



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

접수번호	-							
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	[Redacted]		
		영문	Um Wooyong		팩스			
				이동전화				
				E-mail				
연차별 총 사업비 (백만원)	구분	1차년도 (20.9~21.2)	2차년도 (21.3~22.2)					
	국고지원금	351,960	754,969					
총 사업기간	2020.9.1.-2027.8.31.(84개월)							
자체평가 대상기간	2020.9.1.-2021.8.31.(12개월)							
<p>본인은 관련 규정에 따라, 『4단계 BK21』 사업 관련 법령, 귀 재단과의 협약에 따라 다음과 같이 자체평가보고서 및 자체평가결과보고서를 제출합니다.</p> <p align="right">2021년 9월 16일</p>								
작성자	교육연구단장			엄우용 				
확인자	포항공과대학교 산학협력단장			김상우 				

〈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 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 2년 이내의 짧은 기간에도 불구하고 2021년부터 새로운 교육과정 개편 및 분야별 특성화 연구를 통하여 공학적 기술에 사회적 공감대를 갖춘 인간 중심의 미래사회를 위한 원자력 융복합인재 양성의 초석을 마련하였음.</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 추가하였음. 또한, 1년간 특성화 세부전공별 신입 대학원생 총 17명을 확보하였으며, 지속적으로 해외 우수 전문기관과 교류를 통하여 국제적 감각의 융합인재 교육역량을 확보하였음.</p>		
연구역량 영역 성과	<p>참여대학원생의 학술활동 및 공동연구 참여로 총 20편(IF 합계: 47.197) 논문 게재, 국내외 학술회의 45편 발표(우수논문발표 5명 수상), 특허 출원 10건, 특허 등록 5건의 성과를 이루었음. 3명의 신진연구인력은 논문 6편, 연구과제 참여 등 독자적 연구환경을 조성하였으며, 참여교수들의 탁월한 연구비 수주와 SCI급 저널 총 54편(IF 합계: 213.211), 특허 출원 14건, 등록 6건, 기술이전 3건을 완료하였음. 또한, 영국 Sheffield 대학, 미국 PNNL(Pacific Northwest National Laboratory), Univ. of Wisconsin-Madison, Utah State Univ., 프랑스 ITER Organization 등 10개 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/기술이전 등) 		
미흡한 부분 / 문제점 제시	<p>본 교육연구단의 1-2차년도 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 화상강의/온라인 회의 플랫폼을 적극 활용하여 보완코자 함.</p>		
차년도 추진계획	<ol style="list-style-type: none"> 1. 지속적인 교육 프로그램 운영과 연구를 통하여 참여 학생들의 융합적 사회문제 해결 능력 향상 계획. 2. 코로나 19 장기화로 인한 국제교류의 제약으로 온라인 및 비대면 교육 및 프로그램 개발을 통한 지속적인 교육 및 연구 인프라 구축. 		

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 5명, 석사 10명의 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

신청학과(부)	기준 학기	전체교수 수			참여교수 수		
		전임	겸임	계	전임	겸임	계
첨단원자력공학부	20년 2학기	7	1	8	6	1	7
	21년 1학기	8	1	9	7	1	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	조중욱	2021년 1학기	전임	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	20년 2학기	17	15	88.24	22	15	68.18	16	12	75	55	42	76.36
	21년 1학기	16	12	75	25	18	72	16	14	87.5	57	44	77.19
참여교수 대 참여학생 비율				5.7									

- 원자력 재료에 대한 이해를 기반으로 원자력 안전에 기여할 수 있는 철강·에너지소재대학원의 **조중욱** 교수를 유치하고자 노력하여 2021년 3월 1일부로 교육연구단에 참여교수로 영입하였음.

조중욱 교수는 산업체 및 대학에서 금속의 응고분야를 30여 년간 연구해 왔으며, 스테인레스강, 금속기지 복합재료, 고니켈 합금 등 원자력재료로 활용 가능한 고기능 금속재료의 제조공정 및 물성에 관한 연구를 집중적으로 수행하고 있음. 특히 차세대 원자로 및 핵융합발전용 소재를 용이하게 제조하기 위한 금속 적층제조 공정연구 결과를 Additive Manufacturing 등 국제적으로 저명한 논문지에 발표하였음. 향후 원자로 재료 관련 교육을 위하여 금속응고 및 3D 프린팅 과목을 개설하여 대학원생의 연구역량 향상에 기여하고자 함.

- 본 교육연구단은 앞서 밝힌 바와 같이, ‘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

- 원자력환경 분야 특성화: 방사성폐기물 관리과 원전 운영 시 발생하는 폐기물의 제염 및 노후 원전 해체 분야를 미국 PNNL에서부터 선도적으로 이끌어온 **엄우용** 교수, 바이오마커 및 화학적 처리 방법 등을 활용한 방사성 안전 및 환경 모니터링 시스템을 선도하는 **박종문** 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 산업

용 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

. 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, 사회문제에 대한 철학적 고찰과 필요한 공학기술의 융합에 대해 전문성을 갖춘 김진택 대우교수가 참여하고 있음.
- 또한, 방사광가속기와 포스트의 협의를 통하여 포항 방사광가속기 인력양성 교육을 본 교육연구단에서 진행하기로 결정함에 따라 방사광가속기 소속 연구원인 이희석 박사, 박용운 박사, 신승환 박사 등이 겸직교수로서 정규 교과목을 개설하고 연구 및 교육을 공동으로 계속하여 수행하고 있으며, 플라즈마 및 가속기 분야의 교육 역량 강화를 위해 2021-1학기 중에 한가람 박사를 겸직교수로 영입하였음.
- 위의 교육연구단 구성에 더하여, 지난 10년 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 각 분야의 전문성 함양에 기여하고 있음.

2. 교육연구단의 비전 및 목표 달성정도

<계획>		
<ul style="list-style-type: none"> • 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>		
<ul style="list-style-type: none"> • 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 2021학년도 신입생부터 적용한 교과과정 개편은 다음과 같다. 		
구분	개편 전	개편 후(2021년부터)
교과이수 기본	-공통과목 2과목(원자력공학, 원자로	- 공통과목 3과목(원자력공학, 원자

	물리학) 필수 수강 -전공선택필수 3과목 중 2과목 필수 수강 -전공선택 2과목 이상 수강(분야별) -세미나	로물리학, 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
--	---	---

- 사회 이슈에 대응하기 위한 전문 지식 특성화 실적은 다음과 같다.
 (단기평가(2년) 지표) 특성화 세부전공 석사/박사/석박사통합 과정 학생 총 30명 확보
 - 아래와 같이 지난 1년간 특성화 세부전공별 학생 총 17명 확보로 단기평가지표 달성 순조로움.
 - 2020-2학기과 2021-1학기 특성화 세부전공별 입학인원
 - [원자력안전] 이수원 등 박사과정 3명, 김도은 등 통합과정 2명
 - [원자력환경] 박소해 등 석사과정 4명, Nurul 등 박사과정 2명
 - [플라즈마 및 가속기] 강형구 등 석사과정 2명, 이승준 등 박사과정 2명
 - [인공지능 및 로봇시스템] 이장희 등 통합과정 2명
 - ▶ 원자력환경 분야 특성화: 자연 방사선에 대한 이해 증진과 막연한 불안감 해소 및 국민 수용성 증대에 기여할 수 있는 전문가 교육으로 <원전해체기술 과목 및 방사선분석> 교육 프로그램을 개발하고 관련 총 10회 전문가 초청 교육을 실시하였음.
 - 전문가초청: (한국수력원자력) 손욱, 이상호 박사, 정가희 연구원 ((주)알엠텍) 이흥연 대표, 최수경 박사, 김보길 과장, ((주)동국방사능표준분석) 김종빈 대표, 이흥래 박사, (주)라드술) 오정석 대표, (주)엔씨스퀘어) 안준기 과장
 - ▶ [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.
 - 2021-1학기 가속기 연구원 강의 <방사선계측>
 - ▶ [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.
 - 2020-2학기 <극한환경로봇과 사회문제해결>, <원자력안전-인공지능 융합심화>
 - 2021-1학기 <인공지능-원자력 기초실습>
 - ▶ [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, 개설함.
 - 2021-1학기 <원자력과 사회문제>

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

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

- 아래와 같이 지난 1년간 실습형 융합과목 2개 교과, 사회융합과목 3개 교과 편성, 개설하고 있어 계획 대비 원활하게 교과 운영 중임.

▶ 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. 또한, 프로젝트 수행을 포함한 실습형 융합 과목으로 <원자력안전-인공지능 융합심화>, <범용 공학용 전산도구 실습> 과목을 개설하였고, 다양한 원자력 관련 사회문제 해결을 위한 기반을 제공하기 위해서 <극한환경로봇과 사회문제해결>, <미래사회 첨단원자력입문> 과목을 사회융합 자유선택 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 2021-2학기 개설 예정. 본 교과는 원자력 관련 이슈와 주요 사례들을 시계열적으로 내용 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 함.

• 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 해결을 위한 상설기구, 자문, 연구센터의 활용

- 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·외 최고 전문가 초빙, 특강 및 유관기관 견학을 통한 연구개발의 실용화

- 국내·외 원자력분야 전문가 초청 세미나 개최: 2020-2학기 11회, 2021-1학기 12회
 - . 국내 원자력분야: 정해룡 박사, 채길병 박사, 윤시우 박사, 박현식 박사 등 총 22명
 - . 국외 원자력분야: 염화성 박사

<2020-2학기, 2021-1학기 정기세미나 세부현황>

- 김진택 교수 (POSTECH, 2020.09.10), “Hominescence - Human Going Through Growth Pain”

- 김송현 박사 (POSTECH, 2020.09.17), “Current Status and Prospect on Nuclear-AI Convergence Researches”

- 강덕홍 박사 (RIST, 2020.10.08), “Introduction of RIST Energy Research Fields and Recent Trends”

- 이준엽 교수 (부산대, 2020.10.15), “Recent Advances in Actinide Chemistry”

- 정해룡 박사 (KORAD, 2020.10.22), “Global Status of RD&D Activities Carried out at Underground Research Facilities”
 - 김인중 박사 (KRIS, 2020.10.29), “Dosimetry standards for therapeutic radiations using the calorimetry and its application”
 - 채길병 박사 (KAERI, 2020.11.05), “Plasma science in nuclear engineering”
 - 서민수 박사 (KIER, 2020.11.19), “Principle and Application of Alkali-Metal based Thermal-to-Electric Direct Conversion”
 - 강태준 교수 (인하대학교, 2020.11.26), “Ionic Seebeck effect and its applications: An electrochemical pathway for the utilization of waste thermal energy”
 - 김준혁 박사 (KAERI, 2020.12.10), “Assessment of the Nuclides in Radioactive waste & Radiation Measurement”
 - 이상한 박사 (KRIS, 2020.12.17), “DEVELOPMENT OF MASS SPECTROMETRIC TECHNIQUE AND ITS APPLICATION TO IDENTIFY THE RADIONUCLIDE SOURCE”
 - 김명섭 박사 (KAERI, 2021.02.25), “Applications of Research Reactor, ‘HANARO’ ”
 - 조중욱 교수 (POSTECH, 2021.03.04), “Vitrification of Radioactive Waste: Present State and Improvement Strategy”
 - 윤시우 박사 (KFE, 2021.03.11), “The status and plan of the KSTAR project for fusion research”
 - 김종현 박사 (PAL, 2021.03.25), “Introduction of advanced material analysis techniques via synchrotron radiation”
 - 임상호 박사 (KAERI, 2021.04.01), “Current status and applications of actinides/radioisotopes research using synchrotron light source”
 - 염화성 박사 (UW-Madison, 2021.04.08), “Recent advances of surface engineering technologies in nuclear energy applications”
 - 오정석 박사 (Radsol Co., Ltd., 2021.04.22), “Nuclear Decommissioning - Radioanalytical Issues and Solution”
 - 박솔피 교수 (부경대학교, 2021.04.29), “Cements for radioactive waste disposal”
 - 박현식 박사 (KAERI, 2021.05.06), “Research Activities on Nuclear System Safety in KAERI”
 - 권성진 박사 (KFE, 2021.05.13), “Multiphysics Analysis of Divertor System in Fusion Reactor”
 - 배영 교수 (POSTECH, 2021.05.27), “Social Survey and Opinion Poll -focused on social data analysis-”
 - 감중훈 교수 (POSTECH, 2021.06.03), “The Role of Big Data and AI in Environmental Issues”
- 국내외 원자력 관련 기관 견학 및 교육
 - . 강재은(박사과정) 외 52명이 ‘KORAD 원전 해체방폐물 교육’ 등의 교육 및 워크숍과 ‘경주(월성) 중저준위 방사성폐기물 처분장’ 등의 원자력 관련 기관으로의 견학 실시
 - 국내외 학회 참가
 - . 김병관(박사과정) 외 25명이 ‘2020 추계 한국방사성폐기물학회’, ‘The Clay Minerals Society 2020’ 등 국내외 저명학술대회 발표 및 참가
- 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
- 해외의 우수한 유수 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

- 2021-1학기 <Heat Transfer Physics, 3학점>, Prof. Massoud Kaviany(Univ. Michigan-Ann Arbor)

▶ 화상강의/회의 플랫폼을 활용한 Webinar: International Colloquia 운영

- 2021년 2월 8일 포스텍과 동경대 Asama 교수 연구실 간 온라인 화상회의를 이용한 워크숍 ‘2nd International workshop on safety and maintenance of nuclear engineering and hazardous and extreme environment robots and sensing systems 2021’ 개최

- 원전 해체 등에 활용 가능한 필드 로봇 전 문가 기술 교류를 위해, 동경대 필드로봇연구실-포스텍 극한환경로봇 연구실의 연구그룹을 주축으로 한 초청세미나를 2021년 3월 29일 화상으로 개최

- Oregon State University 연구팀과 신규 및 기존 원자력 재료의 열수력 안전성 평가를 높이기 위한 센서 설치 및 평가 기법에 대하여 매달 WEBEX 미팅을 수행

▶ 전 교과과정 영어 강좌 개설 및 해외 학생 유치

- 매 학기 모든 개설 교과목 수업은 100% 영어로 진행함.

- 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 교류를 통해 우수 외국인 학생 유치를 기하고 있음.

. 2021-1학기 입학 외국인 학생: Mahzan Nurul Syiffa(말레이시아)

. 2020-2학기 터키 정부의 원자력 국가 장학생인 Ceyda Eldem 학생

. 유럽 폴란드 상위권 대학인 Warsaw University of Technology에서 석사 졸업, Global Korea Scholarship(GKS) 정부초청장학제도 장학생 Zumaro 학생 선발(2021-2학기 입학)

▶ 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 국내외 원자력관련 이슈들에 대한 적극적인 대응의 기초를 마련하였음. 대상기간 중 Argonne National Laboratory에서 실시하는 Facility Decommissioning Training Courses 온라인 교육비를 지원하였음. 코로나 19 상황으로 비대면 교육비를 지원했으나 대면 교육이 활성화되면 교통비 등의 체재비도 지원하고 관리할 예정임.

. 신영림, 박소혜, 김경원, 양석훈(석사과정): Facility Decommissioning Training Courses(Argonne National Laboratory, 2021.08.02-2021.08.05)

• 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.

- 2020-2학기 <극한환경로봇과 사회문제해결>, <원자력안전-인공지능 융합심화>,

- 2021-1학기 <원자력과 사회문제>, <플라즈마 및 빔 물리>, <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 <극한 환경로봇과 사회문제해결>, <원자력안전-인공지능 융합심화>, <인공지능-원자력 기초 실습> 등의 교육을 실시하였음.
- 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. 제한적이거나 화상강의/회의 플랫폼을 적극 활용하여 보완코자 함.

□ 교육역량 대표 우수성과

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

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 2020학년도부터 기획하여 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 개편하였음.

• 우수 대학원생 유치

상시 Open lab. 연구참여 프로그램 등과 대학원생에게 독립적인 교육자이자 연구자로서의 환경 제공으로 지난 1년간 고려대, 경희대 등 우수 대학원생 총 17명 유치함으로써 계획 대비 원활한 성과가 있었음. 외국인 학생으로 2021-1학기 입학 외국인 학생: Mahzan Nurul Syiffa(말레이시아), 2020-2학기 터키 정부의 원자력 국가 장학생인 Ceyda Eldem, 유럽 폴란드 상위권 대학인 Warsaw University of Technology에서 석사 졸업 후 Global Korea Scholarship(GKS) 정부초청장학제도 장학생 Zumaro 학생 선발(2021-2학기 입학)하였음.

• 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 20편(IF 합계: 47.197)의 논문을 게재하였음. 게재지의 JCR 기준 상위 Q1 value급인 Nuclear Fusion, International J. of Heat and Mass Transfer, Radiation Physics and Chemistry, J. of Environmental Chemical Engineering, Nuclear Engineering and Technology 등에 게재하였고, 총 20편의 게재 논문에서 Q1 value급 논문 5편, Q2 value급 6편, 그 외 전문 관련 분야의 문제 해결을 제안한 논문 6편 등 총 17편의 SCI급 논문을 저널에 게재함으로써 비교적 질적으로 우수한 평가를 내릴 수 있음.

또한, 참여대학원생은 지난 1년간 학술대회에서 국내 325, 국외 10편, 총 45편을 발표하였고, 학술대회 우수논문발표 수상 5명, 특허 출원 10건, 특허 등록 5건이 있음.

• 해외 기관과 협력을 통한 국제화

해외학자 Massoud Kaviany 교수(Univ. Michigan-Ann Arbor)가 2021-1학기 정규 교과목 <열전달 물리학, 3학점>을 개설하여 첨단원자력공학부 및 타 학과 등 57명 수강함.

University of Tokyo, Japan Atomic Energy Agency (JAEA), McMaster University [Canda], University of Tennessee [USA], Technical University of Munich [Germany], Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development (ENEA) [Italy] 등과 함께 NEST ARTERD project 공유와 학생 교류 논의함.

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

National Laboratory), 독일 KIT (Karlsruhe Institute of Technology)-INE (Institute for Nuclear Waste Disposal), 영국 University of Sheffield 와의 비대면 교류로 공동 연구 및 실험을 진행하였음.
미국 Utah State Univ의 지정영 교수 공동 학위지도를 통해 박사학위 1인을 배출함 (이민욱).

• 참여교수 교육대표 실적

(1) 조항진 교수

- 2021-1학기 <미래사회첨단원자력입문> 신규개설: 고도화되고 복합화되고 있는 미래사회를 위한 원자력 기술 및 사회 인식에 대한 이해를 위하여 원자력 안전, 원자력 환경, 플라즈마-가속기, 로봇-AI, 인문사회 5개 분야에 대해 포괄적으로 다루고 대학원생들에게 기존의 자신 전문 분야외의 주제를 선택하고 발표하고 의견을 나누는 신규 과목을 개설함.

(2) 유선철 교수

- 수중드론이라 불리는 자율 무인 잠수정(ISBN979-11-5576-319-3) 2020.07 출간

(3) 배영 교수

- 2021-1학기 <원자력과 사회문제> 신규 개설: 우리 사회에서 나타나고 있는 원자력 관련 주요 이슈의 흐름과 내용을 다양한 데이터를 통해 살펴보고 전반적인 함의를 파악하기 위한 교과목을 개발, 개설함.

1. 교육과정 구성 및 운영

1.1 교육과정 구성 및 운영 현황과 계획

<계획>								
<ul style="list-style-type: none"> • 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 교과과정을 구축하고자 함. • 실제 산업·사회문제를 핸즈온 실습형 (hands-on-experience) 프로그램에서 다루어 볼 수 있도록 전체 교과과정을 계획하고자 함. • 해외 우수학자 초청의 정규교과목 개설 및 운영 등을 통하여 교육의 질적 국제화를 이루고자 함. 								
<실적>								
• 2021학년도 신입생부터 적용한 교육과정 개편의 구체적인 내용은 다음과 같음.								
구분	개편 전				개편 후(2021년부터)			
졸업이수 학점	구분	교과학점	연구학점	계	구분	교과학점	연구학점	계
	석사	18	10	28	석사	18	10	28
	박사	15	17	32	박사	21	17	38
	통합	30	30	60	통합	36	30	66
					-교과학점 강화			
교과이수 기본	-공통과목 2과목(원자력공학, 원자로물리학) 필수 수강 -전공선택필수 3과목 중 2과목 필수 수강 -전공선택 2과목 이상 수강(분야별) -세미나				-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			
	박사자격시험(QE)	-공통과목 2과목과 전공선택필수 중 2과목, 총 4과목 합격				-공통필수 3과목과 전공선택필수 4과목 중 1과목, 총 4과목 합격		
<p>- 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 포스텍 방사광가속기연구소와 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 교육 과정을 편성하였음. 또한, 기존 공학지식만을 가르치던 커리큘럼을 대폭 개편하여 인문사회 과목을 필수과목으로 편성하는 등 폭넓은 인문사회학과 공학의 융합과목을 수강할 수 있도록 교과과정을 개편하였음.</p>								
- 2021-1학기 개설과목								

구분	원자력안전	플라즈마 및 가속기	원자력환경	인공지능 및 로봇시스템
공통과목 (필수)	.원자력공학		.원자력과 사회문제	
공통과목 (선택)	.방사선계측		.미래사회첨단원자력입문	
전공필수		.플라즈마 및 빔 물리		
전공선택	.열전달물리학 .이상유동 .원전안전과 규제		.환경방사성오염물질	.인공지능-원자력 기초 실습
사회융합				

- 2020-2학기 개설과목

구분	안전	핵물리	폐기물	인공지능
공통과목 (필수)	.원자로물리학		.원자로실험	
전공필수	.원자력발전공학		.방사성폐기물관리	
전공선택	.원자력열수리학1 .안전공학과 원자력 안전법		.원전 해체폐기물 관리	.원자력안전-인공지능 융합심화
사회융합	.극한환경로봇과 사회문제해결 .범용 공학용 전산도구 실습			

- 사회융합과목: <원자력과 사회문제>, <극한환경로봇과 사회문제해결>

- 핸즈온실습형 과목: 학문후속세대 강의 개설 지원으로 <범용 공학용 전산도구 실습> 개설. <원자력안전-인공지능 융합심화>, <인공지능-원자력 기초 실습> 등 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.

- 해외 우수학자 초청 정규교과목 개설: 2021-1학기, Massoud Kaviany 교수(Univ. Michigan-Ann Arbor), <열전달 물리학>

- <원자력안전-인공지능 융합 심화> 정규교과목 운영(2020-2학기): 인공지능 기술 심화 교육을 통한 원자력분야 융합연구 활성화

- <극한환경로봇과 사회문제해결> 정규교과목 운영(2020-2학기): 원자력환경에서 로봇운영 및 제어를 위한 교육 프로그램 개발 및 강의

- <인공지능-원자력 기초 실습> 정규교과목 운영(2020-2학기): 원자력공학-인공지능 융합연구를 위한 기초 코딩 및 실습 교육

- ‘드론 제어 및 프로그래밍’ 전문가 초청 강의 운영: 2020.11.16-20, 드론의 원자력안전분야 활용을 위한 드론 제어 방법 강의

- ‘시계열 데이터의 딥러닝을 통한 진단 및 특성 분류’ 특강: 2020.11.13, 시계열 데이터 딥러닝 기술의 원자력분야 활용을 위한 특강 수행

• 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 결과

를 공개하고 있음.

- 강의평가 결과: 5점 만점을 기준으로 2020년 2학기 평균 4.27, 2021년 1학기 평균 4.75로 특히, 2021년 1학기는 대학 전체 평균 4.72, 대학원 전체 평균 4.64 보다 월등하게 우수한 평가를 받고 있음.

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

• 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 작성 역량 강화를 위한 공학적 전문지식 및 공학분야의 논문 작성법에 대한 교육에 다음과 같이 참여하였음.

. 2021-1학기 어학센터 수강 실적: 대학원생을 위한 영어논문 작성법 교육, Mahdi(박사과정), 김경원(석사과정) 등 6명

• 글로벌 수준의 연구윤리 확보를 위한 교육 실적

- 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.

- 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, 첨단재료과학부, 화학공학과, 화학과)

.원전 안전과 규제(기계공학과)

.미래사회첨단원자력입문(기계공학과)

.원자력열수력학1(기계공학과)

.원자력안전-인공지능 융합심화(기계공학과)

.범용 공학용 전산도구 실습(기계공학과, 물리학과, 신소재공학과, IT융합공학과)

.원자력과 사회문제(소셜데이터사이언스 전공)

• 최근 1년간(2020.9.1.~2021.8.31.) 전임교수 대학원 강의 실적

- 엄우용: 방사성폐기물 관리(전공필수), 원자로실험(전공선택), 환경 방사성 오염물질(전공선택), 미래사회 첨단원자력입문(공통 선택/공동 강의)

- 조항진: 원자력열수력학1(전공선택), 이상유동(전공선택), 미래사회 첨단원자력입문(공통 선택/공동 강의), 범용 공학용 전산도구 실습(전공선택/공동 강의)

- 윤건수: 플라즈마 및 빔 물리(전공필수), 미래사회 첨단원자력입문(공통 선택/공동 강의), 범용 공학용 전산도구 실습(전공선택/공동 강의)

- 유선철: 극한환경로봇과 사회문제해결(전공선택), 인공지능-원자력 기초 실습(전공선택), 미래사회 첨단원자력입문(공통 선택/공동 강의)

- 배영: 원자력과 사회문제(공통 필수), 미래사회 첨단원자력입문(공통 선택/공동 강의)

- 조중육: Solidification, Structure & Properties of Slags

• 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)	2020년 2학기	3	3	1	7
	2021년 1학기	3	4	3	10
	계	7	7	4	17
배출 (졸업생)	2020년 2학기	5	1		6
	2021년 1학기	3	1		4
	계	8	2		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>

- 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(2021.3.3) 2명이 참가한 오픈랩을 실시하였음. → 지수정, 정나라(이상 석사과정) 확보
- 대학원 설명회(타 대학 대상)
 - 코로나-19 상황으로 온라인 설명회로 실시
 - . 대상기간 중 학과차원의 총 2회 대학원 설명회를 실시. (2020.09.08, 경북대, 고려대, 전북대, 충남대, 중앙대 등 7명 참여/ 2021.03.24. 중앙대, 충남대, 조선대, 동국대, 전남대, 명지대 등 8명 참여) → 곽동재, 김경원, 지수정, 정나라(이상 석사과정)/김지훈(통합과정) 확보
- 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. (조항진 교수 연구실: 2021년 하계 서강대학교 이*한)

• 해외 우수인재 및 산업체 종사자 관련 홍보

- 원자력 유관 기관의 전문가들을 초빙 시 산업체 종사자들의 학위 취득을 위한 진학 방안에 대하여 홍보해 오고 있음.

<대상기간 중 산업체 종사자 입학현황>

. 신영림(석사과정), 한국원자력환경공단, 2020-2학기 입학

- 터키의 상위권 대학인 Hacettepe University에서 원자력을 전공하고 터키 정부의 원자력 국가 장학생인 Ceyda Eldem 학생 입학

- 유럽 폴란드에서 역시 상위권 대학인 Warsaw University of Technology에서 원자력 전공으로 석사 졸업을 하고 Global Korea Scholarship(GKS) 정부초청장학제도 장학생 Zumaro 학생 선발

• 대학원생 전원 장학금 지원 및 연구 활동 지원

- 대학원생 전원에게 매월 등록금 및 일정 금액의 생활비를 장학금으로 지급하여 연구 활동에 전념할 수 있도록 하고 있음.

- 2021년 기준 매월 석사과정은 1,375.5천원, 통합 및 박사과정은 1,844천원을 기본으로 개인의 연구 역량 및 프로젝트 참여율에 따라 추가생활비를 지급하고 있음.

- 또한, 논문 출판을 위한 비용을 적극 지원하고 있으며, 논문교정료 및 게재료 지원을 총 29편에 14,278천원이 지원되었음.

- 외국인 대학원생 대상 FA(Foreigner Assistant) 조교 신설

. 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 신설함. (2021-1학기 FA 조교 선정: 박소혜(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. (2021-1학기 RA 선정: 안태영(석사과정), 김효주(석사과정))

- 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. (2021-1학기 남기문(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.

. 2020-2학기 학문후속세대 담당 강의 실적: <범용 공학용 전산도구 실습, 3학점>, 성민성(통합과정), 정석용(통합과정), 정우현(박사후연구원)

• 공동지도교수제 운영

- 본 학부는 글로벌 인재양성을 위하여 공동지도교수제를 채택하여 운영하고 있음. 특히, 해외참여교수의 학위논문 공동 지도를 지속적으로 권장하여 학생들의 연구수준이 세계 유수의 대학과 동등하거나 그 이상이 될 수 있도록 노력하고 있음.

- 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), 독일 KIT (Karlsruhe Institute of Technology)-INE (Institute for Nuclear Waste Disposal, 영국 University of Sheffield 등과의 공동 교육 프로그램은 COVID-19 상황으로 인해 직접적인 인적 대면 교류가 어려웠기 때문에, 전자메일로 교류하며 공동 연구 및 실험으로 진행하였음.
 - 미국 Utah State Univ의 지정영 교수가 9월 중순부터 약 2달간 방문하여 공동 연구, 공동 학위지도, 플라즈마 동역학 특강을 진행하고, 공동 학위지도를 통해 박사학위 1인을 배출함 (이민욱).

- 교내 교육프로그램 지원
 - 대학원생들의 영어 구사 능력 및 논문 작성 능력 향상을 위하여 본교 어학센터의 영작문, 영어회화 등의 영어 관련 수업들에 소속 대학원생의 참석을 유도하고, 그에 대한 지원을 함으로써 글로벌 인재로서 갖추어야 할 적합한 소양을 갖추도록 운영하고 있음.
 - . 2021-1학기 어학센터 수강 실적: 대학원생을 위한 영어논문 작성법 교육, Mahdi(박사과정), 김경원(석사과정) 등 6명

- 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.

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 14건, 53명 지원)
 - 이민욱(박사과정) 2020 추계 한국물리학회 참석 및 발표(2020.11.04)
 - 표재영(통합과정) 2020 추계 한국세라믹학회 참석 및 발표(2020.11.23)
 - M. Bakhtiari(박사과정) 외 3명: 2020 추계 대한방사선방어학회 참석 및 발표(2020.11.25)
 - 김병관(박사과정) 외 12명: 2020 추계 한국방사성폐기물학회 참석 및 발표(2020.12.09-2020.12.11)
 - 이수원(박사과정) 외 3명: 2020 추계 대한기계학회 참석 및 발표(2020.12.16)
 - M. Bakhtiari(박사과정) 외 1명: 2020 온라인 추계 한국원자력학회 참석 및 발표(2020.12.16)
 - 김경원(석사과정) 외 5명: 2021 한국원자력연차대회 참석(2021.05.11.-2021.05.12)
 - 김도은(통합과정) 외 4명: 2021 한국원자력학회 춘계학술발표회 참석(2021.05.12-2021.05.14)
 - 정성석(통합과정) 외 1명: 2021 대한기계학회 열공학부문 춘계학술대회 참석(2021.05.26-2021.05.28)
 - 김효주(석사과정) 외 8명: 2021 춘계 한국방사성폐기물학회 참석(2021.06.02-2021.06.04)

- 임지환(통합과정) 외 1명: 2021 대한기계학회 에너지 및 동력공학부문 춘계학술대회 참석(2021.06.21.-2021.06.25)
- 홍석주(박사과정) 외 1명: 2021 대한자원환경지질학회 춘계 지질과학기술 공동학술대회 참석(2021.06.23-2021.06.24)
- Evidente Ralph Carlo(석사과정): 2021 한국유체기계학회 하계학술대회 참석(2021.07.07.-2021.07.09)
- 임지환(통합과정): 2021 대한기계학회 유체공학부문 춘계학술대회 참석(2021.08.17-2021.08.19)
- ▶ 국외 학회 참석 (총 6건, 8명 지원)
 - 강제혁(박사과정) 외 2명: 2020 The Clay Minerals Society 학회 발표(2020.10.23)
 - 이민욱(박사과정) 62nd Annual Meeting of the APS Division of Plasma Physics 발표(2020.11.09)
 - 이민욱(박사과정) 2020 High-Temperature Plasma Diagnostics Conference 발표(2020.12.14)
 - M. Bakhtiari(박사과정) Intl. Congress of the Intl. Radiation Protection Association(IRPA15) 발표(2021.01.18)
 - 황돈관(통합과정): 18th International conference on plasma-facing materials and components for fusion applications 학회 참석(2021.05.17.-2021.05.21)
 - 홍석주(박사과정): DECON 2021 학회 참석(2021.06.14-2021.06.17)
- ▶ 워크숍 참석 (총 3건, 6명 지원)
 - 이민욱(박사과정): 6TH UNIST- KYOTO UNIV. WORKSHOP ON “TRANSPORT AND MHD IN FUSION PLASMAS“(2021.03.26)
 - Evidente Ralph Carlo(석사과정): SNU-KU WORKSHOP(2021.06.23-2021.06.25)
 - 조우성(통합과정) 외 3명: 공공혁신조달 연계 무인비행장치를 활용한 산불 대응체계 기술개발 워크숍(2021.06.24-2021.06.25)
- ▶ 국내 타 기관 교육 지원 (총 21건, 54명 지원)
 - 이주혁(석사과정), MUHAMMAD AAMIR HAFEEZ(박사과정): ESR 분석기기 학습(경북대, 2020.09.02)
 - 이주혁(석사과정): 시료 분석 및 교육(경북대, 2020.09.28)
 - 오정현, 황돈관(통합과정): 위탁과제 관련 시험원 자격부여 교육 참가(KAERI, 2020.10.13)
 - 안태영(석사과정): 플라즈마 내 WHISTLER 파동 파수 측정 디지털이저 교육 연수(국가핵융합연구소, 2020.10.19)
 - 강제혁, 김병관, 강제은, 홍석주(박사과정), 김효주, 박소해(석사과정): KORAD 원전해체방폐물 교육(한국원자력환경공단, 2020.11.02)
 - 강제혁, 홍석주, 김병관(박사과정), 박소해, 신영림(석사과정): KORAD 원전해체방폐물 교육(한국원자력환경공단, 2020.11.04)
 - 강제은, 김병관, 홍석주, 강제혁(박사과정), 신영림, 박소해, 이인재, 김효주, 김주은(석사과정): SPENT NUCLEAR FUEL 교육(KNF, 2020.11.09-2020.11.11)
 - 김동균, 김남형, 박세현(통합과정), CEYDA ELDEM(석사과정): LOCA 실험장치 견학 및 교육(한국원자력연구원, 2020.11.24)
 - 이민욱(박사과정), 안태영(석사과정): KSTAR 주장치실 출입을 위한 안전교육(KNF, 2021.01.08.)
 - 강제은(박사과정), 이인재(석사과정): 방사선/원자력 기술분야 전문강좌(알파/베타핵중분석기초과정) 교육(한국방사선진흥협회, 2021.05.06.-2021.05.07)
 - 이인재(석사과정): 방사선/원자력 기술분야 전문강좌(감마핵중분석 전문인력양성과정 중급) 교육(한국방사선진흥협회, 2021.05.18-2021.05.21)
 - 박소해, 신영림(석사과정): 사용후핵연료 저장처분 교육(한국원자력연구원, 2021.05.24.-2021.05.28)
 - 이지모(통합과정), 유재민(박사과정): 전기물리연구센터 교육(한국전기연구원, 2021.06.25.)
 - Evidente Ralph Carlo(석사과정): K-WATER&UNESCO I-WSSM SUMMER PROGRAM(한국수자원공

- 사, 2021.06.27.-2021.07.02)
- 광동재(석사과정): K-STAR 관련 안전교육 및 블로미터 실험 참여(한국핵융합에너지연구원, 2021.06.28-2021.06.29)
 - 안태영(석사과정): RF 측정 시스템 운영 실습 및 안전교육(KNF, 2021.06.28.-2021.06.29)
 - 박소해(석사과정): 방사선/원자력 기술분야 전문강좌(RESRAD 코드활용) 교육(한국방사선진흥협회, 2021.06.29-2021.07.02)
 - 이지모(통합과정): 수행 연구의 질 향상을 위한 현장 실습 교육(삼성전자, 2021.07.05-2021.08.13)
 - 신성민, 이수원(박사과정): 컴퓨터 기반 원자력발전소 열수력안전 교육(한국원자력연구원, 2021.07.11.-2021.07.15.)
 - 김도은, 이기수(통합과정), Mahzan Nurul Syiffa(박사과정), 김경원, 양석훈, Eldem Ceyda(석사과정): 경희대학교 원자로실험 단기교육과정(경희대학교원자로센터, 2021.08.16.-2021.08.20)
 - 김경원, 신영림, 양석훈(석사과정): 제5회 SMC(The 5th Small Molecule Single Crystal Crystallography Tutorial)(한국방사광이용자협회, 2021.08.27.)
- ▶ 국외 타 기관 교육 지원 (총 1건, 4명 지원)
- 신영림, 박소해, 김경원, 양석훈(석사과정): D&D TRAINING(facility Decommissioning Training Courses)(ARGONNE, 2021.08.02-2021.08.05)
- 학술활동 참여를 통해 관련 연구 분야 전문가들과 인적 네트워크 조성 및 공동 연구 참여 기회 확보/ 산업기술 습득 및 연구 활동 지원 강화
 - 강제혁, 신영림(석사과정), 김병관: 원전 해체 방사성폐기물 포장, 운반, 처분용기 개발과제를 통해서 원자력환경공단, 원자력연구원, 코넥스 참여 연구원들과 공동연구 진행 (2020.01.01 - 현재)
 - Aamir, 전준성(석사과정), 양석훈(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 (2020.01.01-현재)
 - 강제은, 김효주, 김주은, 홍석주: 현대엔지니어링 연구원들과 같이 “저준위 폐기물 처분장 2단계 안정성 평가” 공동 연구를 진행 (2020.01- 2021.08.15)
 - 홍석주, 남성식, 박소해: 원자력연구원, GIST, 강원대학교 연구진들과 같이 “원전해체 시 발생하는 콘크리트 및 토양 폐기물 처리 기술 개발” 공동연구 진행 (2020.01- 현재)
 - 김주은, 홍석주, Rurul: 원자력연구원과 같이 “펜토나이트 표면개질을 통한 기능 향상된 인공방벽물질 개발” 공동연구 진행 (2021.04.15. - 현재)
 - 강제은, 김효주, 김주은, 양석훈, 김경원, 정나라(석사과정), Shahidah: 원자력연구원 연구진과 같이 “다양한 처분환경에서의 비방사성 오염물질의 수착, 확산, 용해도 특성 평가” 와 관련된 공동연구 진행 (2021.04.22.- 현재)

2.4 참여대학원생의 취(창)업의 질적 우수성

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

구 분	졸업 및 취(창)업현황 (단위: 명, %)						취(창)업률% (D/C)×100
	졸업자 (G)	비취업자(B)		취(창)업대상자 (C=G-B)	취(창)업자 (D)		
		진학자	입대자				
		국내	국외				
2021년 2월	석사	5	5	0	0	0	100
졸업자	박사	1		0	1	1	

<실적>

- 본 학부는 2010년 12월에 설립되어 2013년 2월부터 첫 졸업생을 배출하기 시작하여, 짧은 역사를 가진 대학원임에도 불구하고 매년 취업률 100%를 기록하고 있음.
- 대상기간 (2021년 2월, 2021년 8월 졸업)내 졸업생(석사 8명, 박사 2명) 중 6명은 본 학부의 박사과정으로 연계 진학하였고, 타 대학(서울대) 진학 1명과 취업대상자 중 1명은 본 학부의 박사후연구원으로, 1명은 서울대 박사후연구원으로 1명은 삼성전자로 취업 완료하였음.
- 대상기간이 비교적 짧은 기간이라 취업보다 진학자 비율이 높음.
- 졸업자의 대표적 취(창)업 사례 및 취업기관의 전공적합성
 - . 이민욱(2021년 8월, 통합과정 졸업, 첨단원자력공학부 박사후연구원으로 취업): 이민욱 박사는 박사 학위 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.

3. 참여대학원생 연구실적의 우수성

① 참여대학원생 저명학술지 논문의 우수성

<실적>

참여대학원생 국제저명학술지 논문 게재 실적

- 지난 1년간 총 20편(IF 합계: 47.197)의 논문을 게재함. 게재지의 JCR 기준 상위 Q1 value급인 Nuclear Fusion, International J. of Heat and Mass Transfer, Radiation Physics and Chemistry, J. of Environmental Chemical Engineering, Nuclear Engineering and Technology 등에 게재하였음.

대표적인 참여대학원생 국제저명학술지 게재 논문 (2020년 JCR 기준 IF 우수 논문 3편 선정)

- . “Direct observation of rewetting failure mechanism at CHF under different subcooled flows.”, International Journal of Heat and Mass Transfer, 2020.12., 최문희 (IF: 5.584)
- . “Fenton-like treatment for reduction of simulated carbon-14 spent resin”, J. of Environmental Chemical Engineering, 2020.11., Amir, 전준성, 홍석주 (IF: 4.3)
- . “Effect of ion exchange resin particle size on homogeneity and leachability of Cs and Co in polymer waste form”, RXC Advances, 2021.01., 김주은 (IF 3.361)

총 20편의 게재 논문에서 SCI급 17편 중 11편의 논문(65%)이 Q2 이상 value급 저널에 게재함으로써 비교적 질적으로 우수한 평가를 내릴 수 있음.

② 참여대학원생 학술대회 대표실적의 우수성

<실적>

참여대학원생 학술대회 발표 실적

- 지난 1년간 국내 35편, 국외 10편, 총 45편의 논문을 발표함. 이 중 우수논문 발표상은 다음과 같음.
- . Mahdi Bakhtiari: 대한방사선방어학회 (2020 추계 학술발표회)
 제목: Benchmarking of neutron production yields from an H218O target in a PET cyclotron with Monte Carlo codes
 수여일자: 2020년 11월 26일
- . 강제은: 한국방사성폐기물학회 우수논문발표상 (2020 춘계 학술발표회)
 제목: Application of Fluorine-functionalized zeolite to increase radon removal
 수여일자: 2020년 12월 9일
- . 이수원: 대한기계학회 우수논문발표상 (2020 춘계 학술발표회)
 제목: 경제성 평가를 통한 초임계 CO2 브레이트 사이클 적용을 위한 에어포일형 PCHE 설계
 수여일자: 2021년 5월 27일
- . 김병관: 한국방사성폐기물학회 우수논문발표상 (2020 추계 학술발표회)
 제목: Solidification of Borate waste using metakaolin-based geopolymer waste form
 수여일자: 2021년 6월 2일
- . 홍석주: 대한자원환경지질학회 우수논문발표상 (2021 춘계 학술발표회)
 제목: 중액분리법을 이용한 방사성 콘크리트 폐기물의 제염 기술 개발
 수여일자: 2021년 6월 24일
- 이외 임지환: 대한기계학회-SEMES 대회 본선 진출로 수상 확정. 오는 11월 메달 결정 예정.

③ 참여대학원생 특허, 기술이전, 창업 실적의 우수성

<실적>

참여대학원생 특허, 기술이전, 창업 실적

- 지난 1년간 특허 출원 10건, 특허 등록 5건
- 특허 출원 10건 중 해외특허로 ‘마이크로파 플라즈마를 이용한 아크 방전장치 및 아크 방전방법’, ‘레이저 가열과 플라즈마를 이용한 산화환원 처리방법’ 등 3건과 국내특허로는 ‘중액분리법을 이용한 방사화 콘크리트 폐기물에서의 방사성 핵종 분리방법’, ‘붕소가 포함된 방사성 폐기물 고화방법 및 이에 따른 방사성 폐기물 고화체’ 등 7건이 있음.
- 상기 발명은 중액분리법을 이용한 방사화 콘크리트 폐기물에서의 방사성 핵종분리방법, 붕소가 포함된 방사성 폐기물 고화방법, 라돈 제거용 흡착제 제조방법, 방사성코발트와 화학적으로 결합된 EDTA 분해방법, 펜톤유사공정을 이용하여 방사성물질 처리에서 발생된 IRN-150 폐수지 분해방법, 방폐장에서 사용되는 뒷채움재 제조방법, 마이크로파 플라즈마를 이용한 아크 방전장치 및 아크 방전방법, 레이저 가열과 플라즈마를 이용한 산화환원 처리방법 등에 관한 것임.
- 특허 등록 5건은 마이크로파 플라즈마를 이용한 아크 방전장치 및 아크 방전방법, 레이저 가열과 플라즈마를 이용한 산화환원 처리방법, 방사성 할로젠 폐기물 담지를 위한 실버 텔루라이드 유리, 동결건조 방식을 이용한 칼코겔 흡착제 합성방법, 펄스형 전력을 사용한 플라즈마 활성화중 생성방법 등임.

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>

- 신진연구인력들에게 본인 연구에 매진할 수 있도록 충분한 실험실 공간을 제공하며, 자립적인 연구 환경을 제공하였음.
- 포스텍 대학 전체 차원에서 진행되는 학문후속세대 (박사후연구원 및 박사/통합과정생)의 강의 개설 지원 프로그램을 본 교육연구단의 교과과정에 맞게 적용하여, 신진연구인력의 교육역량 강화 및 경력 개발의 기회로 제공하고 있음.
- 2020-2학기 학문후속세대 담당 강의 실적: 성민성(통합과정), 정석용(통합과정), 정우현(박사후연구원), <범용 공학용 전산도구 실습, 3학점>
- 지난 1년간 1명의 연구교수와 2명의 박사후연구원을 확보하여 원자력안전, 고체물리, 플라즈마 물리 등의 연구분야에서 신진연구인력으로 활동하였음.

.권영건 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 Radioanalytical and Nuclear Chemistry 공동저자 1편 게재

.한태양 박사후연구원:

- 연구과제 수행: 3차원적 뇌혈관 모델 및 유동실험을 이용한 뇌경색 원인 분석, 디버터 열속처리 기술 개발 등 2건의 연구 진행
- 학술활동: 해외 저널 게재 2편, 국내 학술회의 1편, 국내 특허 주발명자 1편

. Bhupendra Kumar Singh 박사후연구원:

- 연구과제 수행: 다양한 환경조건에서의 휘발성 요오드 거동 특성 연구, 원전해체 방사성폐기물 포장, 운반, 저장 용기 개발 등 2건의 연구과제 참여
- 학술활동: 해외 저널 게재 3편, 국내 학술회의 3편

5. 참여교수의 교육역량 대표실적

(1) 조항진 교수

- ‘미래사회첨단원자력입문- Introduction of advanced nuclear convergence for future society’ 대학원 대상 분야융합과목 개발

(2) 유선철 교수

- 수중드론이라 불리는 자율 무인 잠수정(ISBN979-11-5576-319-3) 2020.07 출간

원자력 발전소내부의 수조 및 배수구의 검사, 인접해역의 환경모니터링 등을 위해서는, 수중드론이 필수임. 그러나 국내에는 수중드론에 대한 전문서가 거의 전무한 상태이므로 수중드론에 대한 입문서를 출간하였음. 원자력 유지관리를 위한 로봇 및 자동화 수업중, 육상 및 공중드론, 로봇등에 대한 사례나

입문서/전공서는 많이 출간되어 있어, 강의에 활용 가능하나, 수중드론/수중로봇에 대한 서적은 거의 전무하므로, 본 저서를 수업에 활용함. 본 저서는, 로봇의 제작, 가공, 설계 등에 대한 실무적인 기술이 총망라 되어 있으며, 수중로봇은 필드로봇과 제작과정이 상당수 유사하므로, 원자력 발전소 유지보수 로봇시스템의 실무적인 이해 및 강의 자료로 유용하게 활용됨.

- 대학원 교과목 개발 및 개설 실적: 미래사회 첨단원자력 입문, 원자력안전-인공지능 융합심화, 극한 환경로봇과 사회문제해결 교과목을 신규 개설함.

- 미래사회 첨단원자력 입문에서, 로봇인공지능 분야의 융합적 소양을 키우기 위하여, 관련 입문소양을 교육하였음.

- 원자력 이슈와 사회문제해결을 위한 사회융합교과인 ‘극한환경로봇과 사회문제해결’을 편성하여 운영하였음. 원자력 발전소 근방의 지역사회의 문제점들을 학생들이 스스로 파악하고, 주도적으로 공학적 소양 특히 극한환경로봇기술을 응용하여 해결책을 제시하는 인문사회-공학의 융합적 교과목을 운영함. 인문사회분야는 김진택 교수와 협업하여 디자인 톱킹기법을 활용하여, 사회문제 파악과 해결책 도출을 수행하였음.

(3) 배영 교수

▶ 2021-1학기 <원자력과 사회문제> 신규 개설

- 우리 사회에서 나타나고 있는 원자력 관련 주요 이슈의 흐름과 내용을 다양한 데이터를 통해 살펴보고 전반적인 합의를 파악하기 위한 교과목을 개발, 개설함.

- 원자력 관련 이슈 도출 및 분석 방법을 교육하고 융합적 측면에서의 접근 필요성에 대해 학습함으로써 2021-2학기 개설 예정인 <원자력과 사회문제 캡스톤 디자인>의 효과적인 진행에도 도움이 될 것으로 예상됨.

6. 교육의 국제화 전략

① 교육 프로그램의 국제화 현황 및 계획

<계획>

- 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

<실적>

- 해외학자 정규 교과목 개설 및 운영
 - 2021-1학기, Massoud Kaviani 교수(Univ. Michigan-Ann Arbor), <열전달 물리학, 3학점>
수강생: 기계공학과, 신소재공학과, 전자전기공학과, 철강에너지소재학과 등 57명
- 영어강의 및 영어 논문 작성 지원
 - 본 학부에서는 개설된 모든 강의(2020-2학기 10과목, 2021-1학기 10과목)를 영어로 진행하였으며, 최근 1년간 학위논문 10편(박사 2편, 석사 8편)을 100% 영어로 작성함.
 - 본교의 어학센터(POSTECH Language Education Center)를 활용하여 영작문, 영어 논문 작성 등에 대한 영어 수업을 수강토록 장려하였음. 어학센터의 원어민 전문 교수들로부터 전문분야 영어논문 작성 역량 강

화를 위한 공학적 전문지식 및 공학 분야의 논문 작성법에 대한 교육에 다음과 같이 참여하였음.

. 2021-1학기 어학센터 수강 실적: 대학원생을 위한 영어논문 작성법 교육, Mahdi(박사과정), 김경원(석사과정) 등 6명

• 우수 외국인 유치 현황 및 계획

- 2021-1학기 Mahzan Nurul Syiffa(박사과정, 말레이시아) 입학
- 2020년 선발된 정부초청 외국인 우수 대학원생으로 Zumaro Zumaro(박사과정, 인도네시아) 학생과 Zhang Xiaojing(석사과정, 중국), Omer Cakmak(박사과정, 터키) 학생을 유치하여 2021-2학기 입학예정임.

• 해외학자 초청 세미나 현황

- 2021-1학기 염화성 박사(Univ. of Wisconsin Madison), “Recent Advances of Surface Engineering Technologies in Nuclear Energy Applications”

[1] 원자력안전 분야

- Prof. Kaviany(Univ. Michigan-Ann Arbor) 2021-1학기, 열전달 물리학, 3학점의 정규 교과목을 개설하였으며, 기계공학과, 신소재공학과, 전자전기공학과, 철강에너지소재학과 등 57명의 수강생이 이수하였음.
- 터키의 상위권 대학인 Hacettepe University에서 원자력을 전공하고 터키 정부의 원자력 국가 장학생인 Ceyda Eldem 학생 입학
- 유럽 폴란드에서 역시 상위권 대학인 Warsaw University of Technology에서 원자력 전공으로 석사 졸업을 하고 Global Korea Scholarship(GKS) 정부초청장학제도 장학생 Zumaro 학생 선발
- Univ. Wisconsin-Madison과 원자력 관련 short course를 논의 중이나 코로나 팬더믹으로 인해 유예 상태
- University of Tokyo, Japan Atomic Energy Agency (JAEA), McMaster University [Canda], University of Tennessee [USA], Technical University of Munich [Germany], Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development (ENEA) [Italy] 등과 함께 NEST ARTERD project Zoom meeting (2020년 11월 27일)에 가지고 서로의 연구분야를 공유하고 관심있는 학생들의 교류 방식 및 지원에 대하여 논의함.
- 일본 University of Tokyo와 후쿠시마 사고 중대사고 관련 공동 교육 프로그램 개발: OECD/NEA Nuclear Educations, Skill and Technology(NEST) Project의 국제 공동연구를 위한 파견연구원/학생을 선발 과정에 지원하여 2020년 포스텍 조한길 박사가 NEST Fellow, 2021년 포스텍 김병진 학생이 NEST Student Fellow에 각각 선정되어, 동경대에 3개월간 파견될 예정이었으나, 코로나로 인해 순연되었음.

[2] 원자력환경 분야

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

- COVID-19 상황으로 인해 직접적인 인적 대면 교류가 어려웠기 때문에, 전자메일로 교류하며 공동 연구 및 실험을 진행하였음. 해당 공동 연구는 방사성 Tc의 산화 환경조건에서의 용해도를 평가하기 위한 것으로, 국내에서는 다양한 계절의 지하수, 해수를 채취 및 콘크리트 반응수를 제조하였고, 미국에서는 해당 시료에 Tc를 넣어 산화 환경조건에서 용해도를 평가하였음. 또한, PNNL의 Drs. Guohui Wang, Sarah Saslow, Malsoon Lee 들과 2단계 처분장 안전성 평가 및 방사성요오드의 전산 모사 공동계획을 수행하고 있음. 특히, Dr. Malsoon Lee는 6/1-6/11/2021 동안 동역학 전산모사 short

course를 개최하였으며, 10/6-11/12/2021 동안 POSTECH 방문 및 연구/단기교육을 진행할 계획임. 또한, Drs. Wang과 Saslow와의 공동연구 결과는 논문으로 출판됨, “FIB/STEM-EDS study on technetium incorporation within iron oxides through Fe(OH)₂(s) mineral transformation”, *Earth and Space Chemistry*, 5(3), 525.

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

- 직접적인 대면 교류가 어려운 상황으로 인해, 전자메일로 교류하며 공동 실험을 진행하였음. 해당 공동 실험은 방사성 Tc의 환원 환경조건에서의 용해도를 평가하기 위한 것으로, 국내에서는 여름 및 겨울의 콘크리트 공극수와 지하수 시료를 채취 및 성분 분석을 수행하였고, 독일에서는 Glove box를 이용한 환원 환경조건에서 Tc을 사용하여 용해도를 평가하였음. POSTECH 참여학생인 박소혜 학생의 주기적인 비대면 회의를 통해 실험조건 및 방향을 조율하였으며, 공동연구 결과는 *Applied Geochemistry Journal* (Redox chemistry, solubility and hydrolysis of Re in reducing aquatic systems. Thermodynamic description and comparison with Tc; Vol. 132, P.105037)에 출판되었고, 2019년부터 진행된 고알칼리 조건에서의 방사성 Be 원소의 화학특성 연구 결과도 논문으로 출판됨 (Sorption of beryllium in cementitious systems relevant for nuclear waste disposal: quantitative description and mechanistic understanding”, *Chemosphere*, 282, 131094)..

(3) 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 공동으로 논문을 1편 (Fenton-like treatment for reduction of simulated carbon-14 spent resin”, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(1), 104740) 출판하였고 추가적으로 1편도 *Nature Materials degradation* 저널에 게재 예정임.
- 3차년도에는 양국간의 연구진이 상대국 실험실 단기 파견 및 연구 교류를 수행하고, Pacificchem 2021 학회 공동 참석 및 발표 등을 통해서 양국에서 진행하는 고화체 기술 개발 및 결과 등을 비교하면서 서로 보완되는 방향으로 국제 공동연구를 진행할 계획임.

(4) 기타 해외 대학과의 교류

- 추가적으로 미국 Vandervilt Univ. 팀과 시멘트 고화체 연구를 진행한 결과를 *ES&T* 저널에 출판하였고 (Development of a Geochemical Speciation Model for Use in Evaluating Leaching from a Cementitious Low Activity Waste Form”, *Environmental Science and Technology*, 55, 13, 8642-8653), 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).

[3] 미래융합-플라즈마 및 가속기분야

(1) 영국 Culham center (Warwick university) 교류

- 코로나 팬데믹 상황으로 인하여 학생 교류가 중단된 상태임.
- 이메일 서신을 통하여 공동연구를 지속하였으며 공동연구 논문 1편을 게재함
- Reman et al., “Density dependence of ion cyclotron emission from deuterium plasmas in the Large Helical Device”, *Nuclear Fusion* 61 (2021) 066023]

(2) 미국 Utah State University 교류

- Utah State Univ의 지정영 교수가 9월 중순부터 약 2달간 방문하여 공동 연구, 공동 학위지도, 플라즈마 동역학 특강을 진행함.
- 공동 학위지도를 통해 박사학위 1인을 배출함 (이민욱). 해당 학생은 우수한 연구성과를 바탕으로 한국수자력연구원 지원 “미래 핵융합분야 선도를 위한 인력 양성 프로그램”의 박사후연구원 펠로우십에 선정됨.
- 플라즈마 동역학 관련한 공동연구의 성과를 바탕으로 논문 3편을 게재함.
 - Jeong-Young Ji*, Min Uk Lee, Eric D. Held, and Gunsu S. Yun, “Moments of the Boltzmann collision operator for Coulomb interactions”, Phys. Plasmas 28 (2021) 072113
 - Young Dae Yoon*, Jeong-Young Ji, and Gunsu S. Yun, “Deterministic Scattering of Relativistic Electron Beams by Off-Resonant Circularly Polarized Electromagnetic Waves”, Phys. Plasmas 28 (2021) 060702
 - Lee, Min Uk; Ji, Jeong-Young; Yun, Gunsu*, “Cold-hot coupled waves in a flowing magnetized plasma” Nuclear Fusion 60 (2020) 126036 *이 논문은 Culham / Warwick 대학교 CFSA (Centre for Fusion, Space, and Astrophysics)에서의 파견 훈련을 통해 습득한 시뮬레이션 기술을 활용한 성과임.

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

- 코로나 팬데믹 상황으로 인하여 LLNL과의 방문 교류가 이루어지지 못하였음.
- LLNL과의 교류를 대체하기 위하여 (1) 초임계 유체 분야의 저명한 학자인 NASA의 Josette Bellan 박사에게 자문을 요청하였으며 원격으로 자문을 받았으며, (2) Max Planck-POSTECH 연구소의 Attosecond Science Center와 협력을 통해 학생들에게 펄스 레이저 교육을 제공하였음.
- 위와 같은 대체 교류를 통하여 초임계 유체 연구에서 혁신적인 발견을 하고 이를 논문으로 게재함.
 - Seungtaek Lee, Seungtae, Juho Lee, Yeonguk Kim, Seokyong Jeong, Dong Eon Kim*, and Gunsu Yun*, “Quasi-equilibrium phase coexistence in single-component supercritical fluids”, Nature Commun. 12 (2021) 4630

[4] 첨단융합-인공지능 및 로봇시스템 분야

- 일본 동경대(The University of Tokyo), JAEA와 교류
 - 동경대 Hajime Asama 교수 연구실과의 한일온라인 기술 교류 워크숍을 개최하고 국제공동연구를 위한 테마를 도출하고 양국의 학생 교류 프로그램 개최를 논의함.
 - 포스텍에서는 KSTAR, XFEL/PLS-II 및 short-pulse laser과 같은 내외부 실험 자원을 통한 융합 플라즈마, 초임계 유체 플라즈마, 빔 물리학을 포괄하는 광범위한 플라즈마 및 가속기 연구 프로그램이 개발되고 있으며 향후 원자로 열교환기, 원자력발전소 폐수 플라즈마처리 기술 등 공동 협력 방안을 모색할 계획임.
 - 후쿠시마 원전해체 로봇 개발의 책임자이자 국제제어자동화 학회(IFAC) 회장인 동경대 Asama Hajime 교수와 협업을 통해, 원자력발전소 관련 펠드로봇/극한환경로봇의 운용 경험을 공유하며, 첨단 로봇시스템 제작에 참여함.
- 교육 프로그램의 국제화 향후 추진 계획
 - 위와 같은 세부분야에 대해 화상통화 플랫폼을 활용한 비대면 국제화 교육 프로그램도 개발하고자 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 대학원생들의 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 객원 교수의 지위를 부여하고 관련 유관분야의 전임교원과 희망하는 대학원생들에게 공동지도교수로 연구 지도를 할 수 있도록 시스템을 운영함. 이를 통하여 본 교육연구단 학생들은 국내에서도 세계 우수 기관의 연구호름과 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 추진하였음.

[1] 원자력안전 분야

- 미국 UW-Madison과 원자력 재료와 열수력을 결합한 안전 연구: 미국 UW-Madison 대학의 액체금속 및 초임계유체 열수력 실험 전문가인 Mark Anderson 교수팀과 히트파이프 초소형원자로의 고집적 열교환기 및 수송용 동력변환계통 개발을 위한 한-미 원자력국제공동연구(I-NERI)가 최근 이루어짐. 미국 UW-Madison에서 수행하는 소듐 히트파이프 내 열수력 실험 연구결과와 본 연구팀에서 수행하는 고집적 열교환기와 동력변환계통 설계 및 실험 연구결과를 상호 교류하여 히트파이프 초소형원자로 개발에 필요한 기반연구를 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 들과 2단계 처분장 안전성 평가 및 방사성요오드의 전산 모사 공동계획을 수행하고 있음.

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

- 직접적인 대면 교류가 어려운 상황으로 인해, 전자메일로 교류하며 공동 실험을 진행하였음. 해당 공동 실험은 방사성 Tc의 환원 환경조건에서의 용해도를 평가하기 위한 것으로, 국내에서는 여름 및 겨울의 콘크리트 공극수와 지하수 시료를 채취 및 성분 분석을 수행하였고, 독일에서는 Glove box를 이용한 환원 환경조건에서 Tc를 사용하여 용해도를 평가하였음. POSTECH 참여학생인 박소혜

학생의 주기적인 비대면 회의를 통해 실험조건 및 방향을 조율하였으며, 공동연구 결과는 Applied Geochemistry Journal (Redox chemistry, solubility and hydrolysis of Re in reducing aquatic systems. Thermodynamic description and comparison with Tc; Vol. 132, P.105037)에 출판되었고, 2019년부터 진행된 고알칼리 조건에서의 방사성 Be 원소의 화학특성 연구 결과도 논문으로 출판됨 (Sorption of beryllium in cementitious systems relevant for nuclear waste disposal: quantitative description and mechanistic understanding” , *Chemosphere*, 282, 131094).

- 독일 KIT-INE와 처분 환경 내에서의 핵종의 화학적 거동에 대한 연구 교육프로그램을 구축하고 국제협업을 실시할 계획임.

(3) 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 실시할 계획임.
- 본래 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 공동으로 논문을 1편 (Fenton-like treatment for reduction of simulated carbon-14 spent resin”, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(1), 104740) 출판하였고 추가적으로 1편도 Nature Materials degradation 저널에 게재 예정임.
- 차년도에는 양국간의 연구진이 상대국 실험실 단기 파견 및 연구 교류를 수행하고, Pacificchem 2021 학회 공동 참석 및 발표 등을 통해서 양국에서 진행하는 고화체 기술 개발 및 결과 등을 비교하면서 서로 보완되는 방향으로 국제 공동연구를 진행할 계획임.

(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.
- NUR SHAHIDAH BINTI ABDUL RASHID(박사과정)는 2020.08.31-2021.03.31 동안 말레이시아 UKM에 in vivo/vitro 실험을 위해 방문하여 공동연구 프로젝트를 수행하였음.

[3] 플라즈마 및 가속기 분야

(1) 미국 Utah State University 교류

- Utah State Univ의 지정영 교수로부터 공동 학위지도가 있었고, 플라즈마 동역학 관련한 공동연구의 성과를 바탕으로 논문 3편을 게재함.
 - Jeong-Young Ji*, Min Uk Lee, Eric D. Held, and Gunsu S. Yun, “Moments of the Boltzmann collision operator for Coulomb interactions“, *Phys. Plasmas* 28 (2021) 072113
 - Young Dae Yoon*, Jeong-Young Ji, and Gunsu S. Yun, “Deterministic Scattering of Relativistic Electron Beams by Off-Resonant Circularly Polarized Electromagnetic Waves“, *Phys. Plasmas* 28 (2021) 060702
 - Lee, Min Uk; Ji, Jeong-Young; Yun, Gunsu*, “Cold-hot coupled waves in a flowing magnetized plasma“ *Nuclear Fusion* 60 (2020) 126036 *이 논문은 Culham / Warwick 대학교 CFSA (Centre for Fusion, Space, and Astrophysics)에서의 파견 훈련을 통해 습득한 시뮬레이션 기술을 활용한 성과임.

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

- 코로나 팬데믹 상황으로 인하여 LLNL과의 방문 교류가 이루어지지 못하였음.
- LLNL과의 교류를 대체하기 위하여 (1) 초임계 유체 분야의 저명한 학자인 NASA의 Josette Bellan 박사에게 자문을 요청하였으며 원격으로 자문을 받았으며, (2) Max Planck-POSTECH 연구소의 Attosecond Science Center와 협력을 통해 학생들에게 펄스 레이저 교육을 제공하였음.
- 위와 같은 대체 교류를 통하여 초임계 유체 연구에서 혁신적인 발견을 하고 이를 논문으로 게재함.
- Seungtaek Lee, Seungtae, Juho Lee, Yeonguk Kim, Seokyong Jeong, Dong Eon Kim*, and Gunsu Yun*, "Quasi-equilibrium phase coexistence in single-component supercritical fluids", Nature Commun. 12 (2021) 4630

[4] 인공지능 및 로봇시스템분야

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

- 대학원생을 중,단기간 일본으로 파견하여 공동 실험을 계획하였으나 COVID-19로 실시 못함.
- 동경대 Hajime Asama 교수 연구실과의 한일온라인 기술 교류 워크숍을 개최하고 국제공동연구를 위한 테마를 도출하고 양국의 학생 교류 프로그램 개최를 논의함.
- 포스텍에서는 KSTAR, XFEL/PLS-II 및 short-pulse laser과 같은 내외부 실험 자원을 통한 융합 플라즈마, 초임계 유체 플라즈마, 빔 물리학을 포괄하는 광범위한 플라즈마 및 가속기 연구 프로그램이 개발되고 있으며 향후 원자로 열교환기, 원자력발전소 폐수 플라즈마처리 기술 등 공동 협력 방안을 모색할 계획임.
- 후쿠시마 원전해체 로봇 개발의 책임자이자 국제제어자동화 학회(IFAC) 회장인 동경대 Asama Hajime 교수와 협업을 통해, 원자력발전소 관련 필드로봇/극한환경로봇의 운용 경험을 공유하며, 첨단 로봇시스템 제작에 참여함.

□ 연구역량 대표 우수성과

• 국내 및 해외기관 연구비 수주 실적

최근 1년간 참여교수의 연구비 수주 실적은 인당 952,560천원으로 지난 3년 평균보다 높고 지속적으로 상승하고 있어 탁월함.

• 참여교수 논문실적

참여교수는 해당 기간 동안 SCI급 저널 및 저술 활동을 통해 총 54편(IF 합: 213.211) 게재하였음. JCR 기준 상위 Q1 value급 논문 24편, Q2 value급 16편, 그 외 전문 관련 분야의 문제 해결을 제안한 논문 11편 등 총 51편의 SCI급 논문과 1권의 학술저서가 있음.

• 참여교수 특허실적

특허 출원 14건, 특허 등록 6건, 기술이전 3건(기술이전료 45,000천원)

• 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 협약을 체결하고, 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 ‘핵중분석 실험실습 프로그램 개발’ 연구를 착수하였음.

• 해외기관과의 공동연구

영국 Sheffield 대학, 미국 PNNL(Pacific Northwest National Laboratory), 미국 Vanderbilt Univ., 말레이시아 Univ. of Malaysia, 미국 Univ. of Wisconsin-Madison, 미국 Utah State Univ., 미국 NASA Goddard Space Flight Center, 프랑스 ITER Organization, 영국 Warwick Univ. 미국 General Atomics 등과의 공동연구로 논문게재 등 활발한 교류가 지속되었음.

• 대표 연구 업적

- 영국 Sheffield 대학과 공동연구로 진행된 결과의 논문 “Fenton-like treatment for reduction of simulated carbon-14 spent resin”, Journal of Environmental Chemical Engineering, 9(1), 104740, 2021, M.Aamir Hafeez, Junsung Jeon, Seokju Hong, Neil Hyatt, Jong Heo, and Wooyong Um은 Fenton 유사반응을 통한 방사성폐기물인 C14인 함유된 이온교환수지의 처리에 관한 연구로써, 원전 해체 시 발생하는 대량의 방사성폐기물 처리에 효과적으로 적용할 수 있는 방법을 제시함. 추가로 관련된 내용은 국내 특허로도 출원되었음.

- Jaeun Kang, Bhupendra Kumar Singh, Wooyong Um, 2021, “Efficient radon removal using fluorine-functionalized natural zeolite”, Journal of Environmental Radioactivity, 233, 106607, 본 연구논문은 지하수에 존재하는 방사성 라돈의 효율적인 제거를 위한 방법 및 F를 활용한 새로운 처리 기술 개발에 활용될 수 있음.

- Choi, M., Chu, I.C., Kim, S., Jeon, B.G., Jo, H.J., “Direct observation of rewetting failure

mechanism at CHF under different subcooled flows,” International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 163, 2020, 120465. [IF 5.584, JCR: 상위 7 %]

- 배 영. 2021. 7. [포스트코로나시대, 데이터로 읽는 대한민국], 도서출판 플루토.

- Seungtaek Lee, Seungtae, Juho Lee, Yeonguk Kim, Seokyong Jeong, Dong Eon Kim*, and Gunsu Yun*, “Quasi-equilibrium phase coexistence in single-component supercritical fluids“, Nature Commun. 12 (2021) 4630, 초임계유체에서 안정적인 상분리 상태가 존재함을 최초로 관측하고 그 이유를 제시함. 고밀도 강결합 플라즈마에 대한 기초 연구와 광범위한 초임계유체 공정 개선에 활용할 수 있는 연구결과임.

- Young Dae Yoon*, Gunsu Yun*, Deirdre Wendel, and James Burch, “Collisionless Relaxation of a Disequilibrated Current Sheet and Implications for Bifurcated Structures“, Nat Commun. 12 (2021) 3774, 플라즈마 충전류가 형성되는 일반적인 원리를 제시하고 그것으로 지구자기권에서의 플라즈마 현상을 해석함. 우주개발 및 핵융합 에너지 개발 등 광범위한 영역에서 활용될 수 있는 결과임.

- Lee, Min Uk; Ji, Jeong-Young; Yun, Gunsu*, “Cold-hot coupled waves in a flowing magnetized plasma“ Nuclear Fusion 60 (2020) 126036, 핵융합 플라즈마에서 발생하는 유동이 플라즈마 파동을 유발하는 일반적인 이론을 제시하고 슈퍼컴퓨터 전산모사 결과로 검증함. 핵융합 플라즈마 진단과 제어에 활용될 수 있는 결과임.

- 등록특허: 10-2251801 레이저 가열과 플라즈마를 이용한 산화환원 처리방법 (발명자: 윤건수, 정석용, 유재민, 이지모), 금속산화물의 산화 상태를 빠르고 선택적으로 변경시킬 수 있는 기술임. 원전해체 폐기물 중 금속 폐기물의 표면 오염 제거 등에 활용할 수 있을 것으로 기대함.

1. 참여교수 연구역량

1.1 국내 및 해외기관 연구비 수주 실적

<표 3-1> 최근 1년간(2020.9.1-2021.8.31.) 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(2020.9.1.-2021.8.31.) 실적	비고
정부 연구비 수주 총 입금액	9,576,775	6,248,952	
산업체(국내) 연구비 수주 총 입금액	2,484,451	418,969	
해외기관 연구비 수주 총 (환산)입금액	143,798	0	
이공사회계열 참여교수 수	6	7	
1인당 총 연구비 수주액	2,034,170	952,560	

<표 3-1-1> 최근 1년간(2020.9.1-2021.8.31.) 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(2020.9.1.-2021.8.31.) 실적	비고
정부 연구비 수주 총 입금액	0	0	
산업체(국내) 연구비 수주 총 입금액	0	275,000	
해외기관 연구비 수주 총 (환산)입금액	0	0	
인문사회계열 참여교수 수	1	1	
1인당 총 연구비 수주액	0	275,000	

1.2 연구업적물

① 참여교수 연구업적물의 우수성

<p><계획></p> <ul style="list-style-type: none"> • 현안 해결을 위한 가동 원자력 기술 역량 향상 • 미래 원자력을 위한 기술 융합 • 미래 원자력사회를 위한 사회 융합 <p><실적></p> <p>[1] 현안 해결을 위한 가동 원자력 기술 역량 향상</p> <p>(1) 원자력 안전</p> <ul style="list-style-type: none"> • 후쿠시마 사고 및 국내 지진을 겪으면서 원전 안전성에 대한 우려가 증폭됨에 따라 국민 눈높이에 맞춘 최신 안전 기술 적용을 위한 사고 억제, 완화 대처, 안전 고도화 기술, 그리고 인프라 구축의

연구를 수행함. 구체적으로는 후쿠시마 사고 이후 사고 상황 억제 및 완화를 위해 제안된 사고저항성 핵연료봉에서의 비등현상 특징에 대한 연구에서부터 보다 효율적인 에너지 사이클 설계, 보다 높은 열유속의 평가 시스템 구축을 통한 냉각성능 평가 연구 등 폭 넓은 연구를 통하여 2020년 9월부터 2021년 8월까지 총 7편 [Google Scholar, Publication date 기준]의 SCI 저널을 발표함. IF 7.147에 분야내에서 상위 5%인 ‘Energy’ 에 출판한 논문을 비롯하여 각 분야에서 특히 안전관련 저널에서는 상위의 저널에서 연구 내용을 발표함. 아래 발표 목록 및 출간 저널 정보를 추가함.

1. Choi, J.H., Yoon, J., Eoh, J., Kim, M.H., Jo, H.J., “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 1.869, JCR: 상위 25%]

2. Park, J.H., Kwon, J.G., Kim, M.H., Cha, J.E., Jo, H.J., “Experimental investigation of buoyancy effects on local heat transfer of supercritical pressure CO₂ in horizontal semicircular tube,” International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 164, 2021, 120496.

[IF 5.584, JCR: 상위 7 %]

3. Oh, H.G., Lim, J.H., Park, M.G., Kim, M.H., Jo, H.J., “Design and assessment of a new divertor plasma facing component containing the Hypervapotron cooling channel and monoblock-type armor,” Fusion Engineering and Design, Vol. 162, 2021, 112101.

[IF 1.453, JCR: 상위 52 % - 핵융합 분야가 따로 없음에 따라 카테고리상 낮지만, 핵융합 안전성 평가 관련해서는 가장 상위 랭크 저널]

4. Yeom, H., Guitierrez E., Jo, H.J., Zhou, Y., Mondry, K., Sridharan, K., Corradini, M. “Pool boiling critical heat flux studies of accident tolerant fuel cladding materials,” Nuclear Engineering and Design, Vol. 370, 2020, 110919.

[IF 1.869, JCR: 상위 25%]

5. Lim, J.H., Park, M.G., Oh, H.G., Hwang, D.K., Lee, G.C., Kim, M.H., Jo, H.J., “Experimental study of hypervapotron channel with square fin structure for divertor cooling by one-side, electric joule heating system,” Fusion Engineering and Design, Vol. 161, 2020, 112072.

[IF 1.453, JCR: 상위 52 % - 핵융합 분야가 따로 없음에 따라 카테고리상 낮지만, 핵융합 안전성 평가 관련해서는 가장 상위 랭크 저널]

6. Choi, M., Chu, I.C., Kim, S., Jeon, B.G., Jo, H.J., “Direct observation of rewetting failure mechanism at CHF under different subcooled flows,” International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 163, 2020, 120465.

[IF 5.584, JCR: 상위 7 %]

7. Ji Hwan Lim¹, Su Won Lee, Donkoan Hwang, Hoongyo Oh, Minkyu Park, Moo Hwan Kim and HangJin Jo, “Two-phase pressure drop analysis of swirl tube in one-side high heat load condition for plasma facing component application” Physica Scripta, Vol. 96, 2021, 125606.

[IF 2.487 JCR: 상위 34 %]

(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 국내외 다부처 예

타사업에 참여하여, 주관기관은 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 방사성폐기물관리에 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 구축함
- 방사성폐기물의 제염 기술과 관련하여 플라즈마를 이용한 CRUD 물질의 제염, 중액분리법을 이용한 방사화콘크리트 폐기물의 제염 및 부피저감 등의 기술 개발

- 부지복원과 기술과 관련하여 유기물질을 사용해 점토 광물의 층간 간격을 넓혀서 토양 내 점토광물에 고착된 핵종을 제거하는 연구 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 칼코겔(Chalcogel), 이중층수산화물(Layered Double Hydroxide), 제올라이트(Zeolite), 벤토나이트(Bentonite) 등 다양한 흡착제를 개발하여 핵종 제거 효율을 높임

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

- 코로나 팬데믹으로 인해 직접적인 대면 교류는 어려웠으나, 비대면 회의 및 이메일을 통한 교류를 통해 PNNL, KIT, Sheffield 대학과 공동 연구활동을 지속하고 있음. 특히, Sheffield 대학의 경우, 해당 대학의 연구진과 공동으로 논문을 출판하였으며, PNNL과 KIT의 경우 방폐장 안전성 평가를 위한 Tc의 용해도 실험을 공동으로 진행하여 논문을 출판하였고, 지속적으로 연구자 방문 및 교류를 통해 연구역량 향상 및 신기술 도입을 추진할 계획임.

- 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.

[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 1인의 연구원을 겸직교수로 영입할 준비를 하였으며 진동 공학 분야에서 공동 학위지도를 시작함.

- 거대과학 데이터 기계학습 플랫폼: 거대과학 공학 설계 기술 및 빅데이터 처리 기술을 고도화하기 위한 기계학습 플랫폼을 구축해 나아가고 있음. 기계학습 스터디 그룹 활동을 지속하고 있음. 2021년 7월에는 교내에서 “Workshop on Frontiers in Plasma and Beam Physics” 워크숍을 개최하여 (아시아태평양이론물리센터 후원) 플라즈마 입자 시뮬레이션 및 인공지능 기계학습에 대한 특강 및 연구 현황을 참여 학생들에게 제공함. 전국에서 총 76명이 참여하였으며 강연 중심의 워크숍을 지속적으로 개최하는 것에 협력하기로 함.

- 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 규슈대

학교의 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.

- 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 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 한국전기연구원 (창원본원), 한국생산기술연구원 울산분원 연구원들과 상호 방문 교류회를 진행하였음 (6월 25일 및 8월 27일).
- Seungtaek Lee, Seungtae, Juho Lee, Yeonguk Kim, Seokyong Jeong, Dong Eon Kim*, and Gunsu Yun*, “Quasi-equilibrium phase coexistence in single-component supercritical fluids“, Nature Commun. 12 (2021) 4630
- Jeong-Young Ji*, Min Uk Lee, Eric D. Held, and Gunsu S. Yun, “Moments of the Boltzmann collision operator for Coulomb interactions“, Phys. Plasmas 28 (2021) 072113
- Young Dae Yoon*, Gunsu Yun*, Deirdre Wendel, and James Burch, “Collisionless Relaxation of a Disequilibrated Current Sheet and Implications for Bifurcated Structures“, Nat Commun. 12 (2021) 3774
- Young Dae Yoon*, Jeong-Young Ji, and Gunsu S. Yun, “Deterministic Scattering of Relativistic Electron Beams by Off-Resonant Circularly Polarized Electromagnetic Waves“, Phys. Plasmas 28 (2021) 060702
- Min Uk Lee, Shekar G Thatipamula, Sehyun Bae, Jayhyun Kim, Jaewook Kim, Michael Lehnen, and Gunsu S Yun*, “Radiation Measurement in Plasma Disruption by Thin-foil Infrared Bolometer“, Rev. Sci. Instrum. 92 (2021) 053536
- Reman, Bernard; Dendy, Richard; Akiyama, Tsuyoshi; Chapman, Sandra; Cook, James; Igami, Hiroe; Inagaki, Shigeru; Saito, Kenji; Seki, Ryosuke; Kim, Minh; Thatipamula, Shekar; Yun, Gunsu, “Density dependence of ion cyclotron emission from deuterium plasmas in the Large Helical Device“, Nuclear Fusion 61 (2021) 066023
- Jieun Lee, P.H. Seo, J.G. Bak, and Gunsu S. Yun*, “A machine learning approach to identify the solitary perturbation as a boundary burst trigger in magnetized toroidal plasmas“ Scientific Reports 11 (2021) 3662
- Minjun Choi, Laszlo Bardoczi, Jae-Min Kwon, Taik Soo Hahm, Hyeon Park, Jayhyun Kim, Minhoo Woo, Byoung-Ho Park, Gunsu Yun, Eisung Yoon, and George McKee, “Effects of plasma turbulence on the nonlinear evolution of magnetic island in tokamak“, Nature Comm. 12, (2021) 375
- Lee, Min Uk; Ji, Jeong-Young; Yun, Gunsu*, “Cold-hot coupled waves in a flowing magnetized plasma“ Nuclear Fusion 60 (2020) 126036
- Kim, Minhoo; Thatipamula, Shekar; Kim, Jayhyun; Choi, Minjun; Lee, Jaehyun; Lee, Woochang; Kim, Minwoo; Yoon, Youngdae; Yun, Gunsu*, “Intense whistler-frequency emissions at the pedestal collapse in KSTAR H-mode plasmas“ Nuclear Fusion 60 (2020) 126021

(2) 인공지능 및 로봇 시스템

- 수중 유영 및 수중/육상 보행이 모두 가능한 수륙 양용의 생체 모방형 로봇 개발 결과를 제시하였음(“Underwater Walking Mechanism of Underwater Amphibious Robot using Hinged Multi-Modal Paddle“, International Journal of Control, Automation and Systems 19, 2020, IF:2.733). 비정형 환경으로 차륜이동이 불가능한 험지, 수상, 수중에서 모두 이용이 가능한 로봇 플랫폼으로, 수륙양용으로, 늪지 등이 모두 이동이 가능한 패시브 방식의 세계 최초의 수륙 양용 플리퍼 기반 보행 로봇임.
- 또한 기존의 로봇으로 이동이 불가능했던, 복잡한 사고/붕괴지형, 차륜이동 불가지역, 침수 및 잔해물 잔존 지역, 고방사능 지역 등을 모두 이동할 수 있는 전천후 플랫폼으로, 원전관리를 위한 새로운 로봇으로 사용 가능한 탁월한 메카니즘을 제시하고 있음.
- 인공지능 원전 모니터링: 원전 시설 및 방사선 사고 등 극한 환경 센싱/맵핑 기술 개발을 위해 복수의 초음파 센서를 활용하여, 센서 융합 및 로봇 지능기반의 정보추출을 위한 연구를 진행하였음.(“Sensor Fusion of Two Sonar Devices for Underwater 3D Mapping with an AUV“, Autonomous Robot 45, 2021,IF:3.602)
- 원전 내부시설 모니터링: 원전내부의 냉각수조, 파이프 내부 등에서 초음파 센싱에 기반한 로봇의 자율주행 및 정밀 균열 검사, 내부 상태 검사를 위한 정밀 모니터링 방법을 제시하였으며 로봇의 자율주행의 성능을 극대화하고, 비정형 환경에서의 판단능력 고도화 기술을 제안하였음.(“Underwater-Sonar-Image-based 3D Point Cloud Reconstruction for High Data Utilization and Object Classification Using Neural Network“, Electronics 9, 2020, IF:3.367),(“High-Precision Underwater 3D Mapping using Imaging Sonar for Navigation of Autonomous Underwater Vehicle“, International Journal of Control, Automation and Systems 19, 2021, IF:2.733)

[3] 미래 원자력사회를 위한 사회 융합

- 배 영. 2021. 7. [포스트코로나시대, 데이터로 읽는 대한민국], 도서출판 플루토. 출간 : 한국 사회의 주요 이슈에 대해 다양한 데이터를 기반으로 분석하고 미래에 대해 전망함.
- 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 협약을 체결하였음.
- 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 ‘핵중분석 실험실습 프로그램 개발’은 원전 제염/해체 사업에 참여할 전문 인력양성과 지역 중소기업 및 민간/정부 연구소의 인력양성에 도움을 주고자 함. 해오름동맹 연구과제는 2021년 8월부터 총 3년간 진행됨.

② 이공계열 참여교수 특허, 기술이전, 창업 실적의 우수성

(1) 조항진 교수

원자력의 안전성을 높이고 주어진 열을 효율적으로 이동시키기 위한 연구 결과 효과적인 표면 처리 기법을 본 교육단 박사후 연구원으로 참여하고 있는 한태양 박사와 학생들과 개발하였고 이에 대한 특허를 2021년 2월 출원함.

출 원 일 자 2021.02.09

특 기 사 항 심사청구(유) 공개신청(무) 참조번호(4201)

출 원 번 호 10-2021-0018543 (접수번호 1-1-2021-0166832-25)

(DAS접근코드B364)

출 원 인 명 칭 포항공과대학교 산학협력단(2-2004-043336-1)

대 리 인 성 명 유미특허법인(9-2001-100003-6)

발 명 자 성 명 한태양 조항진 최영현 김무환

발 명 의 명 칭 양친성 표면의 제조 방법

(2) 엄우용 교수

- 특허 등록 (10-2181217) 방사성 폐기물 고화방법 및 이에 따른 방사성 폐기물 고화체 <엄우용, 김선병, 안진모, 2020년 11월 16일>
- 특허 등록 (10-2205146) 동결건조 방식을 이용한 칼코겔 흡착제 합성방법 <강재혁, 조항래, 허중, 박상수, 엄우용, 2021년 1월 14일>
- 특허 출원 (10-2021-0002818) 펜톤유사공정을 이용한 IRN-150 폐수지 분해방법 및 분해장치 <전준성, 엄우용, 홍석주, Hafeez Muhammad Aamir, 2021년 1월 8일>
- 특허 출원 (10-2021-0023307) 라돈 제거용 흡착제, 이의 제조방법 및 이를 이용한 라돈 제거방법 <강재은, 엄우용, Bhupendra Kumar Singh, 2021년 2월 22일>
- 특허 출원 (10-2021-0070870) 중액분리법을 이용한 방사화 콘크리트 폐기물에서의 방사성 핵종 분리방법 <홍석주, 엄우용, 2021년 6월 1일>
- 특허 출원 (10-2021-0076131) 붕소가 포함된 방사성 폐기물 고화방법 및 이에 따른 방사성 폐기물 고화체 <김병관, 엄우용, 강재혁, 이주혁, 2021년 6월 11일>
- 특허 출원 (10-2021-0096843) 수소 동위원소에 대한 차별적 결합 특성을 갖는 수소 동위원소 흡착제, 이의 제조방법 및 이를 이용한 수소 동위원소 분리방법, <김효주, 엄우용, 2021년 7월 23일>
- 특허 출원 (10-2021-0012763) 방사성코발트와 화학적으로 결합된 EDTA 분해방법 및 이의 분해장치 <이주혁, 엄우용, 2021년 1월 29일>
- 특허 출원 (10-2020-0122165) 방폐장에서 사용되는 뒷채움재 제조방법, 이에 따른 뒷채움재, 이를 이용한 방사성 폐기물 처분방법 및 이를 이용한 방폐장<홍석주, 엄우용, 2020년 9월 22일>

(3) 윤건수 교수

- 국내특허 10-2251801 (발명자: 윤건수, 정석용, 유재민, 이지모) 레이저 가열과 플라즈마를 이용한 산화환원 처리방법
- 국내특허 10-2216854 (발명자: 윤건수, 이재구, 남우진, 정석용) 마이크로파 플라즈마를 이용한 아크 방전장치 및 아크 방전방법
- 국내특허 10-2258361 (발명자: 윤건수, 이민욱, 남우진, 이재구, 정석용) 펄스형 전력을 사용한 플라즈마 활성화중 생성방법

(4) 유선철 교수

- 특허 출원 (10-2021-0069924) 수조식 양식장 수질 측정 장치 및 방법 <조현우, 유선철, 성민성, 2021년 5월 31일>
- 특허 출원 (10-2021-0050098) 양식장 모니터링 시스템 <김민성, 노세환, 송영운, 조한길, 김병진, 유선철, 2021년 4월 16일>
- 특허 출원 (10-2021-0075656) 수중 작업자를 위한 안전 관리 시스템 및 이를 이용한 안전 관리 방법 <유선철, 김주환, 이명석, 송영운, 노세환, 김태식, 성민성, 2021년 6월 10일>

③ 연구의 수월성을 대표하는 연구업적물 (최근 1년(2020.9.1.-2021.8.31.))

연번	대표연구업적물 설명
1	M.Aamir Hafeez, Junsung Jeon, Seokju Hong, Neil Hyatt, Jong Heo, and Wooyong Um, 2021, "Fenton-like treatment for reduction of simulated carbon-14 spent resin", Journal of Environmental Chemical Engineering, 9(1), 104740.- 본 연구업적물은 영국 Sheffield 대학과 공동연구로 진행된 결과이며, Fenton 유사반응을 통한 방사성폐기물인 C14인 함유된 이온교환수지의 처리에 관한 연구로써, 원전해체시 발생하는 대량의 방사성폐기물 처리에 효과적으로 적용할 수 있는 방법을 제시함. 추가로 관련된 내용은 국내 특허로도 출원되었음.
2	Jaeun Kang, Bhupendra Kumar Singh, Wooyong Um, 2021, "Efficient radon removal using fluorine-functionalized natural zeolite", Journal of Environmental Radioactivity, 233, 106607.- 본 연구논문은 지하수에 존재하는 방사성 라돈의 효율적인 제거를 위한 방법 및 F를 활용한 새로운 처리기술 개발에 활용될 수 있음.
3	Kim, N., Kim, H., Eoh, J., Kim, M.H., Jo, H.J., "Thermal-hydraulic DEsign of Natural Circulation Integrated Steam Generator Using Design Map", Applied Thermal Engineering, 2021, 117389. [IF 5.295, JCR: 상위 10 %]
4	Lee, S.W., Kwon, J.G., Kim, M.H., Jo, H.J., "Cycle analysis and economic evaluation for seawater-LNG Organic Rankine Cycles," Energy, 2021, 121259. [IF 7.147, JCR: 상위 5 %]
5	Choi, M., Chu, I.C., Kim, S., Jeon, B.G., Jo, H.J., "Direct observation of rewetting failure mechanism at CHF under different subcooled flows," International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 163, 2020, 120465. [IF 5.584, JCR: 상위 7 %]
6	배 영. 2021. 7. [포스트코로나시대, 데이터로 읽는 대한민국], 도서출판 플루토.
7	Seungtaek Lee, Seungtae, Juho Lee, Yeonguk Kim, Seokyong Jeong, Dong Eon Kim*, and Gunsu Yun*, "Quasi-equilibrium phase coexistence in single-component supercritical fluids", Nature Commun. 12 (2021) 4630
8	Young Dae Yoon*, Gunsu Yun*, Deirdre Wendel, and James Burch, "Collisionless Relaxation of a Disequilibrated Current Sheet and Implications for Bifurcated Structures", Nat Commun. 12 (2021) 3774
9	Lee, Min Uk; Ji, Jeong-Young; Yun, Gunsu*, "Cold-hot coupled waves in a flowing magnetized plasma" Nuclear Fusion 60 (2020) 126036
10	등록특허: 10-2251801 레이저 가열과 플라즈마를 이용한 산화환원 처리방법 (발명자: 윤건수, 정석용, 유재민, 이지모)

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> <p>[1] 원자력 현안 해결</p> <p>(1) 안전 분야</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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 구축함.
--

- 소형/마이크로 원자로 연구 선도: 마이크로 원자로 관련하여 경험이 풍부한 미국과 한-미 국제공동 연구 International Nuclear Energy Research Initiative(I-NERD) 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 수행하며 소형/마이크로 원자로 연구를 선도하고자 함.
- 연료봉 안정성 평가 기술 확산: 연료봉 안정성 평가 기술 확산·사고 저항성 핵연료봉과 새로운 핵연료봉 규제 사항과 관련하여 유관기관들과 정보를 공유하며 필요한 핵심 기술에 대해 논의 진행 중.
- 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 콘크리트 폐기물의 부피 감용을 위해 중액분리법을 사용한 방사화콘크리트 폐기물의 제염 기술 및 공정을 개발함. 연구실 규모로 실험한 결과 초기 콘크리트 폐기물의 무게 대비 약 65~70% 가량의 무게 저감 효율을 보였음. 본 연구결과는 특허 출원 1건 (10-2021-0070870) 중액분리법을 이용한 방사화 콘크리트 폐기물에서의 방사성 핵종 분리방법)과 논문 2편 [(1) Jae-Young Pyo, **Wooyong Um**, Jong Heo, 2021, “Magnesium potassium phosphate cements to immobilize radioactive concrete wastes generated by decommissioning of nuclear power plants” , *Nuclear Engineering and Technology*, 53, 2261-2267)] [(2) (Young-Gwang Kim, Dawoon Jeong, **Wooyong Um**, Kyoung-Woong Kim, and Myoung-Soo Ko, 2021, “The bioleaching assessment for nuclear power plant-soil contaminated with Co and Cs using *A.thiooxidans* sp” , *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(1), 104791)]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, 방사선조사후에 고화체 안정성 평가를 수행할 계획임. 연구성과는 논문 3편 [(1)Jueun Kim, Bhupendra Kumar Singh, and **Wooyong Um**, 2021, “Effect of ion exchange resin particle size on homogeneity and leachability of Cs and Co in polymer waste form,” *RSC Advances*, 2021, 11, 2729 - 2732; [(2)

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.] [(3) Zhiliang Chen, Peng Zhang, Kevin G. Brown, Janelle L. Branch, Hans A. van der Sloot, Johannes C.L. Meeussen, Rossane C. Delapp, **Wooyong Um**, David S. Kosson, 2021, “Development of a Geochemical Speciation Model for Use in Evaluating Leaching from a Cementitious Low Activity Waste Form”, *Environmental Science and Technology*, 55, 13, 8642-8653] 및 특허등록 1건 (특허 등록 (10-2181217) 방사성 폐기물 고화방법 및 이에 따른 방사성 폐기물 고화체 <엄우용, 김선병, 안진모, 2020년 11월 16일>)과 특허출원 1건 (특허 출원 (10-2021-0076131) 붕소가 포함된 방사성 폐기물 고화방법 및 이에 따른 방사성 폐기물 고화체 <김병관, 엄우용, 강재혁, 이주혁, 2021년 6월 11일>)을 수행함.

- 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. 또한, 경북지역의 특성을 고려한 천연 제올라이트를 활용한 방사성 오염수 제거 기술개발 연구를 통하여 1편의 논문을 출판함 (Seokju, **Wooyong Um**, 2021, “Top-Down Synthesis of NaP zeolite from natural zeolite for the higher removal efficiency of Cs, Sr, and Ni”, *Minerals*, 11, 252).
- 방사선 및 방사성폐기물의 안전성 확보를 위한 주민 공감대 향상을 위해서 자연적으로 발생하는 방사성 라돈에 대한 연구 및 처리 기술을 개발하였으며, 관련된 연구결과는 논문으로 출판됨 (Jaeun Kang, Bhupendra Kumar Singh, **Wooyong Um**, 2021, “Efficient radon removal using fluorine-functionalized natural zeolite” *Journal of Environmental Radioactivity*, 233, 106607). 또한, 월성원전주변 삼중수소 관리안전성 확보를 위한 조사업무를 통해 환경감시망을 중심으로 부지내 및 주변 지역에서 시료를 채취, 분석하여 현지조사를 실시하고 그 내용 및 결과를 분석. 해당 과정에서 우선적으로 지역주민 눈높이에 맞추어 질의 사항 도출하는 등 지역 주민의 방사성폐기물 처리 기술에 대한 불안감을 해소하고 정확한 내용 전달에 기여할 뿐만 아니라 원성원전민간합동 감시단의 자문위원으로서 삼중수소 이동 및 문제해결을 위해서 봉사함. 추가적으로, 삼중수소 제거를 위한 기술 개발 연구를 통해서 1편의 특허 출원을 함 (특허 출원 (10-2021-0096843) 수소 동위원소에 대한 차별적 결합 특성을 갖는 수소 동위원소 흡착제, 이의 제조방법 및 이를 이용한 수소 동위원소 분리방법, <엄우용, 김효주>).

[2] 기술 융합 및 미래 첨단기술

(1) 핵융합 플라즈마 및 플라즈마 기술 응용:

- 원전 폐수 및 냉각수 처리: 한국수력원자력(주) 및 포항시, 울산시, 경주시가 지원하고 있는 해오름 동맹 프로그램 참여를 통하여 수중 플라즈마 기술을 고도화하였으며 그 과정에서 원전 폐수 중의 하나인 금속-EDTA 착화물 폐용액의 안전한 처리 기술을 확보함. 2차 냉각수의 살균 시스템을 실험실 스케일에서 구현하였음. 본 수중 플라즈마 기술은 지자체와의 협력을 통하여 지역의 양식수산업 계로 확산시키고자 함.
- 철강재 산화막 제어: 플라즈마 고속 산화 및 환원 기술을 지속적으로 고도화하여 특허1건을 등록하

였고 연구논문 1건을 투고 준비하였음. 본 기술은 철강 시설 부식 제거/방지에 적용되어 산업 시설의 부식으로 인하여 발생하는 경제적 손실 및 산업 위험도를 줄이는 데 기여할 것으로 기대함.

- 특허: (등록번호 10-2251801) 레이저 가열과 플라즈마를 이용한 산화환원 처리방법

- 수소 생산: 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.

(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

- 작업자의 위험 감소 및 데이터 정량화를 통한 원전 유지관리 시스템과 중대사고 발생 시 원격 로봇 투입으로 신속한 사고현장 수습 및 인명피해 최소화의 원천 핵심 기술 개발 중임.
- 사람이 직접 수행하기 어려운 시설 내의 안전검사 수행 기술 및 방사성 물질 취급시설 내의 방사선 맵핑 기술 개발을 통해 원전 사고나 방사성물질 누출 확인을 실시간으로 수행하고 대피 전략 수립에 활용함으로써, 관련 시설 인근 주민의 안전을 확보하고 이를 통한 원자력의 사회 신뢰성을 제고하고 주민 수용성을 증대할 수 있는 원천 핵심 기술 개발 중임.

[3] 사회 융합

- 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 예정(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.

3. 연구의 국제화 현황

① 참여교수의 국제적 학술활동 참여 실적 및 현황

- 국제학회/학술대회 활동: 기타 초청 강연

교수명	일정	강연제목	초청학회명
허중	2020.11.24	Nanocrystals and Quantum Dots in Glasses	한국세라믹학회
유선철	2020.10.16	Latest Underwater Robotics Researches on South Korea and POSTECH HERO Lab.	Underwater Technology Forum Zero , On-Line Webinar
윤건수	2021.5.31.~6.03	Probing High-frequency Plasma Waves via Measurement of RF Modulation of ECE	39 th Meeting of the ITPA Topical Group on Diagnostics
윤건수	2021.6.17	Identifying the solitary perturbation trigger	PPPL Machine Learning

		mechanism of edge confinement collapse using a machine learning approach	Seminar
- 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
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
배영	한국사회학		편집위원
- 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)
윤건수	ASSOCIATION OF ASIA-PACIFIC PHYSICS SOCIETIES (AAPPS) DIVISION OF PLASMA PHYSICS (DPP)		PROGRAM COMMITTEE MEMBER OF THE 2020 AAPPS-DPP CONFERENCE
- 국제기구/대외활동			
교수명	기관/회사 명	활동 위원회/조직 명	역할/직책(직위)
윤건수	ITER Organization	International Tokmak Physics Activity	Diagnostics Topical Group Member
윤건수	ITER Organization	ITER Council Science and Technology Advisory Committee.	한국 멤버

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	엄우용	Neil. C. Hyatt	영국/ University of Sheffield	사용후 이온교환수지 및 C-14 처리와 이를 담지하는 고화체 개발과 관련된 연구를 함께 진행하여, Sheffield 대학 연구진과 공동으로 논문을 1편 출판함.	https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104740
2	엄우용	Guohui Wang 외 6명	미국/ PNNL	Fe(OH) ₂ 광물상의 변환을 통해 철산화물 구조 내에 테크니슘을 incorporation하는 연구를 함께 진행하여, PNNL 대학 연구진과 공동으로 논문을 1편 출판함.	https://doi.org/10.1021/acsearthspacchem.0c00305

3	엄우용	Zhiliang Chen 외 7명	미국/ Vanderbilt University	지화학적 핵종 모델링을 통해 저준위 방사성 폐기물을 담지한 시멘트 고화체의 침출 특성을 평가하는 연구를 함께 진행하여 Vandervilt 대학 연구팀과 논문을 1편 출판함	https://doi.org/10.1021/acs.est.0c06227
4	엄우용	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	https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2021.109546
5	조항진	Hwasung Yeom, Emilio Gutierrez, Yimin Zhou, Kaya Mondry, Kumar Sridharan, Michael Corradini	미국, University of Wisconsin-Madison	Yeom, H., Guterrez E., Jo, H.J., Zhou, Y., Mondry, K., Sridharan, K., Corradini, M. "Pool boiling critical heat flux studies of accident tolerant fuel cladding materials," Nuclear Engineering and Design, Vol. 370, 2020, 110919.	https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0029549320304131
6	윤건수	Jeong-Young Ji	USA/Utah State University, Logan	Jeong-Young Ji*, Min Uk Lee, Eric D. Held, and Gunsu S. Yun, "Moments of the Boltzmann collision operator for Coulomb interactions", <u>Phys. Plasmas</u> 28 (2021) 072113	doi/10.1063/5.0054457
7	윤건수	Deirdre Wendel	USA/NASA Goddard Space Flight Center	Young Dae Yoon*, Gunsu Yun*, Deirdre Wendel, and James Burch, "Collisionless Relaxation of a Disequibrated Current Sheet and Implications for Bifurcated Structures", <u>Nat. Commun.</u> 12 (2021) 3774	doi/10.1038/s41467-021-24006-x
8	윤건수	Jeong-Young Ji	USA/Utah State University, Logan	Young Dae Yoon*, Jeong-Young Ji, and Gunsu S. Yun, "Deterministic Scattering of Relativistic Electron Beams by Off-Resonant Circularly Polarized Electromagnetic Waves", <u>Phys. Plasmas</u> 28 (2021) 060702	doi/10.1063/5.0049554
9	윤건수	Michael Lehnen	France/ITER organization	Min Uk Lee, Shekar G Thatipamula, Sehyun Bae, Jayhyun Kim, Jaewook Kim, Michael Lehnen, and Gunsu S Yun*, "Radiation Measurement in Plasma Disruption by Thin-foil Infrared Bolometer", <u>Rev. Sci. Instrum.</u> 92 (2021) 053536	doi/10.1063/5.0043859

10	윤건수	Richard Dendy	UK/Warwick University	Reman, Bernard; Dendy, Richard; Akiyama, Tsuyoshi; Chapman, Sandra; Cook, James; Igami, Hiroe; Inagaki, Shigeru; Saito, Kenji; Seki, Ryosuke; Kim, Minho; Thatipamula, Shekar; Yun, Gunsu, "Density dependence of ion cyclotron emission from deuterium plasmas in the Large Helical Device", <u>Nuclear Fusion</u> 61 (2021) 066023	<i>doi/10.1088/1741-4326/abf661</i>
11	윤건수	George McKee	USA/General Atomics	Minjun Choi, Laszlo Bardoczi, Jae-Min Kwon, Taik Soo Hahm, Hyeon Park, Jayhyun Kim, Minho Woo, Byoung-Ho Park, Gunsu Yun, Eisung Yoon, and George McKee, "Effects of plasma turbulence on the nonlinear evolution of magnetic island in tokamak", <u>Nat. Commun.</u> 12, (2021) 375	<i>doi/10.1038/s41467-020-20652-9</i>

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"> • <u>Univ. Wisconsin-Madison</u> 연구팀과 사고저항성 핵연료봉 개발에 대한 연구를 지속적으로 수행하여 SCI 저널 (Nuclear Engineering and Design)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 수행할 예정 • <u>Oregon State University</u> 연구팀과 신규 및 기존 원자력 재료의 열수력 안전성 평가를 높이기 위한 센서 설치 및 평가 기법에 대하여 매달 WEBEX 미팅을 수행하고 있음. • University of Tokyo, Japan Atomic Energy Agency (JAEA), McMaster University [Canada], University of Tennessee [USA], Technical University of Munich [Germany], Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development (ENEA) [Italy] 등과 함께 NEST ARTERD project Zoom meeting (2020년 11월 27일)에 가지고 서로의 연구분야를 공유하고 관심있는 학생들의 교류 방식 및 지원에 대하여 논의함. <p>(2) 환경 분야</p> <p>코로나 팬데믹으로 인해 직접적인 대면 교류는 어려웠으나, 비대면 회의 및 이메일을 통한 교류를 통해 PNNL, KIT, Sheffield, Malaysia 대학과 공동 연구활동을 지속하고 있음.</p> <ul style="list-style-type: none"> • <u>영국 University of Sheffield</u>: Neil. C. Hyatt 교수와 공동으로 사용후레진 및 C-14 처리와 이를 담지하는 고화체 개발과 관련된 연구를 함께 진행하여, Sheffield 대학 연구진과 공동으로 논문을 1편 출판하였고, 1편은 출판예정임. • <u>미국 Pacific Northwest National Laboratory (PNNL)</u>: 처분장 안전성평가를 위한 공동 실험의 일환으로 산화환경 조건에서 Tc 핵종의 용해도 특성을 평가하기 위해 공동 연구를 진행하여 연구결과를 공동논문 1편으로 출판함. 추가로 Drs. Wang, Saslow, Rod, Lee 등과 지속적으로 공동연구를 진행 중임. Dr.Lee는 10-11월 1달간 포스텍 방문하여 분자동력학 전산모사 단기코스 및 공동연구를 진행할 계획임.
--

- 독일 Karlsruhe Institute of Technology (KIT): 처분장 안전성평가를 위한 공동 실험의 일환으로 환원환경 조건에서 Tc 핵종의 용해도 특성을 평가하기 위해 공동 연구를 진행함.
- 말레이시아 국립대학교 (Universiti Kebangsaan Malaysia: UKM): 학생 1인 (Nur Shahidah Binti Abdul Rashid)이 UKM에서의 교육 연수를 통하여 Sprague Dawley 쥐를 이용해 232-Th, 238-U이 생체에 미치는 영향 연구를 진행하였고 지속적으로 수행 중임.
- 영국 University of Sheffield: 사용후폐진 및 C14 처리기술 개발 및 고화체에 대한 연구를 지속적으로 수행할 계획.
- 미국 Pacific Northwest National Laboratory (PNNL): 사용후핵연료 처분장 안정성 평가를 위한 핵종의 흡착, 확산, 용해도 특성에 대한 공동연구를 지속적으로 진행할 계획임.
- 독일 Karlsruhe Institute of Technology (KIT): 처분장 환경에서의 핵종의 거동특성 연구 및 안전성 평가를 위한 공동 실험의 일환으로 환원환경 조건에서 Tc 핵종의 용해도 특성 평가에 대한 공동연구를 지속적으로 진행할 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 Lawrence Livermore National Laboratory: 코로나 팬데믹으로 인하여 LLNL 방문 교류는 진행되지 못하였고 차년도에 추진할 계획임.
- 미국 Princeton University 및 PPPL: 핵융합 플라즈마 데이터 분석에 기계학습 기술을 적용하는 연구에서 Bill Tang 교수 그룹과 협력하고 있음. 윤건수 교수가 PPPL의 Michael Churchill 박사의 초청으로 PPPL Machine Learning Seminar 시리즈에서 세미나 발표하였음.
- 미국 Argonne National Laboratory: 코로나 팬데믹으로 인하여 ANL 학생 파견은 이루어지지 못하였고 차년도에 추진할 계획임.
- 일본 NIFS 연구소 (National Institute for Fusion Science)와 공동 워크숍을 개최함: “Mini Workshop on RF emission (ICE) measurements” (2021.05.17.)

(2) 로봇 시스템

- 2021년 2월 8일 포스텍과 동경대 Asama 교수 연구실 간 온라인 화상회의를 이용한 워크숍 ‘2nd International workshop on safety and maintenance of nuclear engineering and hazardous and extreme environment robots and sensing systems 2021’ 을 개최하였음. 포스텍 유선철 교수 연구실에서는 극한환경 중 광학/소너를 활용한 인지기술 및 원전 원격 감시 적용 기술 및 개발사례를 공유하였음. 향후 인공지능을 활용한 원전 운영 안전도 향상과 원전 안전검사 자동화를 위한 로봇 운용 시스템 등 국제공동 연구를 위한 테마를 도출하고 지속가능한 인적 교류 추진 및 다양한 프로그램 개발을 위한 토론이 진행되었음.
- 원전 해체 등에 활용 가능한 필드 로봇 전 문가 기술을 위해, 동경대 필드로봇연구실-포스텍 극한환경로봇 연구실의 연구그룹을 주축으로 한 초청세미나를 2021년 3월 29일 화상으로 개최하였음. 동경대 측에서는 후쿠시마 원전해체 로봇을 제작하여, 세계 최초의 대형 원전해체 시스템을 개발하였으며, 제어 자동화 분야 세계 최대학회인 국제제어자동화 학회(IFAC) 회장인 동경대 Asama Hajime 교수의 연구그룹의 교수 4인 이상이 발표하였고, 한국 측에서는 포스텍 유선철 교수 및 경북대 조한길 교수 등이 발표하였음.
- OECD/NEA Nuclear Education, Skill and Technology(NEST) Project의 국제 공동연구를 위한 파견연

구원/학생을 선발하는 과정에 포스텍에서 응모함. 2020년 포스텍 조한길 박사가 NEST Fellow, 2021년 포스텍 김병진 학생이 NEST Student Fellow에 각각 선정되어, 동경대에 3개월간 파견될 예정이었으나, 코로나로 인해 순연되었음.

- 2021년 9월 10일, 미국 Argonne National Laboratory의 Dr.YoungSoo Park, Mr.Lawrence E. Boing의 초청강연을 온라인으로 실시할 예정임. Robotics and remote systems for D&D and key elements for managing decommissioning project 에 대한 입문적인 내용을 학생들을 대상으로 강연함.

IV

4단계 BK21 교육연구단(팀) 관련 언론보도 리스트

교육연구단(팀)명	미래사회를 위한 첨단원자력융합 교육연구단
교육연구단(팀)장명	엄 우 용

연번	구분	언론사명 /수상기관 등	보도일자/ 수상일자 등	제목/ 수상명 등	관련 URL
		주요내용 (200자이내)			
1	성과/행사	비즈니스코리아 외 76건	21.06.16	원자력활용 그린 수소생산 기술개발 MOU 체결	http://www.businesskorea.co.kr/news/articleView.html?idxno=69750
		경상북도-울진군-포스코-포스텍-포항산업과학연구원-현대엔지니어링-한국원자력연구원이 원자력을 활용한 그린수소생산 기술개발을 위한 업무협약(MOU)를 체결하였다. 이번 협약은 원자력의 전기와 열을 이용해 미래에너지라 불리는 그린수소를 대량으로 생산·활용하기 위해 7개 기관들이 공동 참여하였음.			
2	성과	시사뉴스 외 5건	21.07.07	POSTECH-PAL 연구팀, 우주 및 핵융합 플라즈마 연구 광범위한 적용 기대	http://www.sisa-news.com/news/article.html?no=163596
		POSTECH 물리학과·첨단원자력공학부 윤건수 교수, 포항가속기연구소 운영대 박사 공동연구팀이 비평형 상태의 플라즈마 전류 시트가 비충돌 평형화하는 과정을 이론적으로 정립하였다. 또한, 이를 입자 시뮬레이션 및 미국 나사(NASA)의 위성 데이터와 비교함으로써 지구 자기권의 미스터리였던 ‘분기된 전류 시트’의 기원을 규명하였음.			
3	수상	매일신문 외 10건	21.07.23	문무대왕 해양 산업대상	https://news.imaeil.com/People/2021072515180920764
		경상북도는 경주화백컨벤션센터에서 ‘제3회 문무대왕 해양 대상 시상식’을 개최했으며, 해양산업대상은 수중 정밀작업에 최적화된 수중로봇 하드웨어, 제어기 및 지능화 연구로 지능형 수중로봇 플랫폼 구축 등 해양·수산 분야 고도화와 해양과학기술 전문 인력 양성 등에 기여한 유선철 교수가 수상하였음.			