과목 총 9개 교과를 개설하였으며, 융합교과목 전체 수강 학생은 누적 193명으로 장기평가(8년) 지표를 이미 달성하였음.

✓ 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 교과목은 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 사회문

제), <원자로실험> 등의 과목을 개설하였고, 다양한 원자력 관련 사회문제 해결을 위한 기반을 제공하기 위해서 <통계적 연구방법론>, <원자력과 사회문제>, <미래사회 첨단원자력입문> 과목을 사회융합 교과목으로 개설하여 체계적이고 효과적으로 사회 융복합의 기본 목적을 구현할 수 있는 교육 인프라를 구축하였음.

(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

(장기평가(8년)지표)

사회문제 접수 및 해결과 관련하여 지역사회/산학연 관련 기관과 함께 간담회 개최
 사회문제 해결 자문 7회 이상 확보
 특히, 기술이전, 창업연계 등 사회문제 해결 사례 7건 이상 확보

단기평가(2년) 지표는 지난 이행점검 시 완료하였으며, 계속하여 유지 발전하고 있음.

- ✓ 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.
- ✓ 국내·외 최고 전문가 초빙, 특강 및 유관기관 견학을 통한 연구개발의 실용화:
 - 매 학기 국내·외 원자력분야 전문가 초청 세미나 개최: 2022-2학기 12회, 2023-1학기 11회
 - . 국내 원자력분야: 총 16명
 - . 국외 원자력분야: 총 7명
- ✓ 국내·외 원자력 관련 기관 견학 및 교육
 - 등 32명이 ‘ICP-MS’, ‘원자력 열수력 실험정보 교류 워크숍’, ‘SMR 최신 기술 교육’ 등 11개의 교육 및 워크숍에 참가
 - . 특히 지난 1년간은 그동안 코로나-19로 실시하지 못했던 해외 단기연수를 실시하여, 총 13명의 학생들이 미국의 TerraPower, Oregon State Univ., UW-Madison, WIPP 등의 연구실을 방문하여 최신 연구 주제 동향을 파악하고, 관련된 실험 장치들을 견학하는 기회를 가졌음.
 - 국내·외 학회 참가
 - . 등 61명이 ‘한국원자력학회 학술대회’ 등 20건의 국내 학술대회 발표 및 참가
 - . 등 18명이 ‘NTHAS-12’ 등 11건의 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

(장기평가(8년)지표) 사회문제 해결을 위한 해외기관과의 교육/연구 교류 WORKSHOP 3회 이상 개최, 해외학자/해외학생 10명 이상 유치, 매년 1회 이상의 해외 교육/연구 교류 프로그램 지원

단기평가(2년) 지표는 지난 이행점검 시 완료하였으며, 해외 학생 유치, 교육/연구 교류 지원을 계속 추진하고 있음.

✓ 지난 1년간 해외학자 초청을 통한 정규과목 1회 운영, 화상강의/회의 플랫폼 운영 유지, 개설과목의 영어강의 100% 진행하고 있음.

사업 시작 후 현재까지 해외 학생은 9명을 유치하였음.

✓ 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.

- 2023-1학기 교수(Univ. Michigan-Ann Arbor), <열전달 물리학, 3학점>

수강생: 첨단원자력공학부, 기계공학과, 신소재공학과, 전자전기공학과 등 69명

✓ 화상강의/회의 플랫폼을 활용한 Webinar: International Colloquia 운영

- 지난 1년간 학과의 정기세미나 및 각 세부 전공분야에서 주로 해외 연사에 대해서는 화상강의 플랫폼을 활용한 세미나를 운영하였음.

✓ 전 교과과정 영어 강좌 개설 및 해외 학생 유치

- 본 학과에서는 지난 1년간 개설된 모든 교과 강의(2022-2학기 9과목, 2023-1학기 7과목)를 영어로 진행하였음.

- 지난 1년간 우수 해외 학생 유치 실적

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

. 2022-2학기 입학:

. 2023-1학기 입학:

. 상기와 같이 지난 1년간 신규 입학한 학생 외에도

등의 학생이 참여하였음.

✓ 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 ‘ACS Fall 2023’, ‘International conference of Boiling and Condensation 11’ 등 우수한 국외 학회에 참가함으로써 해외 원자력 분야를 경험하고 가치를 창출할 수 있는 기회를 제공하였음. 국외 학회/교육 참가 대표 실적은 다음과 같음.

ACS Fall 2023(ACS, 2023.08.13.-08.17)

International conference of Boiling and Condensation 11(ICBCHT 11,
2023.05.13.-05.19.)

WM2023 Conference(2023.02.24.-03.07.)

ICRS14/RPSD22(2022.09.24.-10.02.)

- 원자력 환경 분야에서는 전세계 방사성폐기물 분야에서 가장 큰 국제 학회인 Waste Management Symposia 2023에 참가하여 발표를 하고, 각 나라별 중저준위 및 고준위폐기물 처리·처분에 관한 정책을 파악하고 최신 연구동향을 체득하였음. 또한, 방사선 차폐 및 계측에 특화된 학술대회로 원자력, 우주항공, 메디컬 등 국내 학술대회에서 습득하기 어려운 다양한 주제들을 경험할 수 있는 ICRS 학술대회에 참가하여 방사성폐기물을 포함한 고화체에 방사선 조사를 한 후 고화체의 특성변화에 대한 구두 발표를 하였고 방사선 차폐, 모델링 관련 지식을 습득하였으며 향후 연구에 적용할 수 있을 것으로 기대함.

✓ 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.

- 2022-2학기 <가속기의 원리와 기술>, <통계적 연구방법론>

- 2023-1학기 <원자력과 사회문제>, <방사선계측>, <중급 빔물리>, <미래사회첨단원자력입문> 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, 지난 1년간은 <필드 로봇공학> 교과목 개발을 하였음.

• 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. 지난 2년간은 계속되는 코로나 19 상황으로 당초 계획한 해외 학자 초빙, 유관 기관 및 해외 선진 연구 그룹과의 교류/견학, 대학원생들의 internship 및 장/단기 해외 연수 등 진행에 어려움이 있었으나, 최근에는 제한된 상황에서도 진행할 수 있는 온라인 환경을 활용한 교육/연구 교류 플랫폼을 적극 활용하고, 대학원생들의 해외 선진 그룹의 견학, 장/단기 해외 연수를 회복하고 있

음. 다만, 국내외 장기간 인턴쉽 활동이 참여대학원생 자격을 유지할 수 없어 활성화에 어려움은 있음.

□ 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 포스텍, 경희대 등 출신 우수 대학원생 총 13명을 유치함으로써 계획 대비 원활한 성과가 있었음.

지난 1년간 특성화 세부전공별 학생 총 13명의 유치 현황은 다음과 같음.

- 2022-2학기과 2023-1학기 특성화 세부전공별 입학인원

[원자력안전]

[원자력환경 및 재료]

[플라즈마 및 가속기]

• 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 21편(IF 합계: 97.784)의 논문을 게재하였음. 게재지의 JCR 기준 상위 Q1 value급에 15편 (J. of Hazardous Materials, Cement and Concrete Research, Energy Conversion and Management 등), Q3 value급에 2편 (Fusion Science and Technology 등), Q4 value급에 1편, 그 외 전문 관련 분야의 문제 해결을 제안한 논문 3편 등 총 SCI급 21편 중 15편의 논문(71%)을 Q1 value급 저널에 게재함으로써 비교적 질적으로 우수한 평가를 내릴 수 있음.

또한, 참여대학원생은 지난 1년간 학술대회에서 국내 39편, 국외 16편, 총 55편을 발표하였고, 학술대회 우수논문발표 수상 2명, 국내 특허 등록 3건, 해외 특허 등록 1건, 국내 특허 출원 1건, 해외 특허 출원 5건 있음.

• 해외 기관과 협력을 통한 국제화

해외학자 교수(Univ. Michigan-Ann Arbor)가 2023-1학기 정규 교과목 <열전달 물리학, 3학점>을 개설하여 첨단원자력공학부 및 신소재, 화공과 등 69명이 수강함.

2013-1학기에는 미국 UW Madison, WIPP, TerraPower, Oregon Univ. 등 기관을 방문하여 학과 및 각 연구 그룹을 소개하고 최신 연구 동향과 기술 교육을 실시하는 등 해외 학자 및 연구원과의 교류를 강화하였음.

• 참여교수 교육대표 실적

(1) 교수

✓ 2023-1학기 공동 선택과목인 <미래사회첨단원자력입문> 수업 진행: 사회융합 부문의 융합적 소양 교육 실시함.

(2) 교수

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

✓ <원자로실험> 수업을 통해 교육용 모의 원자로를 학생들이 실제로 운전해 볼 수 있는 기회를 제공하여 원자로의 운영과정에 대한 전반적인 이해와 사고시 초기대응 절차 지식을 습득할 수 있게 함. 또한, 원자로물리에 대한 전반적인 기초 지식에 대한 것을 교육하였음.

(3) 교수

✓ 대학원 교과목 개발 실적: 인공지능 및 로봇 시스템 분야 과목 개설을 위해 <필드 로봇공학> 과목 개발함.

✓ 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) 교수

✓ 다양한 원자력 관련 사회문제 해결을 위한 기반을 제공하기 위해서 <통계적 연구방법론> 개발

(5) 교수

✓ 2022-2학기 사회융합 자유선택 과목인 <에너지시스템> 수업 진행: 에너지 전반 기술에 대한 전공 이해를 높이고, 에너지 사회 이슈에 기술적 개선을 바탕으로 한 프로젝트 평가 진행

✓ 2022-2학기 학문후속세대양성 과목인 <범용 공학용전산도구 실습> 수업: 학문후속세대양성의 일환으로 대학원생과 박사후연구원 등 신진연구자들과 함께 대학원생들에게 필요한 공학 전산 툴을 다루는 실습 과목 기획 및 진행

✓ 2023-1학기 원자력안전 전공 트랙 필수과목인 <원자력열수리학> 수업 진행: 원자력안전 전공 트랙 필수 과목으로 원자력 안전 및 전체 시스템 이해를 위해 필요한 내용 교육 진행

✓ 2023-1학기 공통 선택과목인 <미래사회첨단원자력입문> 수업 진행: 원자력관련 사회 및 기술적 이슈에 대한 소개를 진행하고 ‘원자력시스템’ / ‘원자력재료’ / ‘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 ‘KPUP(Knowledge Power-Up Project/ KIGNS, POSTECH, UNIST, and PNU) Challenge Expo’ 에서 발표하도록 추천하여 진행함.

(6) 교수

✓ 차세대 원자력 에너지 기술 개발에 필수적인 핵연료와 구조재료에 이해 깊은 인력을 양성하기 위해, 2023-2학기에 개설 예정인 <원자력재료공학개론>과 <핵연료주기공학> 수업을 기획 및 준비

✓ 2023-1학기 공동 선택과목인 <미래사회첨단원자력입문> 수업 일부 진행

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.
- 해외 유수의 대학과 교환 실습, 단기강좌를 개발하고, 학생 파견 교육 프로그램을 강화하고자 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 복잡화 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, 2022학년도 2학기에는 전공과목 외에 ‘사회융합’ 과목으로 <통계적 연구 방법론>을 신규 개설하여 학생들이 수강할 수 있도록 하였음.

- 2022-2학기~2023-1학기 개설과목 현황

구분	원자력안전	플라즈마 및 가속기	원자력환경	인공지능 및 로봇시스템
공통과목 (필수)	.원자력공학 .원자로물리학 .원자력과 사회문제			
공통과목 (선택)	.방사선계측 .원자로실험 .미래사회첨단원자력입문			
전공필수	.원자력열수리학		.방사성폐기물관리	
전공선택	.안전공학과 원자력 안전법	.가속기의 원리와 기술	.비정질세라믹스	
	.열전달물리학 .원자력발전공학	.중급 빔물리		
사회융합	.범용 공학용 전산도구 실습			
	.통계적 연구 방법론 .원자력과 사회문제 .미래사회첨단원자력입문			

- ✓ 핸즈온실습형 과목: 학문후속세대 강의 개설 지원 프로그램으로 박사후연구원 및 대학원생 중심으로 구성된 강사진이 운영하는 <범용 공학용 전산도구 실습> 개설 및 <원자로실험>, <원자력과 사회문제> 등 지난 1년간 총 3과목의 프로젝트 수행을 포함한 실습형 융합과목을 편성, 개설하였음.

✓ 사회융합 과목: 공학기술과 인문사회 분야의 융합, 기존 원자력 분야에서 다루어지지 않던 새로운 분야들의 융합을 포함한 과목들로서 <통계적 연구 방법론>, <원자력과 사회문제>, <미래사회첨단원자력입문> 등 지난 1년간 총 3개 교과를 개설하였음.

✓ 해외 우수학자 초청 정규교과목 개설 및 운영
 - 2023-1학기, 교수(Univ. Michigan-Ann Arbor), <열전달 물리학, 3학점>
 - 수강생: 첨단원자력공학부, 화학과, 기계공학과, 신소재공학과, 철강에너지소재학과 등 69명

✓ 지난 1년간 교과목을 신규 개발하여 정규 교과로 개설한 현황은 다음과 같음.
 - 사회융합 분야 <통계적 연구 방법론> 개설 (2022-2학기)
 - 플라즈마 및 가속기 분야 <중급 빔물리> 개설. UNIST, GIST와 공동강의 (2023-1학기)

✓ 학문 분야 간 경계를 넘는 다학제간 교육/연구 융합 시스템 인프라 구축 및 확대
 - 다학제간 교과목인 <미래사회 첨단원자력입문> 과목을 개발하여 2021-1학기부터 개설하고 있음. 본 교과는 국내 및 해외 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. 2차년도에 이어 상기 수업에서 추천된 학생들의 결과물로 2023. 5. 24. 한국전력국제원자력대학원대학교(KINGS)에서 개최한 2023 KPUP Challenge EXPO에 본 학과 3명의 학생이 아래와 같은 Topic으로 참가하였음. 이 학생 참여 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.

A Study on the Effect of Rolling Motion on Floating Nuclear Power Plant's Reactor Compartment Safety during Fuel Coolant Interactions Phenomena
 .
 Radioactive Waste Classification and Disposal
 Serial Femtosecond Crystallography(SFX): Obtaining Atomic-resolution Data from Biomolecules before the X-ray Radiation Damage



• 매 학기 국내·외 원자력분야 전문가 초청 세미나 개최: 2022-2학기 12회, 2023-1학기 11회
 . 국내 원자력분야: 등 총 16명
 . 국외 원자력분야: 등 총 7명

✓ 2022-2학기, 2023-1학기 정기세미나 세부현황
 - 2022.09.15.), “Export Control of Strategic Technology”
 - 2022.09.22.), “Study of cobalt reduction of valve hardfacing for radiation exposure reduction in the primary system of PWR and DED 3D printed P21-ST316L functionally gradient material for nuclear applications”
 - 2022.09.29.), “Introduction to HyperTube eXpress (HTX) as the next generation transportation”

	2022.10.06.), “Upscaling biogeochemical processes in reactive transport models”
Quality Experiments”	2022.10.14.), “Using Optical Fibers to Supplement Validation
	2022.11.03.), “Important roles of natural analogue for the safety of geological disposal system for HLW/SF, Korea”
	, 2022.11.10.), “Study on the 5MW Graphite-moderated Reactor in the DPRK in terms of Proliferation”
	2022.11.17.), “Bremsstrahlung Photon Dose Generated from Ultra-Intense and Ultra-Short Laser Target Interactions”
	2022.11.24.), “Measurement techniques for local thermal-hydraulic phenomena in nuclear safety system”
	2022.12.01.), “Development of Chemical Rocket Propulsion in Korea and Vision for Nuclear Space Propulsion”
	2022.12.08.), “Cryogenic Engineering and its applications for advanced energy systems”
	2022.12.16.), “A 3D numerical simulation for low-gain population inversion X-ray laser oscillator”
	2023.02.23.), “Development of cold spray Cr-coated Zirconium alloy cladding for Accident Tolerant Fuel(ATF)”
	2023.03.03.), “Automated Reactor Physics Workflows for Fission and Fusion Reactors”
	2023.03.09.), “Additive Manufacturing of SMR Component Materials”
	2023.03.16.), “Addressing Current and Future Material Challenges in Nuclear Environments”
	2023.03.30.), “Applications of Ultrashort Laser Pulses for Ultrafast Structural Dynamics and Laser-plasma Accelerations”
	2023.04.06.), “Future of Safety Assessment: One Step Closer of Deterministic and Probabilistic Approaches”
	, 2023.04.20.), “Recent Progress in Superconductor Technology for High Field and Large Power Applications ”
	, 2023.04.27.), “Industrial Applications of Particle Accelerator”
	2023.05.04.), “Molten Salt Technologies for Advanced Nuclear Reactors and Spent Fuel Management”
	2023.05.12.), “Research and Test Reactor Conversion Program from Highly Enriched Uranium to Low Enriched Uranium Fuel”
	2023.05.26.), “Research and Qualification Tests of Nuclear Grade High Efficiency Particulate Air Filters Under ASME AG-1 Code on Nuclear Air and Gas Treatment”
•	최근 1년간(2022.9.1.~2023.8.31.) 전임교수 대학원 강의 실적
	방사성폐기물 관리(전공필수), 원자로실험(전공선택)
	원자력과 사회문제(공통필수), 미래사회 첨단원자력입문(공통선택/공동 강의)
	미래사회 첨단원자력입문(공통선택/공동강의), 범용 공학용 전산도구 실습(전공선택/공동강의)
	미래사회 첨단원자력입문(공통선택/공동강의), 범용 공학용 전산도구 실습(전공선택/공동강의)

- 비정질세라믹스(전공선택), 미래사회 첨단원자력입문(공통선택/공동강의), Solidification(전공선택)
- 원자력열수력학(전공필수), 미래사회 첨단원자력입문(공통선택/공동강의), 범용 공학용 전산도구 실습(전공선택/공동강의)
- 통계적 연구 방법론(전공선택), 미래사회 첨단원자력입문(공통선택/공동강의)
- 미래사회 첨단원자력입문(공통선택/공동강의)

- 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(2022.12.02./2023.06.15.) 실시해 옴으로써 연구실 정착 및 세부 전공선택에 도움을 주고 있음.
- 엄정성 및 우수성 확보를 위한 학위수여 요건 실시: 학위논문 영문작성 의무화로 최근 1년간 학위논문 13편(박사 3편, 석사 10편)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 중심 교육의 일환으로 학생들이 수강 신청 시 해당 교과목에 대한 수강 결정의 참고자료로 활용 할 수 있도록 그 결과를 공개하고 있음.
- 강의평가 결과: 5점 만점을 기준으로 2022년 2학기 평균 4.89, 2023년 1학기 평균 4.83으로 대학원 전체 평균보다 월등하게 우수한 평가를 받고 있음.
- 대학원 개설과목 강의평가 평균

구분	2022-2학기	2023-1학기
대학원 전체	4.75	4.71
첨단원자력공학부	4.89	4.83

- 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.
- 이와 별개로 외국인 학생들의 정착 지원 강화를 위해 본교 어학센터에서 실시하는 한국어강좌에 외국인 학생들의 수강을 다음과 같이 지원하였음.
. 2022 겨울학기 및 2023 봄학기 Korean Class에 학생의 수강 지원

- 글로벌 수준의 연구윤리 확보를 위한 교육 실시

- 매 학기 학교차원에서 대학원 신입생 오리엔테이션 시 연구윤리 교육을 실시하여 연구윤리 준수 의식을 꾸준히 강조해오고 있음.

- 특히, 2023-1학기부터는 대학 차원에서 그동안 비교과로 운영해오던 <연구윤리> 과목을 대학원 공통 필수 정규교과목으로 신규 편성하여 개설하였음.
- 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.
 - .가속기의 원리와 기술(물리과, 화학과, 신소재공학과)
 - .통계적 연구 방법론(기계공학과, 철강에너지소재학과)
 - .범용 공학용 전산도구 실습(기계공학과, 산업경영공학과)
 - .열전달물리학(기계공학과, 신소재공학과, 전자전기공학과, 철강에너지소재학과, 화학공학과, 화학과)
- 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)	2022년 2학기	18	29	11	58
	2023년 1학기	16	32	10	58
	계	34	61	21	116
배출 (졸업생)	2022년 2학기	5	1		6
	2023년 1학기	5	2		7
	계	10	3		13

2.2 교육연구단의 우수 대학원생 확보 및 지원 계획

<계획>

- 각종 홍보 행사를 통한 우수대학원생 확보
- 원자력 사회문제 해결에 앞장설 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 13명의 신입생을 유치하였음.
 - 2022-2학기와 2023-1학기 특성화 세부전공별 입학인원

[원자력안전]

석사과정 1명,

박사과정 1명

[원자력환경 및 재료]

석사과정 4명,

박사과정 2명

[플라즈마 및 가속기]

석사과정 3명,

박사과정 2명

✓ 우수 학생 확보를 위한 교육연구단 차원의 노력으로 신입생 대상 우수 학생 포상 제도를 2022학년도부터 신설하였음. 매 학년도 연간 2명 이내 우수 신입생을 선발하고 인당 300만원의 장학금을 수여하기로 하였음. 2022학년도 입학생 중 입학 성적 및 학업계획이 우수한 학생을 선발한 결과 석사과 학생을 선발하였음.

• 상시 Open-lab. 프로그램 실시

✓ 기존 하계/동계 방학 기간 중에만 운영하던 Open-lab.을 상시적으로 개최함에 따라 일정에 구애받지 않고 참석할 수 있도록 하였고, 2023.3.31.에 실시한 학과 오픈랩에 총 4명이 참가하였음.

• 대학원 설명회

✓ 코로나-19 상황으로 온라인을 통해 대상기간 중 학과차원의 총 2회 대학원 설명회를 실시하였음.

. 2022.09.02. 경희대, 경북대, 중앙대, 금오공대, 한림대 등 5명 참석

. 2023.03.27. POSTECH, 성균관대, 전북대, 충북대, 가천대, 경북대, 한남대 등 8명 참석

• 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.

- 2022-2학기 입학:

- 2023-1학기 입학:

- 상기와 같이 지난 1년간 신규 입학한 학생 외에도

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: 2022-2학기

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.

✓ 2023년 기준 매월 석사과정은 1,412천원, 통합 및 박사과정은 1,901천원을 기본으로 개인의 연구 역량 및 프로젝트 참여율에 따라 추가생활비를 지급하고 있음.

✓ 또한, 전문 분야 논문 출판을 위한 비용을 적극 지원하고 있으며, 영어 논문교정료 및 게재료 지원

을 총 7편에 3,120천원을 지원하였음.

- ✓ 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.
 - . 2022-2학기 FA 조교 선정:
 - . 2023-1학기 FA 조교 선정:
- ✓ 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.
 - . 2022-2학기 TA/RA 선정:
 - . 2023-1학기 TA/RA 선정:
- ✓ 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 능률향상을 기대함. 첨단원자력공학부 대학원생을 대표하여 학생회 활동을 운영하는 학생회장에게 별도의 장학금을 지급하였음.
 - . 2022-2학기 학생회장:
 - . 2023-1학기 학생회장:
- ✓ 우수 대학원생 펠로우십 추천: 우수한 대학원생들이 학문.연구에 몰입할 수 있도록 재정 지원을 통한 연구 여건을 개선하고, 안정적인 연구 활동 지원을 통해 연구활동의 활성화 및 연구성과의 질적 향상을 도모하고자 연구실적이 우수하고 발전 가능성이 기대되는 학생을 펠로우십에 추천하였음.
 - . 2022-2학기 펠로우십:
 - . 2023-1학기 펠로우십:
- 대학원생에게 독립적인 교육자이자 연구자로서의 환경 제공
- ✓ 본 교육연구단에서는 박사과정 학생 및 박사후연구원에 대해 지도교수와 협의 및 학과 교과운영회의의 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.
 - . 2022-2학기 학문후속세대 담당 강의 실적: <범용 공학용 전산도구 실습, 3학점>, (물리, 통합과정), (기계, 통합과정), (박사후연구원)
- 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 어려워졌기 때문에 비대면으로 교육 프로그램을 논의하고, 공동 연구 및 실험을 진행하였음.
- 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.

✓ 외국인 대학원생의 한국어 수강 지원

- . 외국인 학생의 정착지원 강화를 위해 학과 차원에서 교내 한국어 프로그램 수강을 지원하였음.
- . 2022-2학기~2023-1학기 어학센터 수강 실적: Korean Class/ 등 4명

• 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 20건, 61명)

- 의 1명: 한국원자력학회 추계 학술대회 참석(2022.10.20.)
- 의 1명: 2022 한국물리학회 추계학술발표회 발표(2022.10.19.-10.21.)
- 의 15명: 2022 추계 한국방사성폐기물학회 참석 및 발표(2022.10.26.-10.28.)
- 의 1명: 2022 대한금속재료학회 추계학술대회 참석(2022.10.26.-10.28.)
- 2022 대한환경공학회 학술대회 참석 및 발표(2022.11.08.-11.11.)
- 의 12명: 제8차 방사성폐기물 안전관리 국제 심포지엄 참석(2022.11.10.-11.11.)
- 의 1명: 2022 대한기계학회 추계 학술대회 참석 및 발표(2022.11.10.-11.12.)
- 의 1명: 2022 대한방사선방어학회 추계학술대회 참석 및 발표(2022.11.23.-11.25.)
- 한국진공학회 동계정기학술회 참석 및 발표(2023.02.07.-02.10.)
- 2023 한국초전도저온학회 동계학술대회 참석 및 발표(2023.02.15.-02.17.)
- 한국막학회 대한환경공학회 공동심포지엄 참석(2023.03.30.-03.31.)
- 2023 한국세라믹학회 춘계학술대회 발표(2023.04.12.-04.14.)
- 의 1명: 2023 춘계 지질과학기술 공동학술대회 발표(2023.04.18.-04.20.)
- 대한기계학회 춘계학술대회 발표(2023.04.19.-04.21.)
- 의 1명: 한국물리학회 춘계 학술발표회 발표(2023.04.19.-04.21.)
- 의 4명: 2023 춘계 한국원자력학회 학술발표회 참석 및 발표(2023.05.17.-05.19.)
- 한국수소 및 신에너지학회 발표(2023.05.24.-05.26.)
- 의 3명: 춘계 한국방사성폐기물학회 참석 및 발표(2023.05.31.-06.02.)
- 대한전기학회 하계 학술회의 발표(2023.07.13.-07.15.)

- 한국초전도저온학회 하계 학술대회 참석(2023.08.22.-08.24.)
- ▶ 국외 학회 참석 (총 11건, 18명)
 - ICRS/RPSD 2022 학회 발표(2022.09.24.-10.02.)
 - 4명: 7th EAFORM 2022 발표(2022.10.26.)
 - NTHAS-12 학회 발표(2022.10.27.-11.03.)
 - 외 1명: ICABU 2022 참가(2022.11.09.-11.11.)
 - 외 1명: ICPP 2022 발표(2022.11.27.-12.02.)
 - 외 1명: Waste Management 2023 발표(2023.02.24.-03.07.)
 - TMS2023 Annual Meeting 발표(2023.03.16.-03.29.)
 - ICAPP 2023 참가(2023.04.23.-04.26.)
 - 14TH Intl. PARTICLE ACCELERATOR CONFERENCE 발표(2023.05.06.-05.13.)
 - ICBCHT 11 발표(2023.05.13.05.20.)
 - ACS Fall 2023 발표(2023.08.11.-08.18.)
- ▶ 워크숍 참석 (총 6건, 16명)
 - 외 1명: BEXCO, Intl. SMR Conference(2022.09.05.-09.06.)
 - 외 4명: 한국원자력연구원, 원자력 열수력 실험정보 교류 워크숍(2022.12.14.)
 - 적층제조용 금속소재 산학연 기술 컨퍼런스(2023.01.30.-01.31.)
 - 외 1명: SEMI, SEMICON Korea 2023(2023.02.01.-02.03.)
 - 외 1명: 부경대학교, 집합조직 프로그램 확산사업 워크숍(2023.02.15.-02.17.)
 - 외 3명: 2023 KAPRA & KPS/DPP JOINT CONFERENCE(2023.06.29.-06.30.)
- ▶ 국내 타 기관 교육 지원 (총 3건, 3명)
 - ICP-MS 교육, 한국퍼킨엘머본사(2022.09.29.-09.30.)
 - 제16회 초전도 강좌, 서울대학교(2022.01.30.-01.31.)
 - 핵분석기술학교, 한국원자력연구원(2023.06.27.)
- ▶ 국외 타 기관 교육 지원 (총 3건, 14명)
 - 외 7명: 방사성폐기물 처리 기술 교육, Waste Isolation Pilot Plant(WIPP) 등 (2023.04.17.-04.22.)
 - 외 4명: SMR 최신 기술 교육, Oregon State Univ.(2023.08.13.-08.20.)
 - 후행핵주기 실험실습, 일본 Tohoku Univ.(2023.07.30.-08.08.)
- 학술활동 참여를 통해 관련 연구 분야 전문가들과 인적 네트워크 조성 및 공동 연구 참여 기회 확보/ 산업기술 습득 및 연구 활동 지원 강화
 - 원전 해체 방사성폐기물 포장, 운반, 처분용기 개발과제를 통해서 원자력환경공단, 원자력연구원, 코넥스 참여 연구원들과 공동연구 진행 (2020.01.01.- 현재)
 - 원자력연구원과 같이 “벤토나이트 표면개질을 통한 고기능 완충재 개발 및 장기 안전성 평가” 공동연구 진행 (2021.04.15.- 현재)
 - 원자력연구원 연구진과 같이 “다양한 처분환경에서의 비방사성 오염물질의 수착, 확산, 용해도 특성 평가” 와 관련된 공동연구 진행 (2021.04.22.- 현재)

- RIST 환경연구그룹 연구진과 “SOx/Nox/VOCs 동시저감을 위한 기체 방전과 물의 상호작용 기작 연구” 진행 (2023.01.25.-현재)
 - 한국원자력연구원 연구진과 “초임계 CO2 발전시스템을 위한 신개념 유로형상 PCHE 기초설계 및 모듈 시스템 기술 개발“ 에 관한 연구 진행 (2020.08.-현재)
 - 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.-2023.02.)
 - 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.)
- 향후 추진 계획
- 국내외 학술대회 참석 독려 뿐만 아니라 교과과정에서 시작한 실습형 프로젝트를 우수하게 수행한 학생들의 연구주제에 대해 교과 이수를 확장하여 기술이전까지 가능하도록 지원하고자 함.

2.4 참여대학원생의 취(창)업의 질적 우수성

〈표 2-2〉 2022년 8월 및 2023년 2월 졸업한 교육연구단 소속 학과(부) 참여대학원생 취(창)업률 실적(단위: 명, %)

구분	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				
2022년 8월 졸업자	석사	2	1	1	-	0	100
	박사	1	X		-	1	
2023년 2월 졸업자	석사	5	3	-	-	2	66.7
	박사	1	X		-	1	

〈실적〉

- 취업 실적
- ✓ 본 학부는 2010년 12월에 설립되어 2013년 2월부터 첫 졸업생을 배출하기 시작하여, 짧은 역사를 가진 대학원임에도 불구하고 2023년 2월 졸업자를 제외하고는 최근까지 취업률 100%를 기록하고 있음.
- ✓ 대상기간(2022년 8월, 2023년 2월 졸업)내 본 학과의 졸업생은 석사 8명, 박사 4명이며, 이 중 참여대학원생으로서 졸업생은 석사 7명, 박사 2명임. 참여대학원생으로서 석사학위 7명 중 취업대상자 1명()은 POSCO로 취업하였고, 1명()은 취업 준비중에 있으며, 4명()은 본 학부의 박사과정으로, 다른 1명()은 국외 타 대학(Ghent Univ.)으로 진학하였음. 참여대학원생으로서 박사학위 취업대상자 2명 중 1명()은 본교 박사후연구원으로, 다른 1명()은 한국원자력연구원으로 취업 완료하였음.
- ✓ 또한, 본 학부 2023년 8월 졸업생(석사 5명, 박사 2명) 중 참여대학원생으로서 석사학위 취업대상자 1명()은 현대제철에 취업하고, 2명()은 본 학부의 박사과정으로 진학하고, 1명()은 국외 타 대학으로 진학하였음. 참여대학원생으로서 박사학위 취업대상자 2명()은 각각 IAEA 인턴, 포항가속기연구소 연구원으로 취업하였음.

- 졸업자의 대표적 취(창)업 사례 및 취업기관의 전공적합성
 . 2023년 2월, 통합과정 졸업, 한국원자력연구원 취업): 박사는 박사학위 과정 중 과냉 유동비등 상황 hypervapotron 냉각채널의 열전달 특성 연구로 학위를 받고, 학위 과정 동안 디버터 열속 처리 기술 개발 등 관련 연구에 참여하고 전공에 적합한 한국원자력연구원에 연구원으로 취업하였음.

3. 참여대학원생 연구실적의 우수성

① 참여대학원생 저명학술지 논문의 우수성

- <실적>
- 참여대학원생 국제저명학술지 논문 게재 실적
 - ✓ 지난 1년간 국제저명학술지에 총 21편(IF 합계: 97.784)의 논문을 게재하였음.
 - ✓ 총 21편의 게재 논문에서 2021년 게재지의 JCR 기준 상위 Q1 value급에 15편 (J. of Hazardous Materials, Cement and Concrete Research, Energy Conversion and Management 등), Q3 value급에 2편 (Fusion Science and Technology 등), Q4 value급에 1편, 그 외 전문 관련 분야의 문제 해결을 제안한 논문 3편 등 총 SCI급 21편 중 15편의 논문(71%)을 Q1 value급 저널에 게재함으로써 비교적 질적으로 우수한 평가를 내릴 수 있음.
 - 대표적인 참여대학원생 국제저명학술지 게재 논문 (2021년 JCR 기준 IF 우수 논문 3편 선정)
 - . “Immobilization mechanism of radioactive borate waste in phosphate-based geopolymer waste forms” , Cement and Concrete Research, 2022.11., (IF: 11.958)
 - . “Decontamination of neutron-activated radioactive concrete waste by separating Eu, Co, Fe, and Mn-containing sand particles using dense medium separation” , Journal of Hazardous Materials, 2023.02., (IF: 14.224)
 - . “Design of heat pipe cooled microreactor based on cycle analysis and evaluation of applicability for remote regions” , Energy Conversion and Management, 2023.07., (IF: 11.533)

② 참여대학원생 학술대회 대표실적의 우수성

- <실적>
- 참여대학원생 학술대회 발표 실적
 - ✓ 지난 1년간 구두 논문발표 국내 17편, 국외 7편과 포스터 발표 국내 22편, 국외 9편으로 총 55편을 발표함. 이 중 우수 발표상은 다음과 같음.
 - 2022 한국방사성폐기물학회 춘계 학술대회 우수발표 논문상 제염해체 분과
 - 제목: Decontamination of Neutron-Activated Concrete Waste by Dense Medium Separation
 - 창의성.혁신성: 광물의 선별에 사용되는 증액분리법 이용, 제염이 어려운 방사화 핵정 분리 제염 기술을 처음으로 시도
 - 전공분야의 기여: 일반적으로 강한 산 용액을 사용하지 않는 이상 제염이 불가능한 문제를 해결하고자 중성자에 의해 방사화된 해체폐기물 제염 방법 연구
 - 2022 한국방사성폐기물학회 우수논문상(저널) 고준위폐기물처분 & 제염해체 분과
 - 제목: Surface Modification of Bentonite for the Improvement of Radionuclide Sorption
 - 창의성.혁신성: 고준위방폐장의 완충재 물질로 사용되는 벤토나이트 표면을 제올라이트로 개질하

여 양이온 제거 효율 극대화.
 -전공분야의 기여: 완충제의 양이온성 핵종 유출 시 속도를 최대한 지연할 수 있도록 완충제 표면 개질 연구를 수행

✓ 또한, 관련 학회 및 기관의 수상 실적은 다음과 같음

- 제7회 방사성폐기물관리 아이디어 및 논문 경진대회 최우수 논문상(한국원자력 환경공단), 산업부장관상 수상
- 제9회 퀴리상(한국원자력학회 2022 추계학술대회)

한국원자력학회에서는 원자력공학 전공 여학생 중 연구업적 또는 연구능력이 우수한 사람을 선발하여 포상함으로써 여학생들의 학문 정진 의욕을 고취하고자 이 상을 제정하여 시행하고 있음.

2022년도 한국원자력학회 두산에너지리터 장학생 선정
 2023년도 한국원자력학회 장학생 선정

③ 참여대학원생 특허, 기술이전, 창업 실적의 우수성

<실적>

- 참여대학원생 특허, 기술이전, 창업 실적

✓ 지난 1년간 국내 특허 출원 1건, 해외 특허 출원 5건, 국내 특허 등록 3건, 해외 특허 등록 1건이 있었고 내역은 다음과 같음.

- 참여대학원생의 특허 출원 실적

구분	출원일자	발명명칭	발명자
해외 특허	2022-10-13	이중 고주파수에 의해 확장된 플라즈마를 이용한 화학반응 활성화 장치 및 방법	
해외 특허	2022-12-15	층상이중수산화물로 개질된 벤토나이트로 구성된 완충제 및 이의 제조방법	
해외 특허	2022-12-27	수소 동위원소에 대한 차별적 결합 특성을 갖는 수소 동위원소 흡착제, 이의 제조방법 및 이를 이용한 수소 동위원소 분리방법	
해외 특허	2023-03-06	붕소가 포함된 방사성 폐기물 고화방법 및 이에 따른 방사성 폐기물 고화제	
해외 특허	2023-03-07	라돈 제거용 흡착제, 이의 제조방법 및 이를 이용한 라돈 제거방법	
국내 특허	2023-08-08	마이크로 채널 부재 및 그 제조 방법, 그리고 이를 포함하는 수전해 장치, 열교환기, 반응기, 냉각기, 그리고 물방울 기반 발전기	

- 참여대학원생의 특허 등록 실적

구분	등록일자	발명명칭	발명자
국내 특허	2022-09-20	방사성 세슘의 고정화방법으로서 폴루사이트 합성방법 및 이에 따라 합성된 폴루사이트	
국내 특허	2022-11-09	방폐장에서 사용되는 뒷채움제 제조방법, 이에 따른 뒷채움제, 이를 이용한 방사성 폐기물 처분방법 및 이를 이용한 방폐장	
해외 특허	2023-06-27	수소 동위원소에 대한 차별적 결합 특성을 갖는 수소 동위원소 흡착제, 이의 제조방법 및 이를 이용한 수소 동위원소 분리방법	
국내 특허	2023-07-17	수소 동위원소에 대한 차별적 결합 특성을 갖는 수소 동위원소 흡착제, 이의 제조방법 및 이를 이용한 수소 동위원소 분리방법	

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 2명의 이직()과 함께 2명()의 박사후연구원을 신규로 확보하여 플라즈마 물리, 사회융합 등의 연구분야에서 신진연구인력으로 활동하였음.
- 특히, 연구조교수는 2022년 12월 4단계 BK21사업 우수 참여인력으로 선정되어 부총리 겸 교육부장관 표창을 수상하였음. 한태양 박사는 계면현상을 이용한 다양한 기술을 개발함으로써 첨단 원자력 기술개발에 기여하고, 우수 논문 및 특허 등 뛰어난 연구성과와 교육연구단의 비전과 목표에 부합하는 미래 지향적인 우수인력으로 가능성을 인정받았음.
- 교육연구단의 각 신진연구인력의 지난 1년간 연구활동은 다음과 같음.

연구조교수:

- 연구과제 수행: 고성능 휴대용 전자기기 냉각을 위한 박판형 증기 챔버의 성능 증진 과제 책임, 디버터 열속처리 기술 개발, 생체모사형 인공광후각 연구실 등 2건의 연구과제 참여
- 학술활동: International Journal of Heat and Mass Transfer(IF: 5.2) 주저자로 1편 게재

박사후연구원:

- 연구과제 수행: 다양한 환경조건에서의 휘발성 요오드 거동 특성 연구, 원전해체 방사성폐기물 포장, 운반, 저장 용기 개발 등 2건의 연구과제 참여
- 학술활동: Environmental Science & Technology(IF: 11.4), Minerals(IF: 2.5) 등 SCI급 저널에 주저자로 3편, 기타저자로 3편 게재, 국외 학술회의 1편

박사후연구원 및 연구조교수:

- 연구과제 수행: 원전 수용성 제고를 위한 지역협력 방안 연구 등 3건의 연구과제 참여
- 학술활동: 조사연구 등 KCI급 저널에 주저자로 총 2편 게재

박사후연구원:

- 연구과제 수행: 핵융합 플라즈마 MHD 불안정성 연구를 위한 KSTAR 밀리미터파 영상 등 2건의 연구과제 참여

박사후연구원:

- 연구과제 수행: 원전 수용성 제고를 위한 지역협력 방안 연구 등 3건의 연구과제 참여
- 학술활동: Safety Science(IF: 6.1) SCIE급 저널에 게재 확정 1편

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.
 - . 2022-2학기 학문후속세대 담당 강의 실적: <범용 공학용 전산도구 실습, 3학점>, (통합과정), (통합과정), (통합과정)

5. 참여교수의 교육역량 대표실적

- (1) 교수
 - 2023-1학기 <미래사회 첨단원자력입문> 수업을 통해 복잡한 원자력 사회문제의 본질을 이해하고 어떠한 기술적 지원이 필요한지 도출하는 사회학 지식을 교육하였음.
- (2) 교수
 - 다양한 원자력 관련 사회문제 해결을 위한 기반을 제공하기 위해서 <통계적 연구방법론> 개발
- (3) 교수
 - <방사성폐기물관리> 수업을 통해 원자력발전소 운영 중 혹은 사고 시 발생할 수 있는 방사성폐기물에 대한 이해도를 향상시키며, 기본적인 선행/후행핵연료주기, 방사성폐기물 처리/처분, 방사성핵종 대상 고형화/고정화 방법, 방사성핵종 이동 등의 방사화학에 관한 학습을 함으로써 원자력환경에 관한 기초적인 실무 이해를 도움.
 - <원자로실험> 수업을 통해 교육용 모의 원자로를 학생들이 실제로 운전해 볼 수 있는 기회를 제공하여 원자로의 운영과정에 대한 전반적인 이해와 사고시 초기대응 절차 지식을 습득할 수 있게 함. 또한, 원자로물리에 대한 전반적인 기초 지식에 대한 것을 교육하였음.
- (4) 교수
 - 핵연료의 선/후행주기 산업의 향후 수요에 대응할 수 있는 원자력공학자 인력을 양성하고 다양한 전공 출신의 학생에게 원자력 재료에 대한 이해를 높이기 위해, 2023-2학기에 개설 예정인 <원자력재료 공학개론>과 <핵연료주기공학> 수업을 기획 및 준비
 - 2023-1학기 공동 선택과목인 <미래사회첨단원자력입문> 수업 일부 진행
- (5) 교수
 - <미래사회 첨단원자력입문>에서 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.
 - <범용 공학용 전산도구 실습>에서 실제 원자력 공학에 응용되는 로봇 시스템 개발을 위해 활용되는 소프트웨어 툴 및 하드웨어 설계 소양을 연계하여 교육하였음.
- (6) 교수
 - 2022-2학기 사회융합 자유선택 과목인 <에너지시스템> 수업 진행: 에너지 전반 기술에 대한 전공 이해를 높이고, 에너지 사회 이슈에 기술적 개선을 바탕으로 한 프로젝트 평가 진행
 - 2022-2학기 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

- 2023-1학기 원자력안전 전공 트랙 필수과목인 <원자력열수리학> 수업 진행: 원자력안전 전공 트랙 필수 과목으로 원자력 안전 및 전체 시스템 이해를 위해 필요한 내용 교육 진행
- 2023-1학기 공통 선택과목인 <미래사회첨단원자력입문> 수업 진행: 원자력관련 사회 및 기술적 이슈에 대한 소개를 진행하고 ‘원자력시스템’ / ‘원자력재료’ / ‘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 ‘KPUP(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><계획></p> <ul style="list-style-type: none"> • 해외학자 정규 교과목 개설 및 운영 • 해외 기관과 협력을 통한 summer/winter school 개설 • International workshop과 연계한 단기 shortcourse 개발 • 화상통화 플랫폼을 활용한 컨설팅 및 Webinar: International Colloquia 운영 • 적극적인 외국인 학생 유치와 영어강의 및 영어 논문 작성 지원 <p><실적></p> <ul style="list-style-type: none"> • 해외학자 정규 교과목 개설 및 운영 <ul style="list-style-type: none"> - 2023-1학기, 교수(Univ. Michigan-Ann Arbor), <열전달 물리학, 3학점> 수강생: 첨단원자력공학부, 화학과, 기계공학과, 신소재공학과, 철강에너지소재학과 등 69명 화상통화 플랫폼을 활용하여 원격강의로 진행 • 영어강의 실적 및 영어 논문 교정(게재)료 지원 ✓ 본 학부에서는 개설된 모든 강의(2022-2학기 9과목, 2023-1학기 7과목)를 영어로 진행하였으며, 최근 1년간 학위논문 13편(박사 3편, 석사 10편)을 100% 영어로 작성함. ✓ 글로벌 인재양성을 위하여 본교의 어학센터(POSTECH Language Education Center)를 활용하여 영작문, 영어 논문 작성 등에 대한 교육 프로그램을 수강토록 장려하였음. 2022학년도부터는 대학원 공통과목으로 대학 차원에서 정규교과로 제공하고 본 학과에서도 수강을 권장하고 있음. ✓ 영어 논문 교정 및 게재료도 지원하고 있으며, 지난 1년간 총 7편의 지원이 있었음. • 우수 외국인 유치 현황 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. <ul style="list-style-type: none"> . 2022-2학기: . 2023-1학기: • 해외 기관 협력 본 교육연구단에서는 2023-1학기에 미국 UW Madison, WIPP, TerraPower, Oregon Univ. 등 기관을

방문하여 학과 및 각 연구 그룹을 소개하고 최신 연구 동향과 기술 교육을 실시하였으며, 해외 학자 및 연구원과의 교류를 강화하였음.

특히, UW Madison 원자력공학과와 본 학과 간 공식적인 협력 체계 형성을 통한 연구, 교육 등 상호 교류 추진을 위해 협정 체결을 진행하였음. (참고: 2023.11.1.부 MOU 체결 완료)

· 외 8명: 미국 UW Madison, WIPP에서 연구 교류 및 교육, 2023.04.17.-04.22.

· 외 4명: 미국 TerraPower, Oregon Univ. UW Madison에서 최신 SMR 교육 실시, 2023.08.13.-08.20.



<2023.04.17.-04.22. 미국 UW Madison, WIPP 연수>



<2023.08.13.-08.20. 미국 TerraPower, Oregon Univ. UW Madison 연수>

• 해외학자 초청 세미나 현황

학기 중에 진행되는 정기 세미나 중 해외학자 경우 화상통화 플랫폼을 활용하여 실시간 원격강의로 진행

- (2022.10.14.), “Using Optical Fibers to Supplement Validation Quality Experiments”

- (2022.11.17.), “Bremsstrahlung Photon Dose Generated from Ultra-Intense and Ultra-Short Laser Target Interactions”

- (2022.12.16.), “A 3D numerical simulation for low-gain population inversion X-ray laser oscillator”

- (2023.03.03.), “Automated Reactor Physics Workflows for Fission and Fusion Reactors”

- (2023.03.16.), “Addressing Current and Future Material Challenges in Nuclear Environments”

- (2023.05.12.), “Research and Test Reactor Conversion Program from Highly Enriched Uranium to Low Enriched Uranium Fuel”

- (2023.05.26.), “Research and Qualification Tests of Nuclear Grade High Efficiency Particulate Air Filters Under ASME AG-1 Code on Nuclear Air and Gas Treatment”

각 분야별 구체적인 summer/winter school, workshop, 단기 short course 관련 국제화 교육프로그램은 다음과 같음.

[1] 원자력안전 분야

(1) 미국 Univ. Michigan-Ann Arbor와의 교류

- (Univ. Michigan-Ann Arbor) 2023-1학기, 열전달 물리학, 3학점의 정규 교과목을 개설하

였으며, 기계공학과, 신소재공학과, 전자전기공학과, 철강에너지소재학과 등 69명의 수강생이 이수하였음.

(2) 해외 학생 유치

- 튀르키예 석사 장학생으로 선발되어 수학 후 박사과정으로 연계 진학한 학생 선발

(3) 미국 Univ. Wisconsin-Madison/Oregon State Univ. 와의 교류

- Univ. Wisconsin-Madison/Oregon State University와 매달 온라인 화상회의를 통해 시스템코드와 원자력 상황에서의 측정기법 관련 회의 진행
- 2023년 8월 Washington DC에서 열린 NURETH (20th International Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermal Hydraulics)에서 와 함께 앞으로의 협업 및 학생 교류 관련 회의 진행

(4) 덴마크 Seaborg Technologies와 교류

- 덴마크 원자력 회사인 Seaborg Technologies에 대학원생을 6개월 파견 및 공동 협업 주제 발굴. 매달 정기적인 온라인 화상회의를 통해 협업 내용 구체화

[2] 원자력환경 분야

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

- PNNL의 와 방사성요오드 핵종과 이중층상수산화물과의 반응기작 확인을 위한 ab initio molecular dynamics simulations 연구를 공동 진행함. 또한, 지속적인 온라인 회의 및 연구토의를 통해서 시뮬레이션에 관한 공동연구를 진행하고 있으며, 해당 연구 결과는 2023년 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 입력자료를 구축하기 위하여 다년도 공동연구를 진행중.

(2) 영국 University of Sheffield와의 교류

- Sheffield 대학 영국 연구진과 SrCO₃를 고형화하는 고화체 및 Fenton 반응의 혼합 촉매에 관한 연구 내용을 지속적으로 교류하였음. 이를 바탕으로 OPC/Slag 혼합 무기 고화체를 개발하였으며 SrCO₃의 고정화와 고화체의 안전성 평가에 대한 연구를 수행함. 연구결과를 바탕으로 공동 논문 1편을 출판함 (Stability of SrCO₃ within composite Portland-slag cement blends, Cement and Concrete Composites, 135, 104823).
- Sheffield 대학 에 박사과정 학생이 방문하여 지오폴리머 고화체 연구를 함께 진행함. 또한, UK high-field NMR facility에서 방문하여 850 MHz 고체 NMR을 통해 지오폴리머와 방사성 핵종의 화학적 결합 구조 규명에 대한 연구를 진행함. 관련 연구는 2024 내에 논문으로 출판할 예정임.

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

- UKM 대학과의 지속적인 공동연구를 통해 UBM 생체 외 분석(UBM in vitro method)을 진행하였음. 이

를 바탕으로 생체접근도를 평가한 뒤 생체역동학적 모델 및 위해도 평가 모델에 대한 연구를 수행하였음. 연구결과는 공동 논문 1편으로 출판됨 (Acute oral toxicity and bioavailability of uranium and thorium in contaminated soil, Nuclear Engineering and Technology, 55, 1460-1467.).

(4) 독일 KIT와의 교류

- KIT 대학 방사성폐기물처분연구소(Institute for Nuclear Waste Disposal, INE)에 박사과정 학생이 방문하여 방사화학 연구를 함께 진행함. 아이소사카린산(Isosaccharinic acid)이 Tc(IV)O₂ 용해도에 미치는 영향에 관한 연구를 진행했으며, 관련 연구는 MIGRATION 2023에서 학회 발표 및 논문 출판을 할 예정임.

[3] 미래융합-플라즈마 및 가속기분야

(1) 영국 Culham Center (Warwick university)와의 교류

- Warwick 대학 방문 건은 코로나 팬데믹으로 이루어지지 않았음. 대신, 박사과정 학생이 아시아-태평양 양 이론물리센터와의 협력을 통해 전산모사를 이용한 플라즈마 동역학 연구를 위한 Smilei 시뮬레이션 교육을 받고 있음.

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

- 본 학과 졸업 후 USU의 박사후연구원으로 임용된 박사가 USU 교수와의 플라즈마 동역학 분야의 공동 연구를 지속하고 있고 공동 연구 성과로 논문을 게재하였음.

“Dispersion relation and instability for an anisotropic non-uniform flowing plasma”, Plasma Phys. Control. Fusion 64 (2022) 125003

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

- LLNL 방문 건은 코로나 팬데믹으로 이루어지지 않았음.
- 대체 활동으로서, 일본에서 열린 11th International Workshop on Warm Dense Matter에 연구실에서 참석하여 LLNL의 Didier Saumon 박사와의 연구 교류 방안을 논의하였음. 박사는 강결합 플라즈마 상태를 모델링하고 분석하는 연구를 수행하고, 우리 연구실에서는 실험적으로 고압력의 초임계 유체 상태를 이용해 강결합 플라즈마를 생성하고, 진단해음으로써, 그동안 접근이 어려웠던 강결합 플라즈마를 해석하기 위한 적절한 모델을 찾는 공동 연구에 대해 논의하고 있음.

[4] 첨단융합-인공지능 및 로봇시스템 분야

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

- 동경대의 NEST Advanced remote technology and robotics for decommissioning (ARTERD) project를 통한 연구 교류를 진행 중. 원전 사고 환경에서 로봇을 통한 방사능 mapping 기법 등의 공동 연구를 위하여 연구원 1명을 2024년 1월 동경대학교로 파견할 계획임.

- 2023년 3월과 5월, 동경대학교를 방문하여 후쿠시마 원전체체 로봇 개발의 책임자인 동경대 교수 연구팀, 동 대학교의 협동 로봇 전문가 교수 연구팀, 수중 로봇 전문가 교수 연구팀, 산업 현장 로봇 전문가 교수 연구팀 등을 방문하여 공동 세미나를 진행하였음. 또한, 원전 안전 유지보수 및 사고 대응 로봇 개발 등의 공동연구를 논의함.

• 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 어려웠던 해외 기관과의 교류를 2023년부터는 확대하고 있고, 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 가지 고자 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 유수 기관들과 형성한 네트워크를 통해 국제 공동연구 프로그램을 진행하고 대학원생들의 인턴쉽 및 장/단기 해외 체류 및 연구 수행을 지원하고자 함.

<실적>

- 본 교육연구단은 그동안 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.
- 지난 1년간 대학원생들의 인턴쉽 및 장기 해외 연수 실적은 다음과 같음.
 - . 독일, 칼스루에연구소(KIT), 2022.12.22.-2023.06.21.(6개월)
 - . 덴마크, Seaborg Technologies, 2023.03.01.-08.31.(6개월)
 - . 영국, Univ. of Sheffield, 2023.05.07.-08.20.(3개월 14일)

[1] 원자력안전 분야

(1) 미국 UW-Madison과의 교류

- 히트파이프 원자로 설계를 위한 열수력 및 안전 연구: 미국 UW-Madison 대학의 액체금속 히트파이프 연구 및 초임계유체 열수력 실험 전문가인 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.
- 해당 연구를 통해 UW-Madison에서 히트파이프 원자로에 적용되는 액체금속 히트파이프의 열전달성능 평가를 수행함. 해당 히트파이프 열전달성능을 기반으로 본 학과에서는 히트파이프와 PCHE의 통합형 열교환기의 시험부 제작 및 실험장치를 설계하였음.
- UW-Madison의 대면 회의 및 메일을 통해 국제공동연구를 수행하였으며, 공동연구결과는 논문으로 출판함. (et al. Design of heat pipe cooled microreactor based on cycle analysis and evaluation of applicability for remote regions. Energy Conversion and Management, 2023, 288: 117126)
- 본 연구팀이 설계한 실험장치 및 광섬유센서 (OFS, Optical Fiber Sensor)를 기반으로 히트파이프 통합형 열교환기의 열전달성능 평가 및 열전달 모델 개발을 수행할 예정이며, 개발된 모델을 동력변환

계통의 중간열교환기로 적용하여 히트파이프 원자로 최종 설계를 진행할 예정임.

(2) 덴마크 Seaborg-technologies internship

- 선박용 소형 용융염 원자력 발전소의 피동안전잔열계통 설계를 위한 자연대류 연구: 덴마크 Seaborg-technologies는 소형 용융염 선박에 설치할 소형 용융염 원자력 발전소를 설계하는 회사이며 원자력 안전분야와 밀접하게 관련되어 있음. 본 학과의 통합과정 학생은 6개월 (2023.03.01.~2023.08.31) 간의 Internship 프로그램을 통해 덴마크 Seaborg-technologies에서 용융염 안전 관련 연구교류를 수행함. 소형 용융염 원자력에서 피동 안전잔열제거계통 (Passive decay heat removal system) 설계가 중요하며, 이를 위해 많은 회사에서 자연대류 연구가 활발히 진행되고 있음. Seaborg-technologies 또한 피동안전잔열계통 설계를 위해 용융염 내 자연대류에 의한 열전달 모델을 개발 중임. 본 연구팀은 Seaborg-technologies의 용융염 소형원자력 발전소 실험조건을 기반으로 상사실험 장치 설계/제작 및 실험을 진행하였음. 추후 본 연구팀과 Seaborg-technologies는 정기적인 온라인 회의를 통해 대형 실험장치 실험 관련 과제를 설립할 예정이며 상호간의 활발한 연구 교류가 이루어지도록 할 계획임.

[2] 원자력환경 분야

(1) 영국 University of Sheffield와의 교류

- 영국 Univ. of Sheffield의 는 시멘트 및 지오폴리머를 이용한 방사성폐기물의 고형화 및 처리 연구를 주로 수행하며 다양한 종류의 고체 핵자기공명 분석 경험이 있는 전문가임. 와 원자력발전소 운영 중 발생하는 농축폐액 분말고형화 연구를 공동으로 수행하였음.
- 박사과정 1인이 약 3개월 간 Univ. of Sheffield 및 Univ. of Warwick에 체류하며 다양한 특성분석을 진행하였음. 공동 연구 결과 일부는 3rd ECI International Conference-Alkali activated Materials and Geopolymers 2023 학회 및 Radiochemistry Group New Researchers Meeting 2023 학회에서 발표하였으며 ECI 학회에서는 우수발표상을 수상하였음. 지속적인 교류를 통해 연구결과를 논문으로 출판할 예정임.

(2) 독일 KIT(Karlsruhe Institute of Technology)-INE(Institute for Nuclear Waste Disposal)와의 교류

- 독일 KIT-INE의 는 Aquatic chemistry의 전문가이며, 처분장 내에서의 핵종의 특성 및 거동에 대한 연구를 수행하고 있음. 또한, 지화학 환경 내에서의 actinide 종에 대한 수착반응 및 용해도 실험을 수행할 계획이며, 박사과정 1인이 약 6개월간 KIT에 방문하여 테크니슘의 용해도에 ISA가 미치는 영향에 대한 공동 연구를 수행하였음. 연구 결과는 중저준위 폐기물의 처분 후 안정성 평가를 위한 지화학 및 열역학적 자료로써 사용 가능하고 그 결과에 대해서 공동으로 해외저널에 논문을 투고할 예정임. 또한, 연구결과의 일부를 MIGRATION 2023 학회에서 발표하였고, 이메일, 화상회의 등을 통해 지속적인 연구교류를 진행하고 논문을 공동으로 출판할 예정임.

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

- 말레이시아 국립대학교(UKM)의 는 방사성 폐기물 및 환경화학의 전문가로, 232-Th, 238-U이 인체에 미치는 영향에 대해서 공동 연구를 수행 중임. 이를 바탕으로 폐체 시 발생하는 232-Th, 238-U이 포함된 오염된 토양, 콘크리트, 폐액 등을 흡입 시 인체에 미치는 영향을 파악하기 위해 체내 기관별 흡착 및 체류반응기작 연구를 수행함. In vivo/vitro 실험을 통해서 상대 생체 이용률 (ABA)과 생물 생체 접근률 (BAF) 사이의 수학적 관계를 확립하는 연구를 진행함.
- 또한, 대학원생 방문 연구를 통해 지속적으로 공동연구를 수행하였으며, 진행 중인 공동 연구 결과

의 일부는 논문으로 출판함.

(4) 일본 Tohoku University와의 교류

- 한국원자력협력재단에서 추진하는 원자력 글로벌 연구자 육성 프로그램 ‘도호쿠대학교 후행핵주기 실험실습’에 본 학과 김선진 학생이 참가하여 사용후핵연료 재처리와 후쿠시마 원전 사고에 따른 노심용융된 핵연료의 재처리 기술개발 실험 등에 직접 수행함. 일본 도호쿠대학을 방문하여 후행핵연료주기 관련 이론 강의 및 우라늄 등을 활용한 방사화학 실험실습을 통해 후행핵연료주기에 대한 이해도를 제고하고, 실험실습 프로그램에 연관되는 일본 시설건축(JAEA Oarai)를 진행하였음.

[3] 플라즈마 및 가속기 분야

(1) 영국 Culham Center (Warwick university) 국제공동연구 교류

- Warwick 대학 방문 건은 코로나 팬데믹으로 이루어지지 않았음. 대신, 박사과정 학생이 아시아-태평양 이론물리센터와의 협력을 통해 전산모사를 이용한 플라즈마 동역학 연구를 위한 Smilei 시뮬레이션 교육을 받고 있음.

(2) 미국 Utah State University (USU) 교류

- 본 학과 졸업 후 USU의 박사후연구원으로 임용된 박사가 USU와의 플라즈마 동역학 분야의 공동 연구를 지속함.

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

- LLNL 방문 건은 코로나 팬데믹으로 이루어지지 않았음.
- 대체 활동으로서, 일본에서 열린 11th International Workshop on Warm Dense Matter에 참석하여 LLNL의 Didier Saumon 박사와의 연구 교류 방안을 논의하였음. 박사는 강결합 플라즈마 상태를 모델링하고 분석하는 연구를 수행하고, 우리 연구실에서는 실험적으로 고압력의 초임계 유체 상태를 이용해 강결합 플라즈마를 생성하고, 진단해오고 있음. 따라서, 그동안 접근이 어려웠던 강결합 플라즈마를 해석하기 위한 적절한 모델을 찾는 공동 연구에 대해 논의하고 있음.

[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 진행 중임.

□ 연구역량 대표 우수성과

• 국내 및 해외기관 연구비 수주 실적

최근 1년간 이공계열 참여교수의 연구비 수주 실적은 인당 802,472천원으로 지속적인 연구수행 실적이 탁월함.

• 참여교수 논문실적

참여교수는 해당 기간 동안 SCI급 저널 및 저술 활동을 통해 총 38편(IF 합: 201.334) 게재하였음.

- JCR 기준 상위 Q1 value급 논문 27편, Q2 value급 4편, Q3 value급 2편, Q4 value급 2편, 그 외 전문 관련 분야의 문제 해결을 제안한 논문 3편 등 총 38편의 SCI급 논문

• 참여교수 특허실적

특허 등록 10건(국내 9건, 해외 1건), 특허 출원 13건(국내 8건, 해외 5건),

• 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 체임/해체 사업 전문 인력양성과 지역 중소기업 및 민간/정부 연구소의 인력양성에 도움을 주고자 해오름동맹 연합 교육프로그램인 ‘핵중분석 실험실습 프로그램 개발’ 연구를 2021년 하반기부터 수행하고 있음.

또한, 경상북도 원전산업육성협의회, 경주월성 삼중수소 누출에 따른 민간합동조사단 자문 위원 등으로 참여하여 지역사회 주민들의 원자력에 대한 수용성 향상 및 이해도 증가에 기여하고 있음.

• 해외기관과의 공동연구

미국 PNNL(Pacific Northwest National Laboratory), Univ. of Wisconsin-Madison, Oregon State Univ., Utah State Univ., LLNL, 덴마크 Seaborg Technologies, 영국 Univ. of Sheffield, Culham Center, 말레이시아 Univ. of Malaysia, 독일 KIT, 일본 Univ. of Tokyo 등과의 공동연구로 논문 게재 등 활발한 교류가 지속되었음.

• 대표 연구 업적

- ▶ “Equilibrium selection via current sheet relaxation and guide field amplification”, Nature Communications, Vol. 14, 2023, [IF 17.694]
- ▶ “Decontamination of neutron-activated radioactive concrete waste by separating Eu, Co, Fe, and Mn-containing sand particles using dense medium separation”, Journal of Hazardous Materials, Vol. 443, 2023, [IF 14.224]
- ▶ “Design of heat pipe cooled microreactor based on cycle analysis and evaluation of applicability for remote regions,” Energy Conversion and Management, Vol. 288, 2023, [IF 11.533]
- ▶ 해외 특허등록: 수소 동위원소에 대한 차별적 결합 특성을 갖는 수소 동위원소 흡착제, 이의 제조

방법 및 이를 이용한 수소 동위원소 분리방법 < , 2023.06.27.>

- ▶ 국내 특허등록: 방사성 세슘의 고정화방법으로서 폴루사이트 합성방법 및 이에 따라 합성된 폴루사이트 < , 2022.09.20.>

1. 참여교수 연구역량

1.1 국내 및 해외기관 연구비 수주 실적

<표 3-1> 최근 1년간(2022.9.1-2023.8.31.) 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(2022.9.1~2023.8.31.) 실적	비고
정부 연구비 수주 총 입금액	9,576,775	3,484,583	
산업체(국내) 연구비 수주 총 입금액	2,484,451	1,330,251	
해외기관 연구비 수주 총 (환산)입금액	143,798	0	
이공사회계열 참여교수 수	6	6	
1인당 총 연구비 수주액	2,034,170	802,472	

<표 3-1-1> 최근 1년간(2022.9.1-2023.8.31.) 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(2022.9.1~2023.8.31.) 실적	비고
정부 연구비 수주 총 입금액	0	27,500	
산업체(국내) 연구비 수주 총 입금액	0	870,319	
해외기관 연구비 수주 총 (환산)입금액	0	0	
인문사회계열 참여교수 수	1	2	
1인당 총 연구비 수주액	0	448,909	

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

• 지구 온난화를 넘은 열대화와 에너지 안보 그리고 고집적 에너지 소비 산업인 반도체, 디스플레이, 데이터 센터 등의 성장에 따라 온난화 가스를 배출하지 않으면서 높은 에너지 밀도를 가진 새로운 원자력 시스템에 대한 필요가 증대하고 있다. 이에 대응하여 지속가능한 미래 사회를 위하여 새로운 원자력 시스템 개발에 대한 연구를 활발히 수행하였다. 이는 분산전력으로 활용할 수 있는 초소형원자로 시스템의 개발에서부터, 차세대 원자로를 활용하여 수소를 생산하는 시스템까지 다목적 에너지 시스템 연구부터 에너지 시스템 설계에 핵심 현상인 상변화 열전달에 대한 기초를 이해하는 기초 연구까지 다양하게 수행되었다. 이러한 과정을 통하여 2022년 9월부터 2023년 8월까지 총 10편의 SCI 저널을 발표함. IF 10.4이며 JCR 기준 분야별 상위 2%인 ‘Energy Conversion and Management’, IF 7.2의 ‘International Journal of Hydrogen Energy’, 그리고 대형 원자력 배관에서의 이상유동 현상을 연구하여 발표한 ‘Nuclear Engineering and Technology’ 등에 연구 내용을 발표함. 아래는 논문 10편에 대한 정보를 첨부함.

1. (2023). Development of a one-dimensional system code for the analysis of downward air-water two-phase flow in large vertical pipes, Nuclear Engineering and Technology
2. (2023). Design of heat pipe cooled microreactor based on cycle analysis and evaluation of applicability for remote regions, Energy Conversion and Management, 288, 117126
3. (2023). Off-design performance evaluation of multistage axial gas turbines for a closed Brayton cycle of sodium-cooled fast reactor, Nuclear Engineering and Technology, 55(7), 2697-2711
4. (2023). A novel integrated PDB-FDB model for the prediction of flow boiling heat transfer under high sub-cooling and very high heat flux conditions, International Journal of Heat and Mass transfer, 208, 124051
5. (2023). Impact of oxidized HANATM and Zircaloy-4 cladding materials under high temperature on the coolability of light water reactors. Journal of Nuclear Materials, 154567.
6. (2023). Techno-economic assessment of green hydrogen production via two-step thermochemical water splitting using microwave. International Journal of Hydrogen Energy, 48(29), 10706-10723.
7. (2023). Design and Thermal-Hydraulic Evaluation of Integrated Steam Generator with Serpentine-Tube Configuration for Prevention of Sodium-Water Reaction. International Journal of Energy Research, 2023.
8. (2023). Plant-scale experiments of an air inflow accident under sub-atmospheric pressure by pipe break in an open-pool type research reactor. Nuclear Engineering and Technology.
9. (2023). Experimental study of printed-circuit heat exchangers with airfoil and straight channels for optimized recuperators in nitrogen Brayton cycle. Applied Thermal Engineering, 218, 119348.
10. (2022). Sustainable thin-film condensation with free surface flow through water film network. International Journal of Heat and Mass Transfer, 196, 123222.

(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 뒤채움재의 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.
 - 원자력발전소 해체 시 발생할 수 있는 다양한 성상의 폐기물 (농축폐액, 폐수지, 콘크리트, 토양, 폐필터, 금속) 대상으로 고형화 및 고정화 연구사업을 수행함. 중저준위방사성폐기물 인수기준을 기준으로 다양한 시험 (구조적 안전성 및 침출성)을 진행하여, 각각의 폐기물 고형화/고정화에 최적화된 고화체를 개발함.
 - 부식성슬러지가 담지 된 시멘트 고화체에 감수제를 첨가하여 감수제가 방사성핵종의 침출 거동에 미치는 영향에 대하여 평가함.
 - 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 대한자원환경지질학회에 다수의 대학원생이 구두 및 포스터 발표를 수행하여 국내 유관기관과 연구 교류를 지속하였음.

• 아래는 출판 저널 정보임.

1. 2023, “Waste acceptance criteria testings of a phosphate-based geopolymer waste form to immobilize radioactive borate

waste” , Journal of Nuclear Materials, 586, 154671.

2. 2023, “Effect of Si/Al molar ratio and curing temperatures on the immobilization of radioactive borate waste in metakaolin-based geopolymer waste form” , Journal of Hazardous Materials, 458, 131884.

3. 2023, “Estimation of radionuclides leaching characteristics in different sized geopolymer waste forms with simulated spent ion-exchange resin” , Nuclear Engineering and Technology, Accepted and In Press.

4. 2023, “Dissolution Behaviors of PuO₂(cr) in Natural Waters” , Frontiers In Nuclear Engineering, FNUEN-02-1118594, doi: 10.3389/fnuen.2023.1118594

5. 2023, “Design and Application of Materials for Sequestration and Immobilization of ⁹⁹Tc Originating from the Nuclear Waste Industry” , Environmental Science and Technology, 57, 6776-6798.

6. 2023, “Tritium separation from radioactive wastewater by hydrogen isotope-selective exchange of hydrogen-bonded fluorine” , Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 121, 264-274.

7. 2023, “Prediction of stable radon fluoride molecules and geometry optimization using first-principle calculations, Scientific Reports, 13, 2898, <https://doi.org/10.1038/s41598-023-29313-5>

8. 2023. Stability of SrCO₃ within composite Portland-slag cement blends, Cement and Concrete Composites, 135(1), 104823.

9. 2023, “Decontamination of neutron-activated radioactive concrete waste by separating Eu, Co, Fe, and Mn-containing sand particles using dense medium separation” , Journal of Hazardous Materials, 443, 130183.

10. 2022, “Immobilization mechanism of radioactive borate waste in phosphate-based geopolymer waste forms” , Cement and Concrete Composites, 161, 106959.

[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. 포항가속기연구소에서 3인의 연구원을 겸직교수로 영입하였음.
- 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. 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 기술을 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 활동

의 공식적인 항목으로 채택되어 있음. 국내의 KFE 및 KISTI, 미국 PPPL 연구소와 함께 플라즈마 진단 대용량 데이터의 고속전송 및 후처리 시스템 구축에 동참하고 있음.

- 극한상태 물성 연구 개척: 핵융합 플라즈마 연구에서 축적된 기술력을 바탕으로 추진하고 있는 극한상태 물성 연구를 개척하고 있음. 교내의 Max Planck-POSTECH 아토초 과학 센터와 펄스 레이저 교육 및 공동 연구를 수행하고 있음. 포항가속기연구소의 XFEL 인프라 및 한국원자력연구원의 하나로 중성자빔 활용을 위한 준비를 진행하였음.
- 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.

• 아래는 출판 저널 정보임.

1. “Mode transition ($\alpha - \gamma$) and hysteresis in microwave-driven low-temperature plasmas” , Plasma Sources Science and Technology, 31, 105006
2. “Enhanced production of hydroxyl radicals in plasma-treated water via a negative DC bias coupling” , Journal of Physics D: Applied Physics, 55, 455201
3. “General parametric dependence of atmospheric pressure argon plasmas” , Journal of the Korean Physical Society, 82, 32-39
4. “Investigation of the afterpeaks in pulsed microwave argon plasma at atmospheric pressure” , Plasma Sources Science and Technology, 32, 015003
5. “Equilibrium selection via current sheet relaxation and guide field amplification” , Nature Communications, 14
6. “Explicit dispersion relations for warm fluid waves in a uniform plasma (invited)” , Journal of the Korean Physical Society, 82, 740-747
7. “Dispersion relation and instability for an anisotropic nonuniform flowing plasma” , Plasma Physics and Controlled Fusion, 64, 125003
8. “Stochastic fluctuation and transport of tokamak edge plasmas with the resonant magnetic perturbation field” , Physics of Plasmas, 29, 122504

(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: 3.9)
- 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: 3.9)

- **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: 4.3)

- 아래는 출판 저널 정보임.

1. “Parent-child underwater robot-based manipulation system for underwater structure maintenance”, Control Engineering Practice, 134, 105459

2. “Calibrating Electrode Misplacement in Underwater Electric Field Sensor Arrays for the Electric Field-Based Localization of Underwater Vessels”, Journal of Sensor Science and Technology, 31, 330-336

[3] 미래 원자력사회를 위한 사회 융합

- 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.

- 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 ‘핵중분석 실험실습 프로그램 개발’은 핵중으로 오염된 원전 해체 폐기물의 핵중 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.

- 아래는 출판 저널 정보임.

1. “The Knowledge of Radiation and Radioactive Waste and the Public Acceptance of Nuclear Power Generation”, Korean Social Science Journal, 49, 57-71

② 이공계열 참여교수 특허, 기술이전, 창업 실적의 우수성

(1)	교수	
- 해외 특허등록	수소 동위원소에 대한 차별적 결합 특성을 갖는 수소 동위원소 흡착제, 이의 제조방법 및 이를 이용한 수소 동위원소 분리방법 <	, 2023.06.27.>
- 국내 특허등록	방사성 세슘의 고정화방법으로서 폴루사이트 합성방법 및 이에 따라 합성된 폴루사이트 <	, 2022.09.20.>
- 국내 특허등록	방폐장에서 사용되는 뒷채움재 제조방법, 이에 따른 뒷채움재, 이를 이용한 방사성 폐기물 처분방법 및 이를 이용한 방폐장	2022.11.09.>

- 국내 특허등록	펜톤유사공정을 이용한 IRN-150 폐수지 분해방법 및 분해장치, < 2023.01.19.>
- 국내 특허등록	수소 동위원소에 대한 차별적 결합 특성을 갖는 수소 동위원소 흡착제, 이의 제조방법 및 이를 이용한 수소 동위원소 분리방법 < , 2023.07.17.>
- 해외 특허출원	층상이중수산화물로 개질된 벤토나이트로 구성된 완충재 및 이의 제조방법 < , 2022.12.15.>
- 해외 특허출원	수소 동위원소에 대한 차별적 결합 특성을 갖는 수소 동위원소 흡착제, 이의 제조방법 및 이를 이용한 수소 동위원소 분리방법 < , 2022.12.27.>
- 해외 특허출원	붕소가 포함된 방사성 폐기물 고화방법 및 이에 따른 방사성 폐기물 고화체 < 2023.03.06.>
- 해외 특허출원	라돈 제거용 흡착제, 이의 제조방법 및 이를 이용한 라돈 제거방법 < 2023.03.07.>
(2) 교수	
- 국내 특허등록	수중 물체에 대한 3차원 광학 체적 모델을 획득하는 방법 및 시스템 < 2022.10.14.>
- 국내 특허등록	수중 물체에 대한 3차원 음향 체적 모델을 획득하는 방법 및 시스템 < 2022.10.14.>
- 국내 특허등록	수중 스캔 장치를 이용한 수중 스캔 방법 < 2022.10.18.>
- 국내 특허등록	소나 이미지 시뮬레이터 장치 및 수중 객체 탐지 장치 < 2023.03.28.>
- 국내 특허등록	물질 분석 장치 및 이를 이용한 물질 분석 방법 < 2023.03.28.>
- 국내 특허등록	수조식 양식장 수질 측정 장치 및 방법 < 2023.06.20.>
- 국내 특허등록	수중 모니터링 시스템 및 이를 이용한 수중 터널 시공 방법 < , 2023.06.26.>
- 국내 특허등록	수중 관찰 장치 < , 2023.07.03.>
- 국내 특허등록	해녀집단 안전관리 시스템 < , 2023.08.04.>
- 국내 특허출원	해녀집단 안전관리 시스템 < , 2022.12.01.>
- 국내 특허출원	해저 폐기물 수거장치 < , 2022.11.30.>
- 국내 특허출원	소나 이미지 시뮬레이터 장치 및 수중 객체 탐지 장치 < , 2022.11.07.>
- 국내 특허출원	수중에서 3차원 스캐닝이 가능한 수중 로봇의 위치 정보 보정 방법 < , 2022.10.28.>
- 국내 특허출원	수중 모니터링 시스템 및 이를 이용한 수중 터널 시공 방법 < , 2022.10.28.>
- 국내 특허출원	수중에서 3차원 스캐닝이 가능한 수중 로봇의 제어 방법 < , 2022.10.28.>

- 국내 특허출원 2022.09.19.>	개폐형 수중 관찰 장치 <노세환, 유선철, 성민성, 송영운, 송석용,
(3) - 해외 특허출원 (활성화 장치 및 방법	이중 고주파수에 의해 확장된 플라즈마를 이용한 화학반응 2022.10.13.>
(4) - 국내 특허출원	연속주조용 몰드 및 그 표면처리방법 2023.07.31.>

③ 연구의 수월성을 대표하는 연구업적물 (최근 1년(2022.9.1.-2023.8.31.))

연번	대표연구업적물 설명
1	“Equilibrium selection via current sheet relaxation and guide field amplification” , Nature Communications, Vol. 14, 2023, [IF 17.694]
2	“Decontamination of neutron-activated radioactive concrete waste by separating Eu, Co, Fe, and Mn-containing sand particles using dense medium separation” , Journal of Hazardous Materials, Vol. 443, 2023, [IF 14.224]
3	“Design of heat pipe cooled microreactor based on cycle analysis and evaluation of applicability for remote regions” , Energy Conversion and Management, Vol. 288, 2023 [IF 11.533]
4	“Surface modification of high-Mn steel via laser-DED: Microstructural characterization and hot crack susceptibility of clad layer” , Vol. 223, 2022, [IF 9.417]
5	해외 특허등록: 수소 동위원소에 대한 차별적 결합 특성을 갖는 수소 동위원소 흡착제, 이의 제조방법 및 이를 이용한 수소 동위원소 분리방법 < 2023.06.27.>
6	국내 특허등록: 방사성 세슘의 고정화방법으로서 폴루사이트 합성방법 및 이에 따라 합성된 폴루사이트 < 2022.09.20.>
7	국내 특허등록: 물질 분석 장치 및 이를 이용한 물질 분석 방법 2023.03.28.>
8	국내 특허출원: 마이크로 채널 부재 및 그 제조 방법, 그리고 이를 포함하는 수전해 장치, 열교환기, 반응기, 냉각기, 그리고 물방울 기반 발전기 2023.08.08.>
9	해외 특허출원: 라돈 제거용 흡착제, 이의 제조방법 및 이를 이용한 라돈 제거방법 < 2023.03.07.>
10	해외 특허출원: 층상이중수산화물로 개질된 벤토나이트로 구성된 완충재 및 이의 제조방법 < 2022.12.15.>

2. 산업·사회에 대한 기여도

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

[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.
- 원자력-수소 생산 활용 연구 선도: 차세대 원자력 시스템과 현재 기술개발 중인 새로운 수소 생산 기술의 조합을 통해서 창출가능한 가치를 기술-경제성 평가로 평가하고 핵심 기술을 선정. 이를 통해 대량 청정 수소 생산 기술 개발에 기여할 수 있을 것으로 기대됨.
- 심층처분장 안전 규제 연구: 고준위 심층처분장의 설계 및 안전도를 평가하는 규제 관련 연구를 수행하여, 추후 폐기물 처리시설의 안전성 평가에 기여할 것으로 기대됨.
- 탄소중립에 대한 원자력의 기여는 차세대 원자력 시스템의 연구개발 확대와 상용화로 점점 그 기대가 높아지고 있는 상황. 이에 반해 원자력 관련 기반 기술을 갖춘 한국 그리고 핵심 원자력 시설들을 갖춘 경상북도에서는 이제 막 SMR 관련 연구가 시작되며 해외를 추격하는 상황이기에 우리가 집중해야 되는 역량과 방향에 대한 논의가 필요함. 한국일보가 주관하고 김한곤 혁신형 SMR 기술개발사업단장, 정민원 과기부 원자력연구개발과장, 장상길 경상북도 동해안전락산업국장, 강홍규 두산에너지원자력BG 상무, 김규태 동국대 명예교수가 참여한 미지답포럼(우리의 미래, 지방에 답이 있다)에서 교수는 SMR 기술의 현재와 앞으로의 인력양성과 관련하여 발표하고 토론함.
- 최근의 고집적에너지에 따른 에너지 소모량 증대, 에너지-환경 이슈, 에너지 안보 3중고 이슈는 새로운 에너지 시스템에 대한 개발을 요구하고 있고 이에 따라 핵분열을 활용하는 원자력 시스템 외에도 핵융합을 활용하는 시스템의 개발 연구도 활발히 진행되고 있음. 국내에서도 핵융합 역량을 응집하여 성과를 내기 위한 핵융합 로드맵을 수립하였으며 조항진 교수는 연료시스템분과에서 디버터 시스템 로드맵 수립에 기여함.
- 경상북도는 국내 최대의 가동원전 보유 지자체이면서, 한국원자력연구원 문무대왕과학연구소, 한국수력원자력 본사, 한국전력기술, 한국원자력환경공단 등 원자력 기관들이 다수 위치하며 경주 SMR 원자력산업단지, 울진 원자력-수소산업단지 선정 등 다양한 활동이 활발히 진행 중. 하지만 이에 비해 경상북도가 산업에 참여하고 있는 비중이 낮아 경상북도 기업의 원전시장 진입을 위한 역량강화 및 원전산업 육성 및 관련 정책추진을 위한 산-학-연 협력체계의 일부로 ‘경상북도 원전산업육성협의회’의 위원으로 아이디어 발굴을 위한 의견을 발의하고 토론함.
- 최근 경상북도 경주는 SMR 산업단지 및 SMR 연구를 활발히 수행할 ‘문무대왕과학연구소’가 지어지고 있는 등 SMR 관련 큰 주목을 받고 있음. 이에 따라 경주 일반 시민들도 SMR 관련 관심이 커지고 최근 후쿠시마 오염수 방류 건과 관련하여 주민 불안이 커지며 온전한 정보 습득에 대한 갈망이 커짐. 조항진 교수는 경주시민대학 수업에 참여하여 1일 강사로서 40여명의 경주시민들에게 SMR

이란 것이 어떤 것이고 이 기술의 안전성은 어떠한 것인지 설명하고 시민들의 의견을 듣고 불안감을 해소할 수 있도록 질의를 진행함.

- 원자력 연구는 다른 연구 분야에 비해 해외 협업이 활발히 진행되고 이에 따른 글로벌 네트워크 구축도 상당히 중요한 부분 중에 하나임. 글로벌 원자력 협력 연구 및 네트워크 강화의 일환으로 원자력 글로벌 포닥 펠로우십 평가와 원자력 분야 재외 한국인 과학자 영상 제작을 통한 원자력 연구인의 연구의식 고취를 위한 활동을 한국원자력협력재단 통하여 수행함.

(2) 환경 분야

- 원자력 관련 시설 운영 및 해체 시 발생 가능한 고분산성 방사성 오염물질에서의 우라늄, 코발트의 생체접근도를 평가하고, 평가된 생체접근도를 기반으로 SAAM II 프로그램을 활용해 우라늄, 코발트의 생체이용도를 계산함. 평가된 생체접근도, 생체이용도를 기반으로 생체역동학적 모델과 위해도 모델을 구축함으로써 고분산성 방사성 오염물질의 작업종사자, 일반인에 대한 위험도를 정량적으로 예측 및 평가할 수 있는 모델 개발에 필요한 근거 자료로 이용될 수 있을 것이며, 피폭선량을 관리, 평가하는 모델 개발에 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 진행하였음. 또한, 통계학적 방법을 이용해 고화체의 균질도를 정량적으로 평가할 수 있는 방안에 대해 연구를 수행하고 있음. 방폐장 안전성 평가의 경우, 방폐장 인근 지하수 및 해수 조건, 방폐장 콘크리트와 반응한 반응 수 조건에서 방사성 핵종의 수축 특성 및 용해도 실험을 통해 안전성 평가를 진행하였고, 2단계 천층처분 안전성 평가 보고서 제출 및 사용후핵연료 처분장 안전성 평가 사업을 새롭게 수행하면서 지속적인 연구수행 중임.

- 원자력발전소 운영 및 해체 시 발생하는 대표적인 방사성폐기물 중 폐수지, 농축폐액, 폐필터, 금속 등을 중심으로 안전한 처분을 위해 다양한 조성의 시멘트 및 지오폐리머 고화체를 개발하고 압축강도 및 침출시험 등의 안전성 테스트를 진행함. 본 연구결과로 논문 4편 [(1)

2023, “Wasteacceptance criteria testings of a phosphate-based geopolymer waste form to immobilize radioactive borate waste”, Journal of Nuclear Materials, 586, 154671] [(2)

2023, “Effect of Si/Al molar ratio and curing temperatures on the immobilization of radioactive borate waste in metakaolin-based geopolymer waste form “,Journal of Hazardous Materials, 458, 131884] [(3)

2023, “Estimation of radionuclides leaching characteristics in different sized geopolymer waste forms with simulated spent ion-exchange resin”, Nuclear Engineering and Technology, Accepted and In Pres] [(4)

2022, “Immobilization mechanism of radioactive borate waste in phosphate-based geopolymer waste forms”, Cement and Concrete Research, 161, 106959] 을 출판하였으며, 지속적인 연구를 통해 방사성폐기물과 고화체 내 화학적 반응 및 고정화 매커니즘에 대해 연구를 수행할 예정임.

- 중저준위방폐물 3단계 매립형 처분시설 부지의 안전성 평가를 위해 계절별 수질 조건 및 폐기물 내 주요 핵종의 거동, 용해도 특성, 회분식 흡착, 동적 흡착, 확산 실험등을 수행하였음. 세계 최초의 중저준위방사성폐기물 복합처분시설의 불확실성을 저감하고, 안전성평가 입력자료를 확보하기 위해 처분장 주변 환경에

대한 정량화 및 이를 통한 핵종의 거동 특성 평가 자료 및 지구화학특성 모델링 결과를 도출함. 중저준위 방폐물 3단계 매립형 처분시설 건설/운영허가 관련 심사 요구사항 이행을 위하여, 처분장의 실제 지하수 및 매질 시료를 이용해 실험을 수행하고 흡착계수, 확산계수 등의 인자값을 실험적으로 도출하기 위한 연구목적을 갖고 있음.

- 방사선 및 방사성폐기물의 안전성 확보를 위한 주민 공감대 향상을 위해서 자연적으로 발생하는 방사성 라돈에 대한 연구 및 처리 기술 개발을 진행하고 있음. 또한, 월성원전주변 삼중수소 관리 안전성 확보를 위한 조사업무를 통해 환경감시망을 중심으로 부지 내 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 중 대상으로 흡착 및 탈착 실험과 특성평가를 진행하였음. 또한, 안정성을 평가하기 위해서 경주 방사성 폐기물 처분시설 환경조건에서의 회분식 흡착 실험 및 동적 칼럼 실험을 수행하고, 해당 실험결과를 바탕으로 요오드의 거동 예측모델을 개발하고 GoldSim을 이용한 검증 및 안정성 평가를 수행하였음.
- 고준위 방사성폐기물 처분장 공학적방벽 중 하나인 완충재의 음이온성 핵종의 이동 저지능을 향상하기 위해 층상이중수산화물로 벤토나이트의 표면을 개질함. 또한 층상이중수산화물로 개질된 벤토나이트의 THMC(Thermal-Hydraulic-Mechanical-Chemical) 복합물성 규명을 진행하여 고준위 방사성폐기물 처분장에 적용 가능성을 평가함. 본 연구 결과를 통해 논문 1편 [Journal of Environmental Chemical Engineering, 2022, 10(3), 107477], [(2) 2022, “Surface Modification of Bentonite for the Improvement of Radionuclide Sorption.” Journal of Nuclear Fuel Cycle and Waste Technology, 20.1 (2022)]을 출판하였으며, 지속적인 연구를 통해 고준위 방사성폐기물 처분장의 안전성을 향상시킬 수 있을 것으로 예상됨.

[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 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: 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 핵심 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 연구를 통해 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.
- 전문 지식을 사회문제에 적용하여 보는 실용화 실적
 - 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.
- 지난 1년간 참여교수의 원자력과 관련된 현안에 대한 사회적 논의 및 해결 방안 모색에 기여하기 위한 사회문제해결 위원회 활동 실적

교수명	기관/회사명	활동위원회/조직명	역할/직책
	한국원자력환경공단	기술자문위원	외부이사
	경주 삼중수소 민관합동조사단	기술전문위원	위원
	경상북도	경상북도 탄소중립추진위원회	위원
	경상북도	경상북도 원전산업육성협의회	위원

3. 연구의 국제화 현황

① 참여교수의 국제적 학술활동 참여 실적 및 현황

- 국제 학술지 관련 활동: 편집위원 등 관련 활동			
교수명	저널명	역할/직책(직위)	
	Association of Asia Pacific Physical Societies (AAPPS) Bulletin	Editorial Board Member; Scientific Committee Member	
	Journal of Nuclear Fuel Cycle and Waste Technology	Editor	
- 국외 학술/학회 활동			
교수명	학회/학술명	역할/직책(직위)	
	IFAC(INTERNATIONAL FEDERATION OF AUTOMATIC CONTROL)	IFAC TECHNICAL COMMITTEE ON MARINE SYSTEMS(TC 7.2)	
	INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONTROL, AUTOMATION AND SYSTEMS(ICASS) 2022	ORGANIZATION COMMITTEE	
	ASSOCIATION OF ASIA-PACIFIC PHYSICS SOCIETIES (AAPPS) DIVISION OF PLASMA PHYSICS (DPP)	BASIC SESSION VICE-CHAIR	
- 국제기구/대외활동			
교수명	기관/회사명	활동 위원회/조직명	역할/직책(직위)
	ITER Organization	ITER Council Science and Technology	한국 멤버

		Advisory Committee.	
	ITER Organization	International Tokamak Physics Activities (ITPA) Diagnostics Topical Group	부위원장 및 한국대표

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			영국/ University of Sheffield	OPC/Slag 혼합 시멘트 고화체를 이용한 SrCO ₃ 고화체 제조 및 내구성 평가하는 연구를 진행함.	https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2022.104823
2			미국/ PNNL	우라늄과 토륨으로 오염된 토양의 경구 독성 및 생체 이용률에 대해 평가하는 연구를 진행함.	https://doi.org/10.1016/j.net.2022.12.011
3			미국/ Vanderbilt University	Cast stone 고화체를 이용하여 Tc, Cr, Fe 등의 원소 확산 모델에 대한 평가하는 연구 수행함.	https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127779
4			USA/Utah State University, Logan	“Dispersion relation and instability for an anisotropic nonuniform flowing plasma”, Plasma Phys. Control. Fusion 64 (2022) 125003	doi.org/10.1088/1361-6587/ac95c5
5			미국, University of Wisconsin-Madison, Idaho National Laboratory	차세대 경수로 연료피복관으로 개발 되고 있는 SiC-SiC composite에 크롬 코팅을 개발과 온도에 따라서 발생하는 코팅내부의 잔류응력에 대한 연구를 Idaho National Laboratory (INL)과 University of Wisconsin, Madison 연구팀과 함께 진행함.	https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921509323006974
6			미국, University of Wisconsin-Madison	“Design of heat pipe cooled microreactor based on cycle analysis and evaluation of applicability for remote regions”, Energy Conversion and Management 288 (2023)	https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0196890423004727

③ 외국 대학 및 연구기관과의 연구자 교류 실적 및 계획

<p>[1] 원자력</p> <p>(1) 안전 분야</p> <ul style="list-style-type: none"> 미국 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. 히트 파이프 노형 대상

초소형원자로 시스템 자체 설계를 완성하였고 이를 바탕으로 IF 10.4, JCR 기준 분야 상위 2% 논문인 ‘Energy Conversion and Management’ 에 ‘Design of heat pipe cooled microreactor based on cycle analysis and evaluation of applicability for remote regions’ 연구를 출간함.

- 미국 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.
- 덴마크 Seaborg 연구팀과 용융염 원자로 관련된 핵심 열수력 연구를 공동으로 수행하고 있으며 POSTECH 박사과정학생을 덴마크 Seaborg에 파견하여 협력 연구를 수행함.
- 미국 TerraPower 연구팀에게 POSTECH 연구 시설 및 역량을 소개하고, 시애틀 TerraPower 사에 학생들 5명을 파견하여 현장 기술투어를 실시하는 등 연구 교류를 수행함.

(2) 환경 분야

비대면 회의 및 이메일을, 직접 방문을 통한 교류를 통해 PNNL, PINSTECH, Sheffield, KIT, 대학교 공동 연구활동을 지속하고 있음.

- 영국 University of Sheffield: 교수와 공동으로 사용후레진 및 C-14 처리와 이를 담지하는 고화체 개발과 관련된 연구를 함께 진행하였음. 또한, SrCO₃ 고형화를 위한 OPC/Slag 혼합 고화체 연구를 수행하여 Sheffield 대학 연구진과 공동으로 논문을 1편 출판하였음. 추후에도 관련 연구를 지속적으로 수행할 계획임.
- 영국 University of Sheffield: 학생 1인이 연구실에 방문하여 농축폐액 지오폴리머 고화체의 내구성 및 침출 저항성 향상에 대한 연구 및 지오폴리머 내 세슘의 고정화 매커니즘에 대한 연구를 진행하였음. 이메일, 화상회의를 통한 지속적인 교류를 통해 공동으로 논문을 출판할 예정임.
- 미국 Pacific Northwest National Laboratory (PNNL): 등과 지속적으로 공동연구를 방사성 핵종 고정화에 대한 연구를 진행중임. 또한, 와 함께 분자동력학 전산모사 공동연구를 진행하고 있으며 공동으로 논문을 출판할 예정임. 이외에도 사용후핵연료 처분장 안정성 평가를 위한 핵종의 흡착, 확산, 용해도 특성에 대한 공동연구를 지속적으로 진행하고 있음.
- 말레이시아 국립대학교 (Universiti Kebangsaan Malaysia: UKM): 학생 1인 이 UKM에서의 교육 연수를 통하여 Sprague Dawley 쥐를 이용해 Th-232, U-238이 생체에 미치는 영향에 대한 연구를 진행하였고 지속적으로 공동 연구를 수행 중임.
- 독일 KIT(Karlsruhe Institute of Technology): 학생 1인이 KIT 대학 방사성폐기물처분연구소에 방문하여 테크니슘의 용해도에 아이소사카린산이 미치는 영향에 대한 연구를 수행하였음. 이메일 및 화상회의를 통해 지속적으로 교류하고 공동 논문을 출판할 예정임.
- 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 출판하였고, 연구를 지속적으로 수행할 계획임.
- University of Wisconsin, Madison과 Electric Power Research Institute 연구팀과 사용후핵연료를 장기저장할 수 있는 상용 건식저장설비내의 스테인리스 스틸 용기의 부식 성능과 저감 방안을 공동연구 중이며 기초 결과를 2023년 춘계 한국방사성폐기물 학회에 발표함.

[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 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.

(2) 로봇 시스템

- 동경대의 NEST Advanced remote technology and robotics for decommissioning (ARTERD) project를 통한 연구 교류를 진행 중. 원전 사고 환경에서 로봇을 통한 방사능 mapping 기법 등의 공동 연구를 위하여 연구원 1명이 2024년 1월 동경대학교로 파견될 계획임.
- 2023년 3월과 5월, 동경대학교를 방문하여 후쿠시마 원전해체 로봇 개발의 책임자인 동경대 교수 연구팀, 동대학교의 협동 로봇 전문가 Jun Ota 교수 연구팀, 수중 로봇 전문가 교수 연구팀, 산업 현장 로봇 전문가 교수 연구팀 등을 방문하여 공동 세미나를 진행하였음. 또한 원전 안전 유지보수 및 사고 대응 로봇 개발 등의 공동연구를 논의함.