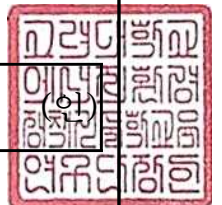


『4단계 BK21사업』 혁신인재양성사업(산업·사회 문제 해결 분야)
교육연구단 자체평가보고서

접수번호										
신청분야	혁신인재양성사업 산업·사회 문제 해결					단위	전국			
학술연구분야 분류코드	구분	관련분야			관련분야			관련분야		
		중분류	소분류	중분류	소분류	중분류	소분류	중분류	소분류	
	분류명	학제간연구		정책학		환경/ 자원정책		화학공학		연소및에너지 지변환공학
	비중(%)	50%			25%			25%		
교육연구 단명	국문) 지속가능한 에너지·자원 기술-정책-데이터 융합 교육연구단 영문) Sustainable Energy and Resources: Interdisciplinary Approaches Linking Technology, Policy, and Data									
교육연구 단장	소 속	고려대학교 에너지환경대학원 에너지환경정책기술학과								
	직 위	부교수								
	성명	국문	하윤희			전화				
						팩스				
		영문	Yoonhee Ha			이동전화				
					E-mail					
연차별 총 사업비 (백만원)	구분	1차년도 (2019~212)	2차년도 (213~222)	3차년도 (223~232)						
	국고지원금	246	546	551						
총 사업기간		2020.9.1.-2027.8.31.(84개월)								
자체평가 대상기간		2021.9.1.-2022.8.31.(12개월)								
본인은 관련 규정에 따라, 『4단계 BK21사업』 관련 법령, 귀 재단과의 협약에 따라 다음과 같이 자체평가보고서 및 자체평가결과보고서를 제출합니다. 2022년 10월 5일										
작성자	교육연구단장					하윤희				



〈자체평가 보고서 요약문〉

중심어	지속가능한 발전	에너지-자원 관리	사회문제 해결형 융합인재
	기후변화 대응	기술-정책-데이터 융합	상생 산학 거버넌스
	환경문제 대응	융복합 연구 모델	글로벌 에너지-자원 네트워크
교육연구단의 비전과 목표 달성정도	- 본 교육연구단은 “에너지·자원 분야 융합교육 연구모델을 통해 사회문제 해결과 지속가능발전에 기여” 하는 것을 비전으로, “국내 최초 에너지·자원 분야 융합교육 연구기관에서 글로벌 선도기관으로 도약” 하는 것을 목표로 설정함. 이를 위해 본 교육연구단은 교육, 연구, 산학협력, 국제화 및 인프라 부문에서 총 21개 핵심과제를 수립함. - 최근 1년간(2021.09-2022.08) 기 수립한 21개 핵심과제 중 총 20개 과제를 충실하게 이행하여 본 사업단의 목표 및 추진방안에 잘 부합하여 진행되고 있음.		
교육역량 영역 성과	교육역량 영역에서는 “에너지·자원 분야에 특화된 차별화된 학제 간 교육을 통해 선지자(visionary) 및 중개자(boundary spanner) 역할을 하며 산업·사회문제 해결에 기여할 수 있는 융합형 인재 양성” 을 위해 총 13개의 핵심과제를 추진하였으며, 지난 1년 간의 추진 성과와 향후 계획은 아래와 표와 같음.		
	목표달성 여부	사업단 추진 전략 계획	성과 및 향후 계획
	○	데이터 기반 융복합 교과목 지속적 개발 및 운영	에너지환경데이터분석론, 에너지시스템 에너지니어링과 정책, 태양전지, 저탄소에너지기술, 고급 머신러닝 기법 신설
	○	프로젝트 기반 문제해결형 교과목 개발	태양전지(모듈) 실험 및 실습, ESG경영과 커뮤니케이션 전략, 기후변화와 R&D, 탄소중립개론
	○	시공간 초월 학습방식 도입 및 확대	2021년 2학기 해외석학 초빙 ‘글로벌에너지전문가세미나’ 교과목 신설 및 해외석학 초청 온라인 강의 진행
	○	교육 커리큘럼 주기적 평가 통한 개선	Advisory Committee와 해당 교수진으로 구성된 TF를 구성하여 주기적 평가 및 개선작업 시행 2021년 2학기부터 Flipped class 등 학습자 주도형 학습운영 도입
	○	융합 우수논문 시상 및 지원	Student of the Year를 통해, 매년 5명 내외의 재학생에게 학술장려금 40만원을 지급
	○	차세대 커리어 관리	현장실습 17회, 전문가 초청세미나를 총 6회, 윤강세미나 11회, 진로탐색세미나 2회 개최 국내외 관계기관 인턴십 프로그램 운영. 2022년 8월, 학생 1명 국제기관 파견
	○	KU-KIST 학연제도와 과제참여 통한 교육 기회 확대	7명의 학연교수 임명 및 학연 명예교수직 수여
	○	융합연구를 위한 공동지도교수 제도 탄력 운영	참여교원 외 고려대학교 겸임교원 및 KIST 교원을 공동지도교수로 활용 중
	○	석박사 및 재교육형 계약학과 확대 운영	에너지시스템공학과 신설 운영(2021.03-), 태양전지(모듈)실험 및 실습, 태양광발전산학공동세미나 강의 개설 2020년 2학기로 종료된 신홍국 에너지 공무원 인력양성 프로그램의 사업을 2021년에 다시 수주
	○	Advisory Committee, 지역나눔 Committee, Alumni Committee 운영	대학원의 석좌특임교수 및 University of Delaware John Byrne Distinguished Professor가 참여하는 Advisory Committee를 구성·운영 성동구 지역 내 29개 초등학교 학생 156명 대상으로 비대면 영상수업 진행 GETPPP 졸업생을 활용한 “국제에너지전문가네트워크” 구축
	○	학부 과정 신설 및 학석사 연계 과정 신설	2022년 상반기 “기후기술인재 양성센터 사업” 과 “탄소중립 특성화 대학원 사업” 수주, 관련 교과목 신설 ‘탄소중립 기후기술 융합전공’ 신설 및 관련 교과목 추가(2022.2학기)
	○	국내외 홍보방안 강화 및 홍보채널 다양화	온라인 홍보 (입시정보 사이트 ‘전국대학원’, 네이버카페 ‘대학원 입학준비하는 사람들의 모임’, 하이브레인넷), 학회 홍보 (PVSEC-30, GPVC 2020, GPVC 2021), 에너지 관련 기업 및 공공기관 홍보, 신홍국 에너지 공무원 인력양성 프로그램 네트워크 활용, 학과 영문홈페이지 개편 및 브로셔 제작 진행 중
	○	신홍국 에너지공무원 인력양성 프로그램 확대 및 졸업생 네트워크 활용	신홍국 에너지공무원 인력양성 과제 재수주함에 따라 GETPPP 프로그램 2021년 2학기부터 운영(2021.09-). 졸업생 네트워크 및 대사관 통해 2022년 후기 신입생 9명 선발

연구역량 영역 성과	연구역량 영역에서는 에너지·자원 분야에 특화된 기술-정책-데이터 융복합 연구패러다임 구축"을 목표로 함. 유연한 연구협력체계를 통해 융복합 연구를 확장해 나가고자 총 8개 핵심과제를 추진하였으며, 지난 1년 간의 추진 성과와 향후 계획은 아래와 표와 같음.		
	목표달성여부	사업단 추진 전략 계획	성과 및 향후 계획
	○	기술, 데이터, 정책전문 교원이 참여하는 정기적 연구회 운영	학생세미나 개최
	○	현장 실무급 전문가 세미나 및 글로벌 연구 콜로키움을 통한 특화 연구 주제 발굴	전문가 초청 윤강 과목 개설, 현장실무급 전문가 세미나 개최
	○	융합연구 기반 데이터베이스 구축	수소 특허 DB 구축
	○	대학본부의 융복합 연구지원 및 KU-KIST 사업 등 활용한 과제 기회 확대	KU-KIST 공동연구사업으로 차세대 에너지시스템인 “자가구동 태양광-수소 생산 시스템 개발” 수행 중
	○	학연교수제 등 통한 국제연구소 우수학자 활용	2021-2 신설된 ‘글로벌에너지전문가세미나’에 GTC (녹색기술센터) 연구원 참여, 7명의 학연교수 임명 및 학연 명예교수직 수여
	×	신재생 발전량 모니터링 테스트베드 등 융합 데이터센터 구축	현재 모니터링 테스트베드 교내 설치 등에 관한 이슈 해결을 위해 논의 중
	○	융합 세미나를 통한 연구 지속적 공유, 비판적 논의, 학제 간 의사소통	교육연구단 자체 Grand Challenge 2회 운영 기술&정책 융합세미나 개최 (총 2회)
	○	Boot Camp 등 연구역량 관련 프로그램 운영	학술논문 작성법, Stata 통계프로그램 특강 등 비교과프로그램 운영 2021년 2학기부터 참여학생이 필수로 이수하는 ‘신입생강좌’에 학술논문 데이터베이스 활용법교육 등 연구역량 프로그램 포함
(연구비) 이공계열 총 19억 4천만원(정부과제+민간과제) 및 인문사회계열 총 5억 6천만원(정부과제)의 연구비를 수주함. 참여교수 1인당 약 4억 8천만원 (이공계열), 약 1억 4천만원(인문사회계열)에 해당하는 금액임. (연구논문) 총 47개의 논문을 발표하였으며, 이 중 40편을 SCI/SSCI급 저널에 게재함(85%). (이공계열 특허) 신재생에너지 분야의 특허 등록 7개(국내7) 및 특허출원 13개(국내3, 국제10개)의 성과를 달성함.			
달성 성과 요약	- 본 교육연구단이 기획한 총 21개 추진 핵심 과제 중 20개의 핵심 과제를 2차년도 기간동안 충실히 이행하였으며, 나머지 과제에 대해서는 일부를 이행하거나 차년도를 목표로 이행을 계획 중임. 1차년도에 성공적으로 진행되었던 Grand Challenge 프로그램을 2차년도에도 미흡한 점을 보완, 성공적으로 진행 - 참여교수, 대학원생, 신진연구인력이 발표한 47편의 연구논문들 중 대부분의 논문이 SCIE/SSCI급에 게재되어(약85%) 질적으로 매우 우수한 연구성과를 보여줌. - 최근 1년간 수주한 연구비 총액은 지난 3년간(2017.1.1.-2019.12.31.) 수주한 전체 누적 연구비 대비 약 61%(이공계열), 56%(인문사회계열)에 달해 교육연구단 발족 후 실적이 향상됨.		
미흡한 부분 / 문제점 제시	(교육) 융합형인재 양성을 위해 필요한 ‘데이터 관리 및 활용’ 측면의 교육을 강화하는 방안을 고려할 필요가 있음. 졸업생 수가 지속적으로 증가되어야 하며, 더불어 재학생 개개인의 전공/연구분야에 맞는 취(창)업으로 이어지도록 관심 및 지도가 필요한 것으로 판단됨. (연구) 신진연구인력의 연구실적은 우수하나, 교육연구단이 추구하는 목표와 좀 더 부합할 필요가 있음. 이공계열 참여교수들에 비해 인문사회계열 참여교수들의 연구비 수주 실적이 미흡함. 학교 측과의 장비 설치 관련 이견으로 인해 신재생에너지 발전량 모니터링 데이터센터 구축에 대한 진행이 제대로 이루어지지 못했음. (국제화 및 산업사회 기여) 국내외 코로나 상황에 맞는 국제화 교육 및 국제협력연구를 위한 장기적인 전략 수립이 필요함. 교육연구단 연구결과들의 산업사회 실질적 기여를 위한 이해관계자들과의 네트워킹 및 홍보가 보완될 필요가 있음.		
차년도 추진계획	(교육) 산업사회 문제해결을 위한 과학기술-인문사회 융합교육을 위해 기술의 공공성, 데이터 활용과 해석과 같은 주제에 대해 교과내용을 강화하고, 효과적인 팀티칭을 통한 프로젝트 기반 교과목을 강화하겠음. 또한 졸업생 배출과 커리어 연계를 강화하기 위해, 교원초빙, 학생정원 조정, 학석사 과정 설치 등을 중장기적으로 지속적으로 추진하고, 졸업생 네트워크 및 멘토링 활동을 확대해 나가도록 할 예정임. (연구) 융합연구 발굴과 수행을 위해 신진연구인력이 더욱 주도적으로 참여할 수 있도록 인센티브를 마련하고, Grand Challenge 행사를 확대·발전시켜 기술-정책 학생 간 더욱 적극적인 의사소통과 협업을 통해 융합연구 주제를 발굴할 수 있는 장으로 자리매김할 수 있도록 하겠음. (국제화) 2021년 2학기부터 해외석학 및 국내외 전문가가 참여하는 “글로벌에너지전문가세미나”를 신설하여 정기적으로 운영할 예정이며, 2022년 2학기 참여 학생의 해외연수를 계획 중임. (산업사회 기여) 교육 및 연구결과가 실질적인 산업사회 기여로 이어질 수 있도록, 다양한 이해관계자들과의 네트워크를 확대하고 커뮤니케이션을 강화해 나가고자 함.		

목 차

I. 교육연구단의 구성, 비전 및 목표	1
1. 교육연구단장의 교육·연구·행정 역량	1
2. 대학원 신청학과 소속 전체 교수 및 참여연구진	2
3. 교육연구단의 비전 및 목표 달성정도	3
4. 신청서에 작성된 저명대학 벤치마킹 대상과의 비교 분석	4
II. 교육역량영역	7
1. 교육역량 대표 우수성과	7
2. 교육과정 구성 및 운영	8
가. 교육과정 구성 및 운영 현황과 계획	8
나. 교육과정의 충실성과 지속성	10
다. 산업사회 문제 해결을 위한 프로그램	10
라. 문제해결을 위한 지자체/지역사회/국제사회와의 공동 교육프로그램 운영	12
마. 융·복합적 연구 및 인력양성에 부합하는 대표적 교육목표에 대한 달성 방안	15
바. 교육과 연구의 선순환 구조 구축방안	19
사. 전임교수 대학원 강의 실적 및 계획	22
3. 인력양성 계획 및 지원 방안	24
가. 최근 1년간 대학원생 인력 확보 및 배출 실적	24
나. 교육연구단의 우수 대학원생 확보 및 지원 계획	24
다. 참여대학원생 취(창)업의 질적 우수성	31
4. 참여대학원생 연구실적의 우수성	33
가. 참여대학원생의 저명학술지 논문의 우수성	33
나. 참여대학원생 학술대회 대표실적의 우수성	46
다. 참여대학원생 특허, 기술이전, 창업 실적의 우수성	55
5. 신진연구인력 현황 및 실적	56
가. 연구인력 현황 및 확보계획	56
나. 신진연구인력 지원 계획	56
다. 신진연구인력 연구역량 대표실적	57
라. 신진연구인력 교육역량 대표실적	63
6. 참여교수의 교육역량 대표실적	64
7. 교육의 국제화 전략	67
가. 교육 프로그램의 국제화 현황 및 계획	67
나. 참여대학원생 국제공동연구 현황과 계획	70
III. 연구역량영역	71
1. 참여교수 연구역량	71

가. 국내 및 해외기관 연구비 수주 실적	71
나. 참여교수 연구업적물의 우수성	72
다. 이공계열 참여교수 특허, 기술이전, 창업 실적의 우수성	88
라. 연구의 수월성을 대표하는 연구업적물	93
 2. 산업-사회에 대한 기여도	 99
가. (국내기업 신흥국 지원) 신흥국 에너지 공무원 초청 인력양성 프로그램	99
나. (플라스틱 문제해결을 위한 정책평가) 플라스틱 제품의 생산자책임확대제도 효과성 분석	99
다. (신산업 유망기술 예측) 수소 에너지 기술 분야 미래 유망기술 예측	100
라. (산업의 자원효율 제고) 한국의 산업단지 생태개발 산업공생 잠재량 추정	101
마. (석탄발전산업 환경영향 저감정책 설계) 석탄화력발전소 저탄장 옥내화에 대한 국민 수용성 분석	102
바. 알키미스트 프로젝트 산업화	103
사. 탄소중립 이행을 위한 글로벌 산업부문 모형 개발	105
아. 우즈베키스탄 태양에너지 산업 활성화를 위한 정책개선 및 전력안정화를 위한 에너지저장시스템 (ESS) 활용방안 수립	106
자. 콜롬비아 자원순환경제를 위한 정책 개발	106
 3. 연구의 국제화 현황	 108
가. 참여교수의 국제적 학술활동 참여 실적 및 현황	108
나. 국제 공동연구 실적	109
다. 외국 대학 및 연구기관과의 연구자 교류 실적 및 계획	110
 IV. 교육연구단(팀) 자체평가 결과	 별첨

1. 교육연구단장의 교육·연구·행정 역량

성명	한글	하윤희	영문	HA YOONHEE
소속기관	고려대학교 에너지환경대학원 에너지환경정책기술학과			

□ 교육연구단장 변경

기존 교육연구단장이었던 박주영 교수가 2021년 2학기를 마지막으로 이직함에 따라 2022년 1학기부터 하윤희 교수가 교육연구단장을 수행하고 있음.

□ 신임 교육연구단장의 역량

(연구역량) 하윤희 단장은 6개의 SCI(E) 또는 SSCI 저널 게재 논문이 있음. Wiley Interdisciplinary Review: Energy and Environment에 게재된 “*The rise and fall of green growth: Korea’s energy sector experiment and its lesson for sustainable energy policy*(2019)”는 2019~2021년 해당 저널 논문 중 가장 많이 다운로드된 논문 Top 5에 포함되었음. *Common failures of top-down and polycentric governance of rural renewable energy systems: The cases of Nepal and Indonesia*(2020)는 Environmental Studies분야 10% 이내 최상인 저널인 Energy Research and Social Science에 게재되었음. *Public debt, corruption and sustainable economic growth*(2016)는 Google Scholar 기준 65회 인용되었으며 지속적으로 인용되고 있음. 현재 2개의 논문이 각각 Sage Energy and Environment(SSCI)와 Bioresource Technology Report(SCI)에서 Second Review 중임. 이 외에 4개의 논문을 SSCI 저널에 제출할 예정임.

(교육역량) 하윤희 단장은 본 대학원 필수 이수과목인 “연구방법론”, “윤강,” “에너지와 환경정책” 등을 담당해옴. 또한 “Sustainable Energy Policy and Planning,” “Smart City and Energy Transition” 등의 영강을 개설해옴. 또한 산업사회의 변화에 대응하고 현장 적합성 교육에 대한 학생들의 니즈에 반응하기 위해 “기후변화와 R&D,” “ESG 정책과 실무의 이해” 등의 과목을 개설함. 단장이 확보하고 있는 광범위한 국내외 학자, 전문가, 정책결정자 풀을 십분 활용하여 다양한 세미나, 특강 등을 개최하고 있음. 또한 현재 17명의 국내외 풀타임, 파트타임 학생을 지도하고 있으며, 이들 중 상당수는 SCI(E) 또는 SSCI 저널 게재를 목표로 연구를 진행하고 있음. 두 명의 학생은 각각 SSCI와 SCI 저널에 논문을 제출하여 심사를 받고 있으며, 3명의 학생은 SSCI 저널에 논문 제출을 앞두고 있음.

(행정역량) 하윤희 단장은 본 대학원 부임 전 정책현장에서 다양한 정책 현안을 다루어옴. 특히 소속 기관의 정책부서 최고위 부서장으로 해당 기관의 정책 전반을 조율하고 구성원들을 지휘한 경력을 보유하고 있음. 이러한 경험을 바탕으로 본 연구단의 일원들이 연구단의 목표 수행에 적극적으로 참여할 수 있는 거버넌스를 도입하였음. 또한 연구단 소속 학생들이 연구에 더욱 몰두할 수 있는 환경을 마련하기 위해 다양한 프로그램과 인센티브를 도입하였음. 현재 단장이 보유한 국제적 네트워크를 활용하여 본 연구단의 연구역량 강화를 위한 국제공동연구 및 각종 국제화 사업을 적극 추진하고 있음.

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
에너지환경정책기술 학과	2021년 2학기	7	4	11	7	1	8
	2022년 1학기	7	1	8	7	1	8

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

연번	성명	변동 학기	전출/전입	변동 사유	비고
1	박주영	2022년 1학기	전출	퇴직	
2	하윤희	2022년 1학기	전입	신규 임용	
3	송광호	2022년 1학기	전출	겸임발령종료	
4	이재승	2022년 1학기	전출	겸임발령종료	
5	정서용	2022년 1학기	전출	겸임발령종료	

<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 (%)
에너지환경 정책기술 학과	2021년 2학기	28	13	46.4	26	11	42.3	6	6	100.0	60	30	50.0
	2022년 1학기	28	12	42.9	26	16	61.5	7	7	100.0	61	35	57.4
참여교수 대 참여학생 비율					21년 2학기 1 : 3.75 / 22년 1학기 1 : 4.38								

☐ 교원 현황

- 2022년 9월 말 현재 본 교육연구단의 교원 수 현황은 계획에서 제시한 것과 동일함. 다만, 2022년 3월 1일 하윤희 교수가 전임교수로 신규 임용되고 박주영 교수가 이직, 박호정 교수가 탈퇴하고 이용균 교수가 참여하는 내용 변경이 있었음. 또한 BK21 신진연구인력(연구교수)가 기존 2인에서 3인으로 증원됨 (2022년 8월 말 기준).

- 대학원장 1인
- 교육연구단 소속 전임교수 8인(대학원 소속 전임교수 1인, 겸임인 타과 전임교수 1인)
- 학연교수 7인
- 겸임교수 8인: 고려대학교 3인, 한국과학기술연구원 4인, 외부산업체 1인
- 객원교수 15인
- 석좌교수 2인
- 특임교수 1인
- BK21 신진연구인력 3인

3. 교육연구단의 비전 및 목표 달성정도

본 교육연구단은 에너지 및 자원의 지속가능한 공급과 소비를 실현하는 것을 대상 산업·사회 과제로 정하고, 이 분야에 특화된 융합모델을 통해 사회문제 해결과 지속가능발전에 기여하고자 함. 국내 최초의 융합 교육연구기관에서 글로벌 선도기관으로 도약하기 위해 교육, 연구, 산학협력, 국제화 및 인프라 부문에서 11개 핵심전략을 설정하고 이행함 (표 I-4).

〈표 I-4〉 본 교육연구단의 비전 및 목표 대비 실적 요약

부문	비전 및 목표	실적
교육	사회문제해결형 융합리더 교육체계 구축 및 강화	• 데이터 기반 융복합 과목 5과목 개설, 프로젝트 기반 문제해결형 교과목 4과목 개설 • 1:1 맞춤형 강의 시범 운영 • 미국의 비영리 기구인 FREE재단 및 John Byrne(노벨상 수상자) 교수와 협력하여 2021년 2학기부터 ‘글로벌에너지전문가세미나’ 과목을 개설. 2022년 2학기부터 ‘Smart City and Energy Transition-Global Energy Expert Seminar’ 과목을 개설 • 에너지 전기화학, 표면과학 등을 시작으로 매년 2과목 이상의 Flipped class 운영 • 인공지능/adaptive learning을 이용한 맞춤형 교육 진행 • 교육 커리큘럼 개선을 위한 주기적 평가 및 피드백 체계를 구축하여 학기 중 학생만족도 조사 실시 및 개선사항 반영 • BK21 에너지환경정책기술학교육연구단 Grand challenge 개최(2021년 8월 1회 대회, 2022년 8월 2회 대회) • 융합 우수논문 시상제도를 확대하여 시상 대상자를 Student of the Year로 선정하고 매년 5명 내외의 학생에게 상장 및 학술장려금 40만원을 지급 (기존 30만원 지급) • 차세대 커리어 관리를 위해 진로탐색세미나 2회 개최 및 비교과 프로그램을 확대
	다양성을 고려한 학사시스템 유연 운영	• KU-KIST 업무협약을 통해 총 7명의 학연 교수를 임명하고, 학제 간 연계를 통해 다양한 융합 접근법을 개발해 나갈 수 있도록 고려대학교와 KIST 교원을 공동지도교수로 활용함. • 2022년 상반기에 “기후기술인재 양성센터 사업” 과 “탄소중립 특성화 대학원 사업” 을 수주함에 따라 2022년 2학기부터 관련하여 5개의 다양한 교과목이 신규 개설됨(ESG 정책과 관련 실무의 이해; 기후변화와 R&D; 탄소중립개론; 저탄소에너지기술(영강), Smart City and Energy Transition(영강)) • 본 교육연구단 산하에 Advisory Committee, Alumni Committee, 연구단 운영위원회를 포함 4개 소위원회를 운영
	융합 잠재력이 우수한 학생 유치 및 양성	• 융합에너지공학과(학부과정)가 신설됨에 따라 우수 학생이 대학원으로 유입될 수 있는 기반 마련 • 우수 학생 유치를 위해 온라인, 학회부스, 에너지관련 기업 및 공공기관에 홍보자료 배포 • 대사관과 본 대학원의 신흥국 공무원 프로그램(GETPPP) 동문을 활용한 홍보 • 교수들의 신흥국 연구 출장 시 관련 기관과의 공식 미팅을 통해 해당 프로그램을 소개하고 적극적 학생 유치 활동 전개 • 신흥국 우수 학생 유치를 위해 2020년 2학기로 종료된 기존 신흥국 에너지공무원 인력양성 프로그램의 3단계 사업을 2021년 다시 수주함으로써 기존 졸업생들과의 유기적인 관계를 유지함과 동시에 추가적인 우수 인재풀을 확보하는 데 성공
연구	에너지-자원 분야 융복합 연구모델 개발 및 데이터베이스 구축	• 공동연구를 기획하고 융합연구 주제를 발굴하기 위해 기술, 데이터, 정책전공 교원이 참여하는 정기적 연구회인 융합연구 학생 세미나를 꾸준히 개최 • 특화 연구주제 발굴을 위한 현장실무급 전문가 세미나 및 윤강 세미나 운영 • 2022년에만 현장실무급 전문가 세미나 6회 운영, 윤강 세미나 11회 운영 • 코로나 상황으로 주춤했던 해외 연구 및 정책 기관과 국제협력·교류를 서서히 확대
	융합연구협력 인프라 강화	• 학생 연구의 지속적 공유, 비판적 논의, 학제 간 의사소통을 위한 기술&정책 융합세미나를 매 학기 말 개최 • 융합적 접근 방식을 통해 난제 해결을 위한 대안을 제시하는 “그랜드챌린지” 대회를 2021년부터 매년 개최
산학협력	산학연계 문제해결형 교육 및 연구프로그램 강화	• 계약학과를 통해 현장 맞춤형 인재 배출. 계약학과를 위한 교과목으로 태양전지(모듈)실험 및 실습, 태양광발전산학공동세미나 과목 신규 개설 • 현장과 학생 니즈를 반영한 교과목 확대를 위해 에너지시스템 에너지니어링과 정책

		및 ESG 경영전략과 커뮤니케이션 과목 신설, 태양전지 과목 개편 • 2021년 2학기부터 2022년 1학기까지 총 14건의 현장실습을 실시 • 2020년부터 2022년 8월말 현재까지 총 36회의 전문가 초청세미나를 개최, 2022년에는 총 6회의 전문가 초청 세미나를 개최 • 산업난제 해결을 위한 알키미스트 연구단을 운영하여 슈퍼 태양전지 개발(이해석 교수 연구팀)과 투명한 태양전지 개발(전용석 교수 연구팀) 진행 중. 현재 슈퍼 태양전지의 bottom 셀을 2022년 산업화하기 위해 파일롯 라인을 설치하여 검증 중. 투명태양전지 개발은 메카로에너지와 기술협력을 진행하였으며 기업체들과 공동개발을 진행 중 • 우종률 교수 연구팀은 탄소중립 이행을 위한 글로벌 산업부문 모형을 개발 중
	신흥국 시장을 목표로 하는 에너지-자원 사업화 지원 산학협력 플랫폼 구축	• 신흥국 에너지공무원 인력양성프로그램(GETPPP) 졸업생들을 기반으로 하윤희 교수 연구팀은 “국제에너지전문가네트워크(IEEN)” 구축 추진. 2022년 2학기에 시작하는 석박사과정에 총 9명 신입생 유치 • 하윤희 교수 연구팀은 2021년과 2022년, “우즈베키스탄 태양에너지 산업 활성화를 위한 정책개선 및 전력에너지저장시스템 활용계획 수립” 자문 수행 • 하윤희 교수 연구팀은 2022년 “콜롬비아 자원순환경제를 위한 정책 개발” 자문 수행
국제화	글로벌 협력 네트워크를 통한 공동연구 및 연구자교류 확대	• 코로나19 상황으로 국제 협력 네트워크 구축에 한계. 그러나 제한된 여건 속에서 공동연구 및 해외 연구자 교류를 서서히 확대하고 있음.
	내외국인 학생 공동체를 통한 융합 교육연구 효과성 제고	• 세계스마트시티 기구인 WeGo와의 교육협력을 바탕으로 대학원의 정규 교과목인 “Smart City and Energy Transition” 을 신설. 수강생 30명 중 73%인 22명이 외국인임. 또한 WeGO Champions 프로그램에 참여하는 WeGO 멤버 도시의 공무원, 대학원생, 대학생 등 17명이 참여 • 본 대학원에는 다양한 영강 과목이 개설되어 있으며 이 과목들을 내외국인 학생들이 함께 수강하고 있음. 특히 본 대학원은 한 해 9~12명의 GETPPP 학생과 본 대학원 소속 외국인 학생이 외국인 학생 그룹을 형성해 외국인 학생 비율이 높음. 내외국인 학생들은 강의에서 팀을 구성하거나 공동연구, 멘토-멘티십을 통해 관계성 높은 공동체를 형성하고 있음.
인프라	교육 및 연구몰입도 제고를 위한 학사 지원시스템 강화	• 에너지환경정책기술학과 풀타임 학생 중 본 교육연구단 참여학생들은 기존 월 90~120만원에서 월 180(석사)-250(박사)만원으로 재정지원이 확대되었음. • 공동연구실과 실험실을 운영하여 학생들의 개인 교육 및 연구공간을 제공하고 있음. • 우수논문 장려금은 제안서 당시 30만원에서 현행 40만원으로 인상 • 학생들의 해외 우수 기관에서의 인턴십 및 연구 기회 확대를 위해 지속적으로 MOU를 확장하고 있음(2022년 8월 미국의 비영리재단 GABI와 MOU 체결). 박사과정생 1명은 현재 National University of Singapore의 Energy Studies Institute에서 인턴 연구원직을 수행하고 있음.
	연구 안전 확보를 위한 매뉴얼 개발 및 안전관리 우수연구실 인증 획득	• 안전관리 우수연구실 인증 획득을 목표로 연구실 안전 매뉴얼 개발 중

4. 신청서에 작성된 저명대학 벤치마킹 대상과의 비교 분석

- **(벤치마킹을 통한 학사관리 운영)** 계획에서 제시된 벤치마킹의 13대 세부전략 방향을 순차적으로 추진하고 있음. AI adaptive learning model 학습은 기술전공 과목과 데이터 및 통계 과목 등에서 적극적으로 도입하고 있으며, 데이터과학 및 인공지능 관련 융합과목 신설, 졸업생 멘토 및 진로상담, 캡스톤 과목 운영, 비교과 프로그램 강화 등 9대 전략은 현재 실행되고 있음.
 - 한화솔루션 임직원 대상 재교육 트랙, 계약학과 확대 운용 등은 현재 대학원의 정원이 지속 확대되고 있는 상황(2019년 25명→2023년 65명)에 우선적으로 대응한 후 순차적으로 추진할 예정임. 다만, 국내 에너지 관련 공, 사기업들과 계약학과 논의는 구체적으로 논의되고 있는 단계임.
- **(역량강화를 위한 비교과 프로그램과 커리어관리 프로그램 확대)**
 - 논문작성과 발표에 요구되는 테크닉과 도구에 관련된 다양한 비교과 프로그램을 본 교육연구단

독자적으로 마련하거나, 타 연구단과 대학 차원에서 개설된 프로그램에 학생들이 참여토록 함. 예를 들어 ‘STATA 통계 프로그램 특강’을 통하여 학생들은 데이터 클리닝 능력을 향상하였으며, “국제학술지 영어논문 교정 지원 프로그램”을 통하여 학생들의 영어 논문 작성능력을 향상하게 됨. Nature Conference 참여를 통해 환경문제에 더욱 관심을 가지게 하고 전문성을 배양시킴. 또한 Nature Master Class에 참여한 학생들은 Nature 본지 또는 자매지의 에디터들로부터 직접 초록에 대한 리뷰를 받거나 게재율을 제고하기 위한 기본적 사항에 대한 강의를 수강함. 이외에도 대학원 심리 건강을 위해 다양한 정신건강 증진 프로그램을 운영함(표 I-5).

〈표 I-5〉 비교과 프로그램 목록 및 참여학생

학생명	과정	비교과 프로그램	교육 일자
고예늬 외 26인	석박사	상시 온라인 연구윤리교육	2021년 10월 27일-2022년 2월 8일(120분)
권성연 외 12인	석박사	Nature Conferences- Waste Management and Valorisation for a Sustainable Future	2021년 10월 26일-10월 28일
홍이슬, 한지윤	석박사	Nature Master Class	2021년 12월 1일-12월 3일
김하영, 정종현, 문민예	석박사		2022년 8월 30일-9월 1일
엄희성	석사	대학원생을 위한 야간 심리검사 및 상담 프로그램	2021년 9월 1일-2022년 2월 28일(회당 60분)
김다슬	박사		2022년 5월 1일-2022년 8월 31일
손민희, 이현아, 채경진, 김다슬, 유여진, 박시은, 이현철, 송가영	석박사	대학원생을 위한 AI 기반 긍정적 정신건강 증진 프로그램	2021년 9월 1일-2022년 2월 28일 2022년 5월 1일-2022년 8월 31일
김승훈, 문홍은, 장용철, 정무영, 이찬용	석박사	4단계 BK21사업 학문후속세대 국제학술지 영어논문 교정 지원 프로그램	2021년 10월-2022년 6월
문홍은, 권성연, 이승록, 홍이슬, 장성은, 이승후	석박사	2021학년도 동계방학 STATA 통계 프로그램 특강 데이터 클리닝 능력 향상	2022년 1월 11일 ~ 1월 25일 (매회 2시간, 5회차)
장성은, 홍이슬	박사	Regionalised Life Cycle Assessment with the Brightway2 Software 특강	2022년 2월 21일-22일
최지원	석사	대학원생 포래뮈터링 학습공동체 KUPT+	2022년 4월 18일-7월10일(20시간)
손민희, 송가영, 유여진	석박사	제1회 대학원생 연구력강화 워크숍: 인문사회계열 대학원생을 위한 학술논문 작성법	2022년 4월20일(2시간)
최지원	석사	T인증 특강: 2022-1 신입교원에게 듣는다-교수 임용 준비하기 (인문사회계열)	2022년 5월 18일(1시간)
손민희	박사	제2회 대학원생 연구력강화 워크숍: 인문사회계열 대학원생을 위한 국제학술지 논문 투고 전략	2022년 6월 15일(2.5시간)
장용철	박사	논문 Clinic	2022년 7월 2일(90분)
유여진, 정현주	석사	Career Insight 이공계열	2022년 7월 4일 17시-19시
송가영	박사	G-TLS(S인증) 프로그램 워크숍_엑셀을 활용한 데이터 분석(1일차)	2022년 7월 20일(회당 180분)
이현아	박사	사회공헌단 및 운영위원회 운영(사회공헌단), SDGs 연계 사회공헌 연구개발 사업	2022년 4월 6일-2023년 1월 2일
양소영, 박시은, 정현주, 문홍은, 엄희성, 한상준	석박사	자기이해워크숍 이공계열(특강)	2022년 8월 1일, 8월 2일, 8월 4일, 8월 5일 17시-19시
정현주, 양소영, 엄희성, 박시은, 문홍은, 강가경, 한상준	석박사	자기이해워크숍 이공계열(테스트 및 워크숍)	2022년 8월 8일 14시-16시, 8월 9일 10시-12시, 8월 10일 10-12시, 14시-16시, 8월 11일 14시-16시, 8월12일 14시-16시

- 본 교육연구단에서는 각 분야별 전문가들을 초청하여 재학생들에게 진로탐색의 기회를 제공하고 있음. 2022년 7월 25일에는 한국지역난방공사의 김동우 차장과 함께 진로 설명회 및 지역난방 현장실습 프로그램을 개최. 2022년 8월 10일에는 현대경제연구원의 류하늬 박사, 한국연구재단에너지환경단의 조준식 박사, (주)Sk Innovation의 김현한 박사를 초청하여 전문가 세미나를 개최한 동시에 진로탐색 관련 시간을 가짐. 이외에도 졸업생을 활용한 진로상담 연계 멘토제, 경력개발센터 취업지원 프로그램 및 크림슨센터의 창업 지원 프로그램 등을 통해 차세대 커리어 관리를 지원하고 있음. 2022년 가을에는 Home Coming Day 행사를 추진하여 선배와의 1:1 멘토링 행사를 진행할 계획임.
- **(기업협력 확대)** 본 대학원은 2020년 3월부터 글로벌 태양광 업체인 한화솔루션과 공동 설립한 취업 연계형 계약학과인 에너지시스템공학과를 운영하고 있음. 본 학과에서는 태양광발전에 대한 다양한 학문적 지식(소재, 소자, 기계, IT 및 시스템 응용 등)을 배양함으로써 시대가 요구하는 창의적인 태양광 분야 R&D 전문인력을 양성하고 있음.
- (임직원 재교육 과정) 현재 한화솔루션 임직원 대상 재교육 트랙 설립을 위해 협의를 진행하고 있음. 그러나 과정 설립을 위해서는 교육부 규정에 의해 별도의 정규 교과과정이 필요해 시간이 소요되고 있음.
- **(온라인교육 확대)** 학생의 교육권을 확대하기 위해 야간수업 확대(2022년 1, 2학기에 개설된 총 88개 과목 중 35개 과목을 야간(30개)과 토요일(5개)에 개설, 해외석학 온라인 강의와 Flipped Class 추진

1. 교육역량 대표 우수성과

- 2021학년도 4단계 BK21 사업 참여 전문대학원 대학원 만족도 조사결과 전 분야에 걸쳐 최고 수준의 만족도를 보임 (2021학년도 4단계 BK21 사업 참여 전문대학원 대학원 만족도 조사결과 별첨)

구 분	평 균	교육환경				교육과정			대학원 생활지원		
		대학 이미지	학사제도 /행정 서비스	학교 시설	수업 인프라	전공교육 (교육 과정)	전공교육 (교수 학습)	일반공 통교육 과정	학생 지원 서비스	진로/취업 지원	연구활동 지원
A 대학원	3.59	3.73	3.52	3.86	3.83	3.61	3.92	3.71	3.34	3.00	3.34
B 대학원	3.80	4.02	3.53	3.76	4.11	3.76	4.14	3.84	3.59	3.30	3.98
C 대학원	3.78	4.04	3.49	3.79	4.05	3.75	4.04	3.87	3.45	3.35	3.94
본 대학원	3.99	4.15	3.86	4.04	4.19	4.03	4.29	3.98	3.77	3.67	3.96

- 참여대학원생 대표연구실적: 국제저명학술지에 제1저자로 논문을 게재

참여대학원생명	학술지 구분	IF	대표연구실적
김승규(제1저자)	SCI(E)	9.769	Hydrolysis-Regulated Chemical Bath Deposition of Tin-Oxide-Based Electron Transport Layers for efficient Perovskite Solar cells with a Reduced Potential Loss
엄희성(제1저자)	SCI(E)	4.501	Sustainable Electrochemical NO Capture and Storage System Based on the Reversible Fe ²⁺ /Fe ³⁺ -EDTA Redox Reaction
김태민(제1저자)	SCI(E)	10.10	Alleviating Interfacial Recombination of heterojunction Electron Transport Layer via Oxygen Vacancy Engineering for Efficient Perovskite Solar Cells over 23%
우종인(제1저자)	SCI(E)	13.084	Collaborative Electrochemical Oxidation of the Alcohol and Aldehyde Groups of 5-Hydroxymethylfurfural by NiOOH and Cu(OH) ₂ for Superior 2,5-Furandicarboxylic Acid Production
고예녹(제1저자)	SCI(E)	7.077	Unraveling the Origin of Dark Current in Organic Bulk Hetero-Junction Photodiodes for Achieving a High Near-Infrared Detectivity

- 참여교수 교육대표실적: 융합형 인재 양성을 위한 강의 신설

과목명	담당교수	특장점
에너지시스템 엔지니어링과 정책	전용석 교수	전 세계적으로 기후변화에 따른 재생에너지에 대한 관심이 높아짐에 따라, 관련된 소재 특히 수소에 대한 재료적 관점에서 접근함. 또한, 전기화학적 응용을 첨가하여 공학 기본 개념과 응용 개념들을 습득하고, 각 에너지에 적용되는 기술들에 대한 기본적인 이론과 관련된 지식을 습득함. 에너지의 공급체계 및 기술체계의 분석, 평가 및 예측에 필요한 시스템적 분석 기법을 포함함.
태양전지(모듈) 실험 및 실습	이해석 교수	본 교과목은 산업체 니즈를 반영하여 이론과 실험, 실습 그리고 산업체 현장 인턴활동이 포함된 산학협력 맞춤형 교과목임. 특히 본 강의는 고려대 에너지환경대학원과 글로벌 태양광 기업인 (주)한화큐셀이 산업체 맞춤형 융합 인재양성을 위해 만든 계약학과인 “에너지시스템공학과” 신설 과목임.
기후변화와 R&D	하윤희, 이형석 교수	기후변화 기술을 전공하는 대학원생들이 기후변화 난제의 복잡성과 다학제적 특성을 이해하고 기술 및 정책을 융합하여 사고할 수 있는 능력을 배양하고 기후변화 정책 및 기술의 변화 속에서 유망한 R&D 과제를 식별·기획하고 관리할 수 있는 능력을 배양

2. 교육과정 구성 및 운영

가. 교육과정 구성 및 운영 현황과 계획

▣ 교육과정

- 교육과정은 계획과 동일하게 유지하고 있음. 다만, 본 사업단의 모체인 고려대학교 에너지환경대학원(이하 대학원)이 기후변화 대응 교육의 강화를 추구하고 있어 2022년 2학기부터 “탄소중립 기후 기술 융합전공”이 신설되고 관련 교과목이 추가됨.

▣ 학사관리의 장단점

- (강점의 강화) 본 교육연구단의 모체인 대학원이 2022년 상반기에 “기후기술인재 양성센터 사업”과 “탄소중립 특성화 대학원 사업”을 수주함에 따라 2022년 2학기부터 관련하여 다양한 교과목이 신규 개설됨으로써 학생들의 교육 선택권은 더욱 확대됨(표 2-1). 또한 신규 개설되는 과목에 글로벌 최고 수준의 학자 그룹인 대학원 소속의 석좌 및 특임 교수진이 강의에 참여하게 되어 강의의 질이 한 단계 격상될 것으로 기대

<표 2-1> 2022학년도 2학기 개설 교과목 목록

No	전공	학수번호	교과목명	담당교수	학점
1	에너지환경정책	GRS603	에너지환경정책	우종률 외	3
2	에너지환경정책	GRS682	연구방법론Ⅱ(영강)	우종률	3
3	에너지환경정책	GRS689	기술혁신전략세미나(영강)	우종률	3
4	에너지환경정책	GRS619	에너지경제성분석론	김경남	3
5	에너지환경정책	GRS644	환경경영론	김경남	3
6	에너지환경정책 탄소중립기후기술	GRS721	ESG 정책과 관련 실무의 이해(신설)	하윤희	3
7	에너지환경정책 탄소중립기후기술	GRS722	기후변화와 R&D(신설)	하윤희 외	3
8	신재생에너지	GRS800	특수연구방법론(고체전기화학)	손지원	3
9	신재생에너지	GRS688	고체전기화학소재/소자와박막응용심화	손지원	3
10	신재생에너지	GRS674	신재생에너지연구동향(영강)	전용석	3
11	신재생에너지	GRS656	기기분석법	강윤목	3
12	신재생에너지	GRS687	태양전지	강윤목	3
13	신재생에너지	GRS664	태양광발전시스템개론(영강)	이해석	3
14	신재생에너지	GRS691	에너지소재의 용액공정원론	손해정	3
15	신재생에너지	GRS697	화학공정 설계 및 최적화	이웅	3
16	첨단환경과학	GRS698	환경정책의 과학기술적 이해	이승화	3
17	첨단환경과학	GRS601	환경공학개론	이승화 외	3
18	첨단환경과학	GRS640	환경에너지 연구수행전략	정중수	3
19	탄소중립기후기술 (융합)	GRS725	탄소중립개론(신설)	진병복 외	3
20	GETPPP	GRS720	저탄소에너지기술(영강, 신설)	Henkens 외	3
21	에너지환경정책 GETPPP	GRS724	Smart City and Energy Transition -Energy Expert Seminar-(영강, 신설)	하윤희 외	3
22	에너지시스템공학과	GRS004	에너지시스템 엔지니어링과 정책(영강)	전용석	3
23	에너지시스템공학과	GRS002	태양전지(모듈)실험및실습	이해석	3

- (약점의 개선) 우수인력 유치 기반이 취약하다는 본 대학원의 약점을 개선하기 위해 다양한 노력을 전개하고 있음.
- (융합잠재력이 우수한 학생 유치 기반 마련) 융합에너지공학과 학부과정이 신설되어 2021년 3월부터 매년 총 30명의 신입생이 입학함. 앞으로 학부과정 학생들에게 연구참여 기회를 적극적으로 제공하고, 연구능력이 우수한 학생들이 석박사과정으로 연계될 수 있도록 프로그램 차원의 지원을 계획

하고 있음. 세 명의 학생이 2021년 2학기부터 전용석 교수 실험실에서 “알키미스트” 과제 연구에 참여하고 있으며, 1명의 학생이 하윤희 교수의 “(2021/22 EIPP 우즈베키스탄) 태양에너지 산업 활성화를 위한 정책 개선 및 전력 안정화를 위한 에너지저장시스템(ESS) 활용방안 수립” 과제에 연구보조원으로 참여하고 있음.

- **(온라인 홍보)** 무료 온라인 대학원 입시정보사이트인 ‘전국대학원 (www.gradmap.co.kr)’ , 대학원 입시정보 인터넷 카페인 ‘대학원 입학준비하는 사람들의 모임(cafe.naver.com/daehakwon)’ , 석박사급 연구인력 채용정보 사이트인 ‘하이프레인넷(www.hibrain.net)’ 에 대학원 프로그램 소개 및 신입생 모집요강을 게시
- **(학회 홍보)** 2020년 제주에서 개최된 국제태양광학회 “The 30th International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-30) & Global Photovoltaic Conference 2020(GPVC 2020)” 와 2021년 광주에서 개최된 국제태양광학회 “Global Photovoltaic Conference 2021” 를 공동 주최하고 대학원 홍보부스를 설치하여 학회 참석자들에게 대학원의 비전과 목표 등을 적극적으로 홍보함.
- **(에너지 관련 기업 및 공공기관 대학원 홍보 자료 배포)** 관련 정부 산하기관, 연구원, 공사기업 등에 신입생 모집 홍보자료 각 학기별 1회씩 총 2회 배포
- **(대사관, 신흥국 에너지공무원 네트워크 이용 홍보)** 대사관과 본 대학원의 신흥국 공무원 프로그램 (GETPPP) 동문을 활용한 홍보. 교수들의 신흥국 연구 출장 시 관련 기관과의 공식 미팅을 통해 대학원과 해당 프로그램을 소개하고 적극적 학생 유치 활동 전개
- **(학과 영문홈페이지 개편 및 브로셔 제작 진행 중)** 국제적인 인재들을 유치하기 위해 학과 영문홈페이지를 개편하고 있음.

벤치마킹을 통한 학사관리 운영 계획

- **(벤치마킹을 통한 학사관리 운영)** 계획에서 제시된 벤치마킹의 13대 세부전략 방향을 순차적으로 추진하고 있음. AI adaptive learning model 학습은 기술전공 과목과 데이터 및 통계 과목 등에서 적극적으로 도입하고 있으며, 데이터과학 및 인공지능 관련 융합과목 신설, 졸업생 멘토 및 진로상담, 캡스톤 과목 운영, 비교과 프로그램 강화 등 9대 전략은 현재 실행되고 있음.

- 한화솔루션 임직원 대상 재교육 트랙, 계약학과 확대 운용 등은 현재 대학원의 정원이 지속 확대되고 있는 상황(2019년 25명→2023년 65명)에 우선적으로 대응한 후 순차적으로 추진할 예정임. 다만, 국내 에너지 관련 공, 사기업들과 계약학과 논의는 구체적으로 논의되고 있는 단계임.

(역량강화를 위한 비교과 프로그램과 커리어관리 프로그램 확대)

- 논문작성과 발표에 요구되는 테크닉과 도구에 관련된 다양한 비교과 프로그램을 본 교육연구단 독자적으로 마련하거나, 타 연구단과 대학 차원에서 개설된 프로그램에 학생들이 참여토록 함. 예를 들어 ‘STATA 통계 프로그램 특강’ 을 통하여 학생들은 데이터 클리닝 능력을 향상하였으며, “국제학술지 영어논문 교정 지원 프로그램” 을 통하여 학생들의 영어 논문 작성능력을 향상하게 됨. Nature Conference 참여를 통해 환경문제에 더욱 관심을 가지게 하고 전문성을 배양시킴. 또한 Nature Master Class에 참여한 학생들은 Nature 본지 또는 자매지의 에디터들로부터 직접 초록에 대한 리뷰를 받거나 게재율을 제고하기 위한 기본적 사항에 대한 강의를 수강함. 이외에도 대학원 심리 건강을 위해 다양한 정신건강 증진 프로그램을 운영함(표 1-5 참조).
- 본 교육연구단에서는 각 분야별 전문가들을 초청하여 재학생들에게 진로탐색의 기회를 제공하고 있음. 2022년 7월 25일에는 한국지역난방공사의 김동우 차장과 함께 진로 설명회 지역난방 현장실습 프로그램을 개최. 이외에도 졸업생을 활용한 진로상담 연계 멘토제, 경력개발센터 취업 지원 프로그램 및 크립슨센터의 창업 지원 프로그램 등을 통해 차세대 커리어 관리를 지원하고 있음. 2022년 가을에는 Home Coming Day 행사를 추진하여 선배와의 1:1 멘토링 행사를 진행할 계획임.

- **(기업협력 확대)** 본 대학원은 2020년 3월부터 글로벌 태양광 업체인 한화솔루션과 공동 설립한 취업 연계형 계약학과인 에너지시스템공학과를 운영하고 있음. 본 학과에서는 태양광발전에 대한 다양한 학문적 지식(소재, 소자, 기계, IT 및 시스템 응용 등)을 배양함으로써 시대가 요구하는 창의적인 태양광 분야 R&D 전문인력을 양성하고 있음.
- (임직원 재교육 과정) 현재 한화솔루션 임직원 대상 재교육 트랙 설립을 위해 협의를 진행하고 있음. 그러나 과정 설립을 위해서는 교육부 규정에 의해 별도의 정규 교과과정이 필요해 시간이 소요되고 있음.
- **(온라인교육 확대)** 학생의 교육권을 확대하기 위해 야간수업 확대(2022년 1, 2학기에 개설된 총 88개 과목 중 35개 과목을 야간(30개)과 토요일(5개)에 개설, 해외석학 온라인 강의와 Flipped Class 추진

나. 교육과정의 충실성과 지속성

▣ 교과목의 개선

- **(강의개선)** 기존 강의평가와 교과목에 전체에 대한 자체평가 결과를 바탕으로 최근 3년간 지속적으로 등록률이 저조하거나 수강생 만족도가 낮은 과목을 폐강(표 2-2)

〈표 2-2〉 2020학년도부터 2022학년도 1학기까지 폐강과목

No	학년도-학기	이수구분	학수번호	교과목명	학점
1	2020-1	전공선택	GRS683	에너지저장 및 변환을 위한 폴리머막-재료,공정,응용	3
2	2020-2	전공선택	GRS635	수소에너지	3
3	2020-2	전공선택	GRS800	특수연구방법론(고체전기화학)	3
4	2021-1	전공선택	GRS680	기계학습법을 이용한 실험계획법	3
5	2021-2	전공선택	GRS693	캡스톤:미래의 R&D방향	3

- **(강의계획)** 석좌 및 특임 교수 등이 참여하는 자문위원회를 구성하여 전반적인 교과프로그램에 대한 자문을 구하였으며 본 연구단 산하 4개 운영소위원회 중 운영소위와 교육소위에 소속된 학생들이 주축이 되어 신규 교과목에 대한 학생 니즈를 파악하여 2023년도 교과목 개편에 반영할 예정임. 또한 학생들이 교수들에게 전달한 요구사항을 바탕으로 2022년 2학기에 ESG 관련 과목을 신규 개설 하였으며, 글로벌에너지전문가세미나 과목의 진행방식을 개선함.
- **(커리큘럼 관리)** 신흥국 공무원, 외국인 학생, 비전일제 학생 등 다양한 학생 수요에 대응하기 위해 저녁, 토요일 강의 개설, 온라인 시공간 초월 교육 확대, 교내 타 대학원과의 적극적인 과목 교류 등을 추진하였음.

다. 산업·사회 문제 해결을 위한 프로그램

- **(관련 교과목 확대)** 에너지프로젝트관리 등 기존에 개설된 8개 과목 외에 현장과 학생 니즈를 반영하여 관련 교과목을 확대하고 있음. 이에 따라 2021년 1학기에 “에너지시스템 에너지니어링과 정책”, “태양전지(모듈) 실험 및 실습” 과목이, 2022년 2학기에 “ESG 경영전략과 커뮤니케이션” 과목이 신규 개설됨. 2022년 2학기에 “태양전지” 과목의 강의내용이 개편됨.
- **(현장실습)** 2021년 2학기부터 2022년 1학기까지 총 14건의 현장실습을 수행(표 2-3)

〈표 2-3〉 2021년~2022년 8월말 현재 현장실습 수행 현황

일시	행사	내용
2021년 10월 20일(수)~21일(목)	2021 새만금 신재생에너지 국제포럼 참석	• 분과별 포럼: 정책 부문 참석 • 기업전시 홍보: 신재생에너지 관련 기업 핵심 기술 및 제품전시 관람 • 새만금33센터 방문 및 새만금 방조제 규모 및 역할 그리고 건설 역사에 대한 설명 청취
2021년 10월 24일(일)~27(수)	2021학년도 2학기 KU-GETPPP 제1차 워크숍 개최	• 글로벌 정책 교과 구성 및 운영 성과 관련 기업연계 교육 - 수요기업(나눔에너지) 현장 견학 • 6대 권역 중 하나인 제주의 재생에너지 발전 시설(제주 탐라해상풍력발전단지 및 CFI에너지미래관) 견학 • 2050 탄소 제로 세미나 개최, (제주연구원 강영준 박사, 국제전기자동차 엑스포 & 전기자동차세계협의회 이왕건 팀장, 고려대 에너지환경대학원 김정남 교수의 발표를 청취 및 학습
2021년 11월 3일(수)	International Energy Expert Network: 2021 Philippines-Korea Energy Storage System Expert Forum 개최	• 한국과 필리핀의 ESS 정책, 규제 그리고 시장 전망, 한국 ESS 기술 연구개발 현황, 필리핀에서의 재생에너지 및 ESS 투자를 위한 가이드 등 한국과 필리핀 ESS 전문가를 초빙하여 포럼을 개최함. • GETPPP 재학생 및 졸업생 뿐만 아니라 참여·수요기업 관계자 등 약 60명이 참석함.
2021년 11월 10일(수)	International Energy Expert Network: 2021 Indonesia-Vietam-Korea Energy Storage System Forum 개최	• 한국과 베트남 그리고 인도네시아의 ESS 정책, 규제 그리고 시장 전망과 더불어 베트남 소비자의 관점에서 보는 ESS와 ESS를 위한 전기차 배터리 재사용 기술 및 비즈니스모델에 대하여 3국의 전문가 발제가 진행됨. • GETPPP 재학생과 졸업생 뿐만 아니라 참여·수요기업 관계자 등 약 60명이 참석, 깊이 있는 토론이 진행됨.
2021년 11월 16일(화)	2021학년도 2학기 KU-GETPPP 제1차 산학협력포럼 및 Alumni Meeting 개최	• GETPPP 권역별 기업 네트워킹/세미나 개최 실적 및 추진 계획 공유 • GETPPP Alumni meeting - 수요기업 및 참여기업 그리고 재학생과 졸업생 간의 네트워크 형성
2021년 11월 25일(목)	SNU IEPP-KU GETPPP Joint Seminar 개최	• 한국과 인도네시아 에너지 전문가 네트워크 확장 • 한국-인도네시아 에너지부문 협력 내용 설명 및 사례 청취 • 토론 및 네트워킹: 한국전력공사(김학재 실장, 김순근 차장), 서울대 IEPP와 고려대 GETPPP 재학생 및 인도네시아 출신 졸업생
2021년 12월 7일(화)	아태지역의 미래를 위한 한미관계의 방향 - 파이프라이즈를 통해 본 한미동맹의 과제와 미래 세미나 개최	• 아시아 태평양 지역에서 발생하는 주요 외교 안보적 이슈에 결부된 지정학적 관점과 그 중요성에 대한 인식 제고 • 아시아 태평양 지역 정치, 경제 및 안보 분야의 토론 진행
2021년 12월 22일(수)	한국광해광업공단의 사업지 방문	• 강원도 정선 나전 수질정화시설 견학
2022년 4월 26일(화)	Africa-Korea B3W Net Zero Forum - The Net Zero Strategies and Plans for Cooperation with Africa and Korea for Net Zero	• 국제사회는 기후위기 대응을 위한 탄소중립 전략 로드맵을 수립, 이를 적극 추진하고자 하고 있음. • 이에 맞춰 본 포럼은 한국과 아프리카의 B3W 추진을 위한 전략과 협력 방안을 모색
2022년 5월 3일(화)~6일(금)	2022학년도 1학기 KU-GETPPP 제1차 워크숍 개최	• 제주 현장 견학 - 가시리 국산화 풍력발전단지 및 한국남부발전 견학 • 국제전기자동차 엑스포 컨퍼런스 및 전시회 참관
2022년 7월 26일(화)	한국지역난방공사 통합운영센터 및 판교열병합발전소 견학	• 공사 소개영상 시청, 집단에너지 시설 및 열병합발전 소개 • 판교 열병합발전소 주요시설 견학, 미세조류, CCUS 설명

- **(전문가 초청 세미나)** 2020년부터 2022년 8월말 현재까지 총 36회의 전문가 초청세미나를 개최함. 2022년에는 총 6회의 전문가 초청세미나를 개최함. 에너지 및 환경분야에서 최고 경영자, 글로벌 석학, 사회운동가, 실무급 전문가를 초청하여 관련 정책 및 전략 수립에 대한 실무 정보를 제공하고, 향후 학생들의 진로에 도움을 주는 것을 목표로 함(표 2-4).

〈표 2-4〉 현장실무급 전문가 세미나 현황 (2022년 기준)

일자	초청연사명	소속	발표제목
2022년 3월 14일	장윤석 교수	POSTECH	최근 환경이슈와 대응방안 -미세먼지, 기후변화 중심으로-
2022년 3월 28일	신현우 책임연구원	녹색기술센터	그린뉴딜과 기후기술 정책
2022년 4월 4일	김영선 수석연구원	한국건설기술연구원	기후변화 대응 건설환경 정책 및 기술동향
2022년 5월 2일	김용건 선임연구위원	한국환경연구원	글로벌 탄소시장 동향과 시사점
2022년 8월 9일	정규창 파트장	(주)한화큐셀	글로벌 태양광산업 동향
	홍근기 상무	프런티어에너지솔루션	지역별 태양광산업 해외투자 여건 분석
2022년 8월 10일	류하늬 박사	현대경제연구원	탄소중립과 기업의 대응
	조준식 박사	한국연구재단 에너지환경단	탄소중립을 위한 에너지환경 기술 방향
	김현한 박사	(주)SK Innovation	SK Innovation의 탄소중립 R&D전략

- **(산업체 계약학과)** 본 대학원은 2020년 3월부터 글로벌 태양광 업체인 한화솔루션과 공동 설립한 취업연계형 계약학과인 에너지시스템공학과를 운영하고 있음. 본 학과에서는 태양광발전에 대한 다양한 학문적 지식(소재, 소자, 기계, IT 및 시스템 응용 등)을 배양함으로써 시대가 요구하는 창의적인 태양광 분야 R&D 전문인력을 양성하고 있음.
- (임직원 재교육 과정) 현재 한화솔루션 임직원 대상 재교육 트랙 설립을 위해 협의를 진행하고 있음. 그러나 과정 설립을 위해서는 교육부 규정에 의해 별도의 정규 교과과정이 필요해 시간이 소요되고 있음.
- **(공공부문 고급인력 대상 찾아가는 재교육 프로그램)** 계획에서 제시된 에너지신사업 재교육 프로그램을 신설·운영하는 것은 아직 현실화되지 않았으나, 대학원 학생의 상당수가 분야의 공기업, 연구소, 사기업 고급인력으로 구성되어 있음. 2022년의 경우 입학생 40명 중 28명이 해당 기관들의 인력임. 따라서 대학원의 기존 프로그램에서 에너지신사업 재교육 기능을 이미 수행하고 있음. 현재 에너지 또는 SOC 공·사기업을 대상으로 임직원 재교육을 위한 계약학과 설치를 논의하고 있으며 SKE&S, 한국전력공사, 한국동서발전 등 몇몇 기업에서 관심을 표명하고 있음. 본교 세종캠퍼스 대학원 및 인근 기술연구소와 공동으로 학위과정 등을 개설하는 것은 대학본부와 참여 대학원 간 설립방안에 대한 논의를 진행하고 있음.

라. 문제해결을 위한 지자체/지역사회/국제사회와의 공동 교육프로그램 운영

■ 지자체 및 지역사회와의 공동 교육프로그램 운영

- **(고려대 사회봉사단(KUSSO)과 연계하여 지자체 및 지역사회 교육봉사)** 학기와 방학 중에 국내 중고교에서 탄소중립, 재생에너지 확산, 자원순환 등을 주제로 비교과 활동을 지원하는 것을 추진하고 있음. 본

교육연구단은 이화여고에서 2021년부터 지속적으로 교육봉사를 하고 있으며 향후 본교 소재지인 성북구 관내 중고교로 이 프로그램을 확대해 나갈 것임. 또한 교육부 인가 탈북자 대안 중고등학교인 성남시 소재 하늘꿈학교에서 2022년 2학기부터 교육봉사를 진행하기로 함. 하늘꿈학교에서는 관련 수업과 함께 학교에 설치된 태양광 패널 관리 교육도 진행할 예정임.

- (성동구청 주관 ‘2021년 비대면 건축교실 가가호호’ 강의) 본 강의는 성동구와 지역 내 경동초등학교 등 29개 초등학교 학생 156명을 대상으로 한 프로그램으로 성동구청 유튜브 채널을 활용한 비대면 영상수업으로 진행함. 이 프로그램은 ① “함께 배우는 공간” 주제로 우리 동네 재미있는 공간을 찾고 건축원리를 체험, ② “공간 속 수학찾기, 서울교육대 장혜원 교수” 를 통해 수학적 원리를 스스로 이해하는 활동, ③ “신재생에너지 및 태양광발전 체험, 고려대 전용석 교수, 이해석 교수” 를 통해 신재생에너지에 대해 이해하고 건축과 신재생에너지를 결합해보는 활동으로 구성됨.

주제내용	신재생에너지 및 태양광발전 체험
	- 알키미스트스 발명품 : 전용석 교수 (고려대) - 태양광 키트 조립하기 : 이해석 교수 (고려대)
행사일시	2021년 11월 12일 유튜브 채널
참석인원	경동초등학교 등 29개 초등학교 학생 156명
행사목표	초등학생 대상 신재생에너지 이해 및 태양광 모듈 체험



[그림 2-1] 신재생에너지 및 태양광발전 체험 (2021년 11월 12일)

국제사회와의 공동 교육프로그램 운영 계획

- (세계스마트시티 기구인 WeGO와의 교육협력) WeGO의 “스마트시티 챔피언스 프로그램”은 전 세계 회원 도시의 청년을 대상으로 스마트시티의 미래에 대한 지식 전달과 공감대 구축을 목표로 15주간 진행되는 프로그램임. 2022년 상반기 프로그램에 19개국 100개 학교에서 500명이 넘는 학생들이 본 프로그램에 참가하였음. 본 대학원은 “고려대학교-WeGO 공동 교육협력 MOU”를 바탕으로 대학원의 정규 교과목인 “Smart City and Energy Transition-Energy Expert”을 2022년 2학기에 WeGo 스마트시티 챔피언스 프로그램에 공개하고, 수강생들에게 본 대학원의 강의 수료증을 제공하기로 함. 주차별 강의계획은 아래 표 2-5를 참조

<표 2-5> Smart City and Energy Transition - 강사진 및 강의계획

Dates	Week	Expert	Current position	Careers	Lecture topic
2/9/2022	1	Overview			
9/9/2022	2	Chuseok Holiday			
16/9/2022	3	Alexandre Babak Hedjazi	Director	Global Environment Policy Programme, Institute for Environmental Sciences, University of Geneva	Urban Retrofitting for Greater Resilience: Nature-Based Solutions
23/9/2022	4	Graham Colclough	Partner Program	UrbanDNA Shell	Energy Transition in the New Mobility Paradigm

			Manager		
30/9/2022	5	Imai Jen-La Plante	Principle Data Scientist	Green Climate Fund (GCF)	Big Data and Digital Transformation for Climate Change Action
7/10/2022	6	Ursula Eicker	Canada Excellence Research Chair(CERC)	Smart, Sustainable, and Resilient Cities and Communities at Concordia University	Smart City & Sustainable Development Goals: SDG7 and SDG11
14/10/2022	7	John Byrne	Distinguished Professor (University of Delaware)	President of Foundation for Energy and Environment Editor-in-chief of Wiley Interdisciplinary Review: Energy and Environment	TBD
21/10/2022	8	Jeffrey Ball	Professor (Stanford University)	Scholar-in-Residence, Steyer-Taylor Center for Energy Policy and Finance Environment Editor for Wall Street Journal	TBD
28/10/2022	9	GilJu Moon	Distinguished Professor (Korea University)	President, UST University President, KIST	TBD
4/11/2022	10	TBD	TBD		TBD
11/11/2022	11	Job Taminiau	Senior Research Principal (FREE)	Editor of Wiley Interdisciplinary Review: Energy and Environment	TBD
18/11/2022	12	Clark Miller	Professor (Arizona State University)	Senior Global Futures Scientist, Julie Ann Wrigley Global Futures Laboratory Director, Center for Energy & Society of Arizona State University	TBD
25/11/2022	13	Ho-sun Chae	Officer for the Metaverse Seoul Team	Seoul Metropolitan Government	TBD
2/12/2022	14	Sharachchandra Lele	Senior Researcher (Ashoka Trust)	Distinguished Fellow and Convenor, Centre for Environment & Development, Ashoka Trust for Research in Ecology and the Environment	TBD
9/12/2022	15	Karoline Rogge	Professor (University of Sussex and Fraunhofer Institute Systems and Innovation Research ISI)	Deputy Head of the Competence Center Policy and Society, Fraunhofer Institute Systems and Innovation Research ISI	TBD

● (개도국과의 교육협력)

- (카메룬과의 교육협력) 제안서에 제시되었던 아프리카 카메룬 The National Advanced School of Public Works(현지명: ENSP)와의 에너지·환경 분야 역량 강화 및 기술이전을 위한 협력은 카메룬측 제안자의 사정으로 협력논의가 중단됨.
- (Aruba와의 재생에너지 개발 및 교육 협력) 카리브해 소재 중남미 도서국인 Aruba는 신재생에너지 개발을 열망하고 있고, 한국의 경험을 전수받기를 희망하고 있음. 대학원의 협력기관인 미국의 비영리법인 GABI와 Aruba 재생에너지 개발 자문을 공동 추진하기로 함. 또한 Aruba, Netherland, United Nations이 공동으로 설립하여 운영 중인 COE(Aruba Center of Excellence)의 글로벌 교육프로그램에 참여하여 도서국들(SIDS, Small Island Developing States)의 지속가능발전목표 이행에 있어 에너지 관련 부문에 대한 한국의 경험 및 교육 인프라를 전수하는 것을 논의하고 있음.

마. 융·복합적 연구 및 인력양성에 부합하는 대표적 교육목표에 대한 달성 방안

▣ 사회문제 해결형 융합 리더 교육체계 구축 및 강화

- (데이터 기반 융복합 교과목의 지속적 개발과 융합형 교과목 신설 운영) 에너지 및 환경 관련 기초 학문 지식을 포괄적, 융합적으로 이해하는 데에서 더 나아가 데이터과학이 접목된 보다 혁신적인 교육 커리큘럼을 구성하여 운영
 - (2021년 1학기~ 에너지환경데이터분석론) 에너지 및 환경 관련 데이터 분석을 위해 필수적인 기초 지식인 통계 및 선형대수학을 교육하고 기본적인 머신러닝 기법인 linear regression, decision tree, clustering, linear optimization 등을 소개하며 데이터 분석에 활용할 수 있는 통계 및 데이터 분석 소프트웨어 R을 교육. 온라인 인터랙션 교과서(Zybooks)를 활용하여 수업에 대한 학생들의 이해도를 높이고 다양한 실습을 직접 해볼 수 있도록 2022년 1학기에 개편
 - (2021년 2학기~ 에너지시스템 에너지니어링과 정책) 전기화학적 응용을 첨가하여 공학기본 개념과 응용 개념들을 습득하고 각 에너지에 적용되는 기술들에 대한 기본적인 이론과 관련된 지식을 습득. 에너지의 공급체계 및 기술체계의 분석, 평가 및 예측에 필요한 시스템적 분석 기법 포함
 - (2022년 2학기~ 태양전지) 태양광산업에서 R&D 및 생산 전문가가 강의에 참여하여 글로벌 시장 점유율 1위인 태양전지와 태양광 모듈의 공정, 구동 원리, 신뢰성 분석, 설비 운영, R&D 전략 및 경제성분석 등 태양광산업에서 직접적으로 활용되는 내용으로 전면 개편함.
 - (2022년 2학기~ 저탄소에너지기술) 우리나라와 다른 나라의 에너지 현황과 저탄소로의 전환 필요성을 설명. 수소에너지, 연료전지, 에너지저장, 전기분해 등의 개념을 설명
 - (2022년 이후 중장기적으로 개설을 계획한 “고급 머신러닝 기법” 과목)은 본교 대학원혁신본부에서 4단계 BK21사업의 일환으로 국제처와 함께 개설한 “국제 하계/동계 대학”에서 기 개설하고 있음. 국제 하계/동계 대학은 본교 대학원생에게 해외 우수 대학 교원의 데이터 분석 및 모델링 분야의 강의를 수강할 기회를 제공하고 있음. 본 대학원에서는 학생들에게 해당 과목들을 수강하도록 적극적으로 유도하고 있으며, 수강 시 학점인정 및 대체교과(에너지환경데이터분석론)로 인정해 주고 있음.
- (프로젝트 기반 문제해결형 교과목 개발)
 - (2021년 2학기~ 태양전지(모듈) 실험 및 실습) 상업용 결정질 실리콘 태양전지 및 차세대 페로브스카이트 태양전지에 대한 기초이론 수업과 고려대 보유 R&D 실험장비를 이용한 태양전지 제작 및 분석, 평가를 진행. 또한 이러한 교육 후 현장 인턴실습을 통해 양산공정 기술 및 제품관리 등 현장맞춤형 교육을 진행. 이를 통해 기업이 필요로 하는 융합형 인재양성
 - (2022년 2학기~ ESG경영과 커뮤니케이션 전략) 글로벌 트렌드인 ESG에 대한 개념, 정책 및 현장을 소개하고, 실무와 연계한 다양한 사례조사와 분석을 통해 ESG를 심도 깊게 이해. 수업은

Project-Based Learning 방식으로 매 수업마다 직접 ESG와 관련한 개별 과제를 부여받고 발표를 통해 공유함으로써 ESG에 대한 개념적, 정책적 이해를 심화시키는 동시에 실무적인 감각을 익힐 수 있음.

- (2022년 2학기~ 기후변화와 R&D) 신기후체제, 탄소중립 정책, ESG, 지속가능발전목표 등 기후변화를 둘러싼 국내외 정책 동향을 파악하고 최신 기후변화 기술 동향을 공부하며 기술 및 사회문제를 스스로 발견하고 솔루션을 도출하는데 활용할 수 있는 창의적 문제해결 방법론을 공부하여 유망기술을 식별하고 이를 바탕으로 R&D 과제를 기획하는 과정, 관리할 수 있는 능력을 배양.
- (2022년 2학기~ 탄소중립개론) 탄소중립에 관한 전반적인 지식의 이해를 위해 국내외 탄소중립 정책, 국제적인 논의동향, 탄소경영 및 탄소경제, 온실가스 감축수단과 기술기술의 이해 및 배출량 산정방법등을 다룸. 탄소중립의 개념과 계획수립과 실행과정을 이해하고 온실가스 배출량의 산정 및 감축기술및 제도를 숙지하여 탄소중립 프로젝트의 기획, 실행, 평가능력을 습득.
- **(1:1 맞춤형 강의 시범 운영)** 석사 2학기(박사 2학기) 이후 지도교수/공동지도교수 공동제안 교과목을 통해 프로젝트 진행 상황을 주기적으로 점검하고(비교과 프로그램), 석사 3학기(박사 3~5학기) 정규 맞춤형 교과목(1학점)을 통해 실험과정을 모니터링하고 논문지도까지 이어지게 유도하고 있음.
 - (연구방법론1) 학문적 연구의 전 과정을 학습하게 함으로써, 학생 본인이 독립적으로 논문을 작성할 수 있는 기본적인 능력을 배양. 이를 위해 1:1 또는 2:1 지도를 통해 논문을 구성하는 요소인 문제의 서술, 선행연구, 이론, 방법론, 분석, 결론 및 함의 도출의 의미를 파악하고, 자신의 연구주제에 적용하여 연습함으로써 학기말에 연구제안서를 도출
 - (연구방법론2) 구체화한 연구주제에 따라 자료포락분석, AHP와 같은 의사결정방법론, 계량분석, 전과정평가, 질적연구방법론 등 에너지·자원 및 환경 분야에서 범용적으로 활용되는 방법론의 습득을 통해 실제적인 연구수행이 이루어지도록 함. 해당 과목 이수 후 논문게재까지 연계하도록 함.
- **(Flipped class 등 학습자 주도형 학습 운영)** 에너지 전기화학, 표면과학 등을 시작으로 매년 2과목 이상의 Flipped class 운영. 녹화된 기초 강의를 제공함으로써 강의실 밖에서도 기초 강의 내용 수강이 가능. 학생들의 모의 강의 녹화를 통한 이해도 점검 및 feedback 진행
 - (2021년 2학기: 재료공학) flipped class 운영을 위한 강의 자료 녹화 및 강의계획서 등록 완료
 - (2022년 1학기: 윤강) 에너지환경 분야의 정책, 산업, 기술 전문가를 초청하여 최신의 학문, 연구, 정책, 비즈니스 동향을 강의하고, 관련 주제에 관한 토론을 진행하는 과목임. 강의자료를 한 주 전에 배포하고 모든 학생이 질문을 사전에 제출하도록 하여 강의에 반영하거나 토론 주제로 활용
- **(인공지능/adaptive learning을 이용한 맞춤형 교육)** 수준별 맞춤 강의를 위해 학생별 수준을 AI로 진단 후 맞춤형 학습 진행
 - (2021년 1학기, 2022년 1학기, 에너지환경데이터분석론) 에너지와 환경데이터 분석을 위한 통계프로그래밍 소프트웨어 R의 Adaptive learning을 위해 온라인 디지털 교과서 Zybooks를 주 교재로 활용
- **(커리큘럼에 대한 주기적인 평가를 통한 개선)** 본 연구단의 Advisory Committee와 해당 교수진으로 구성된 TF를 구성하여 주기적 평가 및 개선작업 시행(표 2-6)

〈표 2-6〉 2020~2022 교과목 개편 사례

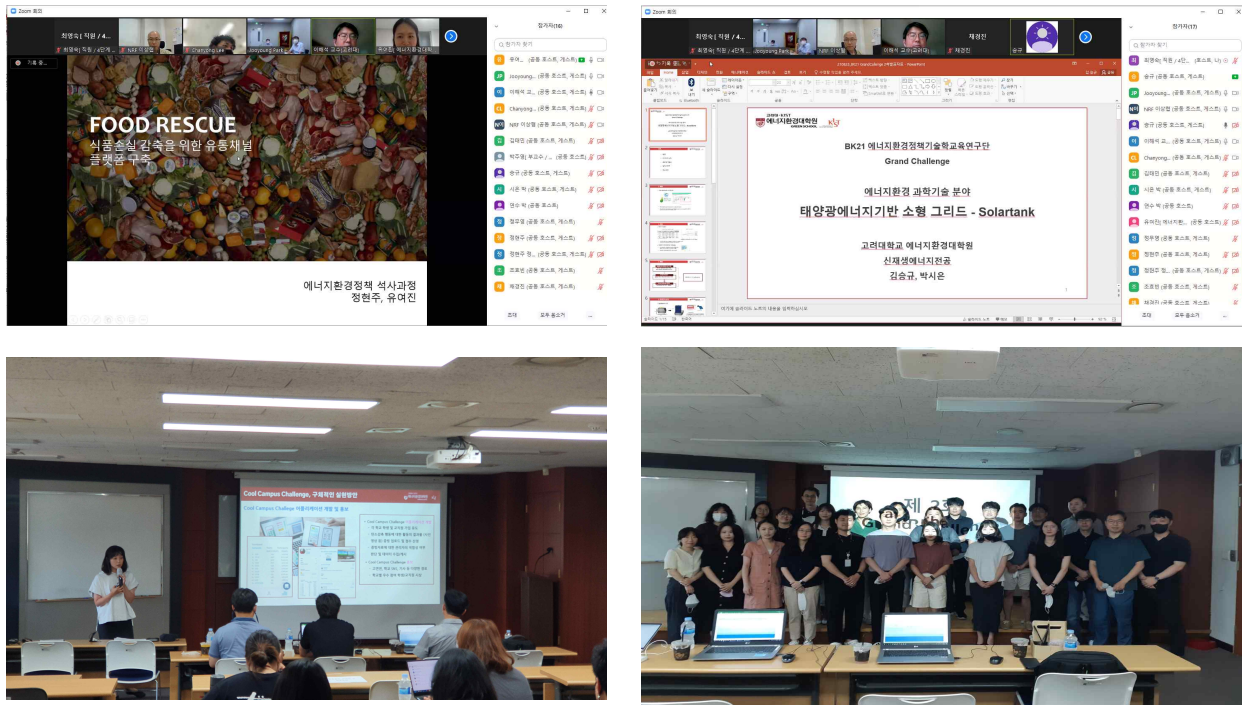
전공	페이지	개편(기존과목)	신규 개설 과목
에너지 시스템 공학과			연구지도
			태양전지(모듈)실험및실습
			에너지시스템엔지니어링과정책
			태양광발전산학공동세미나
			태양광발전시스템운영 및 유지관리개론

에너지환경 정책기술 학과	국제에너지협력	환경공학개론	에너지-인공지능융합개론
	그린에너지정책론	에너지공학개론	정책이론과에너지환경정책사례분석
	녹색성장론연구	에너지와환경정책	캡스톤:미래의R&D방향
	기후변화정책	바이오에너지개론	스마트모빌리티와에너지
	기후변화경제학	환경이슈이해와연구개발	지중환경공학특론
	동북아국제비즈니스 중심도시로서의 송도국제도시구하기	에너지경제성분석론	나노소재및계면공학
	기후변화와도시의대응	기후변화와재난관리정책	글로벌에너지전문가세미나
	북한의도시 및 지역개발	분리막기술과환경규제기준	지중환경유해물질처리공학
	해외에너지자원 개발사례연구	재료공학과환경공학의융합	에너지환경데이터분석론
		환경에너지연구수행전략	산학연계수업I
		토양지하수환경공학	지중환경오염예측및관리
		연구방법론I	특수연구방법론(태양광전환기술)
		연구방법론II	태양전지
		환경경영론	고체전기화학소재/소자와박막응용심화
		촉매표면화학	기술혁신전략세미나
		반도체소자공학	에너지소재의용액공정원론
		기기분석법	화학공정설계및최적화
		태양전지공학개론	환경정책의과학기술적이해
		태양광발전시스템개론	논문작성을위한통계학
		에너지와사회	저탄소에너지기술
		산업생태학	ESG 정책과 관련 실무의 이해
		공학경제학	기후변화와R&D
		지속가능발전세미나	산학연계수업II
		환경토양화학	Smart City and Energy Transition - Energy Expert S
		전주기시물레이션	탄소중립개론
		전기화학응용	특수연구방법론(고체전기화학)
		GETPPP Seminar	첨단재료화학

● BK21 에너지환경정책기술학교육연구단 Grand Challenge 개최

- 인류가 직면한 난제를 과학기술적 측면에서 해결하고자 시행된 미국공학한림원(National Academy of Engineering)의 Grand Challenges Scholars Program을 벤치마킹하여, 기후변화와 글로벌 지속가능 발전을 주제로 한 ‘BK21 에너지환경정책기술학교육연구단 Grand Challenge’를 개최함. 본 대회는 본 교육연구단 소속 학생들이, 1)에너지환경 과학기술, 2)에너지환경 정책, 3)에너지환경 과학기술-정책 융합 등 세 분야의 팀을 구성하여 참가하며, 3인의 외부 전문가의 서류 및 발표평가 심사를 통해 가장 혁신적인 아이디어를 제출한 팀에 시상함.
- (2021년 8월, 1회 대회) 총 12명, 6개 팀이 참가하여, 3개 팀이 최우수상(상금 100만원)을, 3개 팀이 우수상(상금 20만원)을 수상하였음. 1위 팀은 “태양전지를 적용한 애드벌룬”을 제안함.
- (2022년 7월, 2회 대회) 총 21명, 7개 팀이 참가하여, 3개 팀이 Grand prize(상금 100만원)을, 4개 팀이 Challenge prize(상금 20만원)을 수상하였음. 1위 팀은 “공유 전동킥보드 충전소 BESS 모델을 중심으로 한 사용 후 배터리 재사용 활성화 정책”을 제안하였음.
- 1회 대회에 비해 2회 대회는 상당한 발전이 있었음. 참가자가 12명에서 21명으로 대폭 확대되었고, 1팀에 불과했던 정책팀이 3개 팀으로 증가했으며, 전년에 없었던 과학기술-정책 융합팀이 2개 팀 구성되었음. 제안 주제와 내용도 그린 모빌리티 확산 정책, 캠퍼스 탄소중립, 제약 생산 공정에서 발생한 유해 화학물질의 친환경 처리 등 매우 구체적이고 실현 가능한 모습이었음.
- 2회 대회 참가 팀들의 제안은 지자체의 정책, 비즈니스 모델, 대학 본부의 탄소중립 프로그램, 학술 논문 등으로 발전시킬 수 있는 내용들이므로 원하는 팀의 경우 정책화, 창업 등으로 현실화될 수

있도록 지원할 예정입니다.



[그림 2-2] 2022년 7월 25일 BK21 Grand Challenge -발표 평가

● 우수논문 시상 및 지원

- 2017년 이후 대내외적으로 18건의 우수논문 시상 및 학술대회 수상 실적이 있음. 국제 경쟁력을 갖춘 연구환경 조성하고 학생들의 연구 의욕 고취를 통해 논문의 양적, 질적 향상을 도모하고자 우수 학생에게 특별포상(상패 및 상금)함. 재학생 논문이 국제 (S)SCI 분야별 상위 25% 이내 논문 표지에 선정될 경우 표지 제작비 지원
- 우수논문을 작성한 학생에게 수여하는 Student of the Year를 통해, 매년 5명 내외의 재학생에게 상장 및 학술장려금 40만원을 지급
- Student of the Year로 선정된 학생들의 학술논문은 Nano Energy (IF 17.881), Chemistry of Materials (IF 9.38), Journal of Hazardous Materials (IF 10.588), Nano Letters (IF 11.189) 등 유수의 국제학술지들에 게재됨.

- (차세대 커리어 관리) 차세대 커리어 관리를 위해 졸업생, 해당 분야 주니어급 전문가를 초청하여 진로 세미나를 주기적으로 개최하고 있음. 또한 매 학기 개최되는 대학원의 융합세미나에 졸업생들을 초청하여 재학생-졸업생 만남을 제공하고 있음. 향후 대학원 동문회의 협력을 받아 “재학생-졸업생, 멘티-멘토 매칭”을 추진할 것임. 학부 융합에너지공학과에 참여하고 있는 교수들을 중심으로 2023년 1학기부터 박사과정생 또는 수료생을 강의 부교수자로 참여시켜 미래 교수자로서의 역량을 다지는 기회를 제공할 예정이다.

▣ 다양성을 고려한 학사시스템 유연 운영

- (KIST 학연제도 활용, 과제 참여 교육 확대 및 공동 지도교수 탄력 운영) 현재 KU-KIST School 업무 협약을 통해 총 7명의 학연 교수를 임명하고 3년 임기 이후 학연 명예교수직(학연교수 Fellow)을 수여하여 운영하고 있음. 학연교수는 강의와 학생 연구지도에 적극적으로 참여 중임. 또한 학생들이 전공지식과 연구 관심사에 특화된 연구주제를 개발하고, 학제 간 연계를 통해 다양한 융합 접근법을

개발해 나갈 수 있도록 고려대학교와 KIST 교원을 공동지도교수로 활용함 (표 2-7).

<표 2-7> KU-KIST 학연교수 현황(2022년 9월 말 현재)

교수	원소속	구분1	구분2	재직	소속
우종률	고려대학교	전임	고려대(정년)	재직	에너지환경대학원
전용석	고려대학교	전임	고려대(정년)	재직	에너지환경대학원
박희동	고려대학교	전임	고려대(정년)	재직	공과대학
노준홍	고려대학교	전임	고려대(정년)	재직	공과대학
손지원	KIST	전임	고려대(학연)	재직	에너지환경대학원
손혜정	KIST	전임	고려대(학연)	재직	에너지환경대학원
이승학	KIST	전임	고려대(학연)	재직	에너지환경대학원
남석우	KIST	학연교수펠로우			에너지환경대학원
민병권	KIST	학연교수펠로우			에너지환경대학원
이상협	KIST	학연교수펠로우			에너지환경대학원

- **(석박사 재교육 계약학과 확대 운영)** 본 대학원은 2020년 3월부터 글로벌 태양광 업체인 한화솔루션과 공동 설립한 취업연계형 계약학과인 에너지시스템공학과를 운영하고 있음. 본 학과에서는 태양광발전에 대한 다양한 학문적 지식(소재, 소자, 기계, IT 및 시스템 응용 등)을 배양함으로써 시대가 요구하는 창의적인 태양광 분야 R&D 전문인력을 양성하고 있음.

- (임직원 재교육 과정) 현재 한화솔루션 임직원 대상 재교육 트랙 설립을 위해 협의를 진행하고 있음. 그러나 과정 설립을 위해서는 교육부 규정에 의해 별도의 정규 교과과정이 필요해 시간이 소요되고 있음.

- **(시공간초월 학습방식 도입 및 확대)** 미국의 비영리 기구인 FREE(Foundation for Renewable Energy and Environments)재단 및 John Byrne(Univ. of Delaware Distinguished Professor, 노벨상 수상자) 교수와 협력하여 2021년 2학기부터 ‘글로벌에너지전문가세미나’ 과목을 개설. 해당 과목에서 북미, 유럽, 인도, 아시아 등에서 기술, 정책, 산업 등에서 활약하는 해외 석학과 전문가들이 강의를 제공함.

㉠ 융합 잠재력이 우수한 학생 유치 및 양성

- **(학부 및 학석사 연계 과정 신설 및 국내외 마케팅 강화)** 8페이지 (교육과정과 학사관리 장단점 및 운영계획)에서 상세히 기재
- **(신홍국 에너지공무원 인력양성 프로그램 연계)** 2020년 2학기로 종료된 기존 신홍국 에너지공무원 인력양성 프로그램의 3단계 사업을 2021년 다시 수주함으로써 기존 졸업생들과의 유기적인 관계를 유지함과 동시에 추가적인 우수한 인재풀을 확보하는 데 성공
 - 기존 신홍국 에너지공무원 인력양성 프로그램(GETPPP)을 통해 미얀마, 카자흐스탄, 인도네시아, 라오스, 파키스탄, 몽골, 베트남, 보츠나와, 스리랑카 등 16개 신홍국 출신 졸업생 28명을 배출
 - 기존 졸업생 네트워크를 통한 활발한 프로그램 홍보로 2021년 2학기 시작 프로그램에 총 11개국에서 33명(석사과정 16명, 박사과정 17명)이 지원하여 최종적으로 총 8개국에서 석사과정 5명, 박사과정 7명 선발. 2022년도 2학기 시작 프로그램에 총 10개국에서 28명이 지원하여, 최종적으로 총 8개국에서 석사과정 5명, 박사과정 4명이 선발됨.

바. 교육과 연구의 선순환 구조 구축 방안

- **(교육과 연계된 연구) 연구 내용 수업화**
 - 전공필수 과목인 에너지환경정책, 에너지공학개론, 환경공학개론을 통해 참여교수의 연구전략 및

연구 분야 등을 심도 있게 소개하고 학생들이 기초지식을 습득하고 자신의 연구 분야와 융합할 수 있는 연구역량을 높임.

- 최신 논문 내용을 기반으로 다양한 수업의 활동(연습문제, 시뮬레이션, 게임 등)을 개발하여 연구 내용에 대한 이해도를 증진시키고 향후 연구수행에 도움이 되도록 교육함. 예를 들어 ‘산업생태학’에서는 기업 간 자원공유 협력 사례 연구 논문을 바탕으로 기업 간 협력을 시뮬레이션하는 활동을 개발하여, 이를 통해 학생들이 기업 간 협력 시 영향을 미치는 요소를 도출하도록 함.
- 본 대학원의 학사운영내규는 석사의 경우 전국규모학술지 이상에 투고(정책 전공), SCIE 이상 저널에 투고(기술 전공), 박사의 경우 연구재단등재후보지 이상(정책전공), SCIE급 이상(기술 전공) 저널에 2편 이상 게재 완료해야 졸업논문 심사 대상 자격을 부여하고 있어 교육과 연구의 선순환 구조의 기반이 되고 있음. 이로 인해 대학원생들의 활발한 연구 활동이 진행되고 있음(표 2-8).

● (연구와 연계된 교육) 연구역량 교육

- 연구방법론과 같은 연구역량 관련 교과목에서 학생 주도 학습(Active learning)과 동료평가(Peer review)를 강화함으로써 수업에서 배운 내용의 반복 적용과 연습, 연구결과의 효과적 공유, 비판적 논의 등을 통해 연구역량을 향상하고, 수업의 결과로 가시적인 연구성고가 도출되도록 함.
- 대학원 차원 영어 논문작성법, 국제학술지 투고전략(글로벌 서밋 프로그램 등), 연구를 위한 국내외 학술정보 탐색 및 논문검색, 학술정보지원강화(EndNote, RefWorks, JCR, SciVal 등) 교육 프로그램과 대학원생 논문 Clinic 지원(신진연구인력 논문작성 첨삭지도) 활용

<표 2-8> 교육연구단 참여 학생 논문실적 현황 (2021-2022년 9월 말 현재)

연번	학생명	논문명	학술지명	학술지 구분	게재 연도
1	박연수	The Formation of Bio-innovation Ecosystem Using Content Analysis: Focusing on the HongReung Inn town and the Role of a Contributed Research Institute	Journal of Korea Technology Innovation Society	KCI	2021
2	김승훈	Hierarchically Assembled Cobalt Oxynitride Nanorods and N-Doped Carbon Nanofibers for Efficient Bifunctional Oxygen Electrocatalysis with Exceptional Regenerative Efficiency	ACS Nano	SCI(E)	2021
3	김승훈	Anion Constructor for Atomic-Scale Engineering of Antiperovskite Crystals for Electrochemical Reactions	Advanced Functional Materials	SCI(E)	2021
4	김다슬	Achieving over 15% Efficiency in Solution-Processed Cu(In,Ga)(S,Se) ₂ Thin-Film Solar Cells via a Heterogeneous-Formation-Induced Benign p-n Junction Interface	ACS Applied Materials & Interfaces	SCI(E)	2021
5	조정만	Assessment of Soil Contamination by Gas Cloud Generated from Chemical Fire Using Metabolic Profiling and Associated Bacterial Communities	Minerals	SCI(E)	2021
6	정상빈	Water-Repellent TiO ₂ -Organic Dye-Based Air Filters for Efficient Visible-Light-Activated Photochemical Inactivation against Bioaerosols	Nano Letters	SCI(E)	2021
7	정상빈	Evaluation of survival rates of airborne microorganisms on the filter layers of commercial face masks	Indoor air	SCI(E)	2021
8	김승규, 김태민	Hydrolysis-Regulated Chemical Bath Deposition of Tin-Oxide-Based Electron Transport Layers for efficient	Chemistry of Materials	SCI(E)	2021

	이찬용	Perovskite Solar cells with a Reduced Potential Loss			
9	박소현	Novel Polymer-Based Organic/c-Si Monolithic Tandem Solar Cell: Enhanced Efficiency using Interlayer and Transparent Top Electrode Engineering	Macromolecular Rapid Communications	SCI	2021
10	박재형	국내기업 에너지효율 투자 의사결정 단계별 주요 동인의 상대적 중요도 분석 : 퍼지계층분석을 활용하여	한국기후변화학회지	KCI	2022
11	김영남	에너지복지정책의 친환경성 제고를 위한 국민 수용성 연구: 저소득층 에너지효율 개선사업을 중심으로	국회입법조사처 입법과 정책	KCI	2022
12	Hanna Schuermann	Estimating consumers' willingness to pay for reusable food containers when ordering delivery food: A contingent valuation approach	Journal of Cleaner Production	SCI(E)	2022
13	엄희성	Sustainable Electrochemical NO Capture and Storage System Based on the Reversible Fe ²⁺ /Fe ³⁺ -EDTA Redox Reaction	Catalysts	SCI(E)	2022
14	김태민, 이찬용	Alleviating Interfacial Recombination of heterojunction Electron Transport Layer via Oxygen Vacancy Engineering for Efficient Perovskite Solar Cells over 23%	Energy & Environmental Materials	SCI(E)	2022
15	우종인	Collaborative Electrochemical Oxidation of the Alcohol and Aldehyde Groups of 5-Hydroxymethylfurfural by NiOOH and Cu(OH) ₂ for Superior 2,5-Furandicarboxylic Acid Production	ACS Catalysis	SCI	2022
16	장용철, 손민희	한국의 2017-2019년 플라스틱 물질흐름분석한국의 2017-2019년 플라스틱 물질흐름분석	한국폐기물자원순환학회지	KCI	2022
17	고예녹, 박소현	Unraveling the Origin of Dark Current in Organic Bulk Hetero-Junction Photodiodes for Achieving a High Near-Infrared Detectivity	ACS Photonics	SCIE	2022
18	곽규일, 양소영	Effects of policy instruments on electric scooter adoption in Jakarta, Indonesia: A discrete choice experiment approach	Economic Analysis and Policy	SSCI	게재 확정
19	박재형	Social Acceptability of Climate-Change Adaptation Policies in South Korea: a Contingent Valuation Method	Energy and Environment	SSCI	under review
20	손우진	Nudging energy efficiency behavior: The effect of message framing on implicit discount rate	Energy Economics	SSCI	under review
21	장용철	Post-consumer plastic packaging waste from online food delivery services in South Korea	Waste management	SCI(E)	under review
22	정무영	Synergetic Effect of a Battery-like Nickel Phosphide and a Pseudocapacitive Cobalt Phosphide Electrodes for Enhanced Energy Storage	Journal of Power Sources	SCI	under review
23	이찬용	Color Balanced Transparent Luminescent Solar Concentrator Based on Polydimethylsiloxane Polymer Waveguide with Coexisting Polar and Non-Polar Fluorescent Dye	Optical Express	SCI(E)	under review
24	문홍은	Prioritizing factors for the sustainable growth of Vietnam's solar photovoltaic power market	Sage Energy and Environment	SSCI	Under review
25	양소영	Research on the Impact of Time-Of-Use tariff on EV Charging Behavior and Resolving the Curtailment of Renewable Energy; with the case of Jeju Islands, South Korea	TBD	TBD	2022 submit 예정
26	장성은	Estimation of willingness to pay for tax on electric vehicle charging using contingent valuation method: A case study of South Korea	Energy policy	SSCI	2022 submit 예정
27	홍이슬	Exploring Water Secure Options for a Water-Stressed City: Scenario Analysis of Water Metabolism for Paju City, South Korea	Environmental Research Letters	SCI(E)	2022 submit 예정
28	정혜영	Comparative Study on IrO ₂ -ionomer Dispersion Solvent in the Ultrasonic Sprayed Electrode for PEM Water Electrolysis	International Journal of Hydrogen Energy	SCI(E)	2022 submit 예정

29	정혜영	Electrochemical performance of Ultrasonic sprayed catalyst layer for PEM water electrolysis	International Journal of Hydrogen Energy	SCI(E)	2022 submit 예정
30	정혜영	Highly durable IrO ₂ catalyst layer with novel structure in PEM water electrolysis	Journal of Power Source	SCI(E)	2022 submit 예정
31	정혜영	Voltage cycling degradation of Ir catalyst coated diffusion layer in renewable PEM water electrolysis	Energies	SCI(E)	2022 submit 예정
32	권성연	A Study on Renewable Energy Social Acceptance in Developing Countries: The Importance of Social/Cultural Factors in Utilizing Reused Solar PV Modules	Energy Research & Social Science	SSCI	2022 submit 예정
33	송가영	SG Drivers : What motivates and pushes businesses to be environmentally friendly?	Business Strategy and the Environment	SSCI	2022 submit 예정
34	문홍은	Economic comparative analysis of solar PV and reused EV batteries in the residential sector of three emerging countries - Philippines, Indonesia, and Vietnam	Energies	SCI(E)	2022 submit 예정
35	문홍은	Analysing Social acceptance of smart energy system in Indonesia : Contingent valuation and Choice experiment study	TBD	TBD	2022 submit 예정
36	문홍은	Economic Analysis of Solar Power Supply in Tajikistan - Focusing on the possibility of restoring the Aral Sea	TBD	TBD	2022 submit 예정
37	유여진	Understanding the battery energy storage system industry attractiveness in Indonesia, the Philippines, and Vietnam	TBD	TBD	2022 submit 예정
38	박시은	Immediate Interface Engineering for Spiro-MeOTAD Using Mn(TFSI) ₂ as Dopant Afford Efficient and Stable Inorganic Perovskite Solar Cells	Journal of Materials Chemistry A	SCI	2022 submit 예정
39	조효빈	The sulfuration effect on the electrochemical properties of Ni-Co bimetallic electrode for high performance supercapacitor	Journal of Materials Chemistry A	SCI	2022 submit 예정

사. 전임교수 대학원 강의 실적 및 계획

▣ 학사관리 장단점 및 실적/교육과 연구의 선순환 구조 구축방안 등

- 앞 절 “2.교육과정 구성 및 운영” 5~21페이지에 구체적으로 기재

▣ 전임교수 대학원 강의 계획 대비 최근 1년간(2021.9.1.~2022.8.31.)의 실적

- 본 대학원에서는 해당기간 (2021.9.1.-2022.8.31.) 42개 교과목이 개설되었으며 참여교수의 교과목 담당 비중은 50%(21과목)를 차지하고 있으며 학연교수 담당은 9과목으로 참여교수와 학연교수가 총 30과목을 담당, 전체 71.4%를 차지함. 그 외 과목도 본교 타 과, 타 대학원 소속 겸임교수들이 주로 맡고 있음(표 2-10).

<표 2-10> 전임교수 대학원 강의 실적(2021.9.1.-2022.8.31.)

학년도-학기	학수번호	교과목명	학점	교수명
2021-2	GRS601	환경공학개론	3	이석현,이승복,이승학
	GRS603	에너지와환경정책	3	김경남,박주영,우종률,하윤희

	GRS619	에너지경제성분석론	3	김경남
	GRS640	환경에너지연구수행전략	3	정중수
	GRS644	환경경영론	3	김경남
	GRS650	축매표면화학	3	민병권
	GRS656	기기분석법	3	강윤목
	GRS664	태양광발전시스템개론(영강)	3	이해석
	GRS674	신재생에너지연구동향(영강)	3	전용석
	GRS675	재료공학(영강)	3	전용석
	GRS678	환경성분석법(영강)	3	박주영
	GRS682	연구방법론II(영강)	3	우종률
	GRS687	태양전지	3	강윤목
	GRS688	고체전기화학소재/소자와박막응용심화	3	손지원
	GRS691	에너지소재의용액공정원론	3	손해정
	GRS694	나노소재및계면공학	3	김진영
	GRS696	글로벌에너지전문가세미나(영강)	3	하윤희
	GRS697	화학공정설계및최적화	3	이용
	GRS698	환경정책의과학기술적이해	3	이승학
	GRS699	지중환경유해물질처리공학	3	최재영
	GRS717	논문작성을위한통계학(영강)	3	류혜진
2022-1	GRS503	윤강3 (에너지정책전문가특강)	3	이해석,성창모
	GRS602	에너지공학개론(영강)	3	이해석
	GRS613	바이오에너지개론	3	하정명,이선미,서동진
	GRS615	환경이슈이해와연구개발	3	정중수
	GRS642	토양지하수환경공학	3	이승학
	GRS643	연구방법론I	3	하윤희
	GRS655	반도체소자공학	3	강윤목
	GRS662	태양전지공학개론(영강)	3	이해석
	GRS665	에너지와사회	3	김경남
	GRS670	전주기시물레이션	3	강윤목
	GRS671	전기화학응용(영강)	3	BALASINGAM SURESH KANNAN
	GRS677	에너지프로젝트관리	3	김경남
	GRS680	기계학습법을이용한실험계획법	3	이용
	GRS684	고체전기화학소재/소자와박막응용개론	3	손지원
	GRS685	고분자및유기소재의에너지응용	3	손해정
	GRS686	에너지경제학(영강)	3	우종률
	GRS690	에너지환경데이터분석론(영강)	3	우종률
	GRS695	첨단재료화학	3	김진영
	GRS718	산학연계수업I(영강)	3	강성진,이홍구
	GRS719	지중환경오염예측및관리	3	최재영
	GRS801	특수연구방법론(태양광전환기술)	3	민병권

3. 인력양성 계획 및 지원 방안

가. 최근 1년간 대학원생 인력 확보 및 배출 실적

〈표 3-1〉 교육연구단 소속 학과(부) 참여대학원생 확보 및 배출 실적

(단위: 명)

대학원생 확보 및 배출 실적					
실적		석사	박사	석·박사 통합	계
확보 (재학생)	2021년 2학기	13	11	6	30
	2022년 1학기	12	16	7	35
	계	25	27	13	65
배출 (졸업생)	2021년 2학기	7	1		8
	2022년 1학기	1	-		1
	계	8	1		9

나. 교육연구단의 우수 대학원생 확보 및 지원 계획

■ 대학원생 현황

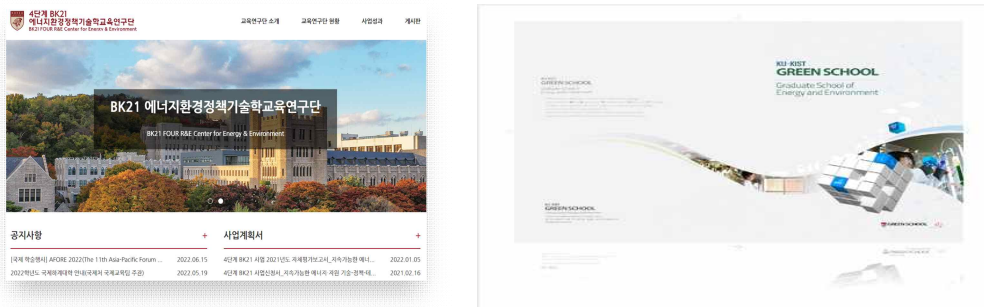
- **(정원 증원)** 에너지환경대학원은 사업 제안 당시 25명 정원의 대학원이었으나 45명 정원으로 증원되었음. 또한 정원 외로 신홍국 에너지공무원 프로그램(총 10개국 22명 재학 중)과 에너지시스템공학(계약학과 정원 10명)을 운영. 정규 대학원 학위 과정(정원 내)에서도 외국인 학생 1명(인도네시아)이 재학 중임.
- **(경쟁률)** 최근 3년간 대학원 정원 내 지원율은 최저 2.35:1, 최고 3.3:1 사이에서 비교적 높은 지원율을 유지하고 있음. 한화솔루션과의 계약학과인 에너지시스템공학과인 에너지시스템공학과를 운영하고 있음. 본 학과에서는 태양광발전 분야에 대한 다양한 학문적 지식(소재, 소자, 기계, IT 및 시스템 응용 등)을 배양함으로써 시대가 요구하는 창의적인 태양광

■ 우수 대학원생 확보 및 지원 계획

- **(신설 학부 개선을 통한 우수 신입생 유치)**
 - 계획에 제시된 학-석사 학위 통합과정과 성적우수 학생의 등록금 감면 및 예비입학 제도를 통한 학비감면 등의 제도는 본교 차원의 정책으로 논의 중임.
 - 신설학부인 융합에너지공학과 학부생의 대학원 진학유치를 위해 3학년 1·2학기 융합에너지공학설계 I, II 교과목 개설, 4학년 1·2학기 융합에너지창의연구 I-II 개설. 이 교과목을 통해 학부생이 에너지 연구주제를 직접 선택하고 관련 연구를 수행하는 교수 연구실에서 3학년, 4학년 학부연구생 신분으로 연구활동을 진행하게 될 것임(신설 과목 현재 최고 학년이 2학년임). 이러한 기초 연구지식 및 연구수행 능력 기반으로 석박사 진학 후 연구의 질 향상 기대
 - 학부과정 학생들에게 연구참여 기회를 적극적으로 제공하고, 연구능력이 우수한 학생들이 석박사 과정으로 연계될 수 있도록 프로그램 차원의 지원을 계획하고 있음. 세 명의 학생이 2021년 2학기부터 전용석 교수 실험실에서 “알키미스트” 과제 연구에 참여하고 있으며, 1명의 학생이 하윤희 교수의 “(2021/22 EIPP 우즈베키스탄) 태양에너지 산업 활성화를 위한 정책 개선 및 전력 안정화를 위한 에너지저장시스템(ESS) 활용방안 수립” 과제에 연구보조원으로 참여하고 있음.
- **(계약학과 확대 발전)** 본 대학원은 2020년 3월부터 글로벌 태양광 업체인 한화솔루션과 공동 설립한 취업연계형 계약학과인 에너지시스템공학과를 운영하고 있음. 본 학과에서는 태양광발전 분야에 대한 다양한 학문적 지식(소재, 소자, 기계, IT 및 시스템 응용 등)을 배양함으로써 시대가 요구하는 창의적인 태양광

분야 R&D 전문인력을 양성하고 있음.

- (임직원 재교육 과정) 현재 한화솔루션 임직원 대상 재교육 트랙 설립을 위해 협의를 진행하고 있음. 그러나 과정 설립을 위해서는 교육부 규정에 의해 별도의 정규 교과과정이 필요해 시간이 소요되고 있음.
- **(신홍국 에너지공무원 인력양성 프로그램 네트워크 활용)** 기존 신홍국 에너지공무원 인력양성 프로그램(GETPPP)을 통해 미얀마, 카자흐스탄, 인도네시아, 라오스, 파키스탄, 몽골, 베트남, 보츠와나, 스리랑카 등 신홍국 출신 졸업생 28명을 배출함. 아울러 기존 졸업생 네트워크를 통한 활발한 프로그램 홍보효과로 2022년도 2학기 총 10개국에서 28명이 지원하였고, 최종적으로 총 8개국에서 석사 5명, 박사 4명이 선발되어 9월 1일 입학하였음.
- **(홍보 강화 및 홍보 채널 다양화)** 본 교육단의 홈페이지를 통해 대학원 주요 연구내용 및 사업 관련 정보를 모두 공개함은 물론, 사업단의 목표와 현황, 실적, 행사에 대해 신속하고 정확하게 정보를 공유하고 있음. 아울러 대학원 홍보를 위한 영어 홍보물 역시 제작하여 관계기관 및 해외에 송부함.



[그림 3-1] BK21에너지환경정책기술학교육연구단 홈페이지 및 대학원 영문 브로슈어

- **(학과 영문홈페이지 개편 및 브로셔 제작 진행 중)** 국제적인 인재들을 유치하기 위해 학과 영문홈페이지를 개편하고 있음.
- **(대학원생을 위한 재정지원)**
 - 에너지환경정책기술학과 풀타임 학생 중 본 교육연구단 참여학생들은 기존 월 90~120만원에서 월 180(석사)~250(박사)만원으로 재정지원이 확대되었음. 또한 교수들의 연구과제에 참여하는 학생들은 추가적 인건비를 수령하고 있음.
 - 신홍국 에너지공무원 프로그램은 제안서에 기재된 것과 동일하게 등록금 전액과 월 150만원의 생활비를 지급하고 있음.
 - 우수논문 장려금은 제안서 당시 30만원에서 40만원으로 인상됨.
 - 그 외 성적우수장학금, 대학원 수업 및 연구조교 장학금은 동일하게 유지되고 있음.

■ 우수 대학원생을 위한 인프라 지원

- **(대학원생 전용 공동연구실과 실험실 운영)** 본 교육연구단에서는 공동연구실과 실험실을 운영하여 학생들의 개인 교육 및 연구공간을 마련해 주고 있음.
- **(외국어 사용 학생들을 위한 기숙사 제공)** 신홍국 에너지공무원 프로그램 1차년도부터 외국인 학생에게 기숙사 제공이 이루어지고 있음.
- **(국내외 관계기관 인턴십 프로그램 운영)** 본 교육연구단에서는 대학원생의 실무 경험, 해당 분야 연구 및 산업 동향 파악 및 체험을 위한 인턴십 프로그램을 운영하고 있음. 이러한 프로그램에도 불구하고

대학원 내에 다양한 프로젝트에서 연구경험을 쌓을 기회가 충분하여 인턴십에 대한 선호도는 그리 높지 않음.

- 외국기관에서의 인턴십은 코로나 상황으로 인해 진행되지 않았음. 정책전공 박사 수료생인 손민희 학생의 경우 National University of Singapore의 Energy Studies Institute에서 2022년 8월부터 인턴 연구원직을 수행하고 있음.
- 학생들의 해외 우수 기관에서의 인턴십 및 연수 기회를 확대하기 위해 지속적으로 MOU를 확장하고 있음(표 3-2).

〈표 3-2〉 국내 외 MOU체결 현황 (2021.9~2022.8) 및 예정

일자	체결기관	주요내용
2021년 10월 15일	스마트마인드	학술정보 및 인력교류 공동연구및연구위탁 연구시설의공동활용
2022년 8월 3일	미국 GLOBAL AMERICA BUSINESS INSTITUTE (GABI)	공동워크샵 및 회의 주최협력 장단기 교육리더십 개발 프로그램구성
2022년 2학기 추진 (진행 중)	미국 Foundation for Renewable Energy and Environment	공동연구 및 교육협력
2022년 2학기 추진 (진행 중)	베트남 V-KIST	공동연구 및 교육협력 기후기술 학생 연수
2022년 2학기 추진 (진행 중)	말레이시아 Universiti Tenaga Nasional(UNITEN)	공동연구 및 교육협력 기후기술 학생 연수
2022년 2학기 추진 (진행 중)	태국 Chulalongkorn대학, Kasetsart대학	공동연구 및 교육협력 기후기술 학생 연수

■ 우수 대학원생을 위한 연구수행 역량 강화 프로그램 운영

- (에너지 환경기술 및 정책 관련 세미나 & 전문가 초청 강연 강화) 산업, 경제, 정책, 환경 분야의 다양한 외부 전문가를 초청하는 ‘윤강’ 과목을 통해 이론적, 현실 문제에 대한 폭넓은 시야와 다양한 관점을 접할 교육 기회를 제공함(표 3-3). 공기업, 국책연구기관, 정부, 언론 및 에너지기업 등의 기관장급을 연사로 초청하여 특강 형식으로 진행해오고 있음. 이를 통해 산업 및 연구소 등의 요구에 맞는 준비된 취업대상자를 양성할 수 있는 기회가 됨.

〈표 3-3〉 2022년 윤강 세미나

일자	강사	강의주제
2022년3월14일	장윤석 교수(POSTECH)	최근 환경이슈와 대응방안 -미세먼지, 기후변화 중심으로-
2022년3월21일	임성택 상무(OCI Power)	수소기술 -태양광 이용 수전해-
2022년3월28일	신현우 책임연구원 (녹색기술센터)	그린뉴딜과 기후기술 정책
2022년4월4일	김영선 수석연구원(한국건설기술연구원)	기후변화 대응 건설환경 정책 및 기술동향
2022년4월11일	이상협 단장(연구재단, 에너지환경)	물순환 기술
2022년4월18일	송정용책임(현대모비스)	리튬전지를 이용한 팩 기술소개 및 동향
2022년5월2일	김용건 선임연구위원(한국환경연구원)	글로벌 탄소시장 동향과 시사점
2022년5월9일	임정택 부사장(스마트마인드)	AI기술
2022년5월16일	김창희 교수(한국에너지 공대)	그린수소생산 기술개발 현황
2022년5월23일	어영주 책임연구원(한국에너지기술연구원)	태양광 기술
2022년5월30일	이혜숙 소장(한국과학기술센터 혁신센터)	UN SDG13 기후변화와 젠더혁신

● 연구방법론 I & II 교과목 운영 현황 및 실적

- 연구방법론 I에서는 학술논문의 기본 구성요소에 대한 이해를 바탕으로 연구목적 및 질문의 요건, 문헌 연구 방법과 문헌 연구맵 작성, 연구윤리 및 문헌 인용 방법, 문헌연구를 통한 연구주제 탐색 및 설계와

같은 활동을 진행함. 문헌연구 결과 및 연구계획서 발표를 통해 교수-학생 및 학생-학생 간 비판적 논의를 진행하고 지속적인 피드백을 제공하며 이 과정을 통해 연구주제를 탐색하고 구체적인 연구계획서를 완성하는 것을 목적으로 함.

- 연구방법론II에서는 구체화한 연구주제에 따라 자료포락분석, AHP와 같은 의사결정방법론, 계량분석, 전과정평가, 질적연구방법론 등 에너지·자원 및 환경 분야에서 범용적으로 활용되는 방법론의 습득을 통해 실제적인 연구수행이 이루어지도록 함. 학생들은 두 과목을 이수하는 과정에서 실제로 논문을 작성하며 최종적으로 논문의 게재까지 함을 원칙으로 함(표 2-8 참조, 20페이지).

● (논문 작성법 및 발표교육, 학술논문 데이터베이스 활용법 워크숍)

- 논문작성과 발표에 요구되는 테크닉과 도구에 관련된 다양한 비교과 프로그램을 본 교육연구단 독자적으로 마련하거나, 타 연구단과 대학 차원에서 개설된 프로그램에 학생들이 참여토록 함. 예를 들어 ‘Presentation Skill & Technical Writing’ 강좌를 통하여 학생들은 연구 활동 기술 및 구술 능력을 배양하였으며, 환경 및 에너지 정책의 개입에 따른 경제적 파급효과 분석에 사용되는 연산일반균형(Computable General Equilibrium: CGE)을 학습함으로써 정책 시나리오별 경제적 효과를 추정 및 비교할 수 있게 됨. 또한 Nature Master Class에 참여한 학생들은 Nature 본지 또는 자매지의 에디터들로부터 직접 초록에 대한 리뷰를 받거나 게재율을 제고하기 위한 기본적 사항에 대한 강의를 수강함(표 3-4).

〈표 3-4〉 비교과 프로그램 목록 및 참여학생

학생명	과정	비교과 프로그램	교육 일자
고예녹 외 26인	석박사	상시 온라인 연구윤리교육	2021년 10월 27일-2022년 2월 8일(120분)
권성연 외 12인	석박사	Nature Conferences- Waste Management and Valorisation for a Sustainable Future	2021년 10월 26일-10월 28일
홍이슬, 한지윤	석박사	Nature Master Class	2021년 12월 1일-12월 3일
김하영, 정종현, 문민예	석박사		2022년 8월 30일-9월 1일
엄희성	석사	대학원생을 위한 야간 심리검사 및 상담 프로그램	2021년 9월 1일-2022년 2월 28일(회당 60분)
김다슬	박사		2022년 5월 1일-2022년 8월 31일
손민희, 이현아, 채경진, 김다슬, 유여진, 박시은, 이현철, 송가영	석박사	대학원생을 위한 AI 기반 긍정적 정신건강 증진 프로그램	2021년 9월 1일-2022년 2월 28일 2022년 5월 1일-2022년 8월 31일
김승훈, 문홍은, 장용철, 정무영, 이찬용	석박사	4단계 BK21사업 학문후속세대 국제학술지 영어논문 교정 지원 프로그램	2021년 10월-2022년 6월
문홍은, 권성연, 이승록, 홍이슬, 장성은, 이승후	석박사	2021학년도 동계방학 STATA 통계 프로그램 특강 데이터 클리닝 능력 향상	2022년 1월 11일 ~ 1월 25일 (매회 2시간, 5회차)
장성은, 홍이슬	박사	Regionalised Life Cycle Assessment with the Brightway2 Software 특강	2022년 2월 21일-22일
최지원	석사	대학원생 포레튜터링 학습공동체 KUPT+	2022년 4월 18일-7월10일(20시간)
손민희, 송가영, 유여진	석박사	제1회 대학원생 연구력강화 워크숍: 인문사회계열 대학원생을 위한 학술논문 작성법	2022년 4월20일(2시간)
최지원	석사	T인중 특강: 2022-1 신입교원에게 듣는다-교수 임용 준비하기 (인문사회계열)	2022년 5월 18일(1시간)
손민희	박사	제2회 대학원생 연구력강화 워크숍: 인문사회계열 대학원생을 위한 국제학술지 논문 투고 전략	2022년 6월 15일(2.5시간)
장용철	박사	논문 Clinic	2022년 7월 2일(90분)

유여진, 정현주	석사	career insight 이공계열	2022년 7월 4일 17시-19시
송가영	박사	G-TLS(S인증) 프로그램 워크숍_엑셀을 활용한 데이터 분석(1일차)	2022년 7월 20일(회당 180분)
이현아	박사	사회공헌단 및 운영위원회 운영(사회공헌단), SDGs 연계 사회공헌 연구개발 사업	2022년 4월 6일-2023년 1월 2일
양소영, 박시은, 정현주, 문홍은, 엄희성, 한상준	석박사	자기이해워크샵 이공계열(특강)	2022년 8월 1일, 8월 2일, 8월 4일, 8월 5일 17시-19시
정현주, 양소영, 엄희성, 박시은, 문홍은, 강가경, 한상준	석박사	자기이해워크샵 이공계열(테스트 및 워크샵)	2022년 8월 8일 14시-16시, 8월 9일 10시-12시, 8월 10일 10-12시, 14시-16시, 8월 11일 14시-16시, 8월12일 14시-16시

- (해외 연구 및 정책 기관 연수 및 공동연구 기회 제공) 코로나 상황으로 인해 국제 연구협력과 교류 등이 주춤하였으나, 2022년 1학기부터 해외 연구 및 정책 기관과 국제협력을 서서히 확대해 나가고 있음. 교육연구단 참여 학생들의 국제 학술 컨퍼런스 발표를 권장(인센티브 제공)하고(표 3-5), 본 대학원의 다른 과제들과 협력하여 2022년 겨울방학부터 해외 유수의 연구기관, 대학, 공공기관, 비영리재단 등에서 기후변화 대응과 에너지전환 관련 문제해결형 연수 기회를 제공할 예정
- 이를 위해 본 교육연구단은 지속적으로 MOU 및 학술교류 기관 확대를 추진하고 있음. 2022년 8월 미국의 비영리재단 GABI와 MOU를 체결하였으며, 미국의 FREE재단과 2023년 1월 체결을 목표로 MOU 절차를 진행하고 있음. 또한 신흥 개도국의 에너지전환 문제를 지원하기 위해 해당국의 기관들과 연구협력을 추진하고 있으며 베트남 사회과학원 및 V-KIST, 말레이시아 Universiti Tenaga Nasional(UNITEN), 태국 Chulalongkorn대학, Kasetsart대학과의 교육연구 협력은 구체적으로 논의가 진행되고 있는 단계임.

<표 3-5> 2022년 교육연구단 참여 학생의 국제학술대회 참여

연번	성명	학위과정	학술대회명	주관기관	일시	장소	발표논문명	발표형태
1	권성연	박사	Energy and Climate Transformations: 3rd International Conference on Energy Research & Social Science	Elsevier	2022년 6월 20일-6월 23일	영국	A Study on Renewable Energy Social Acceptance in Developing Countries: The Importance of Social/Cultural Factors in Utilizing Reused Solar PV Modules	포스터
2	이현아	박사	The 5th International Conference on Renewable Energy and Environment Engineering	University of Brest, France; CNRS laboratory IRDL; University of Agder, Norway	2022년 8월 24일-8월 26일	온라인 (프랑스)	Self-governance for Sustainable Access to Energy: Case of Stand-alone Solar System in Bangladesh Villages	구두
3	박재형	박사	the 17th EAEA International Convention	East Asian Economic Association	2022년 8월 27일-8월 28일	온라인 (말레이시아)	Social Acceptability of Climate-Change Adaptation Policies in South Korea: a Contingent Valuation Method	구두

- (온라인교육 확대) 학생의 교육권을 확대하기 위해 야간수업 확대(2022년 1, 2학기에 개설된 총 88개 과목 중 35개 과목을 야간(30개)과 토요일(5개)에 개설, 해외석학 온라인 강의와 Flipped Class 추진

교과목의 개선

- (강의개선) 기존 강의 평가와 교과목에 전체에 대한 자체평가 결과를 바탕으로 최근 3년간 지속적으로 등록률이 저조하거나 수강생 만족도가 낮은 과목을 폐강(표2-2, 10페이지 참조)
- (강의계획) 석좌 및 특임 교수 등이 참여하는 자문위원회를 구성하여 전반적인 교과프로그램에 대한 자문을 구하였으며 본 연구단 산하 4개 운영소위원회 중 운영소위와 교육소위에 소속된 학생들이 주축이 되어 신규 교과목에 대한 학생 니즈를 파악하여 2023년도 교과목 개편에 반영할 예정임. 또한 학생들이 교수들에게 전달한 요구사항을 바탕으로 2022년 2학기에 ESG 관련 과목을 신규 개설 하였으며, 글로벌에너지전문가세미나 과목의 진행방식을 개선함.
- (커리큘럼 관리) 신흥국 공무원, 외국인 학생, 비전일제 학생 등 다양한 학생 수요에 대응하기 위해 저녁, 토요일 강의 개설, 온라인 시공간 초월 교육 확대, 교내 타 대학원과의 적극적인 과목 교류 등을 추진하였음.
- (현장실습) 2021년 2학기부터 2022년 1학기까지 총 17건의 현장실습을 수행(표 3-6)

〈표 3-6〉 2021년 9월~2022년 8월말 현재 현장실습 수행 현황

일시	행사	내용
2021년 10월 20일(수)~21일(목)	2021 새만금 신재생에너지 국제포럼 참석	• 분과별 포럼: 정책 부문 참석 • 기업전시 홍보: 신재생에너지 관련 기업 핵심기술 및 제품전시 관람 • 새만금33센터 방문 및 새만금 방조제 규모 및 역할 그리고 건설 역사에 대한 설명 청취
2021년 10월 24일(일)~27(수)	2021학년도 2학기 KU-GETPPP 제1차 워크숍 개최	• 글로벌 정책 교과 구성 및 운영 성과 관련 기업연계 교육 - 수요기업(나눔에너지) 현장 견학 • 6대 권역 중 하나인 제주의 재생에너지 발전 시설(제주 탐라해상풍력발전단지 및 CFI에너지미래관) 견학 • 2050 탄소 제로 세미나 개최, (제주연구원 강영준 박사, 국제전기자동차 엑스포 & 전기자동차세계협의회 이왕건 팀장, 고려대 에너지환경대학원 김경남 교수의 발표를 청취 및 학습
2021년 11월 3일(수)	International Energy Expert Network: 2021 Philippines-Korea Energy Storage System Expert Forum 개최	• 한국과 필리핀의 ESS 정책, 규제 그리고 시장 전망, 한국 ESS 기술 연구개발 현황, 필리핀에서의 재생에너지 및 ESS 투자를 위한 가이드 등 한국과 필리핀 ESS 전문가를 초빙하여 포럼을 개최함. • GETPPP 재학생 및 졸업생 뿐만 아니라 참여·수요기업 관계자 등 약 60명이 참석함.
2021년 11월 10일(수)	International Energy Expert Network: 2021 Indonesia-Vietam-Korea Energy Storage System Forum 개최	• 한국과 베트남 그리고 인도네시아의 ESS 정책, 규제 그리고 시장 전망과 더불어 베트남 소비자의 관점에서 보는 ESS와 ESS를 위한 전기차 배터리 재사용 기술 및 비즈니스모델에 대하여 3국의 전문가 발제가 진행됨. • GETPPP 재학생과 졸업생 뿐만 아니라 참여·수요기업 관계자 등 약 60명이 참석, 깊이 있는 토론이 진행됨.
2021년 11월 16일(화)	2021학년도 2학기 KU-GETPPP 제1차 산학협력포럼 및 Alumni Meeting 개최	• GETPPP 권역별 기업 네트워킹/세미나 개최 실적 및 추진 계획 공유 • GETPPP Alumni meeting - 수요기업 및

		참여기업 그리고 재학생과 졸업생 간의 네트워크 형성
2021년 11월 25일(목)	SNU IEPP-KU GETPPP Joint Seminar 개최	- 한국과 인도네시아 에너지 전문가 네트워크 확장 - 한국-인도네시아 에너지부문 협력 내용 설명 및 사례 청취 - 토론 및 네트워킹: 한국전력공사(김학재 실장, 김순근 차장), 서울대 IEPP와 고려대 GETPPP 재학생 및 인도네시아 출신 졸업생
2021년 12월 7일(화)	아태지역의 미래를 위한 한미관계의 방향 - 파이프라이즈를 통해 본 한미동맹의 과제와 미래 세미나 개최	- 아시아 태평양 지역에서 발생하는 주요 외교 안보적 이슈에 결부된 지정학적 관점과 그 중요성에 대한 인식 제고 - 아시아 태평양 지역 정치, 경제 및 안보 분야의 토론 진행
2021년 12월 22일(수)	한국광해광업공단의 사업지 방문	강원도 정선 나전 수질정화시설 견학
2022년 4월 26일(화)	Africa-Korea B3W Net Zero Forum - The Net Zero Strategies and Plans for Cooperation with Africa and Korea for Net Zero	- 국제사회는 기후위기 대응을 위한 탄소중립 전략 로드맵을 수립, 이를 적극 추진하고자 하고 있음. - 이에 맞춰 본 포럼은 한국과 아프리카의 B3W 추진을 위한 전략과 협력 방안을 모색
2022년 5월 3일(화)~6일(금)	2022학년도 1학기 KU-GETPPP 제1차 워크숍 개최	- 제주 현장 견학 - 가시리 국산화 풍력발전 단지 및 한국남부발전 견학 - 국제전기자동차 엑스포 컨퍼런스 및 전시회 참관
2022년 7월 26일(화)	한국지역난방공사 통합운영센터 및 판교열병합발전소 견학	- 공사 소개영상 시청, 집단에너지 시설 및 열병합발전 소개 - 판교 열병합발전소 주요시설 견학, 미세조류, CCUS 설명

- **(전문가 초청 세미나)** 에너지 및 환경분야에서 최고 경영자, 글로벌 석학, 사회운동가, 실무급 전문가를 초청하여 관련 정책 및 전략 수립에 대한 실무 정보를 제공하고, 향후 학생들의 진로에 도움을 주는 것을 목표로 함(표 3-7).

<표 3-7> 현장실무급 전문가 세미나 현황 (2022년 기준)

일자	초청연사명	소속	발표제목
2022년 3월 14일	장윤석 교수	POSTECH	최근 환경이슈와 대응방안 -미세먼지, 기후변화 중심으로-
2022년 3월 28일	신현우 책임연구원	녹색기술센터	그린뉴딜과 기후기술 정책
2022년 4월 4일	김영선 수석연구원	한국건설기술연구원	기후변화 대응 건설환경 정책 및 기술동향
2022년 5월 2일	김용건 선임연구위원	한국환경연구원	글로벌 탄소시장 동향과 시사점
2022년 8월 9일	정규창 파트장	(주)한화큐셀	글로벌 태양광산업 동향
	홍근기 상무	프런티어에너지솔루션	지역별 태양광산업 해외투자 여건 분석
2022년 8월 10일	류하늬 박사	현대경제연구원	탄소중립과 기업의 대응
	조준식 박사	한국연구재단 에너지환경단	탄소중립을 위한 에너지환경 기술 방향
	김현한 박사	(주)SK Innovation	SK Innovation의 탄소중립 R&D전략

- **(공공부문 고급인력 대상 찾아가는 재교육 프로그램)** 계획에서 제시된 에너지신사업 재교육 프로그램을 신설·운영하는 것은 아직 현실화되지 않았으나, 대학원 학생의 상당수가 분야의 공기업, 연구소, 사기업 고급인력으로 구성되어 있음. 2022년의 경우 입학생 40명 중 28명이 해당 기관들의 인력임. 따라서 대학원의 기존 프로그램에서 에너지신사업 재교육 기능을 이미 수행하고 있음. 현재 에너지 또는 SOC 공·사기업을 대상으로 임직원 재교육을 위한 계약학과 설치를 논의하고 있으며

SKE&S, 한국전력공사, 한국동서발전 등 몇몇 기업에서 관심을 표명하고 있음. 본교 세종캠퍼스 대학원 및 인근 기술연구소와 공동으로 학위과정 등을 개설하는 것은 대학본부와 참여 대학원 간 설립방안에 대한 논의를 진행하고 있음.

다. 참여대학원생의 취(창)업의 질적 우수성

- (비교적 높은 취업률과 전공 적합적 업무) 2021년 8월~ 2022년 2월 졸업생 총 9명 중 8명이 취업하였으며, 에너지관련 기업과 공공기관에서 프로젝트 개발, 탄소중립 관련 업무를 수행하고 있음(표 3-8, 표 3-9).

<표 3-8> 2021년 8월 및 2022년 2월 졸업한 교육연구단 소속 학과(부) 참여대학원생 취(창)업률 실적 (단위: 명, %)

구 분		졸업 및 취(창)업현황 (단위: 명, %)						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 8월 졸업자	석사	2	1	-	-	1	1	100%
	박사	1			-	1	1	
2022년 2월 졸업자	석사	7	1	-	-	6	5	85.7%
	박사	1			-	1	1	

<표 3-9> 2021년 8월 및 2022년 2월 졸업생 취업 현황

참여학생명	학위 과정	취득학위	졸업논문 제목	취업기관명
	기술 (신재생에너지)	석사	Steric Hindrance Regulated Chemical Bath Deposition of Tin Oxide Electron Transport Layer for Efficient Perovskite Solar Cells with a Reduced Potential Loss	한화솔루션 큐셀부문 사원
	기술 (첨단환경과학)	석사	환경 대사체 및 미생물 군집분석을 통한 화학사고 지역 토양 환경영향평가	(진학) 서울대학교 건설환경공학과 박사과정 환경화학 관련 연구 중
	기술 (첨단환경과학)	박사	Air filtration against bioaerosols; contamination controls via visible-light-activated photocatalytic materials	세종대학교 기계공학과 박사후연구원 바이오에어로졸 탐지 및 저감 관련 연구
	기술 (첨단환경과학)	석사	Mechanical transportation behavior and permeability of airborne microplastic fibers in porous media and the impact of input concentration on flow rate	Biogen Switzerland AG Junior project engineer
	정책 (에너지환경정책)	석사	Estimating citizen's willingness to pay for reusable food packaging in South Korea: A Contingent Valuation Study	Spenoki Solutions GmbH Sustainability Specialist
	기술 (신재생에너지)	석사	Stability improvement of CsPbI ₃ perovskite solar cell using TFSS solution	고려대학교 투명태양전지플랫폼개발 사업단 연구원
	기술 (신재생에너지)	석사	Improving FAPbBr ₃ perovskite crystal quality via additive engineering for efficient solar cell	이녹스첨단소재 SEM소재2팀 주임
	기술 (신재생에너지)	석사	Fe-EDTA와 전기화학 흐름 전지를 활용한 지속적 NO 제거 공정 시스템 구현	(진학) 본 대학원 박사과정

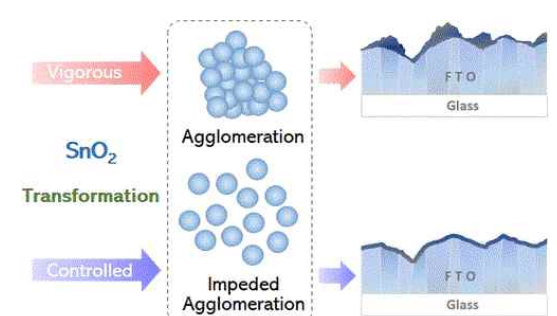
	기술 (신재생에너지)	석사	용액공정 Cu(In,Ga)(S,Se) ₂ 태양전지 Cu농도와 태양전지 특성 연구	-
	정책 (에너지환경정책)	석사	에너지복지 정책의 친환경성 제고를 위한 국민 수용성 연구: 저소득층에너지효율개선사업을 중심으로	대한상공회의소 탄소중립센터 연구원
	기술 (신재생에너지)	박사	First-principles Investigation of the Electrochemical Nitrogen Reduction Reaction on the Small Cluster Catalysts for Fuel Cell Applications	(주)빈센 연구개발부 과장 수소연료전지를 탑재한 친환경 선박을 개발하는 기업에서 선박용 수소연료전지 개발 및 설계 업무를 수행 중

4. 참여대학원생 연구실적의 우수성

가. 참여대학원생 저명학술지 논문의 우수성

- (우수한 학생 연구실적) 해당기간(2021년 9월~2022년 8월) 본 교육연구단의 참여대학원생은 총 12편의 논문을 학술지에 게재하였으며 이 중 9편이 SCIE(SCIE+SSCI)급 저널로 우수한 연구성과를 보임.

연번	참여대학원생 대표연구업적물 설명																		
1	곽규일 학생 곽규일, 양소영, 우종률*. 2022. Effects of policy instruments on electric motorcycle adoption in Indonesia: A discrete choice experiment approach. Economic Analysis and Policy. Vol. 76, Pages 373-384 교통부문에서의 전기화는 대기오염과 기후변화에 대응하여 개발도상국과 선진국 모두에서 확대되고 있다. 세계 최대 이륜차 시장을 보유한 세계 10위 이산화탄소 배출국인 인도네시아는 2025년까지 전기 이륜차 210만대를 배치하는 것을 목표로 전기차 정책을 개발하고 있다. 본 연구는 인도네시아 자카르타에서 스쿠터를 구매하기 위한 소비자 선택 모델을 설계하고, 이산 선택 실험을 이용하여 전기 이륜차(보조금 지급 및 충전 인프라 구축) 확충을 위한 두 가지 지원 정책의 효과를 시뮬레이션한다. 우리는 이러한 보조금에 필요한 예산을 계산한다. 그 결과로는 자카르타 사람들이 전기 스쿠터를 매우 선호하고 그들의 환경에 미치는 영향을 고려한다는 것을 보여준다. 40%의 보조금은 전기 스쿠터의 예상 시장 점유율을 16%로 증가시킨다. 이 시나리오에서 필요한 예산은 인도네시아 2020년 총예산의 0.41%이다. 전기스쿠터 충전 인프라를 기존 주유소와 같은 수준으로 구축하면 40%의 보조금 외에 예상 시장 점유율이 31%에 이른다. 본 연구는 자카르타에 전기 이륜차를 성공적으로 배치하기 위한 종합적인 정책 패키지 개발의 필요성을 제시하고, 관련 정책의 효율성 및 효과 향상을 위한 참고 자료를 제공한다. <table border="1"><thead><tr><th>Subsidies for electric two-wheelers (%)</th><th>Electricity from renewable resources (%)</th><th>Electricity from fossil fuels (%)</th></tr></thead><tbody><tr><td>0%</td><td>5.74</td><td>5.55</td></tr><tr><td>10%</td><td>7.55</td><td>7.31</td></tr><tr><td>20%</td><td>9.87</td><td>9.57</td></tr><tr><td>30%</td><td>12.81</td><td>12.43</td></tr><tr><td>40%</td><td>16.47</td><td>16</td></tr></tbody></table>	Subsidies for electric two-wheelers (%)	Electricity from renewable resources (%)	Electricity from fossil fuels (%)	0%	5.74	5.55	10%	7.55	7.31	20%	9.87	9.57	30%	12.81	12.43	40%	16.47	16
Subsidies for electric two-wheelers (%)	Electricity from renewable resources (%)	Electricity from fossil fuels (%)																	
0%	5.74	5.55																	
10%	7.55	7.31																	
20%	9.87	9.57																	
30%	12.81	12.43																	
40%	16.47	16																	

연번	참여대학원생 대표연구업적물 설명
2	이찬용 학생 Seungkyu Kim, Yong Ju Yun, Taemin Kim, Chanyong Lee, Yohan Ko*, and Yongseok Jun*, Hydrolysis-Regulated Chemical Bath Deposition of Tin-Oxide-Based Electron Transport Layers for efficient Perovskite Solar cells with a Reduced Potential Loss, Chemistry of Materials, 2021, 33(21), 8194-8204. n형 SnO_2는 높은 전자 이동도, 넓은 밴드갭 및 화학적 안정성을 기반으로 페로브스카이트 태양전지(PSC, perovskite solar cell)의 이상적인 전자수송층(ETL)으로써 그 사용이 촉진되었다. 그러나 박막 형성 과정에서 SnO_2가 응집되는 경향 때문에 불량한 형상(morphology) 및 낮은 재현성이 야기된다. PSC용 SnO_2 응용 분야의 여러 중요한 발전에도 불구하고, 응집 현상과 같은 물질 제어에 대한 철저한 이해가 아직 부족하다. 본 연구에서는, 여러개의 -OH 작용기를 포함하는 지연제를 사용하여 CBD(chemical bath deposition) 방법을 통해 FTO(fluorine-doped tin oxide) 유리 표면에 응집 현상이 조절된 SnO_2 필름을 직접 증착하였다. 밀도범함수 이론(DFT, density functional theory) 계산을 통해 지연제에 의한 Sn 전구체의 안정화된 결합 에너지 증가를 확인하였다. 즉, 지연제가 용매화된 조건에서 결합을 형성함으로써 대조군보다 Sn 이온을 더 안정시킬 수 있음을 확인하였다. 지연제에 의한 Sn 전구체의 결합 에너지 변형은 SnO_2 입자의 균일한 핵형성을 위한 CBD 동안 Sn 이온이 중간 상태 전이 반응을 겪을 수 있도록 하였다. 더욱이, 지연제는 제조된 필름의 형태와 화학적 조성에 영향을 미치는 것으로 밝혀졌으며, 이는 응집 현상이 조절된 SnO_2를 ETL로 사용하여 구성된 장치의 다양한 성능 향상으로 이어졌다. 글리세롤 기반의 전구체를 사용하여 형성(deposit)한 SnO_2 박막은 Sn^{2+} 상태의 억제 및 형상의 균일성이 대조군에 비해 상당히 개선되었다. 제작된 SnO_2 필름의 화학적 상태와 에너지 밴드 특성은 Sn 전구체에 사용된 지연제에 따라 결정되었다. 글리세롤(glycerol)을 사용하여 응집을 조절하며 제조된 SnO_2 층은 최적의 형태, 적은 산소 공공(vacancy) 및 높은 일함수 에너지 준위를 나타내었다. 글리세롤-SnO_2 필름을 ETL로 사용하여 향상된 재현성, 무시할 수 있는 이력 현상(hysteresis) 및 감소된 전위 손실(potential loss)에 기반하여 J_{sc} 23.4 mA/cm², V_{oc} 1.17 V, 충전율(fill factor) 79.6% 및 효율 21.8%를 달성하는 소자를 제작하는데 성공하였다. 이는 에너지 준위를 잘 정렬시키고 페로브스카이트-ETL 계면에서 표면 결합을 줄여 전자의 효율적인 추출을 용이하도록 했기 때문이다. 본 연구는 SnO_2의 CBD의 빠른 가수분해 역학을 줄이기 위한 합리적인 접근 방식을 보였으며, 비용 효율적이고 산업적 규모의 PSC 생산을 위한 효율적인 SnO_2 ETL을 제조하는 방법으로서의 잠재력을 시사한다. 

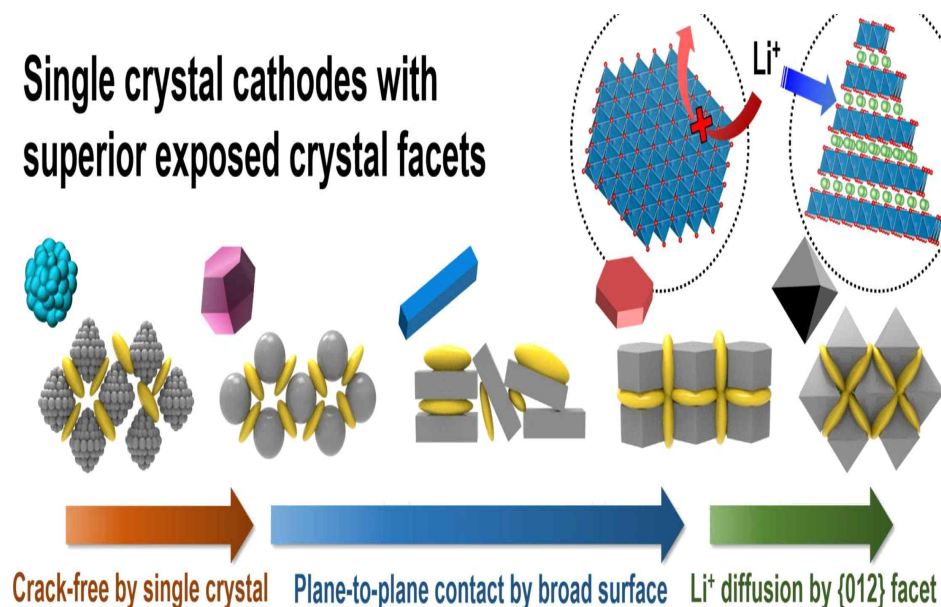
전호열 학생

Hoyeol Jeon, Deok-Hwang Kwon, Hyounghul Kim, Jong-Ho Lee, Yongseok Jun, Ji-Won Son*, Sangbaek Park*. 2022. Tailoring shape and exposed crystal facet of single-crystal layered-oxide cathode particles for all-solid-state batteries. Chemical Engineering Journal. 445, 136828

복합 양극 미세구조의 설계는 전고체 배터리(ASSB)의 성능을 개선하는 데 중요합니다. 미세 구조적 특성은 효율적인 이온/전자 침투, 우수한 양극/고체 전해질(SE) 접촉 및 최소 공극 공간을 제공할 수 있습니다. 양극과 SE 입자의 크기의 영향이 광범위하게 조사되었지만, 양극 입자의 모양 효과는 아직 밝혀지지 않았습니다. 여기에서 우리는 양극 입자의 모양과 노출된 결정면이 크랙이 없는 단결정 $\text{LiNi}_{0.6}\text{Co}_{0.2}\text{Mn}_{0.2}\text{O}_2$ (NCM)를 양극으로 사용하고 내산화성 Li_3YCl_6 을 SE로 사용하는 ASSB의 전기화학적 성능에 영향을 미친다는 것을 보여줍니다. 5가지 입자 모양(팔면체, 판, 막대, 구형 단결정 및 구형 다결정)을 사용한 체계적인 연구는 복합 양극에서 고체-고체 접촉 및 Li^+ 이온 확산에 대한 모양 및 노출된 면의 중요한 영향을 보여줍니다. 단결정 팔면체 NCM 입자는 넓은 평면 표면이 SE와의 평면 대 평면 접촉을 촉진하고 (012) 면이 표면과 중심 사이에 직접적인 3D Li^+ 전달 채널을 제공하기 때문에 대조군보다 더 높은 율속 능력을 갖습니다. 이러한 결과는 우수한 모양과 노출된 면을 가진 단결정 NCM 양극이 우수한 성능으로 ASSB를 제조할 수 있음을 시사합니다.

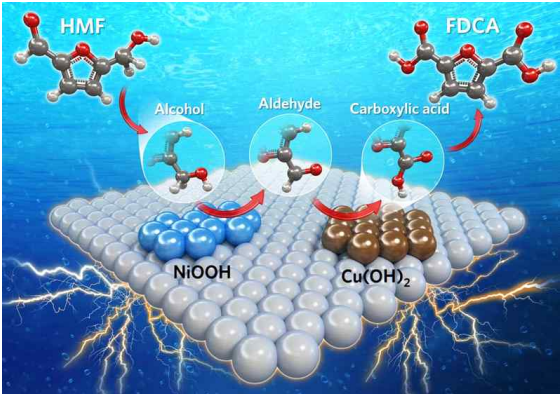
3

Single crystal cathodes with superior exposed crystal facets



연번	참여대학원생 대표연구업적물 설명
4	박재형 학생 박재형, 우종률, 박지용. 2022. 국내기업 에너지효율 투자 의사결정 단계별 주요 동인의 상대적 중요도 분석 : 퍼지계층분석을 활용하여. 한국기후변화학회지 13 (4) : 429-440. - 에너지 효율은 기업의 운영에 있어 중요하게 관리되는 목표일 뿐만 아니라 에너지 절감을 위한 효과적인 수단이다. 따라서 정부도 산업부문에서의 온실가스 배출을 줄이고 탄소중립을 실현하기 위해서는 기업이 에너지효율 개선을 위한 투자 시 긍정적인 영향을 미치는 동인을 구체적으로 파악하고 이를 촉진할 수 있는 정교한 정책개발로 전환할 필요가 있다. - 이러한 상황에서 본 연구는 기업의 의사결정 각 단계에서 에너지효율 개선을 위한 투자로 이어질 수 있는 동인을 파악하여 정부가 기업의 에너지효율 개선 정책을 수립하는 데 참고자료로 활용할 수 있는 기초자료를 제공하는 데 기여하고자 하였다. - 이를 위해 첫째, 에너지효율 투자로 이어지는 기업의 의사결정 과정을 가정하고 선행연구 검토를 거쳐 각 단계에 긍정적인 영향을 미치는 동인을 선정하였다. 둘째, 현재 정부는 탄소중립을 위한 수단으로 에너지효율에 상당한 관심을 기울이고 있으므로, 설문조사에 응한 기업을 온실가스 배출량이 큰 업종과 작은 업종으로 나누어 그 결과를 분석하였다. 셋째, 결과의 신뢰도를 높이기 위해 퍼지 분석 계층 프로세스를 적용하여 각 동인의 상대적 중요도를 계산하였다. - 주요연구 결과로 온실가스 다배출 업종은 에너지 가격과 관련된 동인을 더 중요시하는 반면, 온실가스 소배출 업종은 에너지진단 관련 동인, 에너지효율 정책 관련 동인, 기술식별 동인을 더 중요시한다는 것을 발견하였다. - 이 연구는 기업의 의사결정 과정의 각 단계에서 에너지효율 투자에 긍정적인 영향을 미치는 동인을 식별함으로써 정부가 기업의 에너지효율 개선을 위한 정책개발에 보다 정교한 접근 방식을 취할 수 있는 틀을 제공한다.

연번	참여대학원생 대표연구업적물 설명
5	엄희성 Eum, H.; Cheong, S.; Kim, J.; Han, S.-J.; Cheong, M.; Lee, H.; Lee, H.-S.; Lee, D.K. Sustainable Electrochemical NO Capture and Storage System Based on the Reversible $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$-EDTA Redox Reaction. <i>Catalysts</i> 2022, 12, 79. https://doi.org/10.3390/catal12010079 1. 연구의 필요성 화석 연료의 사용 증가로 인해 배기가스 내 유해 물질이 증가하여 대기 오염을 발생시킨다. 특히 NOx는 햇빛과 반응하여 미세먼지의 전구체 역할을 하게 되고, 미세먼지 증가의 원인이 된다. 또한 오존과 반응하여 오존을 파괴시키기 때문에 배출 전 반드시 제거되어야 한다. 그러나 NOx의 90% 이상을 구성하고 있는 NO의 경우 물에 잘 녹지 않기 때문에 처리가 어려워 현재는 고온의 환경에서 환원제를 통해 무해한 N₂로 바꾸고 있다. 2. 차별성 유기 금속 복합체를 사용하여 NO를 제거하고자 했던 기존의 연구들은 주로 Fe^{2+}-EDTA를 사용하여 NO를 흡수하고 액체 상태로 만들었으나, 산소에 의해 쉽게 산화되어 3가 철이 되면서 NO 흡수 능력을 상실하게 된다. 하지만 중심 금속인 철의 산화수를 전기화학적 셀을 이용하여 인위적으로 조절할 수 있다면, 원하는 위치에서 NO를 흡수하거나 방출시켜 따로 포집을 할 수 있게 된다. 이러한 시스템은 일정량의 유기 금속 복합체만을 사용하기 때문에 경제적이며, 상온 상압에서 운용이 가능하다. NO를 액체 상태로 바꿀 수 있기 때문에 기존의 황산화물 처리 설비와의 접목이 가능하며, 포집한 NO를 통해 부가가치를 창출할 수 있다. 3. 연구결과 전기화학 흐름전지에 Ag 환원 전극, glassy carbon 산화 전극을 적용하여 약 10 시간 정도의 안정성을 확보하였으며, 약 7.6%의 NO 기체를 포집할 수 있었다. 78.8%의 NO는 Ag 전극의 영향으로 암모니아로 변환되었다.

연번	참여대학원생 대표연구업적물 설명
6	우종인 학생 Byeong Cheul Moon, Ung Lee, Hyung-Suk Oh, Keun Hwa Chae, Yongseok Jun, Byoung Koun Min*, and Dong Ki Lee*. 2022. Collaborative Electrochemical Oxidation of the Alcohol and Aldehyde Groups of 5-Hydroxymethylfurfural by NiOOH and Cu(OH)₂ for Superior 2,5-Furandicarboxylic Acid Production. ACS Catalysis. 12(7), 4078-4091 화석 연료 기반 산업이 활발히 발전함에 따라 배출되는 탄소에 의해 전 세계적인 환경문제가 대두되고 있다. 주요 탄소 배출원 중 하나인 석유 화학 제품의 생산은 원유를 정제하여 이들을 생산하기 때문에 탄소 배출은 필연적인데, 최근 이에 대한 대안으로 원유를 사용하지 않고 바이오매스 물질을 사용하여 석유 화학 제품인 PET(polyethylene terephthalate) 물질을 대체하는 PEF(polyethylene furanoate) 물질을 친환경적으로 생산하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 친환경 플라스틱인 PEF 는 FDCA(2,5-furandicarboxylic acid) 라는 단량체의 중합으로 만들어지는데, 이 FDCA 는 HMF(5-hydroxymethylfurfural) 의 산화 반응으로써 생산된다. 기존의 효과적인 촉매라 보고되었던 귀금속 기반, 복합 합금 촉매들의 보고에서는 새로운 물질 구조, 그리고 우수한 HMF 산화 성능을 나타내었지만, 촉매적 특성에 대한 심도있는 분석이 부족하였다. 본 연구에서는 이 산화 반응을 수계에서 전기화학적 방법을 통해 진행하였으며, 또한 계속해서 보고되고 있는 HMF 산화 반응의 두 가지 경로에 초점을 맞추어 각 경로 별 특화된 물질을 탐색하였고, NiOOH 와 Cu(OH)₂ 라는 지구상에 풍부하게 존재하는 금속 원소가 HMF 산화에 있어 서로 다른 촉매적 특성을 나타낸다는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 반응 전류를 증가시키기 위해 나노폼이라는 비표면적이 상당히 넓은 촉매 표면 형태를 제어하여 기존 상용 폼에 비해 약 6~15 배 정도 넓은 비표면적을 얻을 수 있었고, 나노폼 표면 위에 NiOOH 와 Cu(OH)₂ 물질 조합의 촉매 표면을 제작함으로써 대조군 촉매인 NiOOH 보다 반응에 필요한 과전압이 약 0.1 V(vs RHE) 소폭 감소하였다. 반응에 필요한 에너지가 감소된 사실에서 보았을 때, 이 두 물질이 독립적으로 존재할 때보다 표면에 함께 존재할 때 여러 HMF 산화 반응 단계 중 특정 단계의 속도 결정 단계를 해소해주는 것으로 추측해볼 수 있으며, 그에 따라 대조군 촉매 각각보다 (NiOOH, Cu(OH)₂) 본 연구에서 개발한 촉매 (Cu(OH)₂ nanofoam/NiOOH)에서 반응의 중간체가 90 % 이상 거의 누적되지 않고 최종 산화물인 FDCA 까지 빠르게 변환됨을 확인하였다.  HMF 산화 반응에서 알코올, 알데하이드 산화 단계를 담당하는 NiOOH 와 Cu(OH)₂

장용철 학생

장용철, 박주영, 손민희. 2022. 한국의 2017-2019년 플라스틱 물질흐름분석. 한국폐기물자원순환학회지. 39 (3), pp. 1-13.

한국은 세계 최고의 플라스틱 생산국이자 소비국이나 2018년부터 수거 중단, 폐기물 불법투기 및 수출, 해양오염 등 폐플라스틱 관리와 관련한 문제를 겪고 있다. 본 연구는 한국의 플라스틱 관리에 대한 완전한 이해를 위해 2017-2019년 생산, 사용, 폐기물관리 전반에 걸친 국가 플라스틱 흐름을 정량화하였다. 2017년 우리나라의 플라스틱 수지는 1,750만톤으로 이 중 절반 이상이 수출되었으며, 포장재 320만톤을 포함하여 700만톤을 소비하였다. 1인당 기준으로 볼 때, 한국의 플라스틱 소비와 폐기물 발생량은 일본, 중국, 미국, 유럽 등 다른 주요 경제국보다 높았고, 이는 플라스틱 소비 저감의 상당한 가능성을 시사한다. 한국은 폐기물 발생 수준이 높음에도 불구하고 폐기물 부담금, 자발적 협약, 생산자책임재활용제도 확대 등 다양한 정책을 펼쳐 매립율을 최소화하면서 물질재활용 수준을 높였다. 한국은 보다 지속 가능한 플라스틱 관리를 위해, 순환가능한 디자인, 포장재 감량 비즈니스 모델, 그리고 진보된 기술을 통해 플라스틱 소비를 줄이고 고품질 재활용을 촉진하기 위한 추가적인 노력을 기울여야 한다.

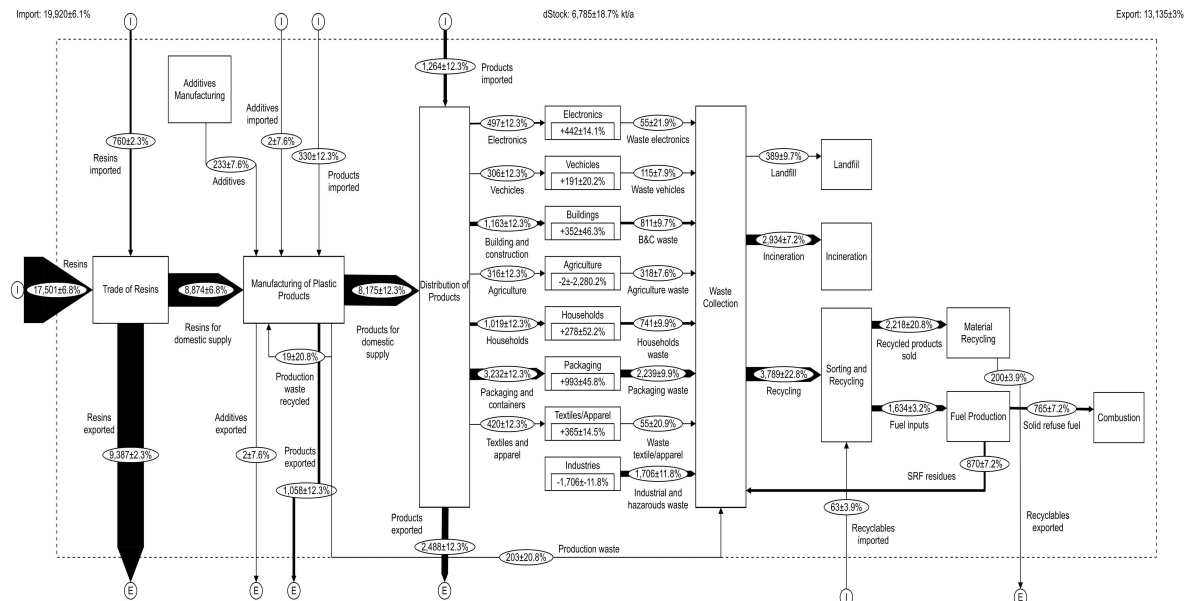


그림 1. 2017년 한국의 플라스틱 흐름

연번	참여대학원생 대표연구업적물 설명
8	김태민 학생 Yohan Ko, Taemin Kim, Chanyong Lee, Changhyun Lee, Yong Ju Yun, and Yongseok Jun*, Alleviating Interfacial Recombination of Heterojunction Electron Transport Layer via Oxygen Vacancy Engineering for Efficient Perovskite Solar Cells Over 23%, 2022, Energy and Environmental Materials, 2022, 0, 1-12 doi : 10.1002/eeem2.12347 태양전지의 효율 감소의 큰 원인 중 하나는 비방사성 전하 재결합(non-radiative charge recombination)에 의한 효율 감소임. 전하 재결합은 페로브스카이트 태양전지를 구성하는 전자수송층, 광흡수층, 정공수송층 중 두 층간 계면에서의 전하 축적 또는 층 내부의 결함, 소재 자체의 전기적 특성에서 기인함. 태양전지의 고효율화를 위해 이를 개선하기 위해서는 전하 이동도가 높은 소재를 사용하거나, 계면의 표면적을 높이거나 계면에 새로운 물질을 도입하는 등의 전하 추출 속도를 높이거나, 알맞은 밴드갭의 소재를 사용하여 계면에 전하가 축적되는 것을 최소화함. 전용석 교수 연구팀은 전자수송층 내부 그리고 페로브스카이트 계면간의 non-radiative charge recombination을 감소시켜 페로브스카이트 태양전지의 높은 효율을 달성하기 위해 화학적 용액 증착법(chemical bath deposition, CBD)을 이용하여 $\text{SnO}_2/\text{TiO}_2$ 전자수송이중층을 페로브스카이트 태양전지에 도입하였음. SnO_2는 높은 밴드갭과 TiO_2보다 전자 이동도가 100배($240 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$) 높은 전기적 특성으로 페로브스카이트 계면으로부터의 전하 추출이 용이하지만 투명 전극인 FTO 위에 증착할 시 빠른 증착속도로 인하여 자가 응집되는 경향으로 선포에 의해 효율이 감소할 수 있다는 단점이 있음. 이를 개선하고자 TiO_2를 FTO 위에 증착시켜 각각 20 nm, 40 nm의 두께로 FTO 표면에 균일하게 증착한 $\text{SnO}_2/\text{TiO}_2$ 전자수송이중층을 개발함. 또한 TiO_2의 산소 결함을 최적화하여 전자수송이중층에 의한 광전기적 특성을 개선하였음. 기존 열처리 과정을 통해 형성된 TiO_2 층의 전도도는 SnO_2 보다 높기 때문에 전자수송층 계면에 전하가 축적되어 이력 현상이 발생하는 것이 확인됨. 이를 해결하기 위해 열처리 조건을 최적화하여 TiO_2의 결정성을 개선하여 광흡수층으로부터 SnO_2와 TiO_2까지 전도대 에너지준위(conduction band energy level)가 정렬된 전자수송이중층 기반 페로브스카이트 태양전지 소자를 제작함. 그 결과 에너지준위 정렬된 전자수송이중층 기반 페로브스카이트 광전소자는 정렬되지 않은 전자수송이중층 보다 약 13.8% 낮은 트랩 에너지 준위(0.518 eV)와 11.5% 수준의 낮은 트랩 밀도($6.53 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$)를 달성함. 또한 830 ns의 전하 수명 시간보다 약 26.6% 증가한 1051 ns를 달성했으며, 0.201 V보다 약 50% 감소한 0.104 V의 트랩채움한계전압(trap filled limit voltage, V_{TFL})을 확인함. TiO_2의 산소 결함에 구조의 상태밀도함수를 DFT를 이용하여 계산한 결과 산소 결함의 위치에 따라 TiO_2의 트랩의 에너지 준위가 변하였고, 이를 통해 산소 결함의 상태에 따라 deep trap state와 shallow trap state가 결정된다는 것을 계산함. 결국 전자수송이중층에서 하부 TiO_2 전자수송층의 산소 결함의 상태가 소자 성능에 큰 역할을 한다는 것을 밝힘. 본 논문은 산소 결함을 조정하여 에너지 준위 정렬된 전자수송이중층을 기반으로 한 페로브스카이트 전자수송층의 산소 결함 상태에 따른 전하 재결합에 대하여 심도있게 분석하였고 최종적으로 1.184 V의 높은 개방전압과 82.6%의 높은 채움인자로 23.45%의 높은 광전효율을 달성하였음. 이러한 우수성이 인정되어 IF 17의 Energy 분야 상위 3% 저널인 Energy Environmental Materials에 게재됨. (a) (c) (d)

연번	참여대학원생 대표연구업적물 설명
9	김영남 학생 김영남, 우종률, 하윤희*(2022). 에너지복지정책의 친환경성 제고를 위한 국민 수용성 연구: 저소득층에너지효율개선사업을 중심으로 정부가 제3차 에너지기본계획에서 강조하고 있는 에너지복지의 질적 제고를 위해 에너지효율개선사업을 확대할 경우 이를 위해 추가되는 조세부담에 대한 저항을 마주할 가능성이 있다. 따라서 원활한 정책 추진을 위해 국민 수용성을 분석하는 것이 중요하다. 이에 본 연구는 에너지복지의 질적 제고를 위한 국가 재정 확대의 국민 수용성을 분석하였다. 본 연구는 에너지빈곤층을 대상으로 하는 에너지효율개선사업의 확대를 위해 추가로 지불할 의향이 있는 세금 수준을 조건부 가치측정법으로 분석하였다. 분석결과, 응답자의 WTP(평균, 중위)는 각각 4,428원과 3,048원으로 추정되었다. 이 결과는 편익분석 측면에서 사업의 환경적·사회적 가치로 환산되며, 에너지복지 정책의 질적 제고에 따른 총 편익을 나타낸다. 본 연구결과로부터 에너지효율개선사업에 대한 국민적 공감대 수준은 높지만, 비용에 대한 수용성이 낮다는 것을 확인할 수 있었다. 비용에 대한 수용성을 높이기 위해서는 국민적 공감대 수준을 고려한 전략이 필요하다. 첫째, 비용에 대한 수용성을 제고하기 위해서는 에너지복지의 질적제고와 친환경에너지 개념을 활용한 에너지복지 사업의 삶의 질 개선 및 기후변화 대응 간에 어떤 관계성이 존재하는지에 대한 홍보가 중요하다. 본 연구의 공변량을 포함한 결과에서 볼 수 있듯이, 친환경에너지 개념을 활용한 에너지복지 사업에 대한 필요성을 인지할 경우, 그 수용성이 높아짐을 확인할 수 있었다. 그러므로 대국민 맞춤형 홍보를 체계화하고 운영하는 제도가 필요하다. 둘째, 에너지복지 수준에 대한 대국민 평가를 정기적으로 시행하여 국민 수용성에 부합하는 재정운용 전략과 프로그램 구축이 필요하다. 이를 통해 에너지 서비스의 질적 수준을 지속적으로 관리해 나가야 한다. 위의 두 가지 정책적 함의에 기초하여 현행 화석연료 보조 사업에 대한 구조조정을 단행할 필요가 있다. 현재 에너지바우처사업 등 일부 에너지복지 사업이 화석연료 보조를 골자로 진행되고 있다. 그러나 이는 EU와 미국 등을 위시한 국제사회의 기후변화 대응 정책에 역행할 뿐만 아니라, 에너지복지 수혜자로 하여금 건강 유해성, 낮은 에너지효율로 인한 에너지비용 부담 등 삶의 질을 저해하는 문제를 야기한다. 본 연구는 구조조정 방안으로 에너지효율개선사업의 확대를 제안하였다. IEA(2019)는 “에너지를 덜 쓰고 탄소를 덜 배출한다”는 관점 아래, 에너지효율을 “the first fuel”로 규정하고 있다. EU와 미국 등의 선진국에서는 기후변화 대응과 삶의 질 개선을 위해 에너지효율개선사업을 적극적으로 확대하고 있다. 본 연구는 친환경에너지 개념을 함의하는 에너지효율개선을 현행 한국의 에너지복지 사업에 확대 적용할 것을 제안하였다.

연번	연구실적 상세내용	
1	① 참여학생명	곽규일
	② 참여구분	1저자
	③ 제1저자	Siwon Choi Kyuil Kwak
	④ 교신저자	JongRoul Woo
	⑤ 공동저자	Soyoung Yang Sesil Lim
	⑥ 논문제목	Effects of policy instruments on electric motorcycle adoption in Indonesia: A discrete choice experiment approach
	⑦ 학술지명:	Economic Analysis and Policy
	⑧ 권(호), 페이지:	Vol. 76, Pages 373-384
	⑨ 학술지 구분	SSCI
	⑩ 게재년월	2022.12
	⑪ DOI 번호	10.1016/j.eap.2022.08.015
	⑫ IF (JCR 2020)	4.444
	⑬ Citation (Google Scholar)	-
2	① 참여학생명	이찬용
	② 참여구분	공동저자
	③ 제1저자	Seungkyu Kim, Yong Ju Yun
	④ 교신저자	Yohan Ko, Yongseok Jun
	⑤ 공동저자	Taemin Kim, Chanyong Lee
	⑥ 논문제목	Hydrolysis-Regulated Chemical Bath Deposition of Tin-Oxide-Based Electron Transport Layers for efficient Perovskite Solar cells with a Reduced Potential Loss
	⑦ 학술지명:	Chemistry of Materials
	⑧ 권(호), 페이지:	33(21), 8194-8204
	⑨ 학술지 구분	SCI
	⑩ 게재년월	2021.09
	⑪ DOI 번호	10.1021/acs.chemmater.1c02101
	⑫ IF (JCR 2020)	9.769
	⑬ Citation (Google Scholar)	5
3	① 참여학생명	박소현
	② 참여구분	공동저자
	③ 제1저자	HyunJung Park
	④ 교신저자	Hae-Seok Lee
	⑤ 공동저자	So Hyun Park, Sang-Won Lee,Yoonmook Kang,Donghwan Kim,Hae Jung Son
	⑥ 논문제목	Novel Polymer-Based Organic/c-Si Monolithic Tandem Solar Cell: Enhanced Efficiency using Interlayer and Transparent Top Electrode Engineering
	⑦ 학술지명:	Macromolecular Rapid Communications
	⑧ 권(호), 페이지:	42(17), 2100305
	⑨ 학술지 구분	SCI
	⑩ 게재년월	2021.09
	⑪ DOI 번호	10.1002/marc.202100305
	⑫ IF (JCR 2020)	4.84
	⑬ Citation (Google Scholar)	-

연번	연구실적 상세내용	
4	① 참여학생명	김태민, 이찬용
	② 참여구분	제1저자, 공동저자
	③ 제1저자	Yohan Ko, Taemin Kim
	④ 교신저자	Yong Ju Yun, Yongseok Jun
	⑤ 공동저자	Chanyong Lee, Changhyun Lee
	⑥ 논문제목	Alleviating Interfacial Recombination of eterojunction Electron Transport Layer via Oxygen Vacancy Engineering for Efficient Perovskite Solar Cells over 23%
	⑦ 학술지명:	Energy Environmental Materials
	⑧ 권(호), 페이지:	
	⑨ 학술지 구분	SCI
	⑩ 게재년월	2022.01
	⑪ DOI 번호	10.1002/eem2.12347
	⑫ IF (JCR 2020)	17.05
	⑬ Citation (Google Scholar)	-
5	① 참여학생명	전호열
	② 참여구분	제1저자
	③ 제1저자	Hoyeol Jeon
	④ 교신저자	Ji-Won Son, Sangbaek Park
	⑤ 공동저자	Deok-Hwang Kwon, Hyoungchul Kim, Jong-Ho Lee, Yongseok Jun
	⑥ 논문제목	Tailoring shape and exposed crystal facet of single-crystal layered-oxide cathode particles for all-solid-state batteries
	⑦ 학술지명:	Chemical Engineering Journal
	⑧ 권(호), 페이지:	445, 136828
	⑨ 학술지 구분	SCI(E)
	⑩ 게재년월	2022.10
	⑪ DOI 번호	https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.136828
	⑫ IF (JCR 2020)	16.744
	⑬ Citation (Google Scholar)	1
6	① 참여학생명	박재형
	② 참여구분	제1저자
	③ 제1저자	박재형
	④ 교신저자	박지용
	⑤ 공동저자	우종률
	⑥ 논문제목	국내기업 에너지효율 투자 의사결정 단계별 주요 동인의 상대적 중요도 분석 : 퍼지계층분석을 활용하여
	⑦ 학술지명:	한국기후변화학회지
	⑧ 권(호), 페이지:	13(4), 429-440
	⑨ 학술지 구분	KCI
	⑩ 게재년월	2022.08
	⑪ DOI 번호	10.15531/KSCCR.2022.13.4.429
	⑫ IF (JCR 2020)	-
	⑬ Citation (Google Scholar)	-

연번	연구실적 상세내용	
7	① 참여학생명	Hanna Schuermann
	② 참여구분	제1저자
	③ 제1저자	Hanna Schuermann
	④ 교신저자	JongRoul Woo
	⑤ 공동저자	-
	⑥ 논문제목	Estimating consumers' willingness to pay for reusable food containers when ordering delivery food: A contingent valuation approach.
	⑦ 학술지명:	Journal of Cleaner Production
	⑧ 권(호), 페이지:	366, 133012
	⑨ 학술지 구분	SCIE
	⑩ 게재년월	2022.09
	⑪ DOI 번호	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133012
	⑫ IF (JCR 2020)	11.072
	⑬ Citation (Google Scholar)	-
8	① 참여학생명	엄희성
	② 참여구분	제1저자
	③ 제1저자	Heesung Eum
	④ 교신저자	Dong Ki Lee
	⑤ 공동저자	Seokhyeon Cheong, Jiyun Kim, Seo-Jung Han, Minserk Cheong, Hyunjoo Lee, Hae-Seok Lee
	⑥ 논문제목	Sustainable Electrochemical NO Capture and Storage System Based on the Reversible Fe ²⁺ /Fe ³⁺ -EDTA Redox Reaction
	⑦ 학술지명:	catalysts
	⑧ 권(호), 페이지:	12(1), 79
	⑨ 학술지 구분	SCIE
	⑩ 게재년월	2022.12
	⑪ DOI 번호	https://doi.org/10.3390/catal12010079
	⑫ IF (JCR 2020)	4.501
	⑬ Citation (Google Scholar)	-
9	① 참여학생명	우종인
	② 참여구분	제1저자
	③ 제1저자	Jongin Woo, Byeong Cheul Moon
	④ 교신저자	Byoung Koun Min, Dong Ki Lee
	⑤ 공동저자	Ung Lee, Hyung-Suk Oh, Keun Hwa Chae, Youngseok Jun
	⑥ 논문제목	Collaborative Electrochemical Oxidation of the Alcohol and Aldehyde Groups of 5-Hydroxymethylfurfural by NiOOH and Cu(OH) ₂ for Superior 2,5-Furandicarboxylic Acid Production
	⑦ 학술지명:	ACS Catalysis
	⑧ 권(호), 페이지:	12(7), 4078-4091
	⑨ 학술지 구분	SCI
	⑩ 게재년월	202203
	⑪ DOI 번호	10.1021/acscatal.1c05341
	⑫ IF (JCR 2020)	12.35
	⑬ Citation (Google Scholar)	4

연번	연구실적 상세내용	
10	① 참여학생명	장용철, 손민희
	② 참여구분	제1저자, 공동저자
	③ 제1저자	장용철
	④ 교신저자	박주영
	⑤ 공동저자	손민희
	⑥ 논문제목	한국의 2017-2019년 플라스틱 물질흐름분석
	⑦ 학술지명:	한국폐기물자원순환학회지
	⑧ 권(호), 페이지:	39(3), 194-206
	⑨ 학술지 구분	KCI
	⑩ 게재년월	202206
	⑪ DOI 번호	https://doi.org/10.9786/kswm.2022.39.3.1
	⑫ IF (JCR 2020)	-
	⑬ Citation (Google Scholar)	-
11	① 참여학생명	고예녹, 박소현
	② 참여구분	제1저자, 공동저자
	③ 제1저자	Enoch Go
	④ 교신저자	Hyeonggeun Yu, Hae Jung Son
	⑤ 공동저자	Hyunjung Jin, Seongwon Yoon, Sungmin Park, So Hyun Park
	⑥ 논문제목	Unraveling the Origin of Dark Current in Organic Bulk Hetero-Junction Photodiodes for Achieving a High Near-Infrared Detectivity
	⑦ 학술지명:	ACS Photonics
	⑧ 권(호), 페이지:	9(6), 2056-2065
	⑨ 학술지 구분	SCI
	⑩ 게재년월	2022.05
	⑪ DOI 번호	https://doi.org/10.1021/acsp Photonics.2c00193
	⑫ IF (JCR 2020)	7.077
	⑬ Citation (Google Scholar)	-
12	① 참여학생명	김영남
	② 참여구분	제1저자
	③ 제1저자	김영남
	④ 교신저자	하윤희
	⑤ 공동저자	우종률
	⑥ 논문제목	에너지복지정책의 친환경성 제고를 위한 국민 수용성 연구: 저소득층에너지효율개선사업을 중심으로
	⑦ 학술지명:	국회입법조사처 입법과 정책
	⑧ 권(호), 페이지:	제14권 제1호
	⑨ 학술지 구분	KCI
	⑩ 게재년월	2022. 4. 30.
	⑪ DOI 번호	https://doi.org/10.22809/nars.2022.14.1.002
	⑫ IF (JCR 2020)	
	⑬ Citation (Google Scholar)	

나. 참여대학원생 학술대회 대표실적의 우수성

- (국내외 학술대회 발표 실적) 해당기간 (2021년 9월~2022년 8월) 본 교육연구단의 참여대학원생은 국내외 학술대회에서 구두 또는 포스터 발표를 통해 10편의 발표실적을 달성

연번	참여대학원생 학술대회 대표업적물 설명																																										
1	곽규일, 우종률* Public Acceptance Of The Hydrogen Fueling Station In South Korea: A Discrete Choice Experiment Approach (학술대회: INFORMS 2022) ■ 연구 개요 및 요약 최근 탄소중립을 달성하기 위해 한국을 비롯한 선진국들이 차세대 청정에너지로 수소를 주목하고 있다. 한편, 수소차 보급은 증가하고 있다. 수소에너지 시스템을 우리 사회 전반으로 확산시키기 위해서는 기술적 불확실성을 해소하고 개인이 수소 기술을 받아들일 수 있는 사회적·경제적 토대를 마련해야 한다. 국내 수소차 보급률이 높은 점을 감안해 국민 수용성 문제를 극복하고 수소충전소 인프라를 확충해야 한다. 본 연구에서는 이산선택실험 중 베이지안 다항 로짓 모델을 채택하여 수소 급유소의 대중 수용도를 분석한다. 추정 결과를 바탕으로 수소 급유소 건설을 위한 한계지불의사(MWTP, Marginal Willingness To Pay)를 정량적으로 분석한다. 수소충전소가 거리가 멀고, 규모가 작아지고, 외부에서 수소를 공급해 수소탱크가 없고, 건설주체가 대기업이나 공공기관일수록 수소충전소 건설에 대한 공공 수용성이 높다는 조사결과가 나왔다. 본 연구에서 추정한 MWTP는 수소충전소 건설에 대한 비용 편익 분석 및 적정 보조금 산정에 적용할 수 있다. ■ 연구결과 - 낮은 수준의 대중적 수용에서는 수소충전소의 인프라를 확충하여 사람이 사는 곳에서 멀리 떨어진 대규모로 건설하는 것이 효과적이다. - 수소 경제 초기에는 공공기관이 수소충전소 건설사업의 주체가 되어야한다. - 서울처럼 인구밀도가 높은 지역은 수소충전소를 구축하기에는 WTA가 너무 많다. - 정부는 대중의 수용도를 높이기 위한 적절한 전략이 필요하다. 예를 들어 수소 기술과 수소 경제에 대한 인식 개선 등이 있다 Acceptance Rate base on Distance-Size-Subsidy <table border="1"><caption>Acceptance Rate base on Distance-Size-Subsidy (Estimated Data)</caption><thead><tr><th>Distance (km)</th><th>26\$ Medium</th><th>26\$ Large</th><th>26\$ X-Large</th><th>0\$ Medium</th><th>0\$ Large</th><th>0\$ X-Large</th></tr></thead><tbody><tr><td>0.1km</td><td>28</td><td>25</td><td>22</td><td>8</td><td>7</td><td>6</td></tr><tr><td>0.2km</td><td>32</td><td>28</td><td>25</td><td>10</td><td>9</td><td>8</td></tr><tr><td>0.5km</td><td>40</td><td>35</td><td>32</td><td>12</td><td>11</td><td>10</td></tr><tr><td>1km</td><td>55</td><td>50</td><td>45</td><td>20</td><td>18</td><td>15</td></tr><tr><td>2km</td><td>82</td><td>78</td><td>75</td><td>50</td><td>45</td><td>40</td></tr></tbody></table>	Distance (km)	26\$ Medium	26\$ Large	26\$ X-Large	0\$ Medium	0\$ Large	0\$ X-Large	0.1km	28	25	22	8	7	6	0.2km	32	28	25	10	9	8	0.5km	40	35	32	12	11	10	1km	55	50	45	20	18	15	2km	82	78	75	50	45	40
Distance (km)	26\$ Medium	26\$ Large	26\$ X-Large	0\$ Medium	0\$ Large	0\$ X-Large																																					
0.1km	28	25	22	8	7	6																																					
0.2km	32	28	25	10	9	8																																					
0.5km	40	35	32	12	11	10																																					
1km	55	50	45	20	18	15																																					
2km	82	78	75	50	45	40																																					

연번	참여대학원생 학술대회 대표업적물 설명
2	이현아 Self-governance for sustainable access to energy: Case of stand-alone solar system in Bangladesh villages 학술대회: 2022 The 5th International Conference on Renewable Energy and Environment and Environment Engineering 학술대회 주관기관: Universite de Bretagne Occidentale, Institut de Recherche Dupuy de Lome, University of Agder 학술대회 기간: 2022년 8월 24일-26일 ■ 연구의 의의 : - 개발도상국 농촌 지역은 경제발전에 필수요소인 에너지 접근성이 매우 낮아 빈곤지역의 경제성장을 위해 에너지 접근성 확대에 대한 논의가 지속되어 왔음 - 국제사회는 빈곤과 밀접한 연관이 있는 에너지 접근성을 높이기 위해 지속가능발전목표 7번에 지볼할 수 있는 깨끗한 에너지라는 목표를 포함. 그리고 이를 달성하기 위해서 Sustainable energy for all: SE4ALL 이니셔티브를 만들고 2030년까지 에너지 접근성 문제해결을 목표로 설정 - 비용효율적인 방법으로 오프그리드 지역에 재생에너지 발전 시스템이 각광을 받았으나 독립형, 미니그리드 시스템의 높은 실패율은 에너지 지속가능한 공급의 큰 결함 - 연구는 지속가능한 에너지 공급에 영향을 미치는 여러 요인 중 이 분야의 지배적인 경제, 기술적 접근이 아닌 사회문화적 요소인 자치제도적 접근으로 개발도상국 오프그리드 지역의 지속가능한 에너지 공급에 필요한 요소를 확인하는데 의의가 있음 ■ 차별성 - 에너지 접근에 있어서 공학적이고 경제적인 제한에 대한 연구 (예를들면, 기술선택 방법, 어떤 물리적 상황에서 적용가능한 기술 등)가 주류 - 에너지 접근 측면의 집단행동 문헌에서 제도적 통찰력을 언급하는 기존 연구는 매우 희소함 - 본 연구는 기존의 에너지 접근성을 제도로 분석한 논문들에서 사용하지 않은 Elinor Ostrom의 8가지 디자인원리를 이용하여 방글라데시 마을이 독립형 에너지 시설에 적용한 제도를 분석하여 차별성을 가짐 ■ 특징 : ○ 에너지지속가능성에 영향을 미치는 관리제도적 특징 8가지 원리 중 충족되지 않은 3가지 요소(감시활동, 점증적 제재 조치, 갈등해결 장치)는 장치를 장기간 사용할 수 없는 원인을 제공 8가지 원리 중에 포함되지 않은 부패와 권력 요인은 장기적 사용을 막는 저해요소. 문화적인 요소가 지속가능성에 미치는 영향 확인 ○ 한계 - 디자인원리에서 충족되지 않은 요소들의 추가 분석 필요

연번	참여대학원생 학술대회 대표업적물 설명
3	박재형, 우종률 Social Acceptability of Climate-Change Adaptation Policies in South Korea: a Contingent Valuation Method 학술대회: East Asian Economic Association International Convention 학술대회 주관기관: East Asian Economic Association 학술대회 기간: 2022년 8월 27일-28일 ■ 연구의 의의 • 국가 수준의 정책 중 일부과제에 대해 조건부가치평가법(contingent valuation method)을 적용, 국민들의 지불의사액(willingness to pay)를 추정함으로써 간접적으로 정책에 대한 국민의 선호도라는 사회적 수용성을 측정할 수 있는 방안을 제시하였다. • 나아가 정책 간 비교와 예산 수립 시 이를 활용함으로써 기후변화 적응 정책 추진의 추동력 확보에 기여할 수 있다고 생각된다. ■ 차별성 • 선행연구의 경우 정책이 아닌 주로 프로그램 수준에 조건부가치평가법을 적용하거나, 단일 정책에만 적용한 사례가 많았다. • 본 연구는 첫째, 국가수준의 정책에 대해 조건부가치평가법을 적용하였고, 둘째, 기후변화 적응 정책 중에서 상대적으로 국민에게 많이 알려진 기후변화에 대비한 홍수관리 정책과 기후변화 취약계층 보호 강화 정책을 대상으로 조건부가치평가법을 적용하여 이 2개 정책에 대해 현재 기준의 사회적 수용성을 판단하고자 하였다. • 아울러 지불거부자 중 지불저항응답자 비율이 높을 경우 이들을 제외하지 않고 통계적으로 처리할 수 있는 스파이크 모형을 적용하였다. ■ 연구 결과 • 가구당 연평균 기준으로 기후변화에 대비한 홍수관리 정책에 대해서는 약 27,457원, 기후변화 취약계층 보호 강화 정책에 대해서는 약 25,854원의 지불의사액이 각각 도출되었고, 이를 실제 전국 기준 가구수를 곱한 국가 단위의 편익은 각각 각각 약 5,736억원, 약 5,401억원으로 추정되었다. • 이러한 지불의사액에 정(+)의 영향을 주는 공변량으로는 이상기후로 인한 피해 경험, 기후변화에 대한 관심, 소득수준, 여당 선호인 것으로 나타났다. • 상기에 도출된 국가 단위의 편익을 실제 2021년에 책정된 예산과 비교해보면 편익 대비 예산 비중은 기후변화에 대비한 홍수관리가 77.55%이나 기후변화 취약계층 보호 강화는 4.46%로 기후변화 취약계층 정책에 대한 수용성은 높은 반면 예산은 그만큼 배정이 안되고 있음을 확인할 수 있었다.

연번	참여대학원생 학술대회 대표업적물 설명
4	엄희성 Eum, H.; Cheong, S.; Kim, J.; Han, S.-J.; Cheong, M.; Lee, H.; Lee, H.-S.; Lee, D.K. Sustainable Electrochemical NO Capture and Storage System Based on the Reversible $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$-EDTA Redox Reaction. Catalysts 2022, 12, 79. https://doi.org/10.3390/catal12010079 학술대회 : 한국화학공학회 2022 봄 학회 주관기관 : 한국화학공학회 기간 : 2022년 4월 20일~23일 발표일 : 2022년 4월 21일 1. 연구의 필요성 화석 연료의 사용 증가로 인해 배기가스 내 유해 물질이 증가하여 대기 오염을 발생시킨다. 특히 NOx는 햇빛과 반응하여 미세먼지의 전구체 역할을 하게 되고, 미세먼지 증가의 원인이 된다. 또한 오존과 반응하여 오존을 파괴시키기 때문에 배출 전 반드시 제거되어야 한다. 그러나 NOx의 90% 이상을 구성하고 있는 NO의 경우 물에 잘 녹지 않기 때문에 처리가 어려워 현재는 고온의 환경에서 환원제를 통해 무해한 N₂로 바꾸고 있다. 2. 차별성 유기 금속 복합체를 사용하여 NO를 제거하고자 했던 기존의 연구들은 주로 Fe²⁺-EDTA를 사용하여 NO를 흡수하고 액체 상태로 만들었으나, 산소에 의해 쉽게 산화되어 3가 철이 되면서 NO 흡수 능력을 상실하게 된다. 하지만 중심 금속인 철의 산화수를 전기화학적 셀을 이용하여 인위적으로 조절할 수 있다면, 원하는 위치에서 NO를 흡수하거나 방출시켜 따로 포집을 할 수 있게 된다. 이러한 시스템은 일정량의 유기 금속 복합체만을 사용하기 때문에 경제적이며, 상온 상압에서 운용이 가능하다. NO를 액체 상태로 바꿀 수 있기 때문에 기존의 황산화물 처리 설비와의 접목이 가능하며, 포집한 NO를 통해 부가 가치를 창출할 수 있다. 3. 연구 결과 전기화학 흐름전지에 Ag 환원 전극, glassy carbon 산화 전극을 적용하여 약 10 시간 정도의 안정성을 확보하였으며, 약 7.6%의 NO 기체를 포집할 수 있었다. 78.8%의 NO는 Ag 전극의 영향으로 암모니아로 변환되었다.

연번	참여대학원생 학술대회 대표업적물 설명
5	우종인 오명환 문병철 이동기 전용석 민병권 전기화학적 알코올, 알데하이드 산화에 우수한 성능을 가진 금속 촉매들의 조합으로 효과적인 바이오폴리머 모노머 생산 학술대회 : 2022 한국화학공학회 봄 총회 및 학술대회 학술대회 주관기관 : 한국 화학공학회 학술대회 기간 : 2022년 04월 20일-23일 높은 과전압을 필요로 하는 전기화학적 물산화 반응의 대안으로, 산소보다 더 가치 있는 물질을 더 낮은 과전압에서 만들어 낼 수 있는 전기화학적 알코올 산화 반응의 연구는 다양한 유기 물질의 산화 반응으로 연구되고 있음. 기존 행해지고 있던 유기 물질의 변환은 열화학적 방법으로 진행되었으며 에너지가 많이 소모되며 손실이 큰 고온 및 고압 조건이라는 단점이 있음. 물산화 반응보다 더 낮은 필요 과전압에서 물산화 반응의 생산물인 산소보다 더 가치 있는 물질을 생산할 수 있으며 열화학적 방법의 단점을 타개할 수 있는 전기화학적 방법은 최근 고부가가치의 유기 물질을 생산하기 위한 여러 유기 물질의 작용기 변환 연구 중 알코올을 산화시키는 연구가 활발히 진행되고 있음. 여러 고부가가치의 유기 물질 중 FDCA(2,5-furandicarboxylic acid)는 HMF(5-hydroxymethylfurfural)의 산화로 얻을 수 있으며, 바이오폴리머의 한 종류인 polyethylene furanoate(PEF)의 모노머로 사용된다. 같은 반응인 전기화학적 산화로 얻을 수 있는 산소보다 가치가 월등히 높으므로 이 FDCA 물질을 생산하기 위해서 전기화학적 HMF 산화 반응에 효과적인 촉매 연구가 활발히 진행되고 있다. 전기화학적 HMF 산화 반응에는 알코올, 알데하이드 이 두 산화 반응이 요구가 된다. 각 반응의 메커니즘은 명확히 밝혀진 바는 없지만, hydride transfer 또는 hydroxyl insert 가 이루어지며 산화 반응이 진행된다고 추측하고 있으며, 이 두 메커니즘을 토대로 각 반응에 필요한 금속 원소를 탐색해보았을 때 NiOOH 는 알코올, Cu(OH)₂ 는 알데하이드 산화에 촉매적 성능이 특화되어 있음을 확인하였다. 비표면적이 6~15배 증대된 나노폼 위에 두 원소의 조합으로 만든 Cu(OH)₂ nanofoam/NiOOH 촉매를 제작하였고, 그에 따라 대조군인 NiOOH 촉매보다 더 낮은 반응 과전압에서 약 5배 높은 전류 밀도를 나타내며 패러데이 효율이 약 98 % 에 도달하는 결과를 얻을 수 있었다. 이러한 결과는 앞서 예상했던 알코올, 알데하이드 산화는 서로 다른 메커니즘으로 진행되며 이 두 메커니즘에 특화된 각기 다른 금속 원소의 조합을 통해 서로 다른 반응을 담당하여 효과적인 촉매 반응이 나타나리라 판단하였고, NiOOH 와 Cu(OH)₂ 의 조합으로 구현할 수 있었던 것으로 보임.

연번	참여대학원생 학술대회 대표업적물 설명
6	홍이슬, 박주영* 도시 물 인프라의 전생애주기 에너지 소비 및 탄소 배출량 평가 학술대회: 대한상하수도학회 · 한국물환경학회 2021년 공동학술발표회 학술대회 주관기관: 대한상하수도학회 학술대회 기간: 2021년 11월 24일 에너지 효율 개선 및 에너지 회수 등을 통한 효율적인 물 관리는 온실가스 배출량을 20%~100% 감축시킬 수 있는 것으로 평가되고 있음(WaCCliM, 2018). 국내에서는 최근 수립된 “제1차 국가물관리계획(2021~2030)”에 따라 2023년까지 물 관리 에너지 효율 제고를 위한 온실가스 관리 목표를 설정할 계획이다. 온실가스 목표 설정을 위해서는 우선 물 인프라 전반에 대한 에너지 사용량의 평가가 선행되어야 하나, 아직까지 국내에는 관련 연구 및 자료구축이 미흡한 실정임. 이에 본 연구에서는 경기도 지역 중 각종 개발사업으로 인한 물 수요 증가, 원거리로부터의 원수 이송 등으로 물 분야 에너지 사용량이 증가할 것으로 예상되는 파주시를 사례지역으로 선정하고, 도시 내 물순환 관련 인프라 건설 및 운영에 따른 에너지 사용량 및 탄소 배출량을 평가하고자 하였음. 본 연구에서는 Renouf et al. (2018)의 도시 물 대사(Urban Water Metabolism) 방법론을 통해 파주시의 물순환 현황을 분석하고, 물 인프라와 관련된 에너지 사용량을 우선적으로 평가하였으며, 에너지 사용량 산정은 중앙집중형 및 분산형 상하수도 인프라에 국한하여 수행하였음. 분석 범위에는 상수도(취수, 정수, 송수, 배수, 급수시설), 하수도(하폐수 차집관로, 처리시설), 하수처리수 재이용시설, 중수도, 빗물이용시설, 지하수펌프가 포함된다. 에너지 분석은 시설 운영 부문을 중심으로 수행하였으나, 상하수도관의 경우 pumping 외에도 제조, 개량, 교체, 폐기 단계의 전 과정을 반영하였음. 물 대사 평가 결과, 파주시의 용수 수입률(광역상수도 이용률)은 33.0%이고, 대체수자원 이용률은 23.9%로 조사되었음. 물 관련 에너지 사용량은 총 668.3TJ로 파주시의 2018년 기준 총 전력사용량의 2%를 차지하며, 인프라별 에너지 사용량을 비교할 경우, 산업폐수처리시설 및 하수처리시설 운영이 각각 전체의 26.2%, 19.2%로 큰 비중을 차지하는 것으로 나타나, 폐수 및 하수 1㎥당 에너지 소비는 각각 2.7, 3.2 MJ로 나머지 시설들과 비교하여 다소비 시설에 해당하는 것으로 나타남. 상수도관 설치 및 유지관리는 광역상수도를 통한 원수의 원거리 이송을 고려하였음에도 불구하고 1㎥당 에너지 소비는 0.6 MJ로 연간 에너지 사용량은 전체의 5.1%로 조사되었음. 본 연구는 향후 에너지 분석에 사용된 다양한 데이터의 신뢰성 검토를 위한 불확실성 분석, 그리고 온실가스 배출량 분석 및 분석에 사용된 데이터의 신뢰성 검토를 위한 불확실성 분석을 수행할 예정임. 또한 연구를 통해 국내 물 분야 에너지 소비 및 온실가스 배출량의 효율적인 평가를 위한 토대를 마련할 수 있을 것으로 사료됨.

연번	참여대학원생 학술대회 대표업적물 설명
7	권성연, 하윤희* A Study on Renewable Energy Social Acceptance in Developing Countries: The Importance of Social/Cultural Factors in Utilizing Reused Solar PV Modules 학술대회: Energy and Climate Transformations: 3rd International Conference on Energy Research & Social Science 학술대회 주관기관: Elsevier 학술대회 기간: 2022년 6월 20일-23일 The global energy sector in 2050 is mainly based on renewable, with solar as the single largest source of supply by reaching around 25% by 2050. However, one should not forget to consider the waste it creates. Considering the average 25 years of lifespan of solar PV modules, the worldwide PV waste is anticipated to reach around 78 million tonnes by 2050. Reused PV modules can be essential in extending their usefulness and preventing early entry into the waste stream. Therefore, the efficient reuse of PV modules is becoming increasingly desirable, particularly in developing countries. Less efficient PV modules can be a significant source of pollution if not reused. However, their use in developing countries where power generation can cover the demands can expand the circular economy and energy access. Although social acceptance has proven to be a significant factor in implementing renewable energy, most existing social acceptance researches focus on the economic aspect; it overlooks the importance of social and cultural value. This paper addresses the necessity and the usefulness of reused PV modules that can still produce at least 70% ~ 80% of their initial output peak rate. This paper investigates the best way to implement reused solar PV modules in developing countries by examining the social and cultural factors to improve public acceptance better. This study assesses the social and cultural factors for social acceptance of reused solar PV modules across Africa through a qualitative analysis from 36 countries with the most potential to be benefitted from utilizing reused solar PV modules. Understanding the influences of social and cultural factors on social acceptance enables the creation of strategies that will promote the development of reused PV modules by mitigating any public opposition.

연번	참여대학원생 학술대회 발표 실적 상세내용	
1	① 구두/포스터 발표	구두발표
	② 연도	2022년
	③ 국내/국제 학회여부	국제
	④ 학술대회명	The 5 th International Conference on Renewable Energy and Environment and Environment Engineering
	⑤ 개최국가	프랑스(온라인)
	⑥ 개최일(YYYYMMDD)	20220824
	⑦ 주관기관	Universite de Bretagne Occidentale, Institut de Recherche Dupuy de Lome, University of Agder
	⑧ 발표논문명	Self-governance for sustainable access to energy: Case of stand-alone solar system in Bangladesh villages
	⑨ 발표논문 공동저자	이현아
2	① 구두/포스터 발표	구두 발표
	② 연도	2022년
	③ 국내/국제 학회여부	국제
	④ 학술대회명	East Asian Economic Association International Convention
	⑤ 개최국가	말레이시아
	⑥ 개최일(YYYYMMDD)	20220827-20220828
	⑦ 주관기관	East Asian Economic Association
	⑧ 발표논문명	Social Acceptability of Climate-Change Adaptation Policies in South Korea: a Contingent Valuation Method
	⑨ 발표논문 공동저자	박재형, 우종률
3	① 구두/포스터 발표	구두 발표
	② 연도	2022
	③ 국내/국제 학회여부	국내
	④ 학술대회명	한국화학공학회 2022 봄 학회
	⑤ 개최국가	대한민국
	⑥ 개최일(YYYYMMDD)	20220420
	⑦ 주관기관	한국화학공학회
	⑧ 발표논문명	Sustainable Electrochemical NO Capture and Storage System Based on the Reversible Fe ²⁺ /Fe ³⁺ -EDTA Redox Reaction.
	⑨ 발표논문 공동저자	엄희성, 이동기
4	① 구두/포스터 발표	구두 발표
	② 연도	2022
	③ 국내/국제 학회여부	국내
	④ 학술대회명	한국화학공학회 2022 봄 학회
	⑤ 개최국가	대한민국
	⑥ 개최일(YYYYMMDD)	20220420
	⑦ 주관기관	한국화학공학회
	⑧ 발표논문명	Collaborative Electrochemical Oxidation of the Alcohol and Aldehyde Groups of 5-Hydroxymethylfurfural by NiOOH and Cu(OH) ₂ for Superior 2,5-Furandicarboxylic Acid Production
	⑨ 발표논문 공동저자	Jongin Woo, Byoung Koun Min, Dong Ki Lee
5	① 구두/포스터 발표	구두 발표
	② 연도	2022년
	③ 국내/국제 학회여부	국내
	④ 학술대회명	2022 한국화학공학회 봄 총회 및 학술대회
	⑤ 개최국가	한국
	⑥ 개최일(YYYYMMDD)	20220422
	⑦ 주관기관	한국화학공학회
	⑧ 발표논문명	전기화학적 알코올, 알데하이드 산화에 우수한 성능을 가진 금속 촉매들의 조합으로 효과적인 바이오폴리머 모노머 생산
	⑨ 발표논문 공동저자	우종인, 오명환

연번	참여대학원생 학술대회 발표 실적 상세내용	
6	① 구두/포스터 발표	구두 발표
	② 연도	2022년
	③ 국내/국제 학회여부	국내
	④ 학술대회명	2022 한국화학공학회 봄 총회 및 학술대회
	⑤ 개최국가	한국
	⑥ 개최일(YYYYMMDD)	20220420-20220423
	⑦ 주관기관	한국화학공학회
	⑧ 발표논문명	Low-Temperature Deposition of Thin-film SOFC using Pulsed Laser Deposition
	⑨ 발표논문 공동저자	Minyae Moon, Yongseok Jeon, Ji-Won Son, Deok-Hwang Kwon*
7	① 구두/포스터 발표	구두 발표
	② 연도	2022년
	③ 국내/국제 학회여부	국내
	④ 학술대회명	한국화학공학회 2022년도 봄 총회 및 학술대회
	⑤ 개최국가	한국
	⑥ 개최일(YYYYMMDD)	20220420-20220422
	⑦ 주관기관	한국화학공학회
	⑧ 발표논문명	Exsolution of Ru nanoparticles from BaCeY-Oxide for enhanced metal-support interaction increasing ammonia synthesis reaction under mild conditions
	⑨ 발표논문 공동저자	Hayoung Kim, Ho-il Ji, Ji-won Son, Sungeun Yang
8	① 구두/포스터 발표	구두 발표
	② 연도	2021
	③ 국내/국제 학회여부	국내
	④ 학술대회명	대한상하수도학회 · 한국물환경학회 2021년 공동학술발표회
	⑤ 개최국가	한국
	⑥ 개최일(YYYYMMDD)	20211124-20211125
	⑦ 주관기관	대한상하수도학회
	⑧ 발표논문명	도시 물 인프라의 전생애주기 에너지 소비 및 탄소 배출량 평가
	⑨ 발표논문 공동저자	홍이슬, 박주영
9	① 구두/포스터 발표	구두 발표
	② 연도	2021
	③ 국내/국제 학회여부	국내
	④ 학술대회명	한국기후변화학회 2021년 상반기학술대회
	⑤ 개최국가	한국
	⑥ 개최일(YYYYMMDD)	20210617 - 20210618
	⑦ 주관기관	한국기후변화학회
	⑧ 발표논문명	제3차 국가기후변화적응대책('21-'25) 일부 주요과제에 대한 사회적 수용성 연구
	⑨ 발표논문 공동저자	박재형, 우종률
10	① 구두/포스터 발표	포스터 발표
	② 연도	2022년
	③ 국내/국제 학회여부	국제
	④ 학술대회명	Energy and Climate Transformations: 3rd International Conference on Energy Research & Social Science
	⑤ 개최국가	영국, 맨체스터
	⑥ 개최일(YYYYMMDD)	20220620-220623
	⑦ 주관기관	Elsevier
	⑧ 발표논문명	A Study on Renewable Energy Social Acceptance in Developing Countries: The Importance of Social/Cultural Factors in Utilizing Reused Solar PV Modules
	⑨ 발표논문 공동저자	권성연, 하윤희

다. 참여대학원생 특허, 기술이전, 창업 실적의 우수성

- **(특허)** 참여대학원생의 경우 장기간의 준비 및 승인 기간 등을 요구하는 특허, 기술이전, 창업 등의 개인 실적을 내기가 현실적으로 쉽지 않음. 그럼에도 불구하고 학생이 참여한 2건의 특허 등록에 성공하는 성과가 있었음(표 4-1). 또한 4건의 특허 출원이 된 상태임(표 4-2).

〈표 4-1〉 최근 1년간(2021.9.1.-2022.8.31.) 특허 등록실적

연번	연도	항목	등록 국가	등록일자	등록번호	발명의 명칭	등록인 구분	발명인명
1	2021	국내특허	대한민국	2021.09.03		투명도를 고려한 박막 태양전지 및 그 제조방법	고려대학교 산학협력단	전용석, 강운목, 이찬용, 김승규, 고종원
2	2022	국내특허	대한민국	2022.08.16		수전해 장치 및 수전해 방법	고려대학교 산학협력단	전용석, 김태민, 이찬용

〈표 4-2〉 최근 1년간(2021.9.1.-2022.8.31.) 특허 출원실적

연번	연도	항목	출원 국가	출원일자	출원번호	발명의 명칭	등록인 구분	발명인명
1	2022	해외특허	PCT	2022.03.07		확장이 용이한 조립형 태양광 모듈 및 어셈블리의 구조 및 공정	고려대학교 산학협력단	전용석, 강운목, 이찬용, 채경진
2	2022	해외특허	PCT	2022.04.15		투명도를 고려한 박막 태양전지 및 그 제조방법	고려대학교 산학협력단	전용석, 강운목, 이찬용, 김승규, 고종원
3	2022	해외특허	PCT	2022.06.14		충격 흡수구조체를 포함한 태양광 모듈	고려대학교 산학협력단	전용석, 강운목, 이찬용, 이창현
4	2022	해외특허	PCT	2022.06.22		태양광 모듈의 제조 방법	고려대학교 산학협력단	김동환, 강운목, 이혜석, 전용석, 이찬용, 고종원

- **(기술이전)** 현재 본 교육연구단 소속 참여대학원생중 지난 사업년도 동안 창업을 기획 중이거나 창업을 완료한 학생은 없음. 다만 교내 산학협력단 ‘기술산업화센터’에서는 대학원생들의 특허 및 기술이전에 대한 교육을 진행하고, 본 교육연구단에서는 관심있는 참여대학원생에 한해 기술산업화센터를 연결시켜주고 있음.
- **(창업)** 현재 본 교육연구단 소속 참여대학원생중 지난 사업년도 동안 창업을 기획 중이거나 창업을 완료한 학생은 없음. 다만 교내 산학협력단에서 학생들의 창업에 대한 여러 가지 교육 및 행사를 주최하고 있으며, 창업 관심 학생이 있을 경우 산학협력단에서 주최한 교육 및 관련 행사에 대한 공지 및 여러 가지 지원을 계획하고 있음.
 - (산학협력단-기술사업화센터 & 한국연구재단) 예비창업자를 위한 기술창업 기본교육 (KUEE, Korea University Entrepreneurship Education)을 주 2회 온라인으로 진행. 각 강의당 90분 이내.
 - (산학협력단) 공공기술기반 시장연계 창업탐색지원사업: 해외진출 창업실무교육
 - (산학협력단-기술사업화센터) KU 실험실 창업 교육 프로그램 운영
 - (크림슨창업지원단) 현재 교내 크림슨창업지원단에서는 대학원생 프로그램으로 창업강좌/창업동아리/기술개발자교육 등을 운영중임.

5. 신진 연구인력 현황 및 실적

가. 연구인력 현황 및 확보계획

● 우수인력 확보

- 본 교육연구단은 지난 사업연도 동안 (2021.9.1.~2022.8.31.) 총 3명의 신진인력을 확보하였음(표 5-1).

〈표 5-1〉 BK21 4단계 사업 우수 신진연구인력 현황 (2021.9.1.~2022.8.31.)

이름	연구 분야 및 성과
PRABHAKAR SAMUEL EDMUND	(재직 중) 에너지 저장소재 전공 공학자로서 기술트랙 학생 논문지도 및 공동연구를 수행 중
이형석	(재직 중) 지속가능경영학을 전공한 경영학자로서 정책전공 학생 논문지도 및 공동연구를 수행 중
Cao Shijun	(재직 중) 발전경제학을 전공한 경제학자로서 정책전공 학생 논문지도 및 공동연구를 수행 중

나. 신진연구인력 지원 계획

- **(안정된 계약 기간 및 급여 보장)** 신진인력에게 안정된 계약기간을 보장하고, 2022년도 급여수준을 첫 번째 사업 시행연도인 2020년 대비 약 16.7% 인상
- **(우수연구 성과급 지급)** 대학원 우수연구 성과급 기준이 고려대학교 전임교원만을 대상으로 하기 때문에, 비전임교원으로 분류된 신진인력에 대학 우수연구 성과급 지급이 불가함. 추후 이에 대한 검토와 개선 필요
- **(연구공간 및 학술 활동 지원)** 각 신진연구인력에게 연구공간 및 개인 컴퓨터 등 연구에 필요한 환경을 제공하고 융합연구 및 학회참석에 필요한 충분한 인력과 예산을 확보함. 또한 본교의 학제간 연구사업 지원과 외부과제 수행을 허용하고 있으며 전임교원의 과제 참여도 가능
- **(커리어 발전 지원)** 예비 교수자 수업과 영어 교수법 강의(English Mediated Instruction) 수업을 적극적으로 활용하여 교수법을 배우고 개선해 나가는 등 커리어 발전을 지원. 현재 재직 중인 신진인력들은 기존 수년간 다수 과목의 (영어)강의 경력을 보유하고 있어 본인들의 희망에 따라 커리어 발전을 위해 강의에 참여

다. 신진연구인력 연구역량 대표실적

- 본 교육연구단 소속 신진연구인력은 지난 사업년도(2021.09.~2022.08) 동안 SCI(E)급 이상의 저널에 논문을 게재하였으며, Edmund Samule 연구교수는 Impact Factor 14.66인 Chemical engineering journal에 논문을 게재하는 성과를 달성하였음.

연 번	신진연구 인력명	연구자 등록번호	이공계열/인 문사회계열	전공분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용
				세부전공 분야		
대표연구업적물의 적합성과 우수성						
1	이형석		인문사회계열	경제학	저널 논문	①저자명: 이형석
				환경경제학		②논문제목: Exports as a new paradigm to connect business and information technology for sustainable development
						③학술지명: Journal of Innovation & Knowledge
						④권(호), 페이지: 7(4) 100233
						⑤공동저자 중 대표업적물 제출 참여교수 수: 0명
						⑥게재연도: 2022년
						⑦DOI 번호(해당시): https://doi.org/10.1016/j.jik.2022.100233
With efficient and effective access to information technology, exports could be the best solution for businesses to tackle climate change through “learning by exporting” for sustainable development. With this context as reference, this study uses the directional distance function and the Malmquist-Luenberger Productivity Index (MLPI) to analyze the “green” total factor productivity (GTFP) growth of exporting firms in India by comparing them with non-exporting firms from 2012 to 2020. The finding reveals that, on average, GTFP growth is higher for the exporting firms (7.9%) as compared to non-exporting firms (-0.7%)—the “learning by exporting” effect exists in India, and exports could help Indian firms tackle climate change. Moreover, the decomposition of the MLPI shows that technical change (TC) is the main driver of GTFP in both exporting and non-exporting groups—IT or technological innovation leads to an increase in environmental productivity. Furthermore, the Tobit model is used to analyze the main drivers of TC that promote the GTFP in both groups. The results show that the product innovation (0.61%) has exerted a remarkable positive effect on promoting the GTFP of exporting firms and the human capital quality (0.57%) in non-exporting firms. Based on these findings, we propose that Indian policymakers “prudently” implement more field-oriented or performance-oriented policies for firms through promotional policies, such as tax incentives, while also encouraging the adoption of innovative technology for more effective mitigation of climate change for sustainable development.						

연 번	신진연구 인력명	연구자 등록번호	이공계열/인 문사회계열	전공분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용
				세부전공 분야		
대표연구업적물의 적합성과 우수성						
2	이형석		인문사회계열	경 제 학	저널 논문	①저자명: 이형석
				환경경제학		②논문제목: Sustainability of Overlapped Emission Trading and Command-And-Control CO2 Regulation for Korean Coal Power Production: A DEA-Based Cost-Benefit Analysis
③학술지명: Frontiers in Environmental Science						
④권(호), 페이지: 7(4) 100233						
⑤공동저자 중 대표업적물 제출 참여교수 수: 0명						
⑥게재연도: 2022년						
⑦DOI 번호(해당시): https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.877823						
Regulatory policies are indispensable to efficiently curbing anthropogenic CO2 emissions and sustainably producing emission-intensive goods. Though previous modelling practice has studied the cost and benefit of different regulatory policies, such as command-and-control (CAC) and emission trading scheme (ETS), little is known about that for overlapped emission regulation policies. Here, we built up a Data Envelopment Analysis model to study the losses and gains from the overlapped implementation of CAC and ETS for Korean coal-fired power plants during 2011-2015. We showed that the initial phase of CAC in 2012 caused a sudden loss in power plants’ output, but that the loss was gradually eliminated in 2013 and 2014. Upon promulgation in 2015, ETS is expected to increase only 0.990% of output compared to CAC, yet it largely failed to deliver the potential benefit in its first year. The overlapped implementation of CAC and ETS contributes to a small share (5.567%) of the unrealized benefit. Nonetheless, we showed that implementing CAC and ETS in parallel tends to disproportionately affect less efficient power plants by restricting their strategies to meet regulatory measures. Therefore, we suggest that the integration of CAC and ETS can be a transitory measure as ETS provides only marginal welfare benefits, but ETS must be fully adopted and strengthened in the near future to economically and equitably mitigate CO2 emissions.						

연 번	신진연구 인력명	연구자 등록번호	이공계열/인 문사회계열	전공분야 세부전공 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용
	대표연구업적물의 적합성과 우수성					
3	Edmund Samuel		이공계열	Ceramic engineering	저널 논문	①저자명: Edmund Samuel
				Materials Science, Coatings&F ilms		②논문제목: Flexible metallized carbon nanofibers decorated with two-dimensional NiGa2S4 nanosheets as supercapacitor electrodes
					③학술지명: Chemical Engineering Journal	
						④권(호), 페이지: 420, 130497
						⑤공동저자 중 대표업적물 제출 참여교수 수: 1명
						⑥게재연도: 2021년
						⑦DOI 번호(해당시): https://doi.org/10.1016/j.cej.2021. 130497
	현재 전 세계적으로 지구온난화에 의한 기후\변화로 인해 탄소중립(Carbon Neutral) 목표달성을 위한 정책들을 기획하여 발표하고 있으며 지속 가능하고 재생가능한 자원을 활용할 것을 요구 받고 있음. 많은 사람들은 신재생에너지의 불규칙한 전원 공급에 따른 불안정한 에너지 사용보다는 예측 가능한 범위 내에서 안정적으로 에너지 사용하기를 원함. 슈퍼커패시터는 짧은 충전 시간과 우수한 출력, 반영구적인 수명, 우수한 안정성 등의 특징을 가지고 있어 사람들의 요구를 충족하기에 충분하며 배터리를 대체하거나 보조하는 역할로 많이 수행되고 있음. 본 논문은 Carbon nanofiber(CNF) 표면에 Ni 도금을 하고 그 위에 NiGa2S4 nanosheet를 성장시켜 슈퍼커패시터의 성능을 평가함. CNF 위에 Ni를 도금함으로써 전기 전도성을 향상시켰으며, NiGa2S4를 성장시켜 에너지 저장 능력을 증가시켰음. NaGa2S4 nanosheet는 전해질이 전극에 확산되는 것을 촉진시킬 뿐만 아니라 전기화학적 반응을 개선시켜 성능 향상에 기여함. 성능 측정을 통해 타당성을 검토하였음. 본 연구를 통해 슈퍼커패시터의 발전 가능성을 확인하였으며 추후 슈퍼커패시터 개발 연구에 기여할 것으로 예상 본 논문은 우수성이 인정되어 SCI 저널인 “Chemical engineering journal” (IF=14.66) 에 게재됨.					

연 번	연구실적 상세내용	
1	① 참여신진연구인력명	Edmund P. Samuel
	② 참여구분	공동저자
	③ 제1저자	Chanwoo Park , Taegun Kim
	④ 교신저자	Seongpil An , Sam S. Yoon
	⑤ 공동저자	Edmund P. Samuel, Yong-Il Kim
	⑥ 논문제목	Superhydrophobic antibacterial wearable metallized fabric as supercapacitor, multifunctional sensors, and heater
	⑦ 학술지명:	Journal of Power Source
	⑧ 권(호), 페이지:	506, 230142
	⑨ 학술지 구분	SCI
	⑩ 게재년월	2021.09
	⑪ DOI 번호	10.1016/j.jpowsour.2021.230142
	⑫ IF (JCR 2020)	9.794
	⑬ Citation (Google Scholar)	9
2	① 참여신진연구인력명	Edmund P. Samuel
	② 참여구분	공동저자
	③ 제1저자	Taegun Kima, Chanwoo Parka
	④ 교신저자	Seongpil An, Sam S. Yoon
	⑤ 공동저자	Edmund P. Samuel, Yong-Il Kim
	⑥ 논문제목	Wearable sensors and supercapacitors using electroplated-Ni/ZnO antibacterial fabric
	⑦ 학술지명:	Journal of Materials Science & Technology
	⑧ 권(호), 페이지:	100, 254 - 264
	⑨ 학술지 구분	SCI
	⑩ 게재년월	2022.02
	⑪ DOI 번호	10.1016/j.jmst.2021.05.044
	⑫ IF (JCR 2020)	10.32
	⑬ Citation (Google Scholar)	4
3	① 참여신진연구인력명	Edmund Samuel
	② 참여구분	제1저자
	③ 제1저자	Bhavana Joshi, Edmund Samuel
	④ 교신저자	Hae-Seok Lee, Sam S. Yoon
	⑤ 공동저자	Chanwoo Park , Yongil Kim
	⑥ 논문제목	Bimetallic ZnFe2O4 nanosheets prepared via electrodeposition as binder-free high-performance supercapacitor electrodes
	⑦ 학술지명:	Applied Surface Science
	⑧ 권(호), 페이지:	559, 149951
	⑨ 학술지 구분	SCI
	⑩ 게재년월	2021.09
	⑪ DOI 번호	10.1016/j.apsusc.2021.149951
	⑫ IF (JCR 2020)	7.392
	⑬ Citation (Google Scholar)	10
4	① 참여신진연구인력명	Edmund Samuel
	② 참여구분	제1저자
	③ 제1저자	Yongil Kim, Edmund Samuel
	④ 교신저자	Hae-Seok Lee, Sam S. Yoon
	⑤ 공동저자	Bhavana Joshi c , Chanwoo Park
	⑥ 논문제목	Flexible metallized carbon nanofibers decorated with two-dimensional NiGa2S4 nanosheets as supercapacitor electrodes
	⑦ 학술지명:	Chemical Engineering Journal
	⑧ 권(호), 페이지:	420, 130497
	⑨ 학술지 구분	SCI
	⑩ 게재년월	2021.09
	⑪ DOI 번호	10.1016/j.cej.2021.130497
	⑫ IF (JCR 2020)	16.744
	⑬ Citation (Google Scholar)	17

연 번	연구실적 상세내용	
5	① 참여신진연구인력명	Edmund Samuel
	② 참여구분	제1저자
	③ 제1저자	Edmund Samuel, Bhavana Joshi
	④ 교신저자	Hae-Seok Lee, Sam S. Yoon
	⑤ 공동저자	Yongil Kim, Chanwoo Park, Ali Aldalbahi, Mohamed El-Newehy
	⑥ 논문제목	Cotton fabric decorated with manganese oxide nanorods as a supercapacitive flexible electrode for wearable electronics
	⑦ 학술지명:	Applied Surface Science
	⑧ 권(호), 페이지:	568, 150968
	⑨ 학술지 구분	SCI
	⑩ 게재년월	2021.09
	⑪ DOI 번호	10.1016/j.apsusc.2021.150968
	⑫ IF (JCR 2020)	7.392
	⑬ Citation (Google Scholar)	5
6	① 참여신진연구인력명	Edmund Samuel
	② 참여구분	제1저자
	③ 제1저자	Taegun Kim, Edmund Samuel
	④ 교신저자	Yoonmook Kang, Hae-Seok Lee, Sam S. Yoon
	⑤ 공동저자	Chanwoo Park, Ali Aldalbahi, Mohamed El-Newehy
	⑥ 논문제목	Iron oxide supercapacitor of high volumetric energy and power density using binder-free supersonic spraying and self-healing rGO
	⑦ 학술지명:	Journal of Materials Science & Technology
	⑧ 권(호), 페이지:	4813684 - 13694
	⑨ 학술지 구분	SCI
	⑩ 게재년월	2022.02
	⑪ DOI 번호	10.1016/j.jmst.2021.05.044
	⑫ IF (JCR 2020)	5.532
	⑬ Citation (Google Scholar)	1
7	① 참여신진연구인력명	Edmund Samuel
	② 참여구분	제1저자
	③ 제1저자	Edmund Samuel
	④ 교신저자	Hae-Seok Lee, Sam S. Yoon
	⑤ 공동저자	Bhavana Joshi, Chanwoo Park, Ali Aldalbahi, Mohamed El-Newehy
	⑥ 논문제목	Wearable fabric supercapacitors based on CNTs and polyhedral ZnO with a wide potential window
	⑦ 학술지명:	International Journal of Energy Research
	⑧ 권(호), 페이지:	46(6), 8186 - 8200
	⑨ 학술지 구분	SCI
	⑩ 게재년월	2022.02
	⑪ DOI 번호	doi.org/10.1002/er.7720
	⑫ IF (JCR 2020)	4.672
	⑬ Citation (Google Scholar)	1
8	① 참여신진연구인력명	Edmund Samuel
	② 참여구분	제1저자
	③ 제1저자	Bhavana Joshi, Edmund Samuel
	④ 교신저자	Ali Aldalbahi, Sam S. Yoon
	⑤ 공동저자	Yongil Kim, Taegun Kim, Mohamed El-Newehy
	⑥ 논문제목	Electrospun zinc-manganese bimetallic oxide carbon nanofibers as freestanding supercapacitor electrodes
	⑦ 학술지명:	International Journal of Energy Research
	⑧ 권(호), 페이지:	
	⑨ 학술지 구분	SCI
	⑩ 게재년월	2022.02
	⑪ DOI 번호	doi.org/10.1002/er.7719
	⑫ IF (JCR 2020)	4.672
	⑬ Citation (Google Scholar)	-

연 번	연구실적 상세내용	
9	① 참여신진연구인력명	Edmund Samuel
	② 참여구분	제1저자
	③ 제1저자	Bhavana Joshi, Edmund Samuel
	④ 교신저자	Alexander L. Yarin, Mark T. Swihart, Sam S. Yoon
	⑤ 공동저자	Yong-il Kim
	⑥ 논문제목	Review of recent progress in electrospinning-derived freestanding and binder-free electrodes for supercapacitors
	⑦ 학술지명:	Coordination Chemistry Reviews
	⑧ 권(호), 페이지:	460, 214466
	⑨ 학술지 구분	SCI
	⑩ 게재년월	2022.06
	⑪ DOI 번호	doi.org/10.1016/j.ccr.2022.214466
	⑫ IF (JCR 2020)	22.06
	⑬ Citation (Google Scholar)	6
10	① 참여신진연구인력명	Edmund Samuel
	② 참여구분	제1저자
	③ 제1저자	Edmund Samuel, Ali Aldalbahi
	④ 교신저자	Sam S. Yoon
	⑤ 공동저자	Mohamed El-Newehy, Hany El-Hamshary
	⑥ 논문제목	Flexible and freestanding manganese/iron oxide carbon nanofibers for supercapacitor electrodes
	⑦ 학술지명:	Ceramics International
	⑧ 권(호), 페이지:	48(13), 18374 - 18383
	⑨ 학술지 구분	SCI
	⑩ 게재년월	2022.07
	⑪ DOI 번호	doi.org/10.1016/j.ceramint.2022.03.106
	⑫ IF (JCR 2020)	5.532
	⑬ Citation (Google Scholar)	2
11	① 참여신진연구인력명	Edmund Samuel
	② 참여구분	공동저자
	③ 제1저자	Ali Aldalbahi
	④ 교신저자	Sam S. Yoon
	⑤ 공동저자	Mohamed H. El-Newehy, Hany El-Hamshary, Edmund Samuel
	⑥ 논문제목	Facile Preparation of Porous Carbon Flake-Supported Nickel Nanoplates as Effective Catalysts for Methanol Electrooxidation
	⑦ 학술지명:	Catalysts
	⑧ 권(호), 페이지:	12(5), 556
	⑨ 학술지 구분	SCI
	⑩ 게재년월	2022.05
	⑪ DOI 번호	doi.org/10.3390/catal12050556
	⑫ IF (JCR 2020)	4.501
	⑬ Citation (Google Scholar)	-
12	① 참여신진연구인력명	이형석
	② 참여구분	공동저자
	③ 제1저자	Jahira Debbarma
	④ 교신저자	Yongrok Choi
	⑤ 공동저자	Fan Yang, Hyoungsuk Lee
	⑥ 논문제목	Exports as a new paradigm to connect business and information technology for sustainable development
	⑦ 학술지명:	Journal of Innovation & Knowledge
	⑧ 권(호), 페이지:	7(4), 100233
	⑨ 학술지 구분	SSCI
	⑩ 게재년월	2022.07
	⑪ DOI 번호	https://doi.org/10.1016/j.jik.2022.100233
	⑫ IF (JCR 2020)	11.219
	⑬ Citation (Google Scholar)	-

연 번	연구실적 상세내용	
	① 참여신진연구인력명	이형석
13	② 참여구분	교신저자
	③ 제1저자	Fan Yang
	④ 교신저자	Yongrok Choi, Hyongsuk Lee
	⑤ 공동저자	Jahira Debbarma
	⑥ 논문제목	Sustainability of Overlapped Emission Trading and Command-And-Control CO2 Regulation for Korean Coal Power Production: A DEA-Based Cost-Benefit Analysis
	⑦ 학술지명:	Frontiers in Environmental Science
	⑧ 권(호), 페이지:	280
	⑨ 학술지 구분	SCIE
	⑩ 게재년월	2022.04
	⑪ DOI 번호	https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.877823
	⑫ IF (JCR 2020)	5.411
	⑬ Citation (Google Scholar)	-

라. 신진연구인력 교육역량 대표실적

- 지난 사업연도(2021.90~2022.08.) 동안 본 교육연구단 소속 신진연구인력의 교육역량 실적은 없음. 다만, 2022년 2학기부터 본 대학원의 정규 교과목의 공동 강의 교수로 참여하고 있음. 이형석 교수는 기후변화와 R&D, Shijun Cao 교수는 Smart City and Energy Transition 등의 교과목을 담당하고 있음. 또한 본 연구단 참여 학생들의 논문지도에 참여하고 있음

6. 참여교수의 교육역량 대표실적

연번	참여 교수명	연구자 등록번호	이공계열 /인문사 회계열	전공분야	실적구분	대표교육업적 상세내용
				세부 전공분야		
대표교육업적물의 적합성과 우수성						
1	전용석		이공계열	에너지	신설교과목	①과목명: 에너지시스템에너지니어링과정책
				재료		②개설학기: 2021년 2학기
						③강의시간: 16주, 3시간/주
						④학점: 3학점
						⑤이수구분: 전공선택
						⑥수업유형: 대면 및 비대면
						⑦학수번호: GRS004(00)
				전 세계적으로 기후변화에 따른 재생에너지에 대한 관심도가 높아짐에 따라, 관련된 소재 특히 수소에 대한 재료적 관점에서 접근함. 또한, 전기화학적 응용을 첨가하여 공학기본 개념과 응용 개념들을 습득하고, 각 에너지에 적용되는 기술들에 대한 기본적인 이론과 관련된 지식을 습득함. 에너지의 공급체계 및 기술체계의 분석, 평가 및 예측에 필요한 시스템적 분석 기법을 포함함.		

연번	참여 교수명	연구자 등록번호	이공계열 /인문사 회계열	전공분야	실적구분	대표교육업적 상세내용
				세부 전공분야		
대표교육업적물의 적합성과 우수성						
2	강운목		이공계열	전기공학	강의내용 개편	①과목명: 태양전지
						②개설학기: 2020년 2학기, 2021년 2학기, 2022년 2학기
				③강의시간: 16주, 3시간/주		
				반도체물성		
				④학점: 3학점		
				⑤이수구분: 전공선택		
				⑥수업유형: 대면		
				⑦학수번호: GRS687(00)		
BK21 사업단의 목표 중 하나인 산업사회문제 해결 방안의 일환으로 금년도 강의내용을 태양광 산업 현장을 이해하고 발생 가능한 문제를 해결할 수 있는 내용으로 전면 개편하였음 - 이전 학기 강의내용(2020년 2학기, 2021년 2학기): 빛의 굴절과 전파, 회절 그리고 기하광학과 물리광학 그리고 광전자 소자, 태양전지 시뮬레이션 등으로 구성되어 태양전지에 대한 원리를 이해하는 내용 - 강의내용 개편(2022년 2학기): 태양광산업에서 R&D 및 생산 전문가가 강의에 참여하여 글로벌 시장 점유율 1위인 태양전지와 태양광 모듈의 공정, 구동 원리, 신뢰성 분석, 설비 운영 ,R&D 전략 및 경제성 분석 등 태양광산업에서 직접적으로 활용되는 내용으로 전면 개편함						

7. 교육의 국제화 전략

가. 교육 프로그램의 국제화 현황 및 계획

▣ 해외학자(전임교수, 초빙교수, 객원교수 등 포함) 활용 계획 및 역할

- (해외 관련 분야 석학 온라인 교육 운영) 전임교수, 초빙교수 등의 직책으로 해외학자를 임용하지는 않았으나, 최고 수준의 해외 석학들을 활용하는 정규 교과목(온라인)을 개설하여 이들의 지식과 경륜을 본 대학원의 교육역량으로 끌어들이고 있음. 스탠포드대, 텔라웨어대학, 아리조나주립대, 서섹스대학, 토론토대학 등의 교수들이 강의에 참여하였음.
- 2021년 2학기에 Foundation for Renewable Energy & Environment (FREE)과 에너지/환경/지속가능 발전/기후변화 분야 온라인 교육 프로그램인 ‘글로벌에너지전문가세미나’ 과목 개설(표 7-1)

〈표 7-1〉 2021년도 2학기 글로벌에너지전문가세미나 현황

일자	해외초청연사명	소속	주제/내용
2021년 9월 7일	Geoffrey Ozin	Distinguished professor, University of Toronto	Save the World – Shining Light on CO2
2021년 9월 14일	Taeyong Jung	Graduate School of International Studies, Yonsei University Economist, Asia Development Bank	Climate Finance
2021년 9월 28일	Chaeun Oh	Senior researcher, Korea Green Technology Center	Global climate technology cooperation: governance and pathway
2021년 10월 5일	Joan Martinez Alier	Professor of Economics and Economic History and ICTA researcher, Universitat Autònoma de Barcelona (Spain)	Circularity, entropy, ecological conflicts and LFFU movements
2021년 10월 12일	Benjamin Sovacool	Distinguished professor, University of Aarhus (Denmark) Professor, University of Sussex (England)	Energy Ethics, Justice and Inequality in Low-Carbon Transitions
2021년 10월 19일	John Byrne	Distinguished Professor, University of Delaware	Rapid Climate Transformation Requires Transformative Policy Thinking
2021년 11월 2일	Clark Miller	Professor, Arizona State University	Designing Solar Energy Futures
2021년 11월 9일	Debbie Bleviss	Professor, Johns Hopkins University	Transportation and the challenge of climate change
2021년 11월 16일	Sharad Lele	Distinguished Fellow and Convenor, Centre for Environment & Development, Ashoka Trust for Research in Ecology and the	Rethinking Environmentalism: Beyond Sustainability-ism and Sustainable Development
2021년 11월 23일	Job Taminiau	Senior Research Principal, Foundation for Renewable Energy and Environment (FREE)	Rapid Transformative Change through Community-based Innovation
2021년 11월 30일	Joseph Nyangon	Senior Research Fellow and Project Team Lead, University of Delaware–Center for Energy and Environmental Policy	Energy Transition Imperative: Insights for the Global South

- ‘글로벌에너지전문가세미나’ 이외에도 정기적으로 초청세미나를 진행(표 7-2).

〈표 7-2〉 초청세미나 현황

일자	해외초청연사명	소속	주제/내용
2021년 11월 26일	Mario Martín Gamboa	Research Fellow, Dept. of Chemical, Energy and Mechanical Technology, Rey Juan Carlos University	Social Life Cycle Assessment of product systems: methodological development and application for informed decision-making
2021년 12월 13일	Michele De Rosa	Industrial ecologist - Life Cycle Assessment (LCA) Engineer, 2-0 LCA consultants	Modeling biogenic carbon in LCA
2022년 3월 17일	Seong D. Yun	Assistant Professor, Dept. of Agricultural Economics, Mississippi State University	Valuing Natural Capital Stocks under Correlated Volatility

❑ 외국대학과의 복수학위제, 외국 연구소 및 대학과의 인적 교류 현황 및 계획

● 국제사회와의 공동 교육프로그램 운영 계획

- (세계스마트시티 기구인 WeGO 교육협력) WeGO의 “스마트시티 챔피언스 프로그램”은 전 세계 회원 도시의 청년을 대상으로 스마트시티의 미래에 대한 지식을 전달하고 공감대 구축을 목표로 15주간 진행되는 프로그램임. 2022년 상반기 프로그램에 19개국 100개 학교에서 500명이 넘는 학생들이 WeGo 프로그램에 참가하였음. 본 대학원은 고려대학교-WeGO 공동 교육협력 MOU를 바탕으로 대학원의 정규 교과목인 “Smart City and Energy Transition”을 2022년 2학기에 WeGo 스마트시티 챔피언스 프로그램에 공개하고, 수강생에게 본 대학원의 강의 수료증을 제공하기로 함.

● 개도국과의 교육협력

- (카메룬과의 교육협력) 제안서에 제시되었던 아프리카 카메룬 The National Advanced School of Public Works(현지명: ENSP)와 에너지·환경 분야 역량 강화와 기술이전을 위한 협력은 카메룬측 제안자의 사정으로 협력논의가 중단됨
- (Aruba와의 재생에너지 개발 및 교육 협력) 카리브해 소재 중남미 도서국인 Aruba는 신재생에너지 개발을 열망하고 있고, 한국의 경험을 전수받기를 희망하고 있음. 대학원 협력기관인 미국의 비영리법인 GABI와 Aruba 재생에너지 개발 자문을 공동 추진하기로 함. 또한 Aruba, Netherland, United Nation이 공동으로 설립하여 운영 중인 COE(Aruba Center of Excellence)의 글로벌 교육프로그램에 참여하여 도서국들(SIDS, Small Island Developing States)의 지속가능발전목표 이행에 있어서 에너지 관련 부문에 대한 한국의 경험 및 교육 인프라를 전수하는 것을 논의하고 있음

● 학생들의 해외연수 및 공동연구를 위해 세계 우수대학 및 연구기관 등과 MOU 확대

- 지난 사업년도(2021.09~2022.08) 동안 MOU 추진 실적은 표 3-2(26페이지) 참조

❑ 우수 외국인 학생 유치 현황 및 계획

● 신흥국 에너지 공무원 초청 인력양성(GETPPP) 프로그램

- 2022년 9월 현재 16개국 출신 49의 졸업생과 재학생이 있으며, 이들은 에너지 분야 전략시장인 신흥경제국의 에너지부 및 국영전력회사 현직 간부들로서 주로 아시아 및 아프리카 국가 출신으로 구성됨(표 7-3).
- 2022년 후기 신입생은 석사과정 5명, 박사과정 4명 등 총 9명의 신입생이 입학함.
- 현지 전문가·공무원·기업 등과의 협력 네트워크를 구축하여 현지 상황에 맞는 에너지 적정기술을 발굴하고, 정책분석을 통해 시장을 개척하도록 지원함.

〈표 7-3〉 GETPPP 졸업생 출신국 정부 소속 부처

국가	관련정부 부처
Botswana	Ministry of Mineral Resources, Green Technology and Energy Security
Cambodia	Ministry of Mines and Energy
Cameroon	Ministry of Energy and Water Resources
Colombia	Ministry of Mines and Energy
Ethiopia	Ministry of Water, Irrigation and Energy
Indonesia	Ministry of Energy and Mineral Resources
Kazakhstan	Ministry of Energy
Laos	Ministry of Energy and Mines
Malaysia	Ministry of Energy and Natural Resources
Mongolia	Ministry of Energy
Mozambique	Ministry of Mineral Resources and Energy
Nepal	Ministry of Energy, Water Resources and Irrigation
Pakistan	Federal Ministry for Energy (Power Division)
Peru	Ministry of Energy and Mines
Philippines	Department of Energy
Tanzania	Ministry of Energy
Thailand	Ministry of Energy
	Electricity Generating Authority of Thailand (EGAT)
Uzbekistan	Ministry of Energy
	Ministry of Investment and Foreign Trade, Center for the Development of Investment Projects
Vietnam	Ministry of Natural Resources and Environment
	Ministry of Planning and Investment

● GETPPP 졸업생을 활용한 “국제에너지전문가네트워크(IEEN)” 구축 추진

- GETPPP 과정을 통해 배출된 졸업생들이 우리 기업들이 신흥 개도국 시장을 개척하는 데 있어 실질적인 도움을 줄 수 있도록 2019년부터 졸업생들을 Enabler로 활용해 국제에너지전문가네트워크(International Energy Expert Network, IEEN)를 구축하고 있음.
- 2019년 베트남 출신 졸업생이 주축이 되어 현지 공무원, 에너지기업 간부, 기업가, 연구자 등이 참여하는 14명 규모의 한-베트남 IEEN을 구축한 이래 2020년 인도네시아, 2021년 필리핀, 2022년 말레이시아로 IEEN을 확장하였음.
- 베트남과 말레이시아 현지에서 개최된 IEEN 출범 포럼(인도네시아와 필리핀은 코로나 상황으로 인해 현지 포럼 생략)에는 현지 에너지 전문가와 한국 기업인들이 참여하여 태양광, 풍력, 스마트에너지 시스템, ESS, 그린 모빌리티 등을 주제로 세미나와 네트워킹 행사를 개최하였음. 이를 통해 현지 진출 한국 기업들이 신뢰할 만한 현지 네트워크를 확보할 수 있게 되었음.
- 가장 최근인 2022년 말레이시아 Green Mobility and Energy 포럼은 2022년 8월 30일 쿠알라룸푸르에서 개최되었으며 말레이시아 에너지부 Dato' Mohamad Razif bin Haji Abd Mubin 차관보를 포함 말레이시아 측 인사 17명, 말레이시아 대사관 이치범 대사를 포함 한국기업 측 인사 23명이 참석하였음. 2019년부터 2022년까지 IEEN 포럼 신흥국 멤버는 말레이시아, 필리핀, 인도네시아, 베트남에서 84명에 달함.

- (홍보 방안 강화 및 홍보 채널 다양화) 본 교육단의 홈페이지를 통해 대학원 주요 연구내용 및 사업 관련 정보를 모두 공개함은 물론, 사업단 목표와 현황, 실적, 행사에 대해 신속하고 정확하게 정보를 공유하고 있음. 아울러 대학원 홍보를 위한 영어 홍보물 역시 제작하여 관계기관 및 해외에 송부함.

나. 참여대학원생 국제공동연구 현황과 계획

- **(실적)** 캐나다 University of Toronto 대학의 Geoffrey Ozin 교수와 함께 무기화학 기반 촉매 기술과 태양전지 분야의 공동연구를 수행하고 있음. 본 교육연구단의 전용석 교수는 에너지환경대학원 박사과정 김태민 학생을 해당 연구실에 장기간 연수 활동을 추진하여 2022년 4월부터 2022년 12월까지 방문 공동연구를 수행하고 있음.
- **(향후 계획)** 코로나 상황이 거의 종료된 만큼 2022학년도 겨울방학부터 학생들의 국제공동연구를 적극 확대할 예정임. 이를 위해 미국의 에너지 분야 유수의 민간 기구인 GABI, FREE 등과 협력하고 있으며 신흥국의 우수대학, 연구기관들과 MOU를 추진하고 있음.

Ⅲ

연구역량 영역

가. 국내 및 해외기관 연구비 수주 실적

〈표 8-1〉 최근 1년간(2021.9.1.-2022.8.31.) 이공계열 참여교수 1인당 정부, 산업체, 해외기관 등 연구비 수주 실적

항 목	수주액(천 원)		
	3년간(2017.1.1.-2019.12.31.) 실적 (선정평가 보고서 작성내용)	최근 1년간(2021.9.1.-2022.8.31.) 실적	비고
정부 연구비 수주 총 입금액	3,009,647	1,688,692	
산업체(국내) 연구비 수주 총 입금액	157,000	246,400	
해외기관 연구비 수주 총 (환산)입금액	0	0	
이공사회계열 참여교수 수	4	4	
1인당 총 연구비 수주액	791,662	483,773	

〈표 8-2〉 최근 1년간(2021.9.1.-2022.8.31.) 인문사회계열 참여교수 1인당 정부, 산업체, 해외기관 등 연구비 수주 실적

항 목	수주액(천 원)		
	3년간(2017.1.1.-2019.12.31.) 실적 (선정평가 보고서 작성내용)	최근 1년간(2021.9.1.-2022.8.31.) 실적	비고
정부 연구비 수주 총 입금액	760,146	566,045	
산업체(국내) 연구비 수주 총 입금액	0	0	
해외기관 연구비 수주 총 (환산)입금액	0	0	
인문사회계열 참여교수 수	3	4	
1인당 총 연구비 수주액	253,382	141,511	

나. 참여교수 연구업적물의 우수성

연번	참여 교수명	연구자 등록번호	이공계열/ 인문사회 계열	전공분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용
				세부 전공분야		
대표연구업적물의 적합성과 우수성						
1	강운목		이공계열	전기공학	저널 논문	①저자명: 이승훈, 이규현, 강운목, 이해석, 김동환
				반도체 물성		②논문제목: Characterization of MOCVD-Prepared CIS Solar Cells
						③학술지명: Energies
						④권(호), 페이지: 14(22), 7721
						⑤공동저자 중 대표업적물 제출 참여교수 수: 1
						⑥게재연도: 2021
						⑦DOI 번호(해당시): https://doi.org/10.3390/en14227721
본 논문은 박막 태양전지 개발 기업인 (주)메카로에너지와의 공동연구 결과물로 당사의 사업화 난관 중 하나인 태양광 모듈의 저출력 문제를 해결하는데 기여한 내용임. (주)메카로에너지는 박막 태양전지를 개발하고 있는 국내 유일의 기업으로 2010년에 자체기술을 활용하여 화합물반도체(CIGS) 박막 태양전지를 개발하였으나 이후 10년 가까이 태양전지의 효율을 높일 수 없어 사업화에 어려움을 겪고 있었음. 본 연구진은 태양전지 효율에 큰 영향을 주는 광 흡수층의 최적 성분비와 전하 분리를 효과적으로 할 수 있는 버퍼층 재료와 공정을 제안하여 에너지변환 효율을 향상시킬 수 있도록 함.						

1) Deposition of In_2Se_3 film

TMIn + DMDSe

↓ ↓ ↓ ↓

Pyrolysis

Mo

InSe

Mo

2) Deposition of Cu

(InGa)Cu

↓ ↓ ↓ ↓

Pyrolysis

InSe

Cu

InSe

Mo

3) Deposition of In_2Se_3 film

TMIn + DMDSe

↓ ↓ ↓ ↓

Pyrolysis

Cu

InSe

Mo

InSe

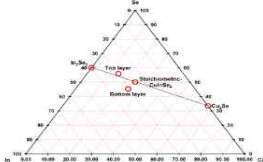
Cu

InSe

Mo

Figure 4. Comparative constituent analysis of the top and bottom layers using (a) EDS and (b) SIMS.

(a) Regional EDS data plotted on CIS ternary diagram



(b) Depth profile of MOCVD-CIS film

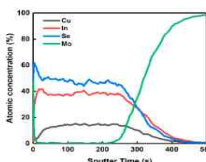
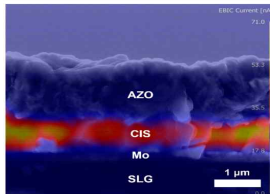


Figure 5. EDS mapping image of MOCVD-prepared buffer-less CIS solar cell.



(주)메카로에너지사의 화합물(CIGS) 반도체 제조 공정과 태양전지 분석 사례

연번	참여 교수명	연구자 등록번호	이공계열/ 인문사회 계열	전공분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용
				세부 전공분야		
대표연구업적물의 적합성과 우수성						
2	우종률		인문사회	기술정책	저널 논문	①저자명: 우종률*, Christopher Magee
						②논문제목: Relationship between technological improvement and innovation diffusion: an empirical test
						③학술지명: Technology Analysis & Strategic Management
						④권(호), 페이지: 34권(5호), 390-405
				에너지환 경정책		⑤공동저자 중 대표업적물 제출 참여교수 수: 0
						⑥게재연도: 2022년 4월
						⑦DOI 번호(해당시): 10.1080/09537325.2021.1901875
SSCI저널이고 IF 2.874임. 기술 영역에 따라 성능 향상 속도가 크게 다릅니다. 확산 과정 동안 성능의 개선이 제품의 확산을 증가시키기 때문에 이러한 상이한 속도가 상이한 기술의 상대적 확산 속도에 영향을 주어야 합니다. 그러나 이 효과를 조사하고 근본적인 원인을 밝히려는 광범위한 경험적 시도는 없었습니다. 따라서 이 연구는 이론적 근거를 검토하고 여러 제품과 기본 기술에 대한 이러한 효과에 대한 실증적 테스트에 중점을 둡니다. 본 연구는 기술 향상과 확산 사이에 예상되는 관계(더 빠르게 개선되는 기술 영역을 기반으로 하는 제품의 빠른 확산)를 실증적으로 보여줍니다.						

연번	참여 교수명	연구자 등록번호	이공계열/ 인문사회 계열	전공분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용
				세부 전공분야		
대표연구업적물의 적합성과 우수성						
3	강정원		이공계열	화학공학	저널 논문	①저자명: 황선유, 강정원
				열역학		②논문제목: Group Contribution-Based Graph Convolution Network: Pure Property Estimation Model.
						③학술지명: .Int. J. Thermophysiscs
						④권(호), 페이지: 43:136
						⑤공동저자 중 대표업적물 제출 참여교수 수: 1
						⑥게재연도: 2022
						⑦DOI 번호(해당시):
						https://doi.org/10.1007/s10765-022-03060-7
열역학 물성 자료는 화학공정의 설계와 조업에서 기초가 되는 자료들이다. 문헌상에 실험자료들이 보고되고는 있지만 기하급수적인 물성 자료에 대한 요구에 비하여 제공되는 자료는 턱없이 부족한 것이 현실이다. 데이터가 보고되지 않은 경우, 추산방법들이 사용되는데, 그룹기여 방법이 가장 보편적으로 사용되는 방법이다. 하지만 이 방법들은 분자구조를 단순히 표현하기 때문에 정확성에 한계가 있다. 좀더 진보된 방법들이 보고되고 있지만 많은 매개변수를 가지고 있기 때문에 데이터 부족으로 사용에 어려움이 있다. 본 연구에서는 복잡한 머신러닝 알고리즘과 선형 그룹기여 방법의 장점을 각각 취한 중간적인 방법을 제시하였다. 분자의 구조를 원자로 연결된 그래프로 표시하는 대신에 우리는 좀더 큰 블록인 기능성 그룹의 그래프로 표현 하고자 노력하였다. 새로운 접근 방법은 조정가능한 매개변수를 많이 줄일 수 있다. 계산 결과는 기존의 방법보다 향상된 성능을 나타냈다. 매 변수 피팅 과정에서의 robustness, 실험자료의 불확도 포함, 이상치 제거 등 다양한 측면에서 새로운 방법을 검토하였다.						

연번	참여 교수명	연구자 등록번호	이공계열/ 인문사회 계열	전공분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용
				세부 전공분야		
대표연구업적물의 적합성과 우수성						
4	이응균		인문사회 계열	환경정책	저널 논문	①저자명: Hanbee Lee, Eunkyong Choi, Eungkyoon Lee
				규제 이론		②논문제목: Green transition of iron cities
						③학술지명: Journal of Environment and Development
						④권(호), 페이지: 31(1), 28-53.
						⑤공동저자 중 대표업적물 제출 참여교수 수: 0명
						⑥게재연도: 2022년
						⑦DOI 번호(해당시):
						10.1177/10704965211063708
						경제활동의 허브로서 도시는 전 세계 GDP의 80%, 그리고 에너지 소비와 온실가스 배출의 70%를 차지. 따라서 도시의 녹색화는 전 지구적 차원의 환경문제 완화에 기여할 것이라는 합리적 추론이 가능. 하지만 현실에서 이를 달성하기 위한 표준화된 방안의 도출은 개별도시의 상이한 정치, 경제, 문화적 배경으로 인해 요원한 상태임.
				본 논문은 20세기 중후반 일본과 한국의 경제성장을 견인한 중화학공업기반의 두 도시의 정책형성과 집행과정 비교연구를 통해 에너지·환경 문제 해결의 성공과 실패를 예측할 수 있는 가설들 (e.g., 규제 분권화, 정책융호연합 형성을 위한 조건, etc.)을 제시. 그 과정에서 기존 이론의 확장 가능성을 높임.		

연번	참여 교수명	연구자 등록번호	이공계열/ 인문사회 계열	전공분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용
				세부 전공분야		
대표연구업적물의 적합성과 우수성						
	전용석		이공계열	화학	저널 논문	①저자명: 김승규, 윤용주, 김태민, 이찬용, 고요한, 전용석
				광전기화학		②논문제목: Hydrolysis-Regulated Chemical Bath Deposition of Tin-Oxide-Based Electron Transport Layers for Efficient Perovskite Solar Cells with Reduced Potential Loss ③학술지명: Chemistry of Materials ④권(호), 페이지: 33(21), 8194 ⑤공동저자 중 대표업적물 제출 참여교수 수: 1 ⑥게재연도: 2021 ⑦DOI 번호(해당시): 10.1021/acs.chemmater.1c02101
5	n형 SnO₂의 높은 전자 이동도, 넓은 밴드갭 및 화학적 안정성은 페로브스카이트 태양전지(PSC)의 이상적인 전자 수송층(ETL)으로서의 사용을 용이하게한다. 그러나, SnO₂가 피막 형성 중에 응집되는 경향은 morphology의 불량과 낮은 재현성을 야기한다. 본 연구에서는 다수의 OH 작용기를 가지는 완염제를 이용하여 화학적 기상 증착법(CVD)을 통해 FTO기판 위에 증착하여 SnO₂ 필름의 응집 정도를 조절하는 내용을 담고 있다. 글리세롤을 사용하여 응집도가 조절된 SnO₂ 필름을 ETL로 사용하여 제조된 소자는 21.8%의 높은 효율을 달성하고, 무시할 수 있을 정도의 히스테리시스와 전위 손실을 보여준다. Vigorous SnO₂ Transformation Controlled Agglomeration Impeded Agglomeration  					

연번	기타연구실적 상세내용	
1	① 참여교수명	강윤목, 이해석
	② 참여구분	교신저자, 공동저자
	③ 제1저자	Dongkyun Kang
	④ 교신저자	Yoonmook Kang
	⑤ 공동저자	HyunJung Park, Dongjin Choi, Hyebin Han, Jaeseung Seol, Hae-Seok Lee, Donghwan Kim
	⑥ 논문제목	Damage and residual layer analysis of reactive ion etching textured multi-crystalline silicon wafer for application to solar cells
	⑦ 학술지명:	Solar energy
	⑧ 권(호), 페이지:	233, 111
	⑨ 학술지 구분	SCI(E)
	⑩ 게재년월	2022.2
	⑪ DOI 번호	https://doi.org/10.1016/j.solener.2022.01.003
	⑫ IF (JCR 2020)	4.608
	⑬ Citation (Google Scholar)	0
2	① 참여교수명	우종률
	② 참여구분	교신저자
	③ 제1저자	HyungBin Moon
	④ 교신저자	JongRoul Woo
	⑤ 공동저자	Youngjun Park
	⑥ 논문제목	Staying on convention or leapfrogging to eco-innovation?: Identifying early adopters of hydrogen-powered vehicles
	⑦ 학술지명:	Technological Forecasting and Social Change
	⑧ 권(호), 페이지:	171, 120995
	⑨ 학술지 구분	SSCI
	⑩ 게재년월	2021.10
	⑪ DOI 번호	10.1016/j.techfore.2021.120995
	⑫ IF (JCR 2020)	8.593
	⑬ Citation (Google Scholar)	8
3	① 참여교수명	우종률
	② 참여구분	교신저자
	③ 제1저자	Hyunhong Choi
	④ 교신저자	JongRoul Woo
	⑤ 공동저자	
	⑥ 논문제목	Investigating emerging hydrogen technology topics and comparing national level technological focus: Patent analysis using a structural topic model
	⑦ 학술지명:	Applied Energy
	⑧ 권(호), 페이지:	313, 118898
	⑨ 학술지 구분	SCIE
	⑩ 게재년월	2022.5
	⑪ DOI 번호	10.1016/j.apenergy.2022.118898
	⑫ IF (JCR 2020)	9.746
	⑬ Citation (Google Scholar)	2

연번	기타연구실적 상세내용	
4	① 참여교수명	우종률
	② 참여구분	교신저자
	③ 제1저자	Sungho Moon
	④ 교신저자	Hyunhong Choi, JongRoul Woo
	⑤ 공동저자	Jongsu Lee
	⑥ 논문제목	Impact of energy production mix on alternative fuel vehicle adoption in Korea
	⑦ 학술지명:	Transportation Research Part D: Transport and Environment
	⑧ 권(호), 페이지:	105, 103219
	⑨ 학술지 구분	SSCI
	⑩ 게재년월	2022, 4
	⑪ DOI 번호	10.1016/j.trd.2022.103219
	⑫ IF (JCR 2020)	5.495
	⑬ Citation (Google Scholar)	0
5	① 참여교수명	강정원
	② 참여구분	교신저자
	③ 제1저자	Jin-Yong Kim
	④ 교신저자	Jeong Won Kang, Sung-Chan Nam
	⑤ 공동저자	Sang-Hyeok Kim, Chan Young Park, Il-Hyun Baek, Jong Tak Jang
	⑥ 논문제목	CO2 Decomposition Using Activated Rh- and Ru-SrFeO3- δ for Cyclic Production of CO
	⑦ 학술지명:	Journal of CO2 Utilization
	⑧ 권(호), 페이지:	53, 101724
	⑨ 학술지 구분	SCIE
	⑩ 게재년월	2021.11
	⑪ DOI 번호	10.1016/j.jcou.2021.101724
	⑫ IF (JCR 2020)	8.321
	⑬ Citation (Google Scholar)	0
6	① 참여교수명	Jeong Won Kang
	② 참여구분	공동저자
	③ 제1저자	Eun-Jung Park
	④ 교신저자	Eun-Jung Park
	⑤ 공동저자	Seung-Woo Jin, Min-Sung Kang, Mi-Jin Yang, Sung-Hwan Kim, Hyoung-Yun Han
	⑥ 논문제목	Pulmonary inflammation and cellular responses following exposure to benzalkonium chloride: Potential impact of disrupted pulmonary surfactant homeostasis
	⑦ 학술지명:	TOXICOLOGY AND APPLIED PHARMACOLOGY
	⑧ 권(호), 페이지:	440, 115930
	⑨ 학술지 구분	SCIE
	⑩ 게재년월	2022.4.1
	⑪ DOI 번호	10.1016/j.taap.2022.115930
	⑫ IF (JCR 2020)	4.46
	⑬ Citation (Google Scholar)	0

연번	기타연구실적 상세내용	
7	① 참여교수명	강정원
	② 참여구분	공동참여
	③ 제1저자	Min-Sung Kang
	④ 교신저자	Eun-Jung Park
	⑤ 공동저자	Sung-Hwan Kim, Mi-Jin Yang, Hyeon-Young Kim, In-Hyeon Kim, Hye-Sook Choi, Seung-Woo Jin
	⑥ 논문제목	Polyhexamethylene guanidine phosphate-induced necrosis may be linked to pulmonary fibrosis
	⑦ 학술지명:	Toxicology Letters
	⑧ 권(호), 페이지:	362, 1-16
	⑨ 학술지 구분	SCIE
	⑩ 게재년월	2022.01
	⑪ DOI 번호	10.1016/j.toxlet.2022.03.009
	⑫ IF (JCR 2020)	4.271
	⑬ Citation (Google Scholar)	0
8	① 참여교수명	이해석
	② 참여구분	교신저자
	③ 제1저자	Bhavana Joshi, Edmund Samuel
	④ 교신저자	Hae-Seok Lee, Sam S. Yoon
	⑤ 공동저자	Chanwoo Park , Yongil Kim
	⑥ 논문제목	Bimetallic ZnFe2O4 nanosheets prepared via electrodeposition as binder-free high-performance supercapacitor electrodes
	⑦ 학술지명:	Applied Surface Science
	⑧ 권(호), 페이지:	559, 149951
	⑨ 학술지 구분	SCI
	⑩ 게재년월	2021.09
	⑪ DOI 번호	10.1016/j.apsusc.2021.149951
	⑫ IF (JCR 2020)	7.392
	⑬ Citation (Google Scholar)	10
9	① 참여교수명	이해석
	② 참여구분	교신저자
	③ 제1저자	Yongil Kim, Edmund Samuel
	④ 교신저자	Hae-Seok Lee, Sam S. Yoon
	⑤ 공동저자	Bhavana Joshi c , Chanwoo Park
	⑥ 논문제목	Flexible metallized carbon nanofibers decorated with two-dimensional NiGa2S4 nanosheets as supercapacitor electrodes
	⑦ 학술지명:	Chemical Engineering Journal
	⑧ 권(호), 페이지:	420, 130497
	⑨ 학술지 구분	SCI
	⑩ 게재년월	2021.09
	⑪ DOI 번호	10.1016/j.cej.2021.130497
	⑫ IF (JCR 2020)	16.744
	⑬ Citation (Google Scholar)	17
10	① 참여교수명	이해석
	② 참여구분	교신저자
	③ 제1저자	Edmund Samuel, Bhavana Joshi
	④ 교신저자	Hae-Seok Lee, Sam S. Yoon
	⑤ 공동저자	Yongil Kim, Chanwoo Park, Ali Aldalbahi, Mohamed El-Newehy
	⑥ 논문제목	Cotton fabric decorated with manganese oxide nanorods as a supercapacitive flexible electrode for wearable electronics
	⑦ 학술지명:	Applied Surface Science
	⑧ 권(호), 페이지:	568, 150968
	⑨ 학술지 구분	SCI
	⑩ 게재년월	2021.09
	⑪ DOI 번호	10.1016/j.apsusc.2021.150968
	⑫ IF (JCR 2020)	7.392
	⑬ Citation (Google Scholar)	5

연번	기타연구실적 상세내용	
11	① 참여교수명	전용석
	② 참여구분	교신저자
	③ 제1저자	Seungkyu Kim, Yong Ju Yun
	④ 교신저자	Yohan Ko, Yongseok Jun
	⑤ 공동저자	Taemin Kim, Chanyong Lee
	⑥ 논문제목	Hydrolysis-Regulated Chemical Bath Deposition of Tin-Oxide-Based Electron Transport Layers for efficient Perovskite Solar cells with a Reduced Potential Loss
	⑦ 학술지명:	Chemistry of Materials
	⑧ 권(호), 페이지:	33(21), 8194-8204
	⑨ 학술지 구분	SCI
	⑩ 게재년월	202109
	⑪ DOI 번호	10.1021/acs.chemmater.1c02101
	⑫ IF (JCR 2020)	9.769
	⑬ Citation (Google Scholar)	5
12	① 참여교수명	전용석
	② 참여구분	교신저자
	③ 제1저자	Hyun Joo Lee
	④ 교신저자	Yongseok Jun, Yong Ju Yun
	⑤ 공동저자	Won G. Hong, Hee Yeon Yang, Dong Han Ha
	⑥ 논문제목	A Wearable Patch Based on Flexible Porous Reduced Graphene Oxide Paper Sensor for Real-Time and Continuous Ultraviolet Radiation Monitoring
	⑦ 학술지명:	Advanced Materials Technologies
	⑧ 권(호), 페이지:	7(3)
	⑨ 학술지 구분	SCI
	⑩ 게재년월	2022.3
	⑪ DOI 번호	10.1002/admt.202100709
	⑫ IF (JCR 2020)	7.848
	⑬ Citation (Google Scholar)	1
13	① 참여교수명	이해석
	② 참여구분	교신저자
	③ 제1저자	HyunJung Park
	④ 교신저자	Hae-Seok Lee
	⑤ 공동저자	So Hyun Park,Sang-Won Lee,Yoonmook Kang,Donghwan Kim,Hae Jung Son
	⑥ 논문제목	Novel Polymer-Based Organic/c-Si Monolithic Tandem Solar Cell: Enhanced Efficiency using Interlayer and Transparent Top Electrode Engineering
	⑦ 학술지명:	Macromolecular Rapid Communications
	⑧ 권(호), 페이지:	17(42), 2100305
	⑨ 학술지 구분	SCI
	⑩ 게재년월	2021.09
	⑪ DOI 번호	10.1002/marc.202100305
	⑫ IF (JCR 2020)	4.84
	⑬ Citation (Google Scholar)	-

연번	기타연구실적 상세내용	
14	① 참여교수명	강윤목
	② 참여구분	교신저자
	③ 제1저자	Jiyeon Hyun , Kyung Mun Yeom
	④ 교신저자	Jun Hong Noh, Yoonmook Kang
	⑤ 공동저자	Ha Eun Lee, Donghwan Kim, Hae-Seok Lee
	⑥ 논문제목	Efficient n-i-p Monolithic Perovskite/Silicon Tandem Solar Cells with Tin Oxide via a Chemical Bath Deposition Method
	⑦ 학술지명:	ENERGIES
	⑧ 권(호), 페이지:	14(22), 14227614
	⑨ 학술지 구분	SCI
	⑩ 게재년월	2021.11
	⑪ DOI 번호	10.3390/en14227614
	⑫ IF (JCR 2020)	3.004
	⑬ Citation (Google Scholar)	2
15	① 참여교수명	강윤목
	② 참여구분	교신저자
	③ 제1저자	Seung Hoon Lee
	④ 교신저자	Yoonmook Kang
	⑤ 공동저자	Gyu Hyun Lee, Hae-Seok Lee, Donghwan Kim
	⑥ 논문제목	Characterization of MOCVD-Prepared CIS Solar Cells
	⑦ 학술지명:	ENERGIES
	⑧ 권(호), 페이지:	14(22), 14227721
	⑨ 학술지 구분	SCI
	⑩ 게재년월	2021.11
	⑪ DOI 번호	10.3390/en14227721
	⑫ IF (JCR 2020)	3.004
	⑬ Citation (Google Scholar)	1
16	① 참여교수명	강윤목, 이해석
	② 참여구분	교신저자
	③ 제1저자	Changhyun Lee , Jiyeon Hyun
	④ 교신저자	Yoonmook Kang, Hae-Seok Lee
	⑤ 공동저자	Jiyeon Nam, Seok-Hyun Jeong, Hoyoung Song, Soohyun Bae, Hyunju Lee, Jaeseung Seol, Donghwan Kim
	⑥ 논문제목	Amorphous Silicon Thin Film Deposition for Poly-Si/SiO ₂ Contact Cells to Minimize Parasitic Absorption in the Near-Infrared Region
	⑦ 학술지명:	ENERGIES
	⑧ 권(호), 페이지:	14(24), 8199
	⑨ 학술지 구분	SCI
	⑩ 게재년월	2021.12
	⑪ DOI 번호	10.3390/en14248199
	⑫ IF (JCR 2020)	3.004
	⑬ Citation (Google Scholar)	1

연번	기타연구실적 상세내용	
17	① 참여교수명	이해석
	② 참여구분	교신저자
	③ 제1저자	Jiryang Kim, Dowon Pyun
	④ 교신저자	Hae-Seok Lee
	⑤ 공동저자	Dongjin Choi, Seok-Hyun Jeong, Changhyun Lee, Jiyeon Hyun, Ha Eun Lee, Sang-Won Lee, Hoyoung Song, Solhee Lee, Donghwan Kim, Yoonmook Kang
	⑥ 논문제목	Potential of NiOx/Nickel Silicide/n(+) Poly-Si Contact for Perovskite/TOPCon Tandem Solar Cells
	⑦ 학술지명:	ENERGIES
	⑧ 권(호), 페이지:	15(3), 15030870
	⑨ 학술지 구분	SCI
	⑩ 게재년월	2022.01
	⑪ DOI 번호	10.3390/en14248199
	⑫ IF (JCR 2020)	3.004
	⑬ Citation (Google Scholar)	-
18	① 참여교수명	강윤목, 이해석
	② 참여구분	공동저자
	③ 제1저자	Ji Yeon Hyun, Kyung Mun Yeom
	④ 교신저자	Donghwan Kim, Jun Hong Noh
	⑤ 공동저자	Sang-Won Lee, Soohyun Bae, Dongjin Choi, Hoyoung Song, Dongkyun Kang, Jae-Keun Hwang, Wonkyu Lee, Solhee Lee, Yoonmook Kang, Hae-Seok Lee
	⑥ 논문제목	Perovskite/Silicon Tandem Solar Cells with a Voc of 1784 mV Based on an Industrially Feasible 25 cm ² TOPCon Silicon Cell
	⑦ 학술지명:	Applied Energy Materials
	⑧ 권(호), 페이지:	5(5), 5449-5456
	⑨ 학술지 구분	SCI
	⑩ 게재년월	2022.05
	⑪ DOI 번호	10.1021/acsaem.1c02796
	⑫ IF (JCR 2020)	6.024
	⑬ Citation (Google Scholar)	-
19	① 참여교수명	강윤목, 이해석
	② 참여구분	교신저자, 공동저자
	③ 제1저자	Dongjin Choi
	④ 교신저자	Yoonmook Kang
	⑤ 공동저자	HyunJung Park, Soohyun Bae, Seung Hyun Shin, Hyebin Han, Bernhard Kloter, Donghwan Kim, Hae-Seok Lee
	⑥ 논문제목	Lowering firing temperature of a p-type passivated emitter rear contact Si solar cell via current injection
	⑦ 학술지명:	Solar Energy Materials and Solar Cells
	⑧ 권(호), 페이지:	239, 111587
	⑨ 학술지 구분	SCI
	⑩ 게재년월	2022.06
	⑪ DOI 번호	10.1016/j.solmat.2022.111587
	⑫ IF (JCR 2020)	7.267
	⑬ Citation (Google Scholar)	1

연번	기타연구실적 상세내용	
20	① 참여교수명	이해석, 강운목
	② 참여구분	교신저자, 공동저자
	③ 제1저자	Jongwon Ko, Soohyun Bae
	④ 교신저자	Hae-Seok Lee, Donghwan Kim
	⑤ 공동저자	Se Jin Park, Hyomin Park, Jaeseung Seol, Yoonmook Kang
	⑥ 논문제목	Effective Recycling Method for Silicon Photovoltaic Modules With Electrical Sacrificial Layer
	⑦ 학술지명:	IEEE Journal of Photovoltaics
	⑧ 권(호), 페이지:	12(4)
	⑨ 학술지 구분	SCI
	⑩ 게재년월	2022.07
	⑪ DOI 번호	10.1109/JPHOTOV.2022.3164668
	⑫ IF (JCR 2020)	4.26
	⑬ Citation (Google Scholar)	-
21	① 참여교수명	이해석
	② 참여구분	공동저자
	③ 제1저자	Soohyun Bae
	④ 교신저자	Byoung Koun Min, Dong Ki Lee
	⑤ 공동저자	Joo-Hyun Kim, Hae-Seok Lee
	⑥ 논문제목	Toward Understanding Chalcopyrite Solar Cells via Advanced Characterization Techniques
	⑦ 학술지명:	Advanced Materials Interface
	⑧ 권(호), 페이지:	9(14), 2200128
	⑨ 학술지 구분	SCI
	⑩ 게재년월	2022.05
	⑪ DOI 번호	10.1002/admi.202200128
	⑫ IF (JCR 2020)	6.389
	⑬ Citation (Google Scholar)	-
22	① 참여교수명	이용균
	② 참여구분	교신저자
	③ 제1저자	Hanbee Lee
	④ 교신저자	Eungkyoon Lee
	⑤ 공동저자	Eunkyong Choi
	⑥ 논문제목	Green transition of iron cities: A Comparative case study of Kitakyushu and Pohang
	⑦ 학술지명:	Journal of Environment and Development
	⑧ 권(호), 페이지:	31(1), 28-53
	⑨ 학술지 구분	SSCI
	⑩ 게재년월	2022.05
	⑪ DOI 번호	10.1177/10704965211063708
	⑫ IF (JCR 2020)	2.639
	⑬ Citation (Google Scholar)	-
23	① 참여교수명	우종률
	② 참여구분	교신저자
	③ 제1저자	Hanna Schuermann
	④ 교신저자	JongRoul Woo
	⑤ 공동저자	
	⑥ 논문제목	Estimating consumers' willingness to pay for reusable food containers when ordering delivery food: A contingent valuation approach.
	⑦ 학술지명:	Journal of Cleaner Production
	⑧ 권(호), 페이지:	366, 133012
	⑨ 학술지 구분	SCIE
	⑩ 게재년월	2022.09
	⑪ DOI 번호	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133012
	⑫ IF (JCR 2020)	11.072
	⑬ Citation (Google Scholar)	-

연번	기타연구실적 상세내용	
24	① 참여교수명	이해석
	② 참여구분	교신저자
	③ 제1저자	Taegun Kim, Edmund Samuel
	④ 교신저자	Yoonmook Kang, Hae-Seok Lee, Sam S. Yoon
	⑤ 공동저자	Chanwoo Park , Ali Aldalbahi, Mohamed El-Newehy
	⑥ 논문제목	Iron oxide supercapacitor of high volumetric energy and power density using binder-free supersonic spraying and self-healing rGO
	⑦ 학술지명:	Journal of Materials Science & Technology
	⑧ 권(호), 페이지:	48(10), 13684-13694
	⑨ 학술지 구분	SCI
	⑩ 게재년월	2022.02
	⑪ DOI 번호	10.1016/j.jmst.2021.05.044
	⑫ IF (JCR 2020)	5.532
	⑬ Citation (Google Scholar)	1
25	① 참여교수명	이해석
	② 참여구분	교신저자
	③ 제1저자	Edmund Samuel
	④ 교신저자	Hae-Seok Lee, Sam S. Yoon
	⑤ 공동저자	Bhavana Joshi, Chanwoo Park, Ali Aldalbahi, Mohamed El-Newehy
	⑥ 논문제목	Wearable fabric supercapacitors based on CNTs and polyhedral ZnO with a wide potential window
	⑦ 학술지명:	International Journal of Energy Research
	⑧ 권(호), 페이지:	46(6), 8186 - 8200
	⑨ 학술지 구분	SCI
	⑩ 게재년월	2022.02
	⑪ DOI 번호	doi.org/10.1002/er.7720
	⑫ IF (JCR 2020)	4.672
	⑬ Citation (Google Scholar)	
26	① 참여교수명	이해석
	② 참여구분	교신저자
	③ 제1저자	Taegun Kim, Edmund Samuel
	④ 교신저자	Hae-Seok Lee, Sam S. Yoon
	⑤ 공동저자	Jaewoo Seol
	⑥ 논문제목	High-energy-density supercapacitors using supersonically sprayed water-based precursors comprising cobalt iron oxide and reduced graphene oxide nanosheets
	⑦ 학술지명:	International Journal of Energy Research
	⑧ 권(호), 페이지:	46(10), 14305-14317
	⑨ 학술지 구분	SCI
	⑩ 게재년월	2022.06
	⑪ DOI 번호	doi.org/10.1002/er.8143
	⑫ IF (JCR 2020)	4.672
	⑬ Citation (Google Scholar)	-
27	① 참여교수명	우종률
	② 참여구분	제1저자
	③ 제1저자	우종률
	④ 교신저자	허성윤
	⑤ 공동저자	이혜정
	⑥ 논문제목	가정부문 에너지효율투자 내재적 할인율 추정 연구: 고효율 제습기 사례
	⑦ 학술지명:	에너지공학
	⑧ 권(호), 페이지:	31(1), 16-29
	⑨ 학술지 구분	KCI
	⑩ 게재년월	2022.03
	⑪ DOI 번호	10.46251/INNOS.2022.2.17.1.189
	⑫ IF (JCR 2020)	
	⑬ Citation (Google Scholar)	-

연번	기타연구실적 상세내용	
28	① 참여교수명	우종률
	② 참여구분	공동저자
	③ 제1저자	박지용
	④ 교신저자	진태영
	⑤ 공동저자	우종률
	⑥ 논문제목	국내 태양광 및 풍력발전 보급 양상 분석 및 전망: 혁신확산 모형을 중심으로
	⑦ 학술지명:	한국혁신학회지
	⑧ 권(호), 페이지:	17(1), 189-206
	⑨ 학술지 구분	KCI
	⑩ 게재년월	2022.02
	⑪ DOI 번호	/10.5855/ENERGY.2022.31.1.016
	⑫ IF (JCR 2020)	
	⑬ Citation (Google Scholar)	-
29	① 참여교수명	우종률
	② 참여구분	공동저자
	③ 제1저자	박재형
	④ 교신저자	박지용
	⑤ 공동저자	우종률
	⑥ 논문제목	국내기업 에너지효율 투자 의사결정 단계별 주요 동인의 상대적 중요도 분석 : 퍼지계층분석을 활용하여
	⑦ 학술지명:	한국기후변화학회지
	⑧ 권(호), 페이지:	13(4), 429-440
	⑨ 학술지 구분	KCI
	⑩ 게재년월	2022년 8월
	⑪ DOI 번호	10.15531/KSCCR.2022.13.4.429
	⑫ IF (JCR 2020)	
	⑬ Citation (Google Scholar)	-
30	① 참여교수명	우종률
	② 참여구분	교신저자
	③ 제1저자	안상효
	④ 교신저자	우종률
	⑤ 공동저자	
	⑥ 논문제목	국내 RE100 이행방안의 경제성 비교분석 연구
	⑦ 학술지명:	Current Photovoltaic Research
	⑧ 권(호), 페이지:	10(2), 62-71
	⑨ 학술지 구분	KCI
	⑩ 게재년월	2022.06
	⑪ DOI 번호	https://doi.org/10.21218/CPR.2022.10.2.062
	⑫ IF (JCR 2020)	
	⑬ Citation (Google Scholar)	-
31	① 참여교수명	이해석
	② 참여구분	공동저자
	③ 제1저자	Heesung Eum
	④ 교신저자	Dong Ki Lee
	⑤ 공동저자	Seokhyeon Cheong, Jiyun Kim, Seo-Jung Han, Minserk Cheong, Hyunjoo Lee, Hae-Seok Lee
	⑥ 논문제목	Sustainable Electrochemical NO Capture and Storage System Based on the Reversible Fe ²⁺ /Fe ³⁺ -EDTA Redox Reaction
	⑦ 학술지명:	Catalysts
	⑧ 권(호), 페이지:	12(1), 79
	⑨ 학술지 구분	SCI
	⑩ 게재년월	2022.01
	⑪ DOI 번호	https://doi.org/10.3390/catal12010079
	⑫ IF (JCR 2020)	4.501
	⑬ Citation (Google Scholar)	-

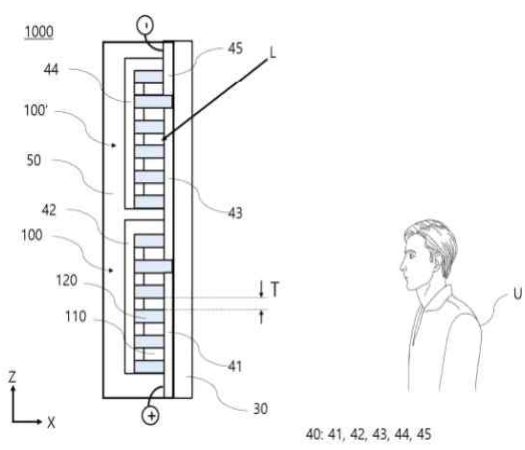
연번	기타연구실적 상세내용	
32	① 참여교수명	전용석
	② 참여구분	교신저자
	③ 제1저자	Yohan Ko, Taemin Kim
	④ 교신저자	Yong Ju Yun, Yongseok Jun
	⑤ 공동저자	Chanyong Lee, Changhyun Lee
	⑥ 논문제목	Alleviating Interfacial Recombination of eterojunction Electron Transport Layer via Oxygen Vacancy Engineering for Efficient Perovskite Solar Cells over 23%
	⑦ 학술지명:	Energy and Environmental Materials
	⑧ 권(호), 페이지:	In Press
	⑨ 학술지 구분	SCI
	⑩ 게재년월	2022.01
	⑪ DOI 번호	10.1002/eem2.12347
	⑫ IF (JCR 2020)	17.05
	⑬ Citation (Google Scholar)	-
33	① 참여교수명	전용석
	② 참여구분	공동저자
	③ 제1저자	Jongin Woo, Byeong Cheul Moon
	④ 교신저자	Byoung Koun Min, Dong Ki Lee
	⑤ 공동저자	Ung Lee, Hyung-Suk Oh, Keun Hwa Chae, Youngseok Jun
	⑥ 논문제목	Collaborative Electrochemical Oxidation of the Alcohol and Aldehyde Groups of 5-Hydroxymethylfurfural by NiOOH and Cu(OH) ₂ for Superior 2,5-Furandicarboxylic Acid Production
	⑦ 학술지명:	ACS Catalysis
	⑧ 권(호), 페이지:	12(7), 4078-4091
	⑨ 학술지 구분	SCI
	⑩ 게재년월	202203
	⑪ DOI 번호	10.1021/acscatal.1c05341
	⑫ IF (JCR 2020)	12.35
	⑬ Citation (Google Scholar)	4
34	① 참여교수명	우종률
	② 참여구분	공동저자
	③ 제1저자	Changeun Park
	④ 교신저자	Jungwoo Shin
	⑤ 공동저자	JongRoul Woo
	⑥ 논문제목	Economic valuation of green hydrogen charging compared to gray hydrogen charging: The case of South Korea
	⑦ 학술지명:	International Journal of Hydrogen Energy
	⑧ 권(호), 페이지:	47(32), 14393-14403
	⑨ 학술지 구분	SCIE
	⑩ 게재년월	2022.04
	⑪ DOI 번호	10.1016/j.ijhydene.2022.02.214
	⑫ IF (JCR 2020)	5.816
	⑬ Citation (Google Scholar)	-

연번	기타연구실적 상세내용	
35	① 참여교수명	우종률
	② 참여구분	제1저자, 교신저자
	③ 제1저자	JongRoul Woo
	④ 교신저자	JongRoul Woo
	⑤ 공동저자	Christopher Magee
	⑥ 논문제목	Relationship between technological improvement and innovation diffusion: an empirical test
	⑦ 학술지명:	Technology Analysis & Strategic Management
	⑧ 권(호), 페이지:	34(4), 390-405
	⑨ 학술지 구분	SSCI
	⑩ 게재년월	2022.04
	⑪ DOI 번호	10.1080/09537325.2021.1901875
	⑫ IF (JCR 2020)	2.874
	⑬ Citation (Google Scholar)	2
36	① 참여교수명	하윤희
	② 참여구분	제1저자, 교신저자
	③ 제1저자	Yoon-Hee Ha
	④ 교신저자	
	⑤ 공동저자	Surya Sapkota Kumar
	⑥ 논문제목	Investigating decentralized renewable energy systems under different governance approaches in Nepal and Indonesia: How does governance fail?
	⑦ 학술지명:	Energy Research and Social Science
	⑧ 권(호), 페이지:	80, 102214
	⑨ 학술지 구분	SSCI
	⑩ 게재년월	2021.10
	⑪ DOI 번호	https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102214
	⑫ IF (JCR 2020)	8.19
	⑬ Citation (Google Scholar)	10

다. 이공계열 참여교수 특허, 기술이전, 창업 실적의 우수성

연번	참여 교수명	연구자 등록번호	전공분야	실적구분	특허, 기술이전, 창업 상세내용
			세부 전공분야		
특허, 기술이전, 창업 실적의 우수성					
	강윤목		전기공학	특허	①발명자: 김동환, 고종원, 정유진, 강윤목, 이해석, 전용석
			반도체 물성		②특허명(품종등록명): 병렬 및 직렬 연결 구조를 갖는 태양전지 모듈
					③등록국가: 대한민국
					④등록번호:
					⑤등록연도: 2022
태양전지를 건물이나 자동차 또는 웨어러블 기기 등에 적용할 경우 발전소에 사용하는 기존 태양전지와는 다르게 제품의 디자인이 매우 중요한 가치를 가지게 되며, 투명태양전지가 대안으로 떠오르고 있음. 하지만 투명태양전지가 가지고 있는 산업적 가능성을 극대화하기 위해서는 투과도와 출력을 동시에 만족시킬 수 있어야 함 본 특허의 주요 청구항은 투명기관 내부에 복수의 태양전지와 복수의 집광층을 하나의 전극으로 연결하여 직렬연결(Monolithic 구조)된 박막 모듈을 만들 수 있는 구조 특허임. 이 특허를 활용할 경우 나노 또는 마이크로 태양전지를 대면적의 모듈로 만들 수 있으며 또한 발전량과 투과도와 우수한 투명모듈을 구현할 수 있음					

1

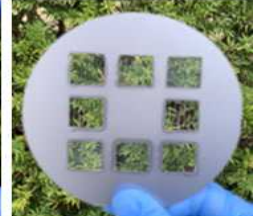


특허 대표도

Type 1: mm급 투명태양광 모듈



Type 2: 100μm급 투명태양전지



Type 3: 50μm급 투명태양전지

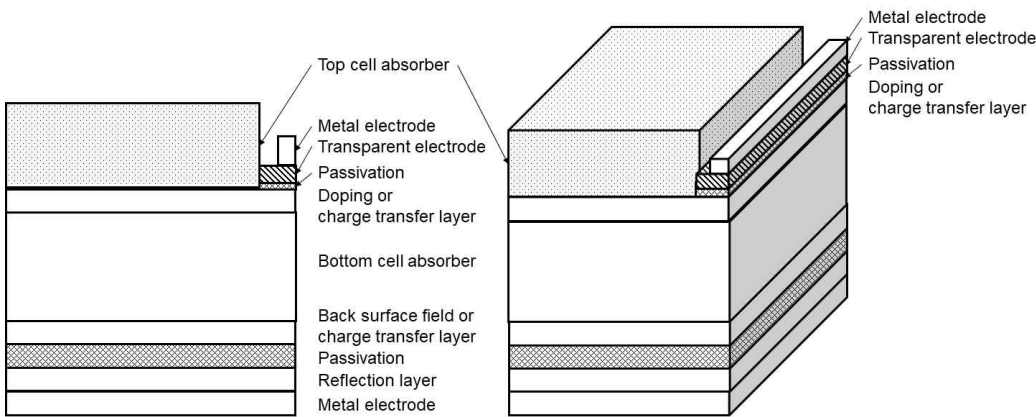


Type 4: 1μm급 투명태양전지



시작품

연번	참여 교수명	연구자 등록번호	전공분야	실적구분	특허, 기술이전, 창업 상세내용
			세부 전공분야		
특허, 기술이전, 창업 실적의 우수성					
2	전용석		화학	특허	①발명자: 전용석, 김태민, 이찬용
			광전기화학		②특허명(품종등록명): 수전해 장치 및 수전해 방법
					③등록국가: 대한민국
					④등록번호:
					⑤등록연도: 2022
일반적으로 태양광발전을 하기 위해서는 수 킬로미터에 달하는 대지에 태양전지판이 대량으로 설치되는데, 수 많은 태양전지판을 설치하기 위한 대지가 부족하여 적합한 설치장소를 찾는데 많은 어려움이 있다. 넓고 평활한 대지는 지가가 높아 태양광발전을 위하여 매입하기 힘든 점이 있고, 햇볕이 잘 드는 장소를 구하기 어려운 점이 있다. 한국등록특허공보 제1946212호에는 수상에 태양광발전 장치를 고정하여 신재생 에너지를 생산하고, 수상에서 생산된 신재생에너지를 육지까지 원활하게 전달하며, 수중 용존 산소량을 개선할 수 있는 수전해 장치 및 수전해 방법을 제공하기 위한 기술을 나타내고 있다. 주요 청구항으로는 상기 몸체부에 지지되면서 수상에 배치된 상태로 수전해를 통한 수소를 생산하는 수전해 장치와 몸체부에 설치되어 수상에 배치된 상태에서 1차 에너지를 생산하는 전력생산부가 특징이다. 이 특허를 활용할 경우 수소의 생산과정에서 수소 생산과 함께 생산되는 산소를 수중에 방출하여 호수나 댐 등 약한 유속으로 쉽게 수질이 오염될 수 있는 장소의 환경 개선에 큰 도움이 될 수 있다.					

연번	참여 교수명	연구자 등록번호	전공분야	실적구분	특허, 기술이전, 창업 상세내용
			세부 전공분야		
특허, 기술이전, 창업 실적의 우수성					
3	이해석		전자정보 공학	특허	①발명자: 김동환,이해석,강윤목,배수현,이상원,박현정,황재근,이원규,현지연,이슬희
			태양전지		②특허명(품종등록명): 태양전지 및 이를 포함하는 태양전지 모듈
					③등록국가: 대한민국
					④등록번호:
					⑤등록연도: 2022
태양광발전(Photovoltaics)는 글로벌 탄소중립 목표달성을 위한 핵심 재생에너지원으로 매년 140 GW(2021년 기준) 이상 설치됨. 이러한 태양광발전시스템의 핵심 디바이스인 실리콘 태양전지는 현재 전 세계 태양광 시장의 95% 점유하고 있으며, 양산효율은 22-24%로 이론한계효율(29.4%)에 근접하고 있음. 이러한 단일접합 태양전지의 이론한계 효율을 극복하여 초고효율(>30%)을 달성하기 위한 새로운 태양 전지 구조로 실리콘 태양전지와 페로브스카이트 태양전지를 직렬로 연결한 탠덤(이중접합) 태양전지가 주목받고 있음. 탠덤 태양전지의 이론효율은 46%임. 이러한 다중접합 태양전지는 상부 태양전지와 하부 태양전지가 전기적으로 직렬연결되기 때문에, 상부 태양전지와 하부 태양전지에서 생성되는 전류의 양을 최대화하고 동일한 양의 전류를 생산하는 것이 매우 중요한 기술임. 그러나 현재 개발되고 있는 다중접합 태양전지 구조는 광을 흡수하고 전류를 생성하는 광흡수층 외에도, 전자전달층, 전공전달층, 중간층, 투명전극, 재결합층 등 다중접합 태양전지 구동을 위하여 수직적으로 많은 층들이 존재하고 있어서 그 결과 기생흡수에 의한 광손실이 존재함. 본 특허의 독창성과 우수성은 다중접합 태양전지의 상부 태양전지를 후면전극 구조로 제작함으로써, 상부 태양전지의 광 흡수를 극대화할 수 있고, 광흡수층 이외 다른 구성층들에 의한 기생흡수를 최소화할 수 있음. 그 결과 상부 태양전지의 광투과를 최대화하여 후면 태양전지의 광흡수를 최대화할 수 있으며, 상부 태양전지와 하부 태양전지의 광전류 매칭을 통해 다중접합 태양전지의 광전류 및 광전변환 효율을 극대화할 수 있음. 이러한 태양전지가 개발되어 상용화된다면 다양한 응용이 가능하여 태양광산업의 활성화에 크게 기여할 수 있음.					
					특허 도면

〈표 3-3〉 최근 1년간(2021.9.1.-2022.8.31.) 특허 등록실적

연번	연도	항목	등록 국가	등록일자	등록번호	발명의 명칭	등록인 구분	발명인명
1	2021	국내특허	대한민국	20210903		투명도를 고려한 박막 태양전지 및 그 제조방법	고려대학교 산학협력단	김승규, 전용석, 강운목, 이찬용, 고종원
2	2021	국내특허	대한민국	20211101		탠덤태양전지소자	고려대학교 산학협력단	강운목, 김동환, 박 세진, 배수현, 이해 석
3	2022	국내특허	대한민국	20220210		병렬 및 직렬 연결 구조를 갖는 태양전지 모듈	고려대학교 산학협력단	김동환, 고종원, 정 유진, 강운목, 이해 석, 전용석
4	2022	국내특허	대한민국	20220302		태양 전지 모듈	고려대학교 산학협력단	김동환, 고종원, 정 유진, 강운목, 이해 석, 전용석
5	2022	국내특허	대한민국	20220511		컬러 태양 전지 모듈	고려대학교 산학협력단	김동환, 고종원, 정 유진, 강운목, 이해 석, 전용석
6	2022	국내특허	대한민국	20220321		태양전지 및 이를 포함하는 태양전지 모듈	고려대학교 산학협력단	이해석, 이솔희, 이 원규, 현지연, 황재 근, 박현정, 배수현, 강운목, 김동환, 이 상원
7	2022	국내특허	대한민국	20220816		수전해 장치 및 수전해 방법	고려대학교 산학협력단	전용석, 김태민, 이 찬용

〈표 3-4〉 최근 1년간(2021.9.1.-2022.8.31.) 특허 출원실적

연번	연도	항목	출원 국가	출원일자	출원번호	발명의 명칭	등록인 구분	발명인명
1	2022	해외특허	U.S.A.	20220812		태양전지 및 이를 포함하는 태양전지 모듈	고려대학교 산학협력단	김동환, 고종원, 정유진, 강운목, 이해석, 전용석
2	2022	해외특허	PCT	20220614		충격 흡수구조체를 포함한 태양광 모듈	고려대학교 산학협력단	전용석, 강운목, 이찬용, 이창현
3	2022	해외특허	U.S.A.	20220901		병렬 및 직렬 연결 구조를 갖는 태양전지 모듈	고려대학교 산학협력단	김동환, 고종원, 정유진, 강운목, 이해석, 전용석
4	2022	해외특허	PCT	20220622		태양광 모듈의 제조 방법	고려대학교 산학협력단	김동환, 고종원, 이찬용, 강운목, 이해석, 전용석
5	2022	해외특허	PCT	20220415		투명도를 고려한 박막 태양전지 및 그 제조방법	고려대학교 산학협력단	전용석, 강운목, 고종원, 김승규, 이찬용
6	2022	해외특허	U.S.A.	20220725		태양 전지 모듈	고려대학교 산학협력단	김동환, 고종원, 정유진, 강운목, 이해석, 전용석
7	2022	해외특허	U.S.A.	20220513		태양전지 및 이를 포함하는 태양전지 모듈	고려대학교 산학협력단	이해석, 이솔희, 이원규, 현지연, 황재근, 박현정, 배수현, 강운목, 김동환, 이상원
8	2022	해외특허	U.S.A.	20220228		시인성이 우수한 태양 전지 모듈	고려대학교 산학협력단	강운목, 김동환, 이해석, 전용석
9	2022	해외특허	PCT	20220307		확장이 용이한	고려대학교	전용석, 강운목,

						조립형 태양광 모듈 및 어셈블리의 구조 및 공정	산학협력단	이찬용, 채경진
10	2022	해외특허	PCT	20220307		태양광 모듈 및 이의 제조 방법	고려대학교 산학협력단	김동환, 고종원, 채경진, 강운목, 이해석, 전용석
11	2022	국내특허	KOREA	20220317		태양광 모듈	고려대학교 산학협력단	강운목, 전용석
12	2022	국내특허	KOREA	20220429		태양광 모듈의 제조 방법	고려대학교 산학협력단	강운목, 김동환, 이해석, 전용석, 이찬용, 고종원
13	2022	국내특허	KOREA	20211104		태양전지 및 이를 포함하는 태양전지 모듈	고려대학교 산학협력단	편도원, 이상원, 이해석, 김동환, 강운목, 현지연, 황재근, 이슬희, 이원규, 정석현, 황지성

● 향후 특허 계획

- 본 연구단에서 연구 중인 투명 태양광 모듈은 2020년 8월~2021년 현재 등록 특허 7건, 출원 13건이며, 사업화 가능성이 높은 것으로 판단하고 있음. 따라서 고려대학교 산학협력단 기술사업화센터에서 지원하고 있는 프로그램인 Freedom-to-Operate (실시자유) 분석을 통해 특허침해 여부 및 회피설계, 핵심특허 등록 등 특허 전략 수립을 진행하고자 함.

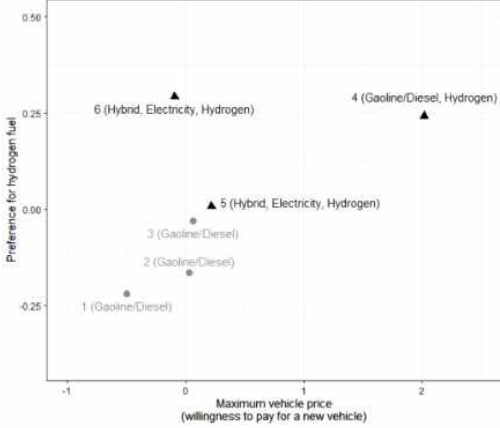
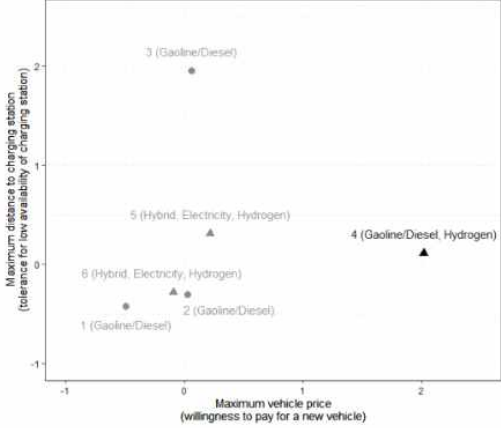
● 고려대학교 연구자 대상 특허기반 침해가능성 사전 분석 및 회피설계 지원

- 연구실 특허와 동일하거나 유사한 기술을 기업에서 사용한 사실을 확인
- 후발기업들이 유사한 아이템을 사용하고 있는 사실을 확인
- 동일/유사한 선행특허 등이 존재하는지, 이로 인해 특허침해이슈가 발생하지는 않는지, 자유실시가 가능한지 확인 필요
- 보유특허의 타기업 침해가능성에 대한 사전 분석을 통해 타 기업의 침해품 구성과 청구항을 상세비교 분석, 침해가능성이 높다고 판단되는 경우 소송 시나리오 및 소송을 통한 수익화 방안 검토 등을 지원

● 참고: 실시자유분석 또는 특허침해분석(Freedom-to-Operate Analysis)

- FTO 분석은 제품 개발 전 단계나 제3자로부터 특허 침해 주장을 받은 경우뿐만 아니라 해당 특허권자에게 특허 라이선싱이나 매입 제의를 하고자 가치평가가 필요한 경우에도 활용될 수 있음.
- FTO 분석은 각별히 침해 가능성이 높은 한 개의 특허를 분석하는 것에 집중할 수도 있고, 다수의 연관된 특허 혹은 제품들을 차례로 분석할 수도 있음. 보통 (1) 실시하고자 하는 자사의 제품이나 공정이 타인의 특허를 침해하는지와 (2) 타인의 특허가 유효한지를 가리는 두 종류로 구분됨.
- 서비스(플랫폼, SW 포함)나 제품 내용의 수정이 가능한 초기 연구 개발 단계에서 FTO 분석은 필수적인 특허확보 전략임. FTO를 통해 초기에 핵심 특허를 식별하고 침해 위험이 가장 높은 특허를 검토하여, 특허 침해에 해당하지 않는 기술 구성을 중심으로 R&D를 진행하여, 침해 위험을 줄이고 제품의 특허 가능성을 높이는 설계를 할 수 있음.
- 미국에서는 특허 '고의 침해'에 대하여 중액 손해배상제도가 적용되며, 이때 특허 전문가의 FTO 분석을 통해 특허 침해가 아니라는 의견을 보유한 경우 고의성이 없었음을 입증할 수 있는 좋은 수단이 됨. 또한, 특허 침해 가처분 신청에도 대응할 수 있는 아주 효과적인 수단이 될 수 있음.

라. 연구의 수월성을 대표하는 연구업적물

연번	대표업적물 설명
1	우종률 교수 Moon, H., Park, S. Y., & Woo, J*. (2021). Staying on convention or leapfrogging to eco-innovation?: Identifying early adopters of hydrogen-powered vehicles. <i>Technological Forecasting and Social Change</i>, 171, 120995. 수소차는 최근 많이 주목받고 있는 기술임에도 불구하고 아직 소비자 관점에서는 연구가 많이 이루어지지 않고 있다. 이에 본 연구에서는 세계에서 가장 크고 빠르게 성장하는 수소차 시장을 가지고 있는 한국을 대상으로 수소차 초기 시장의 특성을 분석하고 수소차 확산 전략을 제시한다. 구체적으로, 본 연구는 설문 데이터와 머신러닝 기법을 기반으로 소비자가 차량 구매 시 대안 평가 단계에서 consideration set을 구성하는 기준을 분석하고 잠재 수소차 innovators와 early adopters가 함께 고려하는 경쟁 제품을 식별한다. 나아가 잠재적인 수소차 초기 채택자들의 개인 특성도 확인한다. 분석 결과에 따르면 전체 소비자의 약 44.9%가 수소차를 잠재대안으로 고려하고 있었으며, 이들은 ‘혁신적 럭셔리 소비자 그룹(6.2%)’, ‘고급형 친환경 소비자 그룹(12.6%)’, ‘연비중시형 친환경 소비자(26.1%)’로 다시 구분된다. 이 중 가솔린, 디젤 등 전형적인 내연차와 함께 수소차를 잠재 대안으로 고려하는 혁신적 럭셔리 소비자 그룹이 수소차 시장의 innovators가 될 것으로 예상된다. 이 소비자 그룹은 소득이 높은 부모와 어린 자녀로 구성된 가구로서 차량이 자신을 표현하는 중요한 재화라고 생각하고 있으며 친환경 자동차 시장의 불확실성이 존재한다고 인식하는 특성이 있다. 그러므로 이들이 기존의 전형적인 내연기관 차량을 선택할지 (staying on convention) 아니면 현재 시장에 출시되어 있는 친환경 차량인 하이브리드, 전기차를 선택하지 않고 더욱 cutting edge 기술이 적용된 수소차를 받아들일지(leapfrogging to innovation)를 고민한다는 점을 고려하여 기존 내연차 대비 수소차의 강점을 중점적으로 어필 할 수 있도록 기술 개발, 마케팅 등을 추진할 필요가 있다.   (i) Vehicle price vs. Hydrogen fuel (ii) Vehicle price vs. Station availability Fig. 2. Identification of the innovators in the FCEV market. 본 연구는 수소차 잠재 소비군이 기존의 상식과는 다르다는 것을 확인하고 수소차 확산을 더욱 앞당길 수 있는 마케팅과 정책적 함의를 정량적으로 도출했다는 점에서 수소차를 이용하여 수송분야의 탈탄소화를 하고자 하는 한국 같은 국가와 수소차 시장을 선점하고자 하는 기업에 도움이 될 것으로 판단된다. 또한 기술-정책-데이터 융합 연구라는 점에서 본 교육연구단이 추구하는 목표와 부합한다. 마지막으로 본 연구가 IF 10.884, JCR REGIONAL & URBAN PLANNING 분야 1/40, 상위 2.5%인 최상위 SSCI 국제학술지에 게재되었다는 점은 본 연구의 우수성을 보여준다.

연번	대표업적물 설명
2	강정원 교수 Hwang, S. Y.; Kang, J. W., Group Contribution-Based Graph Convolution Network: Pure Property Estimation Model. <i>Int J Thermophys</i> 2022, 43 (9). (IF=2.416) 열역학 물성 자료는 화학공정의 설계와 조업에서 기초가 되는 자료들이다. 문헌상에 실험자료들이 보고되고는 있지만 기하급수적인 물성 자료에 대한 요구에 비하여 제공되는 자료는 턱없이 부족한 것이 현실이다. 데이터가 보고되지 않은 경우, 추산방법들이 사용되는데, 그룹기여 방법이 가장 보편적으로 사용되는 방법이다. 하지만 이방법들은 분자구조를 단순히 표현하기 때문에 정확성에 한계가 있다. 좀더 진보된 방법들이 보고되고 있지만 많은 매개변수를 가지고 있기 때문에 데이터 부족으로 사용에 어려움이 있다. 본 연구에서는 복잡한 머신러닝 알고리즘과 선형 그룹기여 방법의 장점을 각각 취한 중간적인 방법을 제시하였다. 분자의 구조를 원자로 연결된 그래프로 표시하는 대신에 우리는 좀더 큰 블록인 기능성 그룹의 그래프로 표현 하고자 노력하였다. 새로운 접근 방법은 조정가능한 매개변수를 많이 줄일수 있다. 계산 결과는 기존의 방법보다 향상된 성능을 나타냈다. 매변수 피팅 과정에서의 robustness, 실험자료의 불확도 포함, 이상치 제거 등 다양한 측면에서 새로운 방법을 검토하였다. Group Contribution Method Present Work Real Case Same contributions Updated contributions depending on neighbor Different contributions appear due to different neighbor polarity 논문의 우수성 본 논문원 Editor-in-Chief Professor Marc Assael 의 추천의로 내년도 2032 Ared Cezairliyan Best Paper Award의 후보로 추천되었음.

Yohan Ko, Taemin Kim, Chanyong Lee, Changhyun Lee, Yong Ju Yun, and Yongseok Jun*, Alleviating Interfacial Recombination of Heterojunction Electron Transport Layer via Oxygen Vacancy Engineering for Efficient Perovskite Solar Cells Over 23%, Energy and Environmental Materials, 2022, 0, 1-12 doi : 10.1002/eeem2.12347.

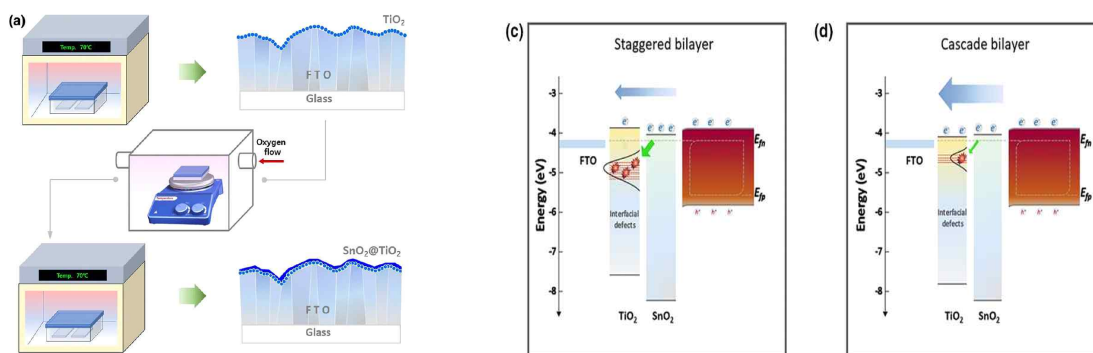
태양전지의 효율 감소의 큰 원인 중 하나는 비방사성 전하 재결합(non-radiative charge recombination)에 의한 효율 감소임. 전하 재결합은 페로브스카이트 태양전지를 구성하는 전자수송층, 광흡수층, 정공수송층 중 두 층간 계면에서의 전하 축적 또는 층 내부의 결함, 소재 자체의 전기적 특성에서 기인함. 태양전지의 고효율화를 위해 이를 개선하기 위해서는 전하 이동도가 높은 소재를 사용하거나, 계면의 표면적을 높이거나 계면에 새로운 물질을 도입하는 등의 전하 추출 속도를 높이거나, 알맞은 밴드갭의 소재를 사용하여 계면에 전하가 축적되는 것을 최소화함.

전용석 교수 연구팀은 전자수송층 내부 그리고 페로브스카이트 계면간의 non-radiative charge recombination을 감소시켜 페로브스카이트 태양전지의 높은 효율을 달성하기 위해 화학적 용액 증착법(chemical bath deposition, CBD)을 이용하여 $\text{SnO}_2/\text{TiO}_2$ 전자수송이중층을 페로브스카이트 태양전지에 도입하였음. SnO_2 는 높은 밴드갭과 TiO_2 보다 전자 이동도가 100배($240 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$) 높은 전기적 특성으로 페로브스카이트 계면으로부터의 전하 추출이 용이하지만 투명 전극인 FTO 위에 증착할 시 빠른 증착속도로 인하여 자가 응집되는 경향으로 선트에 의해 효율이 감소할 수 있다는 단점이 있음. 이를 개선하고자 TiO_2 를 FTO 위에 증착시켜 각각 20 nm, 40 nm의 두께로 FTO 표면에 균일하게 증착한 $\text{SnO}_2/\text{TiO}_2$ 전자수송이중층을 개발함.

또한 TiO_2 의 산소 결함을 최적화하여 전자수송이중층에 의한 광전기적 특성을 개선하였음. 기존 열처리 과정을 통해 형성된 TiO_2 층의 전도대는 SnO_2 보다 높기 때문에 전자수송층 계면에 전하가 축적되어 이력 현상이 발생하는 것이 확인됨. 이를 해결하기 위해 열처리 조건을 최적화하여 TiO_2 의 결정성을 개선하여 광흡수층으로부터 SnO_2 와 TiO_2 까지 전도대 에너지준위(conduction band energy level)가 정렬된 전자수송이중층 기반 페로브스카이트 태양전지 소자를 제작함.

그 결과 에너지준위 정렬된 전자수송이중층 기반 페로브스카이트 광전소자는 정렬되지 않은 전자수송이중층 보다 약 13.8% 낮은 트랩 에너지 준위(0.518 eV)와 11.5% 수준의 낮은 트랩 밀도($6.53 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$)를 달성함. 또한 830 ns의 전하 수명 시간보다 약 26.6% 증가한 1051 ns를 달성했으며, 0.201 V보다 약 50% 감소한 0.104 V의 트랩채움한계 전압(trap filled limit voltage, V_{TFL})을 확인함. TiO_2 의 산소 결함에 구조의 상태밀도함수를 DFT를 이용하여 계산한 결과 산소 결함의 위치에 따라 TiO_2 의 트랩의 에너지 준위가 변하였고, 이를 통해 산소 결함의 상태에 따라 deep trap state와 shallow trap state가 결정된다는 것을 계산함. 결국 전자수송이중층에서 하부 TiO_2 전자수송층의 산소 결함의 상태가 소자 성능에 큰 역할을 한다는 것을 밝힘.

본 논문은 산소 결함을 조정하여 에너지 준위 정렬된 전자수송이중층을 기반으로 한 페로브스카이트 전자수송층의 산소 결함 상태에 따른 전하 재결합에 대하여 심도있게 분석하였고 최종적으로 1.184 V의 높은 개방전압과 82.6%의 높은 채움인자로 23.45%의 높은 광전효율을 달성하였음. 이러한 우수성이 인정되어 IF 17의 Energy 분야 상위 3% 저널인 Energy Environmental Materials에 게재됨.

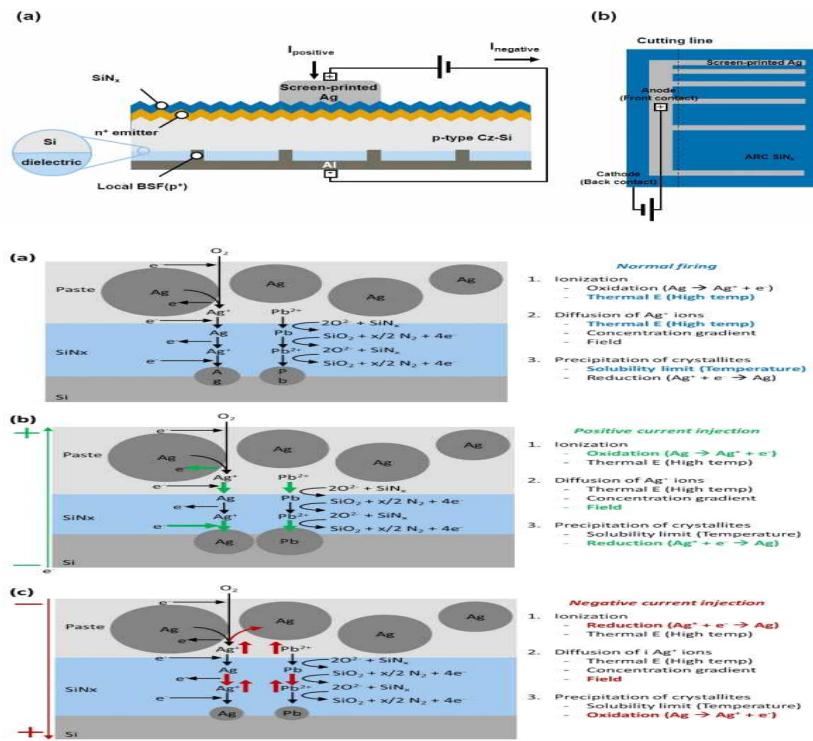


Dongjin Choi, HyunJung Park, Soohyun Baea, Seung Hyun Shin, Hyebin Han, Bernhard Klöter, Donghwan Kim, Hae-Seok Lee, Yoonmook Kang*(2022), Lowering firing temperature of a p-type passivated emitter rear contact Si solar cell via current injection, 239(1), 111587, SOLAR ENERGY MATERIALS AND SOLAR CELLS

전 세계 태양광 시장의 95%를 차지하는 실리콘 태양전지의 경쟁력을 확보하기 위하여 고려대, 한국에너지기술연구원(KIER), 그리고 독일 한화큐셀(Q CELLS GmbH) 연구진의 학연산 및 국제공동 연구결과를 게재한 논문임.

전극은 실리콘 태양전지의 효율을 좌우하는 인자 중 하나임에도 불구하고 전극 형성 메카니즘은 여전히 명확하지 않으며 이로 인해 전극 페이스트 재료의 핵심 재료인 은 파우더와 glass frit 그리고 유기물 바인더 등의 성분과 함량 비율 등을 시행착오를 통해 개발하고 있는 실정으로 태양전지 개발 속도를 제한하고 있음. 이 문제를 해결하고 반응 메카니즘을 찾기 위하여 고온의 금속 소결 공정 중에 전류를 인가하여 전극과 실리콘 사이에 전기화학 반응을 유도하는 아이디어를 제안하였으며, 이를 통해 실리콘 기판에 존재하는 전자가 전극 형성 유무를 좌우한다는 것을 밝혀내어 전극 재료 개발 방향성을 제시함. 또한 실리콘 기판의 종류 및 에미터의 도핑 농도에 따라 전극의 접착저항이 변하는 원인도 기판에 존재하는 전자가 기여한다는 새로운 반응메카니즘을 제안함.

4



Hyunjung Park, So Hyun Park, Sang-Won Lee, Yoonmook Kang, Donghwan Kim, Hae Jung Son, Hae-Seok Lee*(교신저자) (2021). “Novel Polymer-Based Organic/c-Si Monolithic Tandem Solar Cell: Enhanced Efficiency using Interlayer and Transparent Top Eelctrode Engineering” , Macromolecular Rapid Communications, 2021, 42, 2100305. (IF=5.734)

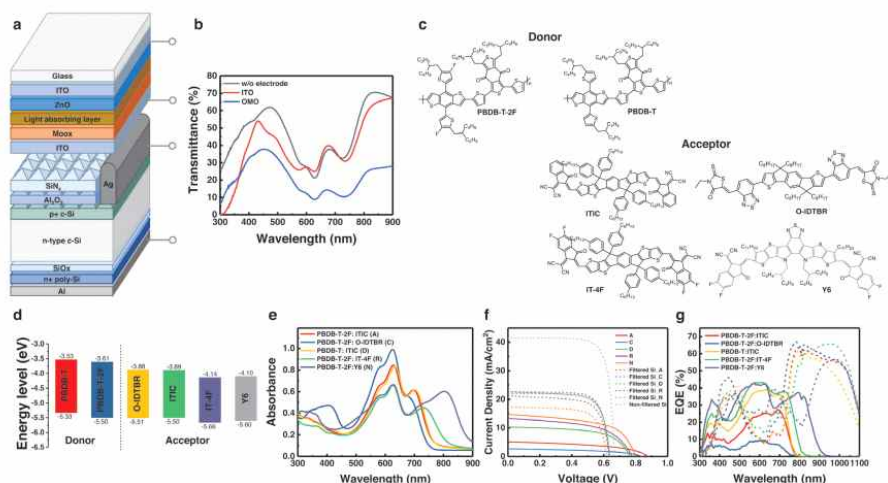
현재 전 세계적으로 탄소중립(Carbon Neutral) 목표달성을 위한 정책들을 기획하여 발표하고 있으며, 국내는 최근 “2050 탄소중립에너지기술로드맵”을 수립하여 태양광발전을 포함한 재생에너지원의 R&D, 보급 확대 및 산업 활성화를 위한 전략을 발표함.

특히, 태양광발전(Photovoltaics)은 2021년 기준 매년 140 GW 이상 신규 설치되고 있으며, 2030년 태양광시장 규모는 자동차 산업과 비슷할 것으로 예측됨. 국내에서도 매년 4 GW 신규 태양광발전시스템이 설치되고 있으며, 원자력 포함 신재생에너지 분야에서 가장 큰 규모의 산업으로 성장하고 있음.

이러한 태양광발전시스템의 핵심 디바이스인 태양전지는 탄소중립 목표 달성을 위해 ①초고효율화 ② 태양전지 신소재 개발 등 탄소중립 R&D 전략이 수립되어 있음. 이 중 변환효율 30% 이상의 초고효율화를 달성하기위한 탠덤(이중접합) 태양전지 개발이 전세계적으로 활발히 진행되고 있으며, 상부셀로는 페로브스카이트 및 유기 태양전지가 제안되고 있음.

본 논문은 처음으로 유기/실리콘 탠덤 태양전지를 구현하여 태양전지 특성을 평가함. 다양한 종류의 유기 태양전지를 개발하여 탠덤 태양전지에 적용하였으며, 유기/실리콘 탠덤 태양전지가 구동함을 처음으로 규명함. 또한, 20% 이상의 효율달성 가능성을 확인하였으며, 향후 새로운 상업용 태양전지로 기대됨. 이 결과들을 바탕으로 국내 태양전지 제조기업(한화큐셀, 현대에너지솔루션)과의 협업을 통해 대면적 및 상용화에 성공한다면 국내 태양전지 기술 및 산업경쟁력 확보에 크게 기여할 것임. 또한, 다양한 응용시장 발굴이 가능하여 국내 태양광산업의 활성화에 크게 기여할 것임.

본 논문은 처음으로 유기/실리콘 탠덤 태양전지를 구현하였으며, 이러한 우수성이 인정되어 상위 1% SCI 저널인 Advanced Materials (IF=32.086) 자매지인 “Macromolecular Rapid Communications”에 게재 됨.



연번	대표업적물 설명
6	하윤희 교수 Ha, Y. H., & Kumar, S. S. (2021). Investigating decentralized renewable energy systems under different governance approaches in Nepal and Indonesia: How does governance fail?, Energy Research & Social Science, 80, 102214. (IF=8.19) Decentralized energy systems have numerous advantages over mega energy projects, including environmental friendliness, lower upfront costs, greater affordability and reliability, lower risks, an easier ability to cope with system failures, and community empowerment. Despite these advantages, the type of governance used when constructing these systems can play an important role in yielding these positive impacts to local communities. This study investigates how renewable energy projects can fail under certain types of governance. We use case studies in Indonesia and Nepal to demonstrate the problems and factors in terms of the governance structures that have diminished the performance of decentralized small-scale renewable energy projects. The Indonesian case study focuses on the top-down governance of a renewable energy project. The project's promotion under a conventional central government-led framework resulted in a process of granting renewable energy plants to local governments without considering stakeholders. In the Nepalese case, a renewable energy project was designed using a polycentric approach to governance. However, the donor (the European Commission) remotely controlled the project process, thereby hampering the intended polycentric governance strategy, which was originally conceived to include multi-level stakeholders. By focusing on real cases throughout a project's progress, this study illustrates how monopolized power excludes the interests and commitments of multi-stakeholder interests and commitments to a project, which impinges on the final result.

2. 산업 · 사회에 대한 기여도

가. (국내 기업 신흥국 진출 지원) 신흥국 에너지 공무원 초청 인력양성 프로그램 (참여교수: 김경남, 하윤희, 우종률)

● (현황)

- 2022년 9월 현재 16개국 출신 49의 졸업생과 재학생이 있으며, 이들은 에너지 분야 전략시장인 신흥 경제국의 에너지부 및 국영전력회사 현직 간부들로서 주로 아시아 및 아프리카 국가 출신으로 구성됨.
- 2022년 후기 신입생은 석사과정 5명, 박사과정 4명 등 총 9명의 신입생이 입학함.
- 현지 전문가 · 공무원 · 기업 등과의 협력 네트워크를 구축하여 현지 상황에 맞는 에너지 적정기술을 발굴하고, 정책분석을 통해 시장을 개척하도록 지원함.

● GETPPP 졸업생을 활용한 “국제에너지전문가네트워크(IEEN)” 구축 추진

- GETPPP 과정을 통해 배출된 졸업생들이 우리 기업들이 신흥 개도국 시장을 개척하는 데 있어 실질적인 도움을 줄 수 있도록 2019년부터 졸업생들을 Enabler로 활용해 국제에너지전문가네트워크(International Energy Expert Network, IEEN)를 구축하고 있음.
- 2019년 베트남 출신 졸업생이 주축이 되어 현지 공무원, 에너지기업 간부, 기업가, 연구자 등이 참여하는 14명 규모의 한-베트남 IEEN을 구축한 이래 2020년 인도네시아, 2021년 필리핀, 2022년 말레이시아로 IEEN을 확장하였음.
- 베트남과 말레이시아 현지에서 개최된 IEEN 출범 포럼(인도네시아와 필리핀은 코로나 상황으로 인해 현지 포럼 생략)에는 현지 에너지 전문가와 한국 기업인들이 참여하여 태양광, 풍력, 스마트에너지 시스템, ESS, 그린 모빌리티 등을 주제로 세미나와 네트워킹 행사를 개최하였음. 이를 통해 현지 진출 한국 기업들이 신뢰할 만한 현지 네트워크를 확보할 수 있게 되었음.
- 가장 최근인 2022년 말레이시아 Green Mobility and Energy 포럼은 2022년 8월 30일 쿠알라룸푸르에서 개최되었으며 말레이시아 에너지부 Dato' Mohamad Razif bin Haji Abd Mubin 차관보를 포함 말레이시아 측 인사 17명, 말레이시아 대사관 이치범 대사를 포함 한국기업 측 인사 23명이 참석하였음. 2019년부터 2022년까지 IEEN 포럼 신흥국 멤버는 말레이시아, 필리핀, 인도네시아, 베트남에서 84명에 달함.

● (향후 계획)

- 코로나19로 인한 국내 및 국제적인 상황이 호전되는대로 산학연 네트워크 교류회, 국제협력 워크숍, 에너지기술정책 포럼을 지속적으로 개최할 예정임.
- 졸업/재학생 및 해당 국가 에너지부 공무원을 비롯하여 관련 기관 간 정책협력 및 학술교류 네트워크를 지속적으로 구축 및 확장하여 인적 교두보 마련
- 현지 에너지기술 수요 및 시장상황을 분석 및 평가하고 진출 가능한 국내기업을 매칭하기 위한 워크숍을 지속적으로 개최(졸업/재학생 출신 국가의 에너지 기관 관계자 한국 초청)
- 국내 산학연 연구진 현지 방문하여 양자 간 에너지산업 진출을 위한 공동연구 및 과제발굴 추진
- 현재 한국중부발전, 한국동서발전, 한전KPS, 한국석유공사, 포스코에너지, SK이노베이션, 삼탄, 한화에너지, 리카본코리아, 계림폴리콘, 한국스마트, 에너지기술(주), 스텝랩, 에코션, 엔바이오킨스, 코에버정보기술, 다쓰테크 등 다수의 국내 에너지 기관/기업들과 협력 중

나. (플라스틱 문제해결을 위한 정책평가) 플라스틱 제품의 생산자책임확대제도 효과성 분석 (참여교수: 박주영)

● (연구 배경)

- 한국은 1인당 플라스틱 소비가 130kg인 플라스틱 다소비 국가임. 특히 최근 재활용업체의 폐비닐 및 플라스틱류 수거 거부 사태, 폐기물 필리핀 불법 수출과 같은 사회적 문제가 주목을 받게 되면서 2018년 환경부가 개선 대책을 발표하기에 이룸. 중국 정부의 재활용물질 수입규제에 따라 폐플라스틱의 수출은 급감하고 수입은 증가하고 있으며, 국내 폐플라스틱은 재질이 다양하고 이물질이 섞여 있어 해외에서뿐 아니라 국내에서도 수요가 줄어드는 실정임.
- 본 연구에서는 플라스틱 생산-소비-처리의 전 과정에서 물질흐름을 구축하여 플라스틱 관리 현황을 파악하고, 의사결정에 유용한 통합물질자료를 구축하고자 함. 이를 위해 플라스틱 수지 생산과 수출입, 플라스틱 제품 생산과 수출입, 플라스틱 제품 소비, 폐플라스틱 재활용 및 처리와 관련된 가용한 국가 및 산업통계를 취합하고, 자료가 부족한 부분은 문헌자료와 모델을 활용하여 추정하며, 문헌연구 및 현장방문을 통해 실질적 재활용을 고려하여 전 과정에 걸친 물질흐름 데이터베이스를 구축하고자 함. 또한 각 단계에서의 이해관계자 수와 역할배분을 조사하여 거버넌스 구조와 효과적인 플라스틱 관리를 위한 문제점을 분석함.

● (실적 및 현황)

- 일차적으로 생산-소비-폐기 전 과정에서의 한국 플라스틱 관리 현황을 파악하기 위해, 플라스틱 관련 문제가 가시적으로 나타났던 2017년-2019년 3개년 각각에 대해 플라스틱 관련 통계를 수집, 검토하고 물질계정을 구축함. 이에 대한 결과는 2개의 국제학술대회에서 발표하였으며(구두발표 1건, 포스터발표 1건), 국내에서도 관련 연구원 및 학교에서 세미나 형태로 연구결과를 공유하며 플라스틱 통계 관련 이슈 등에 대해 논의함.
- 일차 분석을 바탕으로 1982년부터 2020년까지 40여년 간의 동적 물질흐름분석 또한 수행하였으며, 이를 통해 정적 물질흐름분석에서는 데이터의 한계로 분석할 수 없었던 수지별 폐기물 발생량 및 부문별 플라스틱 축적량을 추정할 수 있었음. 이러한 정보에 따라 현재 및 미래의 폐기물 수지 구성을 고려한 적절한 재활용 포트폴리오를 검토할 수 있음. 플라스틱 정책 수립과 평가에 기여할 수 있을 것으로 생각됨.
- 플라스틱 물질흐름분석 결과, 포장재 부문의 플라스틱 소비량이 가장 크고 일회성 소비로 인한 문제가 심각한 것으로 나타남. 이에 따라 음식배달 시 사용되는 플라스틱 포장재의 양을 추정하고, 대안 비즈니스 모델(다회용기 사용 및 세척, 바이오플라스틱 사용, 포장재 플라스틱량 감소 등) 사용시 시나리오에 따른 환경적 효과를 추정하는 연구를 수행 중임.

● (향후 기대 효과)

- 이러한 분석에 기반하여 특히 생산자책임재활용제도 정책이 그동안 자원효율성 및 환경목표를 어떻게 달성하여 왔는지 효과성을 평가하고 플라스틱 제품 관리의 개선점을 도출하고자 함.

다. (신산업 유망기술 예측) 수소 에너지 기술 분야 미래 유망기술 예측 (참여교수: 우종률)

● (연구 배경)

- 기술혁신은 경제적 가치를 창출하고 우리 사회를 변화시키는 핵심 동력이 되었음. 기업이나 정부와 같은 경제 주체들의 기술혁신 역량은 이들의 경쟁력을 결정하게 되었음. 이에 최근 기업, 정부는 기술 트렌드를 식별하고 기술혁신을 주도해 나갈 수 있는 전략 마련에 총력을 기울이고 있는 상황임. 특히, 수소 에너지 산업은 한국의 차세대 성장 동력이 될 가능성이 높은 분야로서 과감한 투자를 통해 기술혁신을 위한 관련 산업 생태계를 구축해야 할 필요가 있음.

● (연구 내용)

- 기업, 정부가 성공적인 기술혁신을 하기 위해서는 새로운 아이디어를 창출하고(invention), 선별한 아이디어를 시장성 있는 기술제품으로 개발하여(innovation) 소비자에게 확산시키는(diffusion) 과정을

거쳐야 함. 하지만 어떤 아이디어가 우수한지, 어떤 기술제품이 시장에서 널리 받아들여질지 등을 사전에 알기 어렵기 때문에 기술혁신의 성공률은 매우 낮은 편임.

- 본 연구에서는 수소 에너지 기술을 둘러싼 공학 및 사회 시스템과 관련된 데이터를 정밀하게 분석하고 미래기술의 방향성을 예측하여 기업과 정부가 신재생에너지 산업에 투자하는 과정에서 마주하는 불확실성을 낮추고 기술혁신 성공률은 높일 수 있는 전략을 도출하고자 함.

● (실적 및 현황)

- 수소에너지 관련 특허 데이터를 세부 기술 도메인별로 분류하여 수소 에너지 특허 데이터베이스를 구축함. 또한 특허 데이터 분석결과 정리하여 논문 작성을 완료. 논문은 올해 Applied Energy에 게재되었음. Applied Energy는 SCIE 저널로 Impact Factor가 11.446이고 분야 상위 6%에 들어가는 우수 저널임.

● (향후 기대효과)

- 많은 국가들은 수소기술 개발을 통하여 관련 산업 시장을 창출하고, 에너지 자립 및 친환경 에너지 시스템 구축을 목표로 하고 있음. 그러나 국제적인 기술경쟁력을 확보하지 못할 경우 해당 국가가 수소경제 실현으로 실현할 수 있는 이득은 현저하게 줄어들 수 있음. 정책 결정자들은 이러한 상황에서 자국의 서로 다른 부문의 기술들이 수소라는 키워드를 중심으로 어떻게 연관되는지 그 패턴을 파악하고, 미처 포착되지 못한 기술적 기회를 식별하여 전략적으로 투자, 지원해야 할 필요가 있음. 하지만 이러한 광범위한 기술적 내용을 소수의 전문가들이 평가하기란 어려운 일임. 이러한 배경 하에서 본 연구는 텍스트마이닝 기법을 이용하여 수소기술과 관련된 주요 정책 결정자들의 의사 결정을 지원할 수 있는 프레임워크를 제시하고 수소 R&D 전략에 대한 시사점을 제시한다는 점에서 의미가 있음.

라. (산업의 자원효율 제고) 한국의 산업단지 생태개발 산업공생 잠재량 추정 (참여교수: 박주영)

● (연구 배경)

- 한국은 노후한 산업단지의 환경 영향을 최소화하고 효율적인 자원 활용을 통해 경쟁력을 제고하기 위해 2005년부터 2016년까지 생태산업단지개발 사업(Eco-industrial Park development program)을 추진함. 이는 기업 간 협력을 통해 폐부산물, 폐수, 폐열을 유용한 산업자원으로 활용하는 것(산업공생)으로, 총 12년간 1,800여 개 기업이 참여하는 655개 사업을 발굴하여 이 중 235개 물질교환 네트워크를 사업화함. 이에 따라 2조 이상의 경제적 효과(누적 부산물 판매이익 및 비용저감), 환경적 효과(850만 톤의 온실가스 저감, 680만 톤의 폐기물 매립저감, 1.7백만toe의 에너지 절감 등) 및 사회적 효과(992개의 일자리 창출 효과 등)가 발생한 것으로 추정함.
- 사업지원비용 대비 30배 이상의 경제적 성과를 창출하고 높은 사업화율(66%)을 달성했음에도 불구하고, 사업 종료 이후 예비타당성 및 결과보고서의 데이터가 체계적으로 정리되지 않아 관련 사업을 확대하기 어려운 상황임.
- “산업단지 폐부산물 폐쇄순환 그리드 시스템 개발”은 한국산업기술평가관리원의 청정생산기반 산업공생기술개발사업(과제책임자: 한국생산기술연구원 안상준 박사)으로 2019년부터 2021년까지 3년간 수행되는 사업임. 주 내용은 생태산업단지개발사업 데이터와 함께 가용한 산업관련 통계(에너지사용, 폐기물/대기오염물질 배출 등)를 활용하여 데이터베이스를 구축하고, 경제성, 환경성이 우수한 산업공생사업을 발굴하여 사업화로 이어질 수 있도록 개발을 지원하는 플랫폼을 만드는 것임.
- 구축된 데이터베이스와 37개 산업공생 대표기술에 대한 정보를 기반으로 산업공생이 더 많은 산업단지로 확장될 경우 그 잠재량은 얼마인지 추정하는 연구를 하고자 함. 이를 위해 예일대학교 환경대학원의 연구팀(책임자 Marian Chertow 교수, Matt Gordon 박사과정 학생 참여)과 공동으로

경제성과 환경성이 우수한 산업공생 네트워크를 구성하는 알고리즘을 개발하고자 함.

● (실적 및 현황)

- 한국생산기술연구원에서 생태산업단지개발사업(2005-2016)으로 배출된 474개 보고서와 산업 관련 각종 통계(산업시설, 신용정보, 폐기물, 대기배출물, 에너지, 폐수 통계 등)를 연계한 데이터베이스 및 인공지능 기반 지능형 폐쇄순환그리드 시스템 구축을 진행 중임. 대규모 데이터베이스와 시스템이 구축되면, 이를 활용하여 전국 산업단지 산업공생 잠재량을 추정할 수 있음. 이에 대한 작업은 중국 및 인도의 산업공생 잠재량을 추정한 경험이 있는 Yale School of Environment의 연구팀과 공동 수행할 계획임.

● (향후 기대효과)

- 물질교환을 위한 산업 간 매칭 알고리즘을 통해 경제성과 환경성이 높은 사업을 우선적으로 발굴할 수 있으며, 이러한 분석을 통해 사업화 가능성이 높은 사업이 실제로 사업화까지 이어질 수 있도록 기업의 선정 및 산업공생 의사결정을 지원할 수 있음. 사업화까지 이어질 경우 기업 간 효율적인 자원 공유를 통해 산업생산의 경제적, 환경적, 사회적 부가가치를 창출할 수 있음.

마. (석탄발전산업 환경영향 저감정책 설계) 석탄화력발전소 저탄장 옥내화에 대한 국민 수용성 분석 (참여교수: 우종률)

● (연구 배경)

- 석탄화력발전소는 연료인 석탄을 보관하기 위한 저장시설인 저탄장도 함께 운영되어야 하는데, 국내 저탄장은 대부분 야외 저탄장 형식으로 설치되어 있음(대량의 석탄을 야외에 쌓아 놓음). 여기에서 발생하는 분진(석탄가루 날림먼지), 유해가스 및 악취(매연) 등으로 인해 인근 주민들에게 환경문제가 발생하고 있음. 인근 지역 주민들에게는 장기간 노출에 의한 인체 영향(호흡기·폐질환 등)이 있을 수 있고, 침착에 의한 수질·토양·식물 생태계 피해도 있을 수 있음.
- 국내 석탄화력발전소 저탄장의 옥내화가 시행되면, 석탄 미세먼지 및 유해가스 저감에 따른 대기환경 개선 효과가 발생할 것으로 기대되며, 특히 석탄가루 날림먼지의 특성상 해당 발전소 주변 20km 이내의 대기환경이 개선될 것으로 보임.
- 하지만 석탄화력발전소 저탄장의 옥내화를 추진하는 사업(저장용량은 석탄 약 547만 톤 규모 / 부지는 115만㎡, 축구장 167개 규모)을 시행하기 위해서 많은 비용이 소요되는 상황임.
- 본 연구에서는 국내 주요 석탄화력발전소 6곳의 야외 저탄장 전체를 옥내화하여 국내의 미세먼지 및 대기오염 문제를 완화하는 사업에 대한 국민들의 지불의사액을 추정하여 저탄장 옥내화 사업이 주는 편익과 사회적 후생을 분석하고자 함.
- 본 연구에서는 대국민 설문을 통해 국내 주요 석탄화력발전소 6곳의 야외 저탄장 전체를 옥내화하는 사업에 대한 국민들의 진술선호 데이터를 수집하고 이를 계량경제 모형으로 분석하여 이 사업에 대한 국민들의 지불의사액을 도출하고자 함. 그리고 이를 바탕으로 사업이 주는 편익과 사회적 후생을 추정하고자 함.

● (실적 및 현황)

- 석탄화력발전소 저탄장 옥내화에 대한 국민 수용성 분석연구결과를 정리하여 논문으로 작성하였음. 논문은 현재 SSCI급 저널인 Utilities Policy에서 리뷰 중임

● (향후 기대 효과)

- 국내 주요 석탄화력발전소 6곳의 야외 저탄장 전체를 옥내화하는 것은 2조 이상의 비용이 투입되어야 하는 대형 사업임. 본 연구에서는 본 사업의 추진이 경제적으로 타당성하지 않음을 확인함.
- 본 연구는 최근 심각한 사회문제로 대두되고 있는 미세먼지 및 대기오염 문제를 해결하고 사회적

후생을 극대화할 수 있는 정책을 설계하기 위한 근거자료로 활용될 수 있을 것임.

바. 알키미스트 프로젝트 산업화 (참여교수: 강운목, 이해석, 전용석)

● (연구 배경)

- 알키미스트 프로젝트는 산업의 난제 해결에 도전하는 초고난도 기술 개발을 통해 사회·경제적 파급력이 높은 기술을 확보함.
- 실리콘 태양전지 한계효율(30%) 극복을 위한 슈퍼 태양전지로 페로브스카이트/실리콘 탠덤 태양전지 개발
- 건물 적용을 위한 태양광발전(BIPV)의 핵심기술로 투명하면서 전력을 발생할 수 있는 투명한 태양전지 소재 및 모듈 개발

● (실적 및 현황) 슈퍼 태양전지 개발

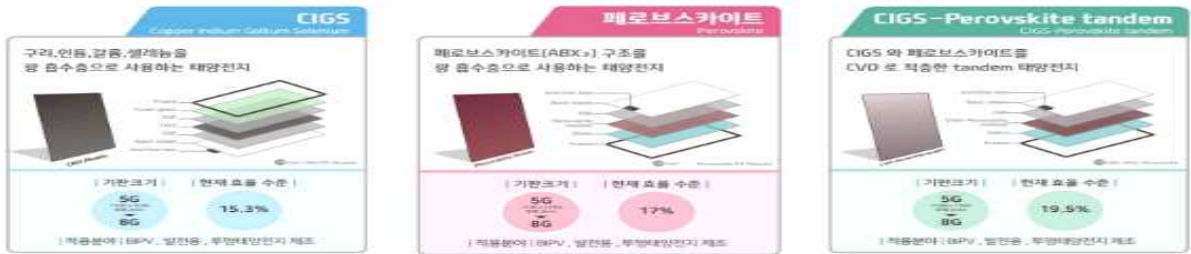
- 산업난제 해결을 위한 알키미스트 프로젝트로 “슈퍼 태양전지” 개발을 진행 중에 있음. 고려대, 한국화학연구원, KAIST 및 글로벌 태양광기업인 (주)한화큐셀이 같이 협력하고 있으며, 현재 슈퍼 태양전지의 bottom 셀을 2022년 사업화하기 위해 파일롯라인을 설치하여 검증중. 현재 태양광시장의 95%를 점유중인 상업용 실리콘 태양전지의 경우 효율이 22-23% 이며, 본 슈퍼 태양전지의 최종목표는 태양전지의 이론한계효율(29.4%)를 극복한 30% 이상의 효율 달성임. 향후 슈퍼 태양전지의 상용화에 성공한다면 국내 태양광 기술의 글로벌 우위성과 국내 관련 산업(소재/부품/공정장비) 활성화를 통한 글로벌 시장에서의 국내 산업경쟁력 확보가 가능함.

● (실적 및 현황) 슈퍼 태양전지 개발투명한 태양전지 개발

(ㄱ) 필름형 투명 태양전지 개발	(ㄴ) 기존 태양전지 플랫폼화 예시
멤버십 협력 개발 예시 - 메카로 1 세계 유일 MOCVD OGS 셀/모듈 기술 2 빈도제 및 태양전지용 전구체 개발 3 유기금속 화합물 합성기술 4 유기/유기 금속화합물 고순도 정제기술 5 CVD heater black 현 제품 : OGS 박막 모듈 투명태양전지 적용 : OGS 투명 모듈 협력 필요성과 시너지 효과 : OGS 투명 태양광 모듈 상용화 » 기존 태양광 모듈 산업은 기술 장벽이 낮음 » 보유기술의 부가가치를 높일 수 있는 새로운 제품 필요함 » 메카로 : OGS 박막 태양전지 개발 및 실외 평가, 고려대 : OGS 박막 태양전지 고효율화 공정 개발	멤버십 협력 개발 예시 - 립하이 1 세계 유일 초박막(~1nm) 변색소자 기술 2 전고체 (Full Solid State) Device 3 대면적 가능(차량용 유리 건축유리) 4 곡면 및 유연기판 적용 가능(필름형태) 5 낮은 제조 원가(1/5) 현 제품 : 웨어러블 소자, 자동차부품, 스마트유리 투명태양전지 적용 : T(투명디스플레이), 자동차(창문), 건물(스마트유리) 협력 필요성과 시너지 효과 : 투명 태양전지를 활용한 다양한 신제품 개발 » EC는 전력 공급을 중단상태에서 투과도 70% 수준을 유지해야 하므로 투명 태양전지 필요 » 자동차나 웨어러블 기기는 배터리를 사용하므로 사용시간 제한되어 보조 전력원 필요 » 립하이 : 박막 변색 소자 및 시스템개발, 고려대 : 필름형 투명태양전지 개발

● (실적 및 현황) 투명태양전지 기술이전: 메카로에너지와 기술협력

- 2018년 12월 4일: (주)메카로와 CIGS 박막태양전지 산업자문계약 체결
- 2020년 1월 1일: 메카로에너지와 CIGS 박막태양전지 산업자문계약 체결
- 2020년 6월 17일: 메카로에너지에 투명태양광 모듈기술 소개 및 알키미스트 프로젝트 기업멤버십 참여의향서 체결
- 2021년 12월 20일: 유리기관을 사용한 불투명한 CIGS 태양전지를 투명태양광 모듈로 제작할 수 있는 내용으로 한정하여 기술이전(통상실시권) 협의 시작
- 메카로에너지가 홈페이지에 게시한 투명모듈 홈페이지(<https://mecaroenergy.com/>)에 게시하고, 대구 그린엑스포(2022.4.13.~15)에 전시함

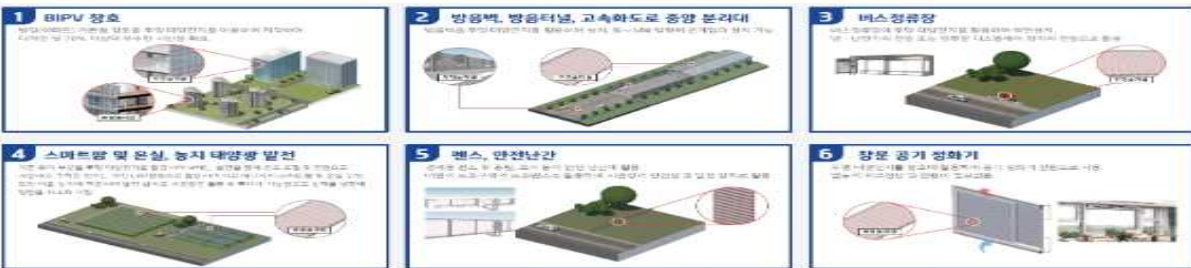


투명 태양전지

무수광 시인성(투과도, 색상)과 투명 태양전지 층 노크 발전효율을 갖고 있어 창호 및 시인성과 빛전을 일루조 하는 투명판 모어에서 기존 태양전지가 없던 할 수 있는 새로운 시장 개척



응용분야



[그림 III-2] 메카로에너지 홈페이지에 공개된 고려대가 기술 지원한 내용

● (실적 및 현황) 투명태양전지 수상 및 기술 공동개발 과제

- 한국동서발전: 신재생에너지 분야 신규 R&D 아이디어 공모 전 장려상 수상('21.11)
“아이디어명: 영농 및 생태 친화적인 태양광 모듈 및 구조 실증”
- 현대건설: 2022 현대건설 기술공모전 장려상 수상('22.08)
“아이디어명: 공동주택 유리난간에 적용 가능한 태양광 모듈 개발 제안서”
- 한국동서발전: 2022년도 제10차 연구개발심의위원회에서 과제 선정됨('22.06, 16억/2년)
“과제명: 고기능 창호형 BIPV 모듈 개발”
 - 건축물 창호에 적용 시 건축물에너지 절감 및 온실가스 감축에 기여
 - 영농형 태양광으로 활용 시 식물 생장에 영향을 거의 주지 않아 자연환경 친화적
 - 양산화 가능한 투명 및 컬러 태양광 모듈 시제품 개발로 디자인적 요소를 가미하여 태양광 발전에 대한 부정적 인식 해소
- 현대자동차: 산학협력과제 선정('22. 8, 약 1억/1년))
“과제명: 고투과 태양전지 개발을 위한 Invisible 태양광 모듈 개발”
 - 자동차 디자인을 돋보이게 하는 심미성을 갖춘 태양광 모듈 개발
 - 양면 수광형 페로브스카이트 태양전지를 적용한 invisible 모듈개발
 - 고투과 고효율 태양광 모듈을 위한 최적 광 구조 개발
 - 자동차 내 모듈 설치 위치에 따른 시야각 확보 기술 개발

● (기대 효과)

- 건물, 자동차, 전자기기 등 주요 에너지소비원의 에너지 자립도 향상에 따른 총 에너지비용 절감을 통해 에너지 원료 수입국으로써 큰 이점
- 요소기술 특허 선점 및 고부가가치 에너지산업 선도를 통한 국가 경제력 향상 기여
- 신규 고부가가치 에너지산업에 의한 요소기술 및 확장기술 분야 산업 수요 증가와 일자리 창출, 100 GW 이상의 신규 에너지 시장 창출할 것으로 예상함 (국내 대중소 기업들과의 멤버십 운영을 통해 개발될 기술과 제품의 사업화 촉진 및 신산업 창출; 멤버십 참여기업 : 현대자동차, 한화, 포스코, 신성이엔지, 이진창호, 고려특수선재, 이녹스,리스트벤처, 코아시아 등 자동차, 전자재, IT, 벤처투자 기업)

사. 탄소중립 이행을 위한 글로벌 산업부문 모형 개발 (참여교수: 우종률)

● (연구 배경)

- 산업부문의 온실가스 배출량은 가장 높은 수준이나, 현실적으로 큰 폭의 감축이 쉽지 않음
- 2019년 기준 국내 온실가스 배출량의 55.7%를 산업부문 배출량이 차지하고 있음
- 선진국보다 제조업 비중이 높은 상황에서 수출 경쟁력, 노동 시장 등에 피해를 최소화하면서 감축 목표를 달성하기 위해서는 정교한 모형을 토대로 합리적인 의사결정이 필요함
- 하지만 산업부문에 대한 감축 모형 연구는 상대적으로 부족한 상황임
- 산업부문의 경우 철강, 석유화학, 시멘트 등 개별 산업의 에너지시스템과 기술 구조가 상이하여 통합적인 분석이 어렵고, 영업 기밀 등을 이유로 기술DB가 투명하게 공개되어 있지 않아 상대적으로 분석이 활발하게 진행되지 못함
- 감축목표 달성에 필요한 비용, 에너지 사용량, 노동 수요 변화 등을 분석하기 위해서는 산업부문 모형을 정교하게 구축하는 것이 필요함
- 새로운 감축 기술의 등장 및 변화에 따른 산업부문의 감축 잠재량을 분석할 수 있는 모형이 필요함
- 다양한 기술 옵션이 존재하는 상황 속에서 최적의 기술선택과 이에 따른 파급효과를 분석할 수 있는 상향식 모형이 필요하고, 이를 위해서는 모형에 활용하기 적합한 산업부문의 감축 기술 DB 구축이 필요함
- 현재 상용화되지 않은 기술의 특성(감축 잠재량, 설치 및 운영 비용, 도입 시점, 운영 기간 등)을 파악하여 해당 기술 도입 시 환경 및 경제에 미치는 영향을 분석할 필요가 있음
- 기술 확산 및 예측 모형을 별도로 구성하여 신기술의 확산 속도, 네트워크 효과, 학습 효과 등을 반영한 모형 구성이 필요함

● (실적 및 현황)

- 탄소중립 정책의 산업부문 영향을 추정하기 위한 에너지-경제 모형을 개발하는 환경부 과제(2022년 6월~2028년 12월)에 참여 중
- 본 과제에서는 산업부문 기술 DB를 구축하고 이에 기반하여 기술 확산과 미래 기술 행태를 예측하고, 기술 확산/예측을 반영한 산업부문의 글로벌 평가 모형을 구축하여 글로벌 탄소중립 이행 관련한 정책적 시사점을 도출하는 것을 목표로 함
- 구체적으로 산업부문별 기술 현황을 포괄적으로 취합한 DB를 구축하고 이를 기반으로 기술변화 및 확산에 대해 예측함. 기술DB를 바탕으로 다배출 업종(철강, 시멘트, 석유화학 등)에 대한 글로벌 상향식 모형을 구축하고, 정책 및 기술 변화에 따른 기술 선택의 변화를 분석함. 또한 하향식 모형과 연계한 통합모형 구성하여 내생적인 감축 기술 선택 변화로 인한 온실가스 감축량 및 사회경제적 파급효과를 분석할 예정

● (기대 효과)

- 글로벌 감축 기술 DB 구축을 통한 산업별 정교한 감축 잠재력 예측 가능해짐
- 한국형 글로벌 모형의 개발을 통한 국제적인 경쟁력을 갖춰 탄소중립 연계 주도적인 위치 확보 가능해짐
- 온실가스 감축 비용 측면 뿐만 아니라 글로벌 감축 목표 및 탄소세 산정 가능해짐
- 온실가스 저감기술 개발 및 민간 투자를 위한 정책 불확실성 최대한 감소시킴
- 감축 기술 DB 구축을 통한 기타 환경 문제에 대한 기술적인 해결방안 모색이 가능해짐
- 국가 전체적인 감축 잠재력에 대한 추정기능과 정책평가기능이 향상되어 온실가스 감축 정책의 효율성을 제고함

아. 우즈베키스탄 태양에너지 산업 활성화를 위한 정책개선 및 전력안정화를 위한 에너지저장시스템(ESS) 활용방안 수립 (참여교수: 하윤희, 김경남)

● (추진 배경)

- 우즈베키스탄은 현재 화석연료 비중을 줄이고, 신재생에너지(태양광, 풍력, 수력 등) 비중을 높이는 에너지전환 정책을 추진 중임.
- 신재생에너지 중에서도 우즈베키스탄은 연간 300일 이상의 풍부한 일조량과 폴리실리콘 등 풍부한 원자재 매장량으로 태양에너지 산업의 발전 잠재력이 높음.
- 우즈베키스탄 정부는 EIPP 1차사업('20~' 21년)을 통해 태양에너지 보급 및 관련 산업 육성을 위한 한국의 경험과 노하우를 전수받은 바 있고, 금번 2차사업('21~' 22년)을 통해 태양광산업 발전을 위한 각종 정책 수립과 관련한 기술정책적 자문을 요청함.
- 또한 발전소 가동 등에 따른 태양광 발전량 증가 시 전력계통 안정화를 위한 에너지저장시스템(Energy Storage System) 도입 필요성이 증가함.

● (실적 및 현황)

- 우즈베키스탄 태양광 산업 및 ESS 도입 정책 확립에 기여
- 추진현황
과업추진기간: 2022.02.15 ~ 2022.09.30 (7.5개월)
착수보고회: 2022.03.28
중간보고회: 2022.06.27
최종보고회: 2022.09.22.

● (향후 계획)

- 태양광 및 ESS 관련 연구 논문 작성 예정
- 우즈베키스탄 태양광 모듈 관련 사업 R&D 센터 설립 및 전문가 역량 강화 활동 협력 예정

자. (2021/22 KSP 정책자문) 콜롬비아 자원순환경제를 위한 정책 개발 (참여교수: 하윤희)

● (추진 배경)

- 콜롬비아는 농업, 광산, 건설 및 서비스 등의 산업이 경제의 주축을 담당하고 있으며, 해당 산업들의 가치 창출을 위해 수자원, 에너지, 토지 등을 활용하나 자원 활용 효율은 낮은 상황임.
- 이에 콜롬비아는 2018년 라틴아메리카 최초로 환경적·사회경제적 부가가치 극대화 생산적 전환을 위한 국가순환경제전략(NSCE, National Strategy of Circular Economy)을 수립하였으나, 아직까지 기술, 경제, 조직, 사회·제도적 측면에서 여러 장애요인이 존재하여 정책 추진이 미흡한 실정임.
- 본 과업에서는 콜롬비아의 순환경제 및 생태산업단지 관련 정책 추진 방향, 전략, 기대효과 등을

조사함으로써 콜롬비아의 자원순환경제 전환으로의 잠재력을 평가하였으며, 이를 통해 한국의 생태산업단지 마스터플랜과 그린뉴딜 정책 등을 바탕으로 콜롬비아 현지에서 적용 가능한 순환경제 솔루션을 제공하고자 하였음.

● (실적 및 현황)

- 콜롬비아에 적합한 자원순환경제 정책 개발 및 역량 강화를 통해 콜롬비아 산업과 상생발전에 기여
- 추진현황
과업추진기간: 2022.02.21 ~ 2022.10.14 (7.8개월)
착수보고회: 2022.03.23
중간보고회 및 정책실무자연수: 2022.07.18.~21
최종보고회: 2022.09.27.

● (향후 계획)

- 관련 후속사업 발굴 예정
- 2023년: 시범사업단지 선정 및 파일럿 프로젝트 추진 (현황조사, 비즈니스 모델 개발)
- 2024년: 비즈니스 모델 적용

3. 연구의 국제화 현황

가. 참여교수의 국제적 학술활동 참여 실적 및 현황

〈표 3-5〉 최근 1년간 국제 학술활동 참여 실적

연 번	교육연구단 참여교수	학술활동	학술지/학술대회 명	활동내용	주관기관	개최일	DOI 번호/ISBN 등 관련 인터넷 link 주소
1	전용석	학회지	Energies	Special issue editor		2021.9.1.-2022.12.10	1996-1073
2	이해석	초청강연	아제르바이잔 재생에너지 역량 강화사업	초청강연 “Carbon Neutrality & PV Technology	KOICA	2022.8.18	
3	이해석	국제학회 프로그램 위원회	Global Photovoltaic Conference 2022 (GPVC 2022)	Program Committee CSI session, Chair	Korea Photovoltaic Society (KPVS)	2022.7.6-2022.7.8	
4	이해석	국제세미나 조직위원회	The 8th Korea-Japan Joint Seminar on PV	Organizing Committee, General Secretary (사무총장)	Korea Photovoltaic Society (KPVS), Japan Photovoltaic Society (JPVS)	2022.5.26-2022.5.28	
5	이해석	초청강연	The 8th Korea-Japan Joint Seminar on PV	Invited Talk (SI-IN-5) “New Industrial Si Solar Cell & Module with TOPCon Structure	Korea Photovoltaic Society (KPVS), Japan Photovoltaic Society (JPVS)	2022.5.27	
6	이해석	국제학술지 (SCI Journal)	Energies	Editorial Board Member (편집위원)	MDPI	2021.9.1-현재	
7	하윤희	초청강연	아제르바이잔 재생에너지 역량 강화 사업	Energy Transition and RE100	KOICA	2022.8.18	

나. 국제 공동연구 실적

〈표 3-6〉 최근 1년간 국제 공동연구 실적(2021.09.01 - 2022.08.31)

연번	공동연구 참여자		상대국 /소속기관	국제 공동연구 실적	DOI 번호/ISBN 등 관련 인터넷 link 주소
	교육연구단 참여교수	국외 공동연구자			
1	우종률	Christopher Magee	미국/MIT	Relationship between technological improvement and innovation diffusion: an empirical test	10.1080/09537325.2021.1901875
2	강윤목, 이해석	Hyunju Lee Jaeseung Seol	일본/Meiji University 독일/Hanwha Q CELLS GmbH	Amorphous Silicon Thin Film Deposition for Poly-Si/SiO ₂ Contact Cells to Minimize Parasitic Absorption in the Near-Infrared Region	10.3390/en14248199
3	강윤목, 이해석	Jaeseung Seol	독일/Hanwha Q CELLS GmbH	Damage and residual layer analysis of reactive ion etching textured multi-crystalline silicon wafer for application to solar cells	10.1016/j.solene.2022.01.003
4	강윤목, 이해석	Bernhard Klöter	독일/Hanwha Q CELLS GmbH	lowering firing temperature of a p-type passivated emitter rear contact si solar cell via current injection	10.1016/j.solmat.2022.111587
5	강윤목, 이해석	MohamedEl-Newehy	사우디아라비아 / King Saud University College of Science	Iron oxide supercapacitor of high volumetric energy and power density using binder-free supersonic spraying and self-healing rGO	10.1016/j.ceramint.2022.01.250
6	이해석	1. Bhavana Joshi 2. Ali Aldalbahi, Mohamed El-Newehy	1. 인도 / CSIR-National Chemical Laboratory 2. 사우디아라비아 / King Saud University College of Science	Wearable fabric supercapacitors based on CNTs and polyhedral ZnO with a wide potential window	10.1002/er.7720
7	이해석	BhavanaJoshi	인도 / CSIR-National Chemical Laboratory	Bimetallic ZnFe ₂ O ₄ nanosheets prepared via electrodeposition as binder-free high-performance supercapacitor electrodes	10.1016/j.apsusc.2021.149951
8	이해석	BhavanaJoshi	인도 / CSIR-National Chemical Laboratory	Flexible metallized carbon nanofibers decorated with two-dimensional NiGa ₂ S ₄ nanosheets as supercapacitor electrodes	10.1016/j.cej.2021.130497
9	이해석	1. Bhavana Joshi 2. Ali Aldalbahi, Mohamed El-Newehy	1. 인도 / CSIR-National Chemical Laboratory 2. 사우디아라비아 / King Saud University College of Science	Cotton fabric decorated with manganese oxide nanorods as a supercapacitive flexible electrode for wearable electronics	10.1016/j.apsusc.2021.150968
10	강윤목, 이해석	1. Seungju Seo 2. Qiang Zhang	1. 일본/ The University of Tokyo 2. 핀란드/ Aalto University School of Science	Utilization of Multifunctional Environment-Friendly OrganicDopants Inspired from Nature for Carbon Nanotube-BasedPlanar Heterojunction Silicon Solar Cells	10.1002/aesr.202100155
11	하윤희	Surya Sapkota Kumar	네팔/Alternative Energy Promotion Centre, Ministry of Energy, Water Resources and Irrigation	Investigating decentralized renewable energy systems under different governance approaches in Nepal and Indonesia: How does governance fail?	10.1016/j.erss.2021.102214

다. 외국 대학 및 연구기관과의 연구자 교류 실적 및 계획

〈표 3-7〉 최근 1년간 해외 대학 및 연구기관과의 연구자 교류 실적

연 번	국가	기관	활동	기간	향후 추진계획
1	독일	Hanwha Q CELLS GmbH	고효율 태양전지 양산화를 위한 효율 24.5%급 전하선택형 실리콘 태양전지 및 모듈화 기술 개발	2021.9.1.-2021.10.31	2021. 10. 이후로 사업 종료
2	캐나다	University of Toronto	캐나다 University of Toronto 대학의 Geoffrey Ozin 교수는 무기화학 기반 촉매기술 분야의 전문가로 광촉매 및 태양을 이용한 CO₂ 저장 및 전환기술 및 water splitting에 대한 높은 기술과 지식을 가지고 있음. 본 교육연구단 전용석 교수는 에너지환경대학원 김태민 박사과정의 해당 연구실 방문 연구를 추진하여 금속 산화물의 광·전기화학적 특성을 기반으로 photocatalysis를 개발하고 온실가스 저감을 위한 이산화탄소 메탄올화 기술의 공동개발을 직접 경험할 수 있도록 하였음.	2022.5.1.-2022.8.31	해당 연구 교류를 통해 넓은 표면적이 특징인 Cu₂O 나노와이어(Cu₂O NW)를 이용한 CZA@Cu₂O 광촉매를 연구하고 있음. 보편적인 촉매 물질(CZA)보다 7배 빠른 메탄올 생성속도와 높은 선택도를 달성하는 것을 목표로 함. 본 연구를 바탕으로 논문 초안을 작성하고 있으며, 추후 국제 SCI 학술저널에 발표하고자 함.