

『4단계 BK21사업』 미래인재 양성사업(과학기술 분야)

교육연구단 자체평가보고서

접수번호											
사업 분야	기초과학	신청분야	지구과학	단위	전국	구분	교육연구단				
학술연구분야 분류코드	구분	관련분야		관련분야		관련분야					
		중분류	소분류	중분류	소분류	중분류	소분류				
	분류명	지구과학	기타 지구과학	지질학	환경지질학	대기과학	대기환경				
	비중(%)	70		20		10					
교육연구 단명	국문) 고려대학교 지구환경과학사업단 영문) Division of Earth and Environmental Sciences										
교육연구 단장	소 속	고려대학교 이과대학 지구환경과학과									
	직 위	교수									
	성명	국문	이 미 혜		전화	02-3290-3178					
		영문	Lee, Meehye		팩스	02-3290-3189					
		이동전화									
E-mail	meehye@korea.ac.kr										
연차별 총 사업비 (백만원)	구분	1차년도 (2019-212)	2차년도 (213-222)	3차년도 (223-232)							
	국고지원금	154.1	308.3	313.4							
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 9월 30일											
작성자	교육연구단장				이 미 혜						

〈자체평가 보고서 요약문〉

중심어	지구환경과학	고체지구	천부지권환경
	대기환경	지질재해	자연재해
	문제해결	글로벌 인재양성	지속가능
교육연구단의 비전과 목표 달성정도	● 본 교육연구단은 “지속가능 미래를 선도하는 글로벌 지구환경 인재 양성”을 4단계 BK21사업의 새로운 비전으로 설정하고 비전 달성을 위한 교육목표(교육과 연구의 선순환 패러다임 혁신), 연구 목표(창의적 문제 해결형 연구 경쟁력 강화), 국제화 목표(지속 가능한 국제화 네트워크 확대)로 구분하여 총 10개의 세부목표를 수립하였음. ● 현재까지 신청 당시 목표달성 계획 및 추진방안에 부합하여 진행되고 있어 설정된 비전 달성에 무리가 없을 것으로 판단됨.		
교육역량 영역 성과	● 연구역량의 교육적 활용: 본 교육연구단에서 수행하고 있는 4개의 대형연구과제를 통해 연구역량을 대학원 교육에 적극적으로 활용함. ● 비교과 교육: 지구환경 관련 다양한 사회·산업문제 해결을 위한 기초교육 및 보수교육에 적극적으로 참여 또는 개발하였음. 대학원생 교육역량 강화를 위한 중·단기 맞춤형 비교과 프로그램 13건과 초등학생에서부터 전문인력 등 수강생들을 대상으로 비교과 프로그램 29건을 실시함. ● 첨단 시설을 활용한 하이브리드 수업: 메디힐 지구환경관 첨단강의실 활용 언택트 시대 프로블럼 기반학습(PBL, Problem Based Learning) 진행. ● 강의개설: 21년 2학기 11개, 2022년 1학기 10개 대학원 과목을 개설하였으며, 영강비율 61.9%, 온라인강의 비율 9.5%에 이르고 있음. ● 우수 학생 유치: 2022년 1학기 석사과정 23명, 박사과정 11명, 석박사통합과정 5명(정부초청 박사과정 외국인 학생 포함 외국인 4명)을 포함하여 총 39명의 대학원생이 재학중이며 전임교수 1인당 연평균 약 3.9명의 신규 대학원생 확보. ● 취업률: 최근 2년간 석사학위자 17명과 박사학위자 2명 등 총 19명이 배출되었으며, 석사학위자 17명 중 4명(23.5%)은 본 교육연구단 대학원 박사과정에 진학하였고 8명이 취업하였음(취업률 61.5%). 2021년 2월에 졸업한 박사학위자 1명은 본인의 전공 분야와 연관된 해외 전문기관에 취업함. ● 참여대학원생 연구성과: 총 21편의 SCIE 논문이 출판되었으며, 이 중 분야별 최상위 25%(Q1) 학술지에 13편이 발표되어 양적으로나 질적으로 우수. 또한, 논문의 절반이상(61.9%) 주저자로 논문을 발표하였고, 주저자 논문의 61.5%가 최상위의 25%(Q1) 학술지에 출판됨. 아울러 특허등록 1건과 출원 5건의 성과를 도출함. ● 신진연구인력 연구성과: 학기 평균 1-2인 지원하였고, SCIE급 논문 총 10편을 게재함.		
연구역량 영역 성과	● 연구비: 정부 과제 32억 7684만 원과 산업체 과제 7억 1126만 원 등 총 39억 8811만 원의 연구비 수주(참여교수 1인당 연평균 3억 9881만 원). ● 연구논문: 총 91편의 SCIE급 논문을 발표하였으며(참여교수 1인당 9.1편), 이중 48편을 JCR 분야별 상위 25%급의 Q1급(52.7%)에, 28편을 상위 10%급의 최우수		

	국제학술지에 게재하였음(30.8%). ● 특허: 특허등록 3건과 특허출원 11건의 성과를 도출함. 기초학문의 특성상 지적재산권 등록이 활발히 이루어지고 있지 않으나 관련 산업발전에 핵심이 될 수 있는 원천기술개발에 노력한 우수한 결과임. ● 산업·사회 문제 해결 기여 실적: 지구환경과학 관련 산업·사회문제 해결을 위해 산학연으로 이루어진 연구과제 수주와 우수한 연구결과를 도출하였으며 지진, 지중환경오염조사, 미세먼지 등 시급한 문제해결에 이바지하고 있음.
달성 성과 요약	● 4단계 BK사업 고려대학교 지구환경과학 교육연구단이 시작된 지 2년 정도로 짧은 기간임에도 불구하고, 참여교수, 참여대학원생, 신진연구인력의 정량성과 뿐만 아니라 질적으로도 지난 3단계 BK사업의 연평균실적을 크게 뛰어넘는 결과를 보여줌. ● 이는 2년 이내에 단기적으로 달성한 성과라기보다는 본 교육연구단이 3단계 BK사업에 이어 연속적으로 4단계 사업의 지원을 받게 되어 도출된 성과로 정부의 지속적인 교육분야, 연구투자의 중요성을 반영하는 결과라 평가됨. ● 대형국가과제 수주를 통해 연구역량을 대학원 교육에 적극적으로 활용하였고, 첨단 시설을 활용한 수업을 질을 극대화시켰으며, 온라인 강의의 양적, 질적 수준을 향상시켰다고 평가됨. ● 참여대학원생의 SCIE급 논문게재 연구성과가 괄목할 만한 수준으로 향상하였으며, 참여교수의 SCIE급 논문게재 역시 지난 5년간(2015~2019) 연평균 35.4편에서 4단계 BK21사업 이후(2020.09~) 연평균 45.1편으로 크게 증가함과 동시에 52.7%가 Q1급 국제학술지에 게재되어 질적으로도 매우 우수한 결과로 판단됨.
미흡한 부분 / 문제점 제시	● 참여교수 및 참여대학원생 국제화 실적: 코로나19가 장기화되는 가운데 참여대학원생과 참여교수의 국제화 목표달성이 상대적으로 저조했음. ● 학술대회 최소 및 온라인 전환: 연구결과 공유, 동료간 전문적 협력관계 개발, 박사학위 취득자의 전문성을 심화시킬 수 있는 기회가 매우 제한됨. ● 대학원생 연구 수행 지연: 코비드19 팬데믹 방역지침 준수와 확진으로 인한 연구인력 결손 및 실험장비와 재료공급 지연으로 인한 일정의 차질.
차년도 추진계획	● 교육역량 강화: 첨단 시설을 활용한 대학원 강의를 확대하고, 대학원생을 위한 비교과 프로그램을 지난 1년간 7건에서 차년도 10건 이상 개설하여 연구력 향상과 다양한 문제해결 능력을 갖춘 글로벌 인재로서 성장시키고자 함. ● 연구역량 강화: 메디힐-에이스 첨단기기실(가칭)이 2022년 말 개소를 목표로 준비 중이며, 약 40억 원의 재원으로 마련된 첨단 기기 활용을 통해 교육연구단의 연구 경쟁력을 비약적으로 향상하고자 함. ● 국제화 역량 강화: 포스트 코로나 시대를 대비하여 대면 연구가 불가피한 경우 온라인 국제공동연구회의, 국제학회 개최 및 참석 등 적극적인 언택트 교류 활성화를 통해 침체되어있는 참여교수 및 참여대학원생 국제공동연구 실적 향상을 도모하고자 함.

1. 교육연구단장의 교육·연구·행정 역량

성명	한글	이미혜	영문	Lee, Meehye
소속기관	고려대학교 이과대학 지구환경과학과			

● 변경사항

- 본 교육연구단의 전임 단장 조석주 교수가 2021년 2월 1일 고려대학교 산학협력단 단장으로 부임하여 2021년 3월 1일부터 이미혜 교수로 단장을 교체함.

● 교육역량

- 본 교육연구사업단은 지질과학을 모체로 시작되었으나 빠르게 변화하는 시대적 요구에 부응하여 수권과 기권 환경을 포함하는 지구환경의 통합 교육을 지향해 옴. 이에 따라, 본 사업단장은 해양(화)학 학석사과 대기화학 박사 그리고 한국해양과학원과 국립기상과학원에서 연구 경력과 함께 본 학과에 부임함.
- 이후 대기화학 분야 전문가로 20여 년간 도시 규모의 대기오염에서부터 동북아시아의 기후환경 변화에 이르는 지구환경의 기권 교육을 담당하며 대학교수(중국 Shanghai Institute of Technology 포함), 국가 및 정부 연구기관, 장학사 교사 등 교육기관, 서울과 지방 지자체, 공단, 기업 및 벤처 등에서 핵심 업무를 담당하는 전문가를 양성함(약 50여 명).
- 교내 환경에너지 대학의 첨단 환경 분야 전공과 미세먼지특성화대학원 교육에 기여함.

● 연구역량

- **BK21 사업:** 본 교육연구단은 1단계 사업부터 현 4단계에 이르는 전 BK21사업에 참여하여 연구와 교육을 수행하였으며 단장은 이 과정에 모두 참여하여 BK21사업의 지원 하에 연구와 교육에 기여함.
- **연구실적:** 4단계 BK21사업 이후(2020.09~) 국제저명학술지에 20편 국내등재학술지에 5편 게재. 서울 메가시티에서 제주 배경 대기 그리고 중국 북경과 남극기지에 이르는 다양한 대기환경을 첨단 분석과 기법(동위원소 등) 그리고 컴퓨팅과 모델링을 활용하여 분석하고 해석하여 오존과 미세먼지 생성 특성과 과정 이해에 기여함.
- **국제과학자문회:** 지구환경 연구를 위한 대표적 국제연구협의체 전문 분야의 과학자문위원으로 활동. Future Earth의 iLEAPS(integrated Land Ecosystem - Atmosphere Processes Study) 프로그램의 SSC(Science Steering Committee)와 WMO(World Meteorological Organization)의 GAW(Global Atmospheric Watch) 프로그램 Reactive Gases 분과의 SAG(Science Advisory Group).
- **국내외 전문학술단체:** 대기환경학회, 기상학회, 해양학회, 미국지구환경학회, 유럽지구환경학회 등의 회원과 임원으로 활동함.

● 행정역량

- **연구행정:** 국무조정실 산하 미세먼지특별대책위원회, 환경부의 중앙환경정책자문위원회와 중앙환경조정위원회 (기상청, 산림청, 행정안전부, 서울시 등) 위원으로 대기 중 오존과 미세먼지 생성과 변환 과정에 대한 전문가로 대기오염과 기후변화 관련 국가와 지자체의 연구행정을 지원함.
- **교육행정:** 교육대학원 지구과학교육과, 환경에너지대학원, 지구환경과학과 대학원 전공 주임 역임.
- **기관행정:** 기상기술진흥원과 해양수산진흥개발원의 사외이사로 봉사함.

2. 대학원 학과(부) 소속 전체 교수 및 참여연구진

<표 1-1> 교육연구단 대학원 학과(부) 전임 교수 현황

(단위: 명, %)

대학원 학과(부)	학기	전체교수 수	참여교수 수	참여비율(%)	비고
지구환경과학과	21년 2학기	10명	10명	100	
	22년 1학기	10명	10명	100	

<표 1-2> 최근 1년간(2021.9.1.~2022.8.31.) 교육연구단 대학원 학과(부) 소속 전임 교수 변동 내역

연번	성명	변동 학기	전출/전입	변동 사유	비고

<표 1-3> 교육연구단 대학원 학과(부) 대학원생 현황

(단위: 명, %)

대학원 학과(부)	참여 인력 구성	대학원생 수											
		석사			박사			석·박사 통합			계		
		전체	참여	참여 비율 (%)	전체	참여	참여 비율 (%)	전체	참여	참여 비율 (%)	전체	참여	참여 비율 (%)
지구환경 과학과	2021년 2학기	28	25	89	22	10	45	6	4	67	56	39	70
	2022년 1학기	31	23	74	22	11	50	7	5	71	60	39	65
참여교수 대 참여학생 비율					21년 2학기 1:3.9 / 22년 1학기 1:3.9								

● 최근 1년간(2021.9.1.~2022.8.31.) 교육연구단 참여인력 구성 현황

연 번	성명 (한글/영문)	직급	연구자 등록번호	세부전공분야	신임교수	외국인	사업 참여
1	권만재 Kwon, Man Jae	부교수		지생물환경학	X	X	O
2	김성룡 Kim, Seongryong	조교수		지구물리학	X	X	O
3	김형수 Kim, Hyeongsoo	정교수		암석학	X	X	O
4	윤성택 Yun, Seongtaek	정교수		환경지구화학	X	X	O
5	이미혜 Lee, Meehye	정교수		대기환경	X	X	O
6	이순재 Lee, Soonjae	부교수		환경지질학	X	X	O
7	이영재 Lee, Youngjae	정교수		광물학	X	X	O
8	이진한 Ree, Jin Han	정교수		구조지질학	X	X	O
9	조석주 Choh, Suk Joo	정교수		퇴적학	X	X	O
10	조호영 Jo, Hoyoung	정교수		지질공학	X	X	O
참여율						(100) %	

- 본 교육연구단은 2020년 9월 1일부로 지구물리학(geophysics) 분야 특별채용으로 김성룡 교수를 신규 임용하였음. 김성룡 교수는 **국내 최정상급의 젊고 우수한 학문 후속세대 전임교원으로 경쟁대학보다 상대적으로 취약한 연구 분야를 보완**하는 한편 학부 및 대학원 교육과 연구에 새로운 전기를 마련하는 계기가 되고 있음.
- 지구물리학은 전통적으로 지구 내부의 역학적 움직임과 성질, 상태, 구조 등을 파악하는 매우 넓은 연구 범위의 학문임. 또한, 연구 분야에서 사용되는 다양한 물리적 요소, 지진파, 중력, 자력, 전자기 등을 이용하여 지구 내부 탐사, 지하 물질 분포의 규명, 지진 관련 방재 등의 다양한 연구가 가능함.
- 2004년 수마트라 대지진과 2011년 동일본대지진 등으로 엄청난 인명피해와 재산피해가 있었고 국내에서는 2016년 경주지진과 2017년 포항지진으로 인해 지구물리 분야(지진과 지하탐사)에 대규모 국가연구비가 투입되고 있음. 따라서 **단층 연구 분야에 국제적 경쟁력을 가진 본 학과에 지구물리 분야의 연구진이 추가되어 향후 대형국책과제 수주 가능성을 제고함.**
- 범국가적으로 지진과 단층 분야 학문 후속세대 양성을 강하게 드라이브하고 있으며, 이에 본 교육연구단도 2019년 9월부터 2021년 8월까지 2년간 행정안전부의 지진 전문인력 양성사업(사업비 연간 2억 원)을 수주하여 국가 차원의 전문인력 양성사업에 참여하고 있음.

3. 교육연구단의 비전 및 목표 달성정도

3.1 교육연구단의 비전

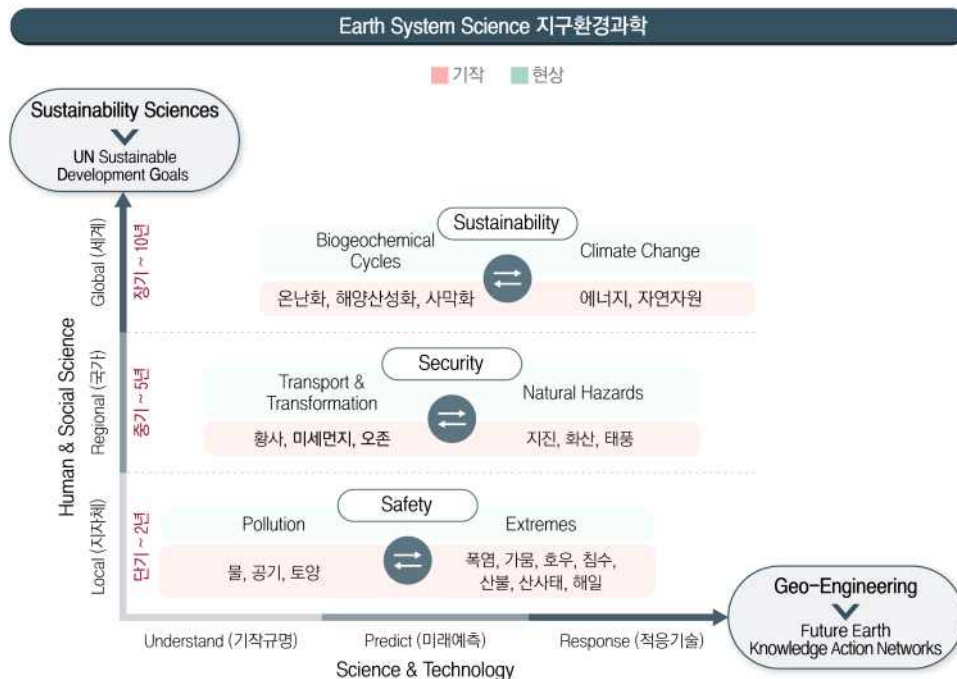


그림 1-1 규모별 지구환경 이슈와 교육연구단의 문제 해결에 기여 및 역할

- 21세기 인류세(Anthropocene)에는 지구 자체의 가치가 크게 부각 되었고 지구환경 보전을 위한 과학적 이해와 기술개발 능력이 요구되고 있음. 따라서 지구환경을 통합적으로 이해하고 그 변화를 분석하고 예측하는 능력이 국가경쟁력 제고의 핵심으로 간주되고 있음.
- 지권(Geosphere)을 모체로 발전한 본 교육연구단은 1단계 BK21 사업부터 3단계 BK21플러스 사업까지 지속 참여하여 이러한 국제적, 사회적 수요를 적극적으로 반영하여 함께 잘사는 사회와 혁신 성장의 핵심기반이 될 지구환경과학 분야 최고급 창의적 전문 인재양성을 교육 비전으로 설정하고 교

육과 연구를 수행하여 왔음.

- 4단계 BK21 미래인재 양성사업에서는 2030 지속가능발전 및 2050 탄소중립 목표를 향한 국가경쟁력 제고에 이바지할 자원(에너지)개발, 지각진화(재해), 지권환경(토양/지하수), 대기(기후)환경 분야에서 국제경쟁력을 갖춘 창의적 글로벌 리더(Global leader) 양성을 목표로 하였음.
- 지구환경과 자원 및 에너지 분야가 미국 과학기술정책의 21세기 4대 국가중점 과학기술 분야에 지정되어 있음에도 과거 미국 트럼프 행정부가 2017년~2021년 4년간 연속 순수과학 예산을 대폭 삭감하여 유일하게 예산이 증액된 인공지능(AI, artificial intelligence)과 양자정보과학(QIS, quantum information science)을 제외한 지구환경과학과 순수과학 대부분 분야가 큰 어려움을 겪고 있음.
- 청정에너지 및 자원 확보를 위해서는 고준위 핵폐기물 처리 및 안전한 환경을 위한 다상(solid-liquid-gas) 다매체(토양-지하수-미생물-대기) 오염관리 기술개발이 필요하며, 가속화되는 기후변화에 대응 및 적응하기 위해서는 기후변화유발물질의 생지화학순환 규명 및 저감 기술개발과 지표면과 내부에서 발생하는 재해 예측과 피해 예방이 필요함. 이를 위한 핵심 기반 지식과 다양하고 복잡한 문제 해결 능력을 교육과 연구를 통해 배양하도록 함.
- 따라서 본 교육연구단은 “**지속가능 미래를 선도하는 글로벌 지구환경 인재 양성**”을 4단계 BK사업 교육연구단 비전으로 설정하고 비전 달성을 위해 교육, 연구, 국제화 목표로 구분하여 총 10개의 세부목표를 수립하였음.

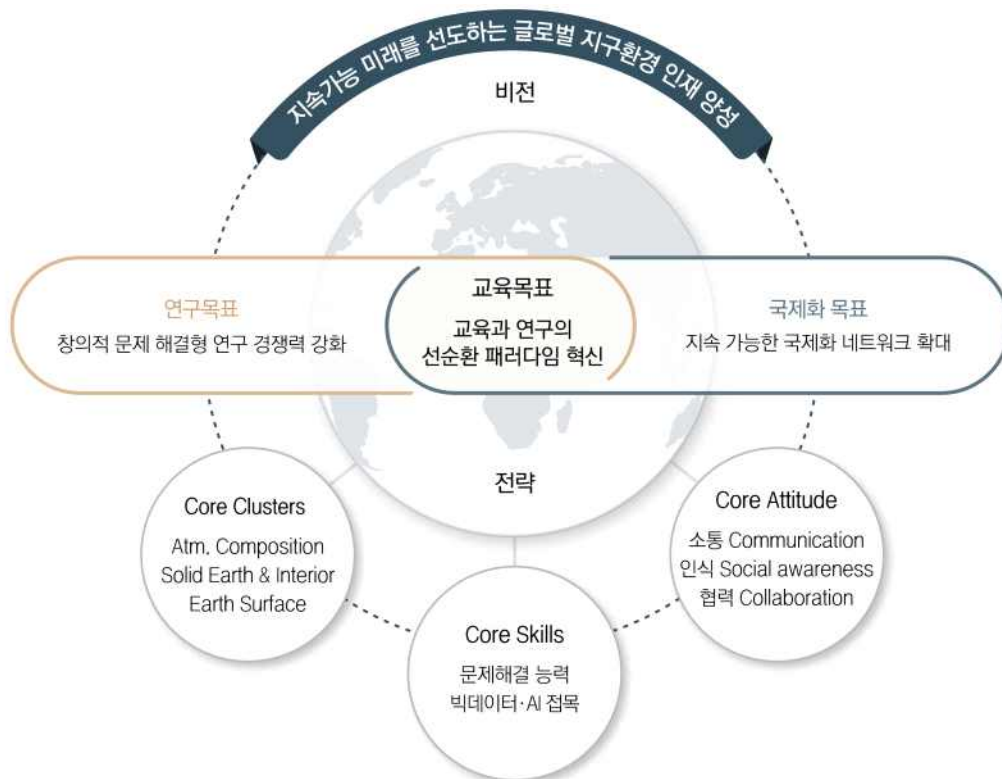


그림 1-2 고려대학교 지구환경과학 교육연구단의 비전, 목표 및 전략

3.2 교육연구단의 세부목표



그림 1-3 교육연구단의 교육, 연구, 국제화 세부목표

3.3 교육연구단의 목표와 달성 방안

3.3.1 교육목표: 교육과 연구의 선순환 패러다임 혁신

- 세부목표

- 대학원생 중심의 교육과 학사체계 강화
- 사회문제 해결과 관련 산업 선도형 교과 커리큘럼 강화 및 빅데이터와 인공지능 기반 첨단 디지털 방법론 접목
- 비교과 커리큘럼 확대로 연구자 권익 신장과 연구윤리 교육
- 신진연구자 교육역량 강화

3.3.1.1 교육목표 달성 방안

- 연구로 축적된 지식의 자원화로 새로운 가치를 창출하고, 이를 다시 연구확산의 밑거름으로 삼는 연구중심대학 생태계 선순환 구조의 성공적인 정착과 활성화를 위하여 교육과 연구의 유기적인 연계를 이루어야 함.



그림 1-4 교육연구단의 교육과 연구의 선순환 구조

- 대학원생 중심의 교육과 학사체계 강화 및 개선

- 우수 대학원생의 교육연구단 입학에서 졸업까지 전 과정을 선진국 연구중심대학 수준의 학사관리 시스템으로 관리하여 입학(지도교수와 논문지도위원회 구성) - 재학(강의수강과 연구 시작) - 수료(연구결과도출과 성과발표) - 졸업(졸업시험, 외국어시험, 논문제출) 등 4단계로 운영 중.
- 최우수 대학원 신입생에게 Admission Offer Package 제시: 대학원과 교육연구단이 대학원 과정 동안 지원할 금전적(성적 장학금, 교육 조교, 연구조교 급여 등) 및 비금전적 혜택을 대학원 입학 시 제시하여 우수 대학원생 확보를 도모하고 있음.
- 고려대학교 대학원 차원의 학사관리 시스템 개선: 우수학생의 조기 확보(입학), 학위과정 변경 유연화(재학), 수료연구생 지원 확대(수료), 학위논문 연구지원 및 졸업 연한 합리화(졸업) 등으로 선진 연구중심대학으로 도약을 도모함.
- 고려대학교 대학원 차원에서 교육연구단 소속 대학원생의 교육 / 연구 조교 복무 협약을 체결하여 업무 범위, 근무 관리와 대학원생 인권 보장 등을 계약 명시하여 대학원생 신분 안정화가 개선되고 있음.
- 또한, 고려대학교 대학원은 세계적 연구중심대학에서 운영 중인 TA·RA 제도를 벤치마킹하여 대학원생이 강의 및 연구 활동에 적극적으로 참여하는 개념의 Graduate Teaching Affiliate (GTA), Instructor-G 제도 등을 도입하고 있음.

- 교과 커리큘럼 강화

- 교육과정을 ‘교과 커리큘럼’과 ‘비교과 커리큘럼’ 체계로 운영하고 교과 커리큘럼 혁신으로 사회문제 해결을 위한 교육과 연구 프로그램을 확충하고, 데이터과학과 인공지능 교과목 연계로 지구 환경과학 디지털 빅데이터 시대 선도를 도모하고 있음.
- 연구성과의 교육과정 자원화로 교육연구단 참여교수의 성공적인 최근 연구주제를 대학원 교육과정으로 흡수하고 다시 신규 교육을 받은 대학원생들이 창의적인 연구에 투입되어 성과를 거두는 연구중심생태계 선순환 구조를 정착시키고 있음.
- 세계학문 동향 분석결과와 교육연구단 소속 대학원생 설문 조사 결과 등을 토대로 교과 커리큘럼의 지속적인 개편 체계를 운영하고, 학생 중심의 강의 평가와 환류 체계를 운영하여 대학원 강의와 교육의 질적 우수성을 담보함.
- 강의 평가 및 평가결과 공개 의무화로 구축된 환류 체계를 적극적으로 활용하여 평가결과에 따른 우수 교원 포상(석탑강의상, 우수강의상 등) 및 평가 하위 5% 교원 단과대학장 면담 제도 등으로 항구적인 대학원 강의 질적 우수성 제고를 강화함.

- 비교과 커리큘럼 강화

- 석·박사과정별 글로벌 교육역량을 강화하고 학생 중심의 교육지원 확대를 위하여 대학원생의 학업주기를 고려한 맞춤형 비교과 프로그램을 확대 운영하여 교육연구단 참여대학원생들이 장차 우수 연구자로서 발전할 수 있는 환경을 조성하고 있음.
- 기본 정보검색과 논문 작성법은 고려대학교 도서관이 주관하는 “도서관 이용자 교육”에서, 연구 학술 문서 영작문 및 교정, 영문이력서 작성 상담 서비스는 국제어학원에서 운영하는 “IWS (International Writing Service)”에서 제공받고 있음.

- 예비 교수자에게 장래의 강의에 대비하여 교수-학습 모형 및 교수법을 교육하는 EMI(English Mediated Instruction)을 교수학습개발원에서 제공하고 있으며, 향후 박사 졸업논문 제출 이전 “박사 과정 대상 교수법 비교과 프로그램” 필수 이수를 추진할 예정임.

- 신진연구자 교육역량 강화

- 신진연구인력의 교육지원을 강화하여 박사후연구원 맞춤형 경력개발과 교육연구단 참여교수들의 정기 멘토링 등의 프로그램을 운영할 계획임.
- 학문 후속세대의 교수 역량 향상 지원을 위하여 비전임 박사학위자가 전문적인 교수법을 익히고 올바른 교수자로 성장할 수 있도록 지원하는 비교과 프로그램을 개설하여 제공할 예정임.
- 강의 평가 환류 체계를 강화하여 강의 평가결과가 우수한 비전임 박사학위자에 대해 인센티브를 제공하고 지속적인 강의 기회를 제공하는 기반을 마련할 예정임.
- 고려대학교는 지난 3년간 학문 후속세대를 비전임 교원으로 채용하여 강의할 기회를 확대하였으며, 앞으로 박사학위 취득 후 5년 이내의 학문 후속세대(박사 수료생 포함)의 강의 비중을 점차 확대할 예정임.
- 고려대학교 본부 차원의 「강사 인사규정」 제·개정, 우대선발 강좌 비중확대, 이공계 실습 조교 Teaching Fellow의 강사 전환 등을 통해 학문 후속세대에 대한 강의 기회를 확대 하고 있음.

3.3.2 연구목표: 창의적 문제 해결형 연구 경쟁력 강화

- 세부목표

- 세계 선도 연구 분야 육성
- 사회문제 해결 및 관련 산업 선도형 연구 확대
- 도전적 연구성과 지표 향상

3.3.2.1 연구목표 달성 방안

- 세계 선도 연구 분야 육성

- 혁신된 교육으로 축적된 역량을 다시 성공적으로 연구에 접목하는 교육과 연구의 유기적 연계로 지속 가능 미래를 선도하는 글로벌 지구환경 인재를 양성하고, 새로운 학문 후속세대가 다시 당면한 사회문제를 창의적으로 돌파하는 선순환을 다음과 같이 추진하고 있음.
- 고도 산업화 사회에 필요한 인재와 사회문제 해결을 위한 지구환경과학 분야 글로벌 리더를 양성하기 위하여 본 교육연구단은 교과과정과 연구체계를 1) 고체지구와 지구 내부, 2) 천부지권환경(토양/지하수환경), 3) 대기환경 연구클러스터로 세분하였음.
- 고체지구와 지구 내부 연구클러스터는 고도 산업사회에 필요한 광물자원과 에너지 자원의 안정적인 수급과 해외자원의 자주 개발에 필수적인 고급 탐사 인력양성, 최근 우리나라에 빈번한 지진의 기작 이해와 방재에 초점을 맞춤.
- 천부지권환경(토양/지하수환경) 연구클러스터는 지구환경 구성 권역들의 상호 작용에 의한 오염물질의 분산과 이동과정을 규명하여 오염물질의 확산 방지, 제거 및 복원을 위한 환경기술을 개발하고, 지구온난화 방지를 위한 이산화탄소 지중저장 기술을 개발함.

- 또한, 최근 쾌적하고 안전한 삶을 영위하고자 하는 국민적 기본권을 심각하게 위협하는 미세먼지 문제로 국가적 관심이 큰 대기환경 연구클러스터를 미세먼지 저감 분야로 특화하여 지질과학 및 지질환경과 연계하여 특성화된 연구결과를 도출하고 있음.
- 각 세부 연구클러스터 사이의 공동연구 활성화와 공동지도교수제 활용 등의 유기적 협력을 극대화하여 교육연구단의 연구 목표를 효율적으로 달성하도록 하며, 산학연 협력과 국제협력을 강화하여 사회문제 해결과 기업이 필요로 하는 연구 과제에 도전하고 있음.

- 사회문제와 과학 난제 해결 및 관련 산업 선도형 연구 확대

- 본 교육연구단의 연구 수월성을 기반으로 물통합관리(지하수 관리), 오염부지조사 진단평가예측, 고준위 핵폐기물저장, 지구온난화 방지를 위한 이산화탄소 지중저장, 미세먼지 저감 등 우리 사회가 직면한 난제 해결에 이바지하고 있음.
- 해외 광물과 에너지자원의 안정적인 수급을 위한 기초 지질조사와 탐사이론의 도출, 최근 수년간 국내에 빈도가 증가하고 있는 지진의 발생 이유 분석과 지진재해의 저감 등 우리나라 기업이 당면한 문제와 과학적 난제 해결을 위한 연구를 성공적으로 추진하고 있음.

- 도전적 연구성과 지표 향상

- 4단계 BK 수행 5년간 JCR 분야별 상위 10% 국제학술지 논문 200% 증가(사업단 발표논문의 60% 이상), Scopus 기준 사업단 피인용 횟수 300% 증가(누적 18,000회 이상), NSC급 논문(Nature 자매지 포함) 300% 증가를 목표로 함.
- HCR(High Cited Researcher) 연구자 육성을 위하여 연간 책임시수 유연화 제도를 통한 강의시수를 자율 운영하여 교육연구단 참여교수들의 강의 시간을 경감하여 연구에 몰입할 수 있도록 지원,
- 신진 교원이 교육과 연구에 몰입할 수 있도록 신임 교원 정착연구비를 지원하고, 신진 교원의 업무 경감을 위해 신진 교수 보직 지양 및 강의 경감, 재임용 평가 기간 자율 선택 제도, 책임시수 학기별 유연화, 최초 연구년 우선권 부여 등의 제도를 시행하고 있음.
- 연구성과 창출의 기반이 되는 박사과정 대학원생의 비율을 제고하여 박사과정 중심의 교육연구단 운영을 지향하며, 연구 생애주기 전 과정의 유기적 관리로 석사과정 → 박사과정 → 신진연구인력 → 교원이나 전문연구자로 성장하는 Career Path를 지원하고 있음.
- 교육연구단 소속 대학원생들의 영어 논문게재 및 발표를 위하여 해당 전공 분야 원어민의 논문 원고 교정지원, 해외 우수 학술지 게재료 지원, 세계적 수준의 우수 학술대회 참석 비용을 지원하는 프로그램을 운영하고 있음.

3.3.3 국제화 목표: 지속 가능한 국제화 네트워크 확대

- 세부목표

- 글로벌 리더 양성을 위한 국제 교육 연구 교류프로그램 확대
- 글로벌 연구 네트워크 확대로 국제 공동연구 협력 강화
- 해외우수인재 유치 확대와 외국인 학생 맞춤형 교육 강화

3.3.3.1 국제화 목표 달성 방안

- 국제 교육 연구 교류프로그램 확대

- 국제 학회 회장, 저명 학술지 편집장 등 국제적으로 권위와 저명도가 높은 학자를 대상으로 본 교육연구단 방문 교류로 관심 주제에 대한 단기강좌 또는 학술강연 등을 개최하여 최신 연구 동향 교육과 국제연구 협력의 저변을 넓히고 활성화할 계획임.
- 교육연구단 소속 대학원생 연구 결과를 해외 저명 학술대회에 참가하여 발표를 적극 권장하여 연구 분야의 해외 최신 동향을 파악하고 글로벌 네트워킹을 확장함과 동시에 선도적 연구 수행에 활용할 수 있도록 유도하고 있음.

- 글로벌 연구 네트워크 확대

- 기존 BK21사업을 통하여 국제 공동 협력을 수행해온 해외 우수 대학 및 연구소와 협력을 확대하고 차세대 협력 프로그램을 개발하여 세계적 수준의 연구환경에 본 교육연구단 대학원생들이 공동연구로 참여하는 기회를 제공하고 있음.
- 상호교류 협정을 체결하고 차세대 국제공동연구를 수행하고 있는 해외 대학 및 연구소의 우수 연구실에 본 교육연구단 대학원생들을 학위 과정 중 중장기 파견하여 연구 수준의 국제화를 도모하며 또한 다수의 우수 연구 성과 도출을 목표로 함.

- 해외인재 유치 확대와 맞춤형 교육 강화

- 본 교육연구단은 해외 주요 대학들과의 협력, 학교 차원에서 100개국 1,086개 체결된(2020년 2월 기준) MOU 활용, 해외 유학박람회 등의 국제적 홍보, 교환프로그램 및 인턴십프로그램 등의 다양한 방법으로 해외 우수 대학원생을 유치하고 있음.
- 입학단계부터 공정하고 객관적인 기준과 엄격한 심사를 통해 우수 인재를 선발하고, 최근 대학본부 차원에서 확대된 외국인 장학금(글로벌 리더 장학금) 활용 등 우수 외국인 대학원생을 위한 입학부터 졸업까지의 전 주기별 관리체계를 구축하고 있음.
- 외국인 대학원생과 신진연구인력의 성공적 정착과 의사소통능력 향상 및 한국 사회와 문화 이해 등에 도움을 주고자 본교 한국어센터에서 연 4회(봄/여름/가을/겨울) 10주 정규과정과 연 2회 집중교육 과정을 운영하고 있으며, 일대일 멘토링 과정을 교육연구단 차원에서 지원할 계획임.

3.4. 고려대학교 대학원 혁신 방향과의 정합성

- 해외 우수 대학들은 끊임없는 혁신 노력으로 미래 환경변화에 적극적으로 대응하고 있으며, 혁신의 방향에서 나타나는 공통점은 대학원을 새로운 지식과 가치 창조의 장(場)으로서 새롭게 역할을 정립하고 있음.
- 글로벌 리더 대학들의 혁신 방향은 크게 ① 사회적 문제 해결을 위한 학제간 융복합 교육과 연구 확대, ② 사회적 공유를 기반한 지식 가치 극대화, ③ 글로벌 이슈에 대응하는 대학의 사회적 책무 확대, ④ 교육, 연구, 산학협력 분야 유연성과 효율성 확보를 위한 플랫폼 구축, ⑤ 연구자 수요중심의 실질적이고 전문적인 연구 활동 지원 등임.
- 고려대학교 대학원은 혁신의 비전으로 “창의적 미래인재를 양성하고 세계를 변화시키는 연구중심 대학”을 기치로 ① 글로벌 연구중심대학 수준의 교육과정 질 확보를 위한 대학원 교육 내실화, ②

대학원의 위상 제고, ③ 미래사회를 위한 수요 기반의 실질적인 융복합 연구와 연구 능력 향상을 위한 지원체계, ④ 대학원생 경력개발 및 복지증진을 위한 지원제도 등이 중점적으로 고려하여 23개 세부 전략과제를 추진하고 있음.

- 본 교육연구단의 목표는 고려대학교 대학원 혁신계획의 23대 전략과제 중 교육 5개 과제, 연구 5개 과제, 산학협력 1개 과제, 국제화 4개 과제, 인프라 1개 과제 등 아래 그림에 붉은색 상자로 표시한 총 16개 전략과제와 핵심가치를 공유하고 연계성을 확보하고 있음.

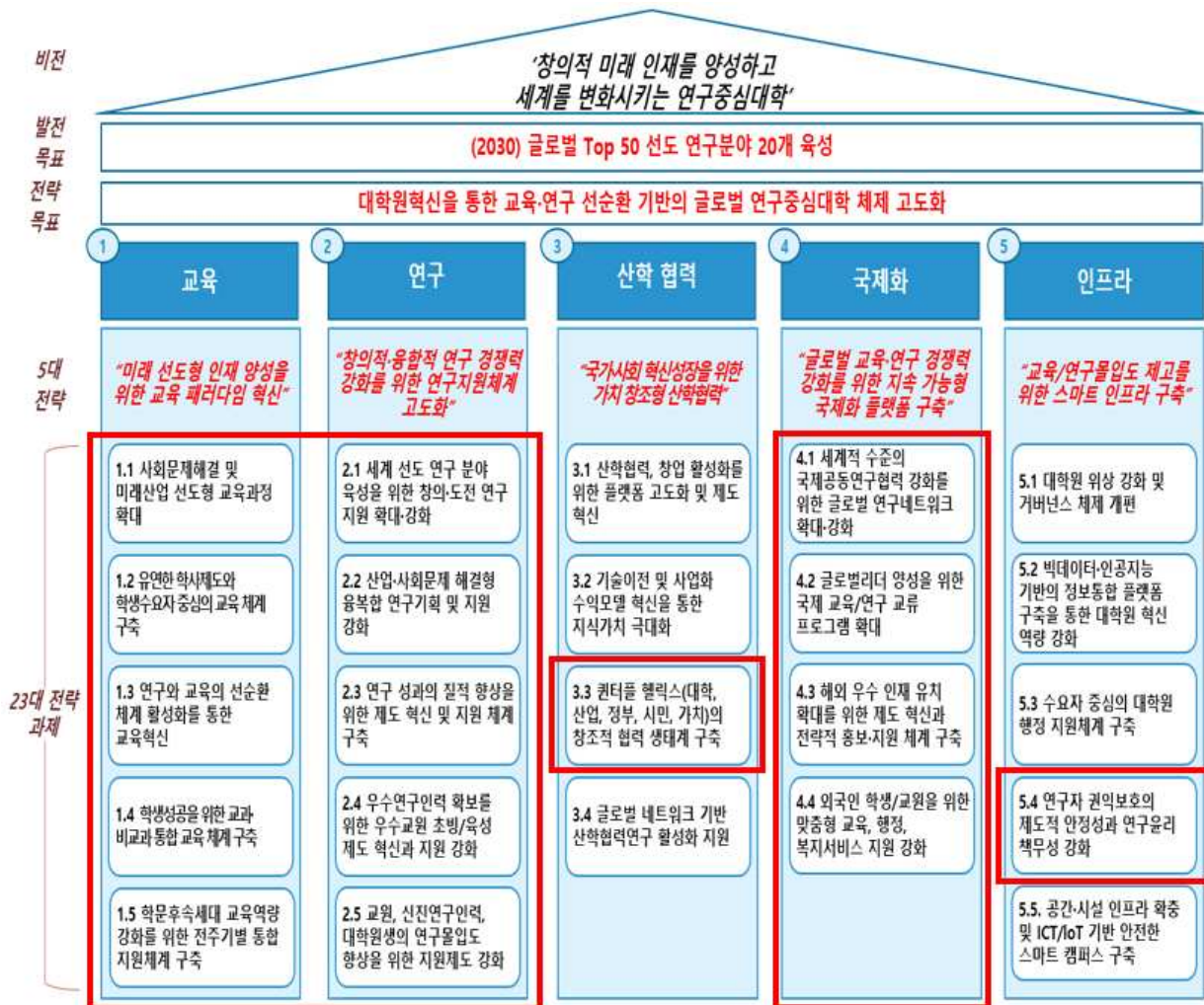


그림 1-5 교육연구단의 목표와 고려대학교 대학원 혁신계획 전략과제와의 부합성

3.5 벤치마킹 대학 현황

- 지질과학 분야로 특화되어 본 교육연구단의 교육과 연구 분야 특성화 방향과 합치하는 미국 프린스턴 대학(Princeton University)과 위스콘신 주립대학(The University of Wisconsin-Madison) 지질학과(Department of Geoscience) 대학원을 벤치마킹 대상으로 선정하고 분석하였음.
- 프린스턴대학 지질학과(Department of Geoscience)와 위스콘신 주립대학 지질학과는 2018년 US News & World Report지 평가에서 미국 내 지구과학(Earth Sciences) 전 분야 대학원 중 연구력, 교육과정, 평판도로 각각 상위 10위와 15위의 우수 교육 및 연구집단임.

(www.usnews.com/best-graduate-schools/top-science-schools/earth-sciences-rankings)

- 프린스턴대 지질과학과는 전임교원 18명(조교수 3명, 부교수 3명, 정교수 12명), 위스콘신 주립대 지질과학과는 전임교원 20명(조교수 6명, 부교수 1명, 정교수 13명)으로 전임교원 10명(조교수 1명, 부교수 2명, 정교수 7명)인 본 교육연구단의 약 두 배 크기임.

3.5.1 전임교원 연구 업적 비교

- 벤치마킹 대학과 본 교육연구단의 연구력을 비교 평가하기 위하여 벤치마킹 대상 학과의 홈페이지에 등록된 전임교원을 대상으로 지난 2015~2019년 5년 간 전임교원들의 SCIE 논문 출간 업적을 2020년 3월 기준 Scopus와 Web of Science 검색엔진으로 비교 분석하였음.
- 2015~2019년 프린스턴대 지질과학과 전임교원의 연간 평균 논문 실적은 SCIE 논문 5.61편/인, NSC급(Nature 자매지 포함) 논문 0.54편/인이며, 위스콘신 주립대 지질과학과 전임교원의 연간 평균 논문 실적은 SCIE 논문 3.68편/인, NSC급 논문 0.08편/인 임.
- 또한, 2015~2019년 프린스턴대 지질과학과 전임교원 평균 연간 인용 회수는 593회/인, 위스콘신 주립대 지질과학과 전임교원 평균 연간 인용 회수는 331회/인으로, 동 기간 본 교육연구단 전임교원의 평균 연간 인용 회수인 135회/인을 크게 상회함.
- 한편, 3단계 BK21플러스 신청 당시 조사된 2009~2011년 위스콘신 주립대 지질과학과 전임교원 1인당 평균 연간 논문 실적은 SCIE 논문 3.6편/인으로 2015~2019년 실적인 3.68편/인과 대동소이하여 실적의 양적 지표가 임계점에 도달했음을 나타냄.
- 반면 본 교육연구단 전임교원들은 2010~2012년 전임교원 1인당 연평균 SCIE 논문 2.2편/인으로부터 2015~2019년 연평균 SCIE 논문 4.07편/인, NSC급 논문 0.02편/인으로 괄목할 성장이 있었음.
- 본 교육연구단 전임교원의 1인당 연간 평균 SCIE 논문 수(4.07편/인)은 위스콘신 주립대 지질과학과 전임교원의 평균의 약 111% 수준이나 프린스턴대 지질과학과 전임교원과 비교하여 평균의 약 73% 수준으로 논문의 양적 지표는 국제적 수준에 도달하였음.
- 그러나 연구의 임팩트와 질적 수준을 반영하는 NSC급 논문 수와 인용 회수를 미국 내 지구과학 대학원 교육과 연구 15위 수준인 위스콘신 주립대학 지질과학과와 비교하면 본 교육연구단은 아직 벤치마킹 대학의 25%와 41% 수준에 불과함.

3.6 교육연구단 연구목표 설정 및 질적지표 달성 정도

- 현재 전 세계적으로 연구실적의 대표적인 질적 지표로 논문의 인용 횟수와 NSC급 논문게재 수가 매우 중요하게 인식되고 평가에 사용되고 있으므로 본 교육연구단은 **연구의 질적 지표 향상에 도전적인 목표를 설정함.**
- **JCR 분야별 상위 10% 국제학술지 논문 200% 증가:** 본 교육연구단이 2015~2019년에 발표한 논문의 31%가 JCR 분야별 상위 10%급의 최우수 국제학술지였으며, 이를 4단계 BK 5년간 **발표논문의 60% 이상을 최우수 국제학술지에 게재하여 200% 이상 향상**을 목표로 함.
⇒ 4단계 BK21사업 이후(2020.09~) 약 2년간 **총 91편의 SCIE급 논문을 발표**하였으며 이중 28편을 JCR 분야별 **상위 10%급의 최우수 국제학술지에 게재**하였음(30.8%). 본 교육연구단 출범 초기임을 감안할 때 매우 우수한 성과로 평가되며 아래 III. 연구역량강화 - 교육연구단 대표연구업적 질적 우수성 확보 방안을 통해 향후 4년간 신청 당시 목표를 달성할 계획임.
- **Scopus 기준 교육연구단 피인용 횟수 300% 증가:** 본 교육연구단 참여교수들의 2015~2019년 누적 피인용 횟수 6,066회(연평균 1,213회)를 향후 5년간 **300% 이상 향상**된 누적 **18,000회**를 목표로 하여 연

구의 가시적인 질적 성장과 글로벌 수준의 연구 임팩트를 목표로 함.

⇒ 4단계 BK21사업 이후(2020.09~) 게재 논문의 경우 출판된 지 약 2년 미만으로 평가자료로 제시하기는 어려우나 최우수 국제학술지를 포함한 Q1급 학술지 게재율의 증가를 통해 피인용 횟수의 지속적인 상승이 기대됨. Scopus 기준 본 교육연구단 참여교수들의 2020~2022년 8월까지 32개월간 누적 피인용 횟수는 총 6,934회(연평균 2,600회)로, 이는 3단계 BK21 사업수행 최종 5년(2015~2019년)간 달성한 총 6,066회(연평균 1,213회)의 2배 이상에 달하는 실적임. 4단계 BK사업에 참여하는 본 교육연구단 교수들의 피인용 횟수가 지속해서 증가하고 있음을 지시하는 고무적인 현상으로, 향후 4년간 누적 피인용 횟수 300% 이상 향상 목표를 달성할 수 있을 것으로 기대됨.

- **NSC급 논문 300% 증가:** 본 교육연구단이 지난 5년간 1편 발표한 NSC급 논문을 향후 5년간 Nature 자매지 포함하여 **300% 이상 향상된 3편 이상** 발표를 목표로 하여 해외 벤치마킹 대학과 비교하여 가장 열세인 NSC급 최우수 학술지 실적을 제고할 계획임.

⇒ 4단계 BK21사업 이후 NSC급 자매지 논문 1편을 게재하였으며 추가 1편이 제출되었고, 아래 III. 연구역량강화 - 교육연구단 대표연구업적 질적 우수성 확보 방안을 통해 향후 3년간 신청 당시 목표를 문제없이 달성할 것으로 기대됨.

II

교육역량 영역

1. 교육과정 구성 및 운영

1.1 교육과정 구성 및 운영 현황과 계획

1.1.1 교육연구단 현 교육과정과 학사관리의 장단점



그림 2-1 교육연구단 전공교과목 구성과 중점 연구 분야

- 본 교육연구단 소속학과인 고려대학교 지구환경과학과 대학원 교육과정은 1단계 BK21사업, 2단계 BK21사업, 3단계 BK21플러스 사업까지 수행하면서 학문 기초분야를 공고히 다지는 것과 동시에 시대적 변화를 적극 수용하는 선진화된 형태로 발전해 왔음.
- 균형 있는 전공교육: 대학원생의 교육과 학점 이수가 지나치게 특정 전공영역으로 치우치지 않고 폭넓고 다양한 관련 분야 지식을 통합 적용할 수 있도록 교육연구단 차원에서 대학원 전공 및 교과과정 개편과 종합시험 교과목을 꾸준히 보완하였음.
- 전공별 대학원 기초공동과목을 설정하여 학위 취득자격 구비를 위한 종합시험 과목으로 운영하며, 기타 전공기초 및 전공심화 과목은 전공별 중복 교과목을 최소화하여 사회문제와 전공 분야 산업문제 해결형 교육을 강화한 연구중심 대학원으로 육성하였음.
- 교과목별 차별화된 수업 운영: 기초공동, 전공기초 및 전공심화 과목은 강의, 발표, 실습 등으로 운영하며, 세미나 과목은 대학원생들의 연구 발표 및 토론, 영어 논문 작성지도, 국내외 학회발표 지도 형식으로 운영하고 있음.
- 교과목 개편 및 신규 교과목 개설: 당면한 사회문제와 산업적 요구를 수용하여 2006년 이후 광물과 에너지자원 탐사 개발, 지질환경 오염 관련 9개 교과목을 신규 개설하고, 기존 9개 교과목의 과목명과 교육내용을 업데이트하는 등 꾸준한 교과목 개편을 실시함.
- 사회문제 해결 위주의 맞춤형 교육 강화 및 산학연 연계 교육 활성화: 각 대학원 개설과목별 산학연세미나와 대학원세미나 과목의 콜로퀴움 강좌를 활성화하여 국내외 학계와 관련 산업계의 최신동향을 빠르게 전달하고 문제 해결형 교육을 강화하였음.

- 영어강의 비중확대와 안착: 2010~2012년 56%이었던 영어강의 비율을 2013~2019년 개설한 84개 과목 중 55개 과목으로 확대하여 대학원 강의의 65%를 영어로 진행하는 교육의 글로벌화로 교육연구단의 국제경쟁력 제고에 앞장서고 있음.
- 대학원 졸업 자격시험 강화: 석사과정 3과목, 박사과정 4과목, 석박사통합과정 5과목의 종합시험을 통과해야 졸업 자격을 부여하여 다양한 전공지식을 갖추도록 유도하고 있으며, 종합시험을 엄정하게 관리하여 2017~2019년 평균 합격률 64% 선을 유지하고 있음.
- 또한, 2019년에 종합시험 교과목을 석사과정 주전공 1과목과 타전공 2과목, 박사과정은 석사 및 박사과정 수강과목 중 주전공 2과목과 타전공 2과목, 석박사통합과정생은 대학원 수강과목 중 주전공 2과목과 타전공 3과목을 선택하도록 개편하였음.
- 대학원 졸업요건 강화: 석사과정은 주저자로 1건 이상의 학회 학술 발표 또는 주저자 또는 공동저자로 논문 1편 이상 게재를, 박사과정은 국내외 학술지에 연구논문 3편 이상(단, 이중 주저자로 SCI 학술지에 최소 2편 이상) 게재를 의무화하였음.

1.1.2 교육연구단의 비전과 목표에 적합한 세계적 수준의 대학원 교육과정

- 교육연구단의 비전인 ‘지속가능 미래를 선도하는 글로벌 지구환경 인재 양성’을 달성하기 위하여 지질과학 기반의 해외 저명대학 대학원 교육과정과 학사제도를 벤치마킹하여 교육과정의 고도화를 설계하였음.
- 해외 우수대학 교육과정과 학사관리 분석: 본 교육연구단은 미국 프린스턴 대학(Princeton University)과 위스콘신 주립대학(The University of Wisconsin-Madison) 지질과학과(Department of Geoscience)의 학사관리와 논문지도 제도를 분석함.
- 벤치마킹 대학들의 대학원 교육과정은 기초 지질과학 분야에 초점을 맞춘 것이 공통점이었으며 벤치마킹 대학의 교과과정을 반영함과 동시에 본 교육연구단의 장점과 결합하여 창의적 독창적 연구 수행이 가능한 인재양성을 위한 학사관리 제도를 구축함.
- 또한, 본 교육연구단은 고도 산업화 사회에 필요한 인재양성과 사회문제 해결을 위하여 기초 고체 지구 분야 외에도 지질환경과 대기환경 분야 교과목을 함께 운영하고 있다는 점에서 해외 벤치마킹 대학원 교육과정과 차이가 있음.
- 기존 기초지식과 최신 학문 동향의 융합: 본 교육연구단은 국가중점 과학기술 발전전략을 적극 수용하여 핵심적 기초지식 교육에 중점을 두면서 또한 사회문제 해결과 연계한 교과목을 운영하여 연구 중심 대학원에 부응할 수 있는 교육과정을 구성하였음.
- 대학원 교육과정은 **고체지구와 지구 내부를 다루는 지질과학(이진한, 김형수, 조석주, 김성룡 교수), 지권 천부의 환경 오염에 초점을 맞추는 지질환경(윤성택, 조호영, 이영재, 권만재, 이순재 교수), 최근 국가적 관심사인 대기환경(이미혜 교수) 등 3개 분야로 세분됨.**
- 특히 최근 미세먼지 저감 관련 국가적 관심이 큰 대기환경 분야는 지질과학 및 지질환경과 밀접한 연관이 있어 지구화학, 광물학, 지구미생물학, 토양환경학 전공과의 연계 교육을 통해 차별되고 특성화된 전문 인력을 양성하고 있음.
- 각 세부 전공별 사회변화와 국가적 요구에 대응하는 탄력적 교육 프로그램의 운영과 유연한 학사제도를 구축, 수정, 보완한 선진화된 교육과정으로 체계적 대학원 교육을 실현하고 있음.
- 우수 교수진에 의한 국제적 수준의 교육과 연구가 실현될 수 있도록 교육과정을 구성하여 지질과학을 기초로 한 지구환경과학 분야에서 향후 국가 경제와 기초학문의 성장을 이끌 창의적 최고급 전문인재 양성을 성공적으로 수행할 수 있을 것으로 기대함.

1.1.3 교육연구단의 비전과 목표에 적합한 세계적 수준의 학사관리 운영 계획

- 석사과정 및 박사과정 학생들의 대학원 학사관리 시스템을 교육연구단 내규 형식으로 만들어 지도 교수 선택, 세부 전공선택, 강의수강, 성적관리, 연구지도, 논문지도, 졸업 자격취득, 학위논문 제출 등의 항목으로 학기마다 체계적으로 관리하고 있음.
- 학위취득 소요기간 장기화 방지를 위해 학부 연구생 제도를 시행하여, 학부생이 대학원 연구실에서 연구 경험을 미리 할 기회를 제공하고, 연구에 조기 참여하여 산출된 연구결과를 학위논문 주제와 연계하도록 독려하고 있음.
- 또한, 교육연구단의 학사관리를 아래와 같이 교육연구단 규정으로 내규화하고, 대학원생들에게 학사관리 전 과정을 투명하게 공개하여 객관적이고 예측 가능한 학사관리와 운영제도를 유지하고 있음.

표 2-1 학위과정별 학사관리 내용

과정명	학사관리 내용
석사과정	● 과정 수료에 필요한 총 이수학점은 24학점, 최소 수업연한은 2년으로 함. ● 기초공통 과목 중 주전공 1과목과 타전공 2과목을 합한 9학점 이상을 필수 이수하여야 함. 이수 교과목 중 주전공 1과목과 타 전공 2과목을 대상으로 종합시험에 합격한 학생만 논문청구 자격을 부여함. 대학원세미나 I, II를 반드시 이수하여야 함.
석박사통합과정	● 신입생으로 석사과정과 함께 선발하거나, 석사과정 2학기 이수 후 원하는 자만 정해진 절차를 거쳐 선발함. 단, 선발 인원은 박사과정 입학정원의 범위 내에서 정함. 선발된 자는 석사학위 논문제출 없이 학업을 계속하여 박사학위 신청 시에만 논문을 제출함. ● 최소 수업연한은 4년, 재학 연한은 10년으로 함. 과정 수료에 필요한 총 이수학점은 54학점이며, 이에 대학원세미나 I, II, III, IV를 반드시 포함함. ● 석박사통합과정에 선발된 후 박사학위 취득을 포기하는 경우 석사과정의 이수 학기와 이수학점을 충족한 학생만 석사학위 청구논문을 제출한 후 정해진 절차를 밟아 석사학위를 수여함.
박사과정	● 지도교수의 승인과 학과 주임의 동의를 얻어 석사과정에서 이수한 과목 이외에 타 전공 3과목 이상을 이수하여야 함. 대학원세미나 III, IV를 반드시 이수하여야 함. ● 학위과정 중 국내외 학술지 연구논문 2편 이상(단, SCI급 논문 주저자 1편 이상) 게재인 학과 내규를 보완하여 4단계 BK21 교육연구단 내규는 국내외 학술지 연구논문 3편 이상(단, SCI급 논문 주저자 2편 이상) 또는 SCI Impact Factor 5.0 이상 게재로 강화함.
학석사통합연계과정	● 현재 개설된 석사과정, 박사과정, 석박사통합과정 이외에도 학부와 대학원 교육과정이 유연하게 연계되도록 학사 및 석사과정 연계과목을 6학점까지 인정하는 제도를 시행하고 있음. ● 또한, 학부생의 대학원 과목 선수강 제도로 학부에서 대학원에 개설된 기초공통과목을 선수강하고, 석사과정과 석박사통합과정에 진학하는 경우 기취득한 과목의 학점을 인정하고 있음. ● 본 교육연구단이 소속된 고려대학교는 우수 대학원생의 확보를 위하여 향후 학석사통합연계과정 관련 강좌의 증설을 통하여 학부와 대학원 교육과정 연계를 더욱 활성화할 계획임.

- **입학 직후:** 지도교수 선택, 세부 전공 선택, **논문지도위원회 구성**

- 입학 후 1학기에 석사과정 또는 박사과정 모두 지도교수를 선정하고 지도교수와 협의하여 세부 전공 선택을 하며, 이후 연구지도의 체계성을 위하여 석사과정 또는 박사과정 1학기에 논문지도 위원회를 구성함.
- 학제 간 협력 연구와 유사분야 공동연구의 대폭 증가 추세로 학위논문의 질적 향상을 꾀하고 새로운 관심 분야 적용 폭을 넓히기 위해 관련 분야 교수를 논문 지도위원 또는 공동 지도교수로 위촉하는 공동지도교수제를 적극적으로 유도함.
- 지도교수와 관련 분야 교수 1~2인으로 구성되는 논문지도위원회는 입학과 동시에 학생의 논문 연구 목표에 부합되는 교과목 수강계획을 협의하여 권고하며, 각 학생의 연구 진행도를 연간 1회 이상 보고받고 평가함.

- **강의수강과 학점인정 범위**

- 지도교수지정과목: 석사과정 및 박사과정 학생은 입학 후 첫 학기 초에 지도교수와 면담하여 교육연구단 소속 학부 과목 중 5개 과목 이내에서 지도교수 지정과목으로 이수할 수 있음.
- 교과목과 강의시간표는 고려대학교 지식포탈시스템에서 조회 가능하며, 강의명, 강의시간, 강의계획서 등 정보가 제공됨. 수강 신청은 개강 전 반드시 본인이 인터넷으로 입력해야 함. 수강 신청 정정은 개강 1주 후 마감되며 이후 변경은 불가함.
- 대학원 교과목 중 기초공통 과목은 석/박사학위 취득자격 구비를 위한 종합시험 대상이며, 석사과정의 경우 본인 전공 1과목과 타 전공 2과목, 박사과정은 본인 전공 2과목과 타 전공 2과목을 통과하여야 함.
- 석박사과정 중 각 2학기씩 필수 과목인 “대학원세미나 I~IV (각 1학점)”에서 학위과정 연구 진행상황의 최소 2회 예비 발표를 의무화하며, 연구의 적절성 평가와 연구 진행의 점검은 물론 동료 간 토론을 통한 연구의 질적 수준 향상을 유도함.
- 본교 학부생이 대학원에서 개설한 기초공통과목을 선수강하고, 대학원 동일과정의 석사 및 석박사통합과정에 진학할 경우, 졸업 요구학점을 초과한 학점만 기취득 교과목을 학점으로 인정할 수 있음.
- 학부에서 대학원 연계과목을 이수했을 경우 석사과정 입학 전 선수강한 기초공통과목과 합하여 최대 6학점까지 인정되나 동일과정의 학점이 학사 및 석사과정에 이중으로 인정되지 않음.
- 전문대학원이나 특수대학원 수료자가 본 대학원 석사과정에 입학한 경우 전문대학원이나 특수대학원에서 취득한 학점 중 지도교수 및 학과 주임 교수의 제청과 대학원장의 승인을 얻어 9학점까지 인정할 수 있음.
- 석사과정과 동일 전공으로 박사과정에 입학한 자로서 본 교육연구단 대학원 석사과정에서 초과 취득한 학점 중 박사과정 재학 기간 내에 지도교수 및 학과 주임 교수의 제청과 대학원장의 승인을 얻어 이를 6학점까지 인정받을 수 있음.
- 석사과정에 입학한 자로서 타 대학교의 석사과정에서 이미 취득한 학점은 6학점까지, 박사과정에 입학한 자로서 타 대학교의 박사과정에서 이미 취득한 학점은 9학점까지 지도교수 및 학과 주임 교수의 승인을 얻어 인정받을 수 있음.
- 퇴학, 자퇴 또는 제적된 자가 동일과정에 재입학하였을 때에는 학과 주임 교수 및 지도교수의 제청과 대학원장의 허가를 받아 재학 당시에 취득한 학점을 인정받을 수 있음. 단, 징계로 퇴학 또는 제적된 경우에는 이를 불허함.

- 학위논문 제출 **외국어** 자격시험

- 외국어시험: 각 학위과정의 1학기부터 응시할 수 있음. 영어, 불어, 독어, 일어, 중국어, 스페인어, 러시아어, 한문, 컴퓨터 언어 중에서 택일하되 박사과정과 석박사통합과정은 영어시험에 응시함. 외국인 학생은 자국어를 택할 수 없으며 한국어를 응시하여야 함.
- 외국어시험은 대학원장이 위촉하는 2인 이상의 위원이 출제하여 매년 3월과 9월에 각 1회씩 시행함. 고려대학교 국제어학원에서 개설한 어학 강좌에서 B 이상의 성적을 취득한 자 또는 일정 수준 이상의 공인 시험 성적을 취득한 자는 외국어시험이 면제됨.

표 2-2 외국어시험 면제 규정

구분	과정	시험 종류	주관	합격기준	비고
영어	석/박사	TOEFL, TOEIC IELST, TEPS	ETS 외	TOEFL CBT	
독어	석/박사 석/박사	ZMP TestDaf(TEN-3)	독일문화원 국내/독일	독어독문학과 및 기타 학과 인정 독어독문학과 및 기타 학과 인정 (3등급 이상)	
불어	석사 박사	DELFL DALF(고급과정)	프랑스 정부 프랑스 정부	DELF A1, A2 DELF A1, As DALF C1, C2	
중국어	석/박사	HSK (漢語水平考試)	중국 정부	중어중문학과 제1외국어 및 기타 학과, 제2외국어 동일 구 HSK 6급 이상 신 HSK 5급 이상	
스페인어	석/박사	DELE	스페인 정부	DELE 시험의 “NOVEL SUPERIOR” 에서 70% 이상 득점하고 Diploma를 취득한 자	
러시아어 /일어	석/박사		해당 없음		
한국어	석/박사	S-TOPIK		4급 이상	외국인

- 논문 심사위원회 구성: 졸업 3학기 이전

- 종합시험 통과 후 논문 심사위원회를 구성하며, 학위논문 최종 심사 최소 1년 전에 학위논문 예비 심사로 논문 주제와 연구 방향에 대하여 발표하도록 하여 연구 진행 방향의 적절성을 평가하여 우수한 연구결과를 도출할 수 있도록 유도함.
- 대학원생 연구의 질적 향상을 위하여 국내외 저명 연구자의 학위논문 심사 참여를 적극적으로 권장하고 있으며, 특히 박사학위 심사의 경우 연구의 국제화를 위하여 연구 관련 분야 저명 외국인 교수의 학위논문 심사 참여를 확대하고 있음.

- 학위취득 기준

- 석사과정: 교과목 24학점 이수, 어학시험과 종합시험에 응시하여 합격하고 주저자로 1건 이상의 국내외 학술대회에서 학술 발표를 하거나 주저자 또는 공동저자로 1편 이상의 논문게재를 권장함(이 경우 인센티브 지급대상으로 고려됨).
- 박사과정: 교과목 36학점 이수, 어학시험과 종합시험에 응시하여 합격하고, 국내외 전문학술지에 연

구논문을 3편 이상(단, 이중 최소 주저자로 SCI급 논문 2편 이상 게재) 또는 SCI Impact Factor 5.0 이상 게재를 원칙으로 함. 또한, 학위논문 청구 시 해당 규정의 이행 여부를 학과 전임교원 전원에게 확인받아야 함.

- 석박사통합과정: 교과목 54학점 이수, 기타 기준은 박사과정에 따름.
- 대학원생이 발표하는 논문은 전일제 학생은 지도교수가 반드시 주저자로 명시되어야 하며, 비 전일제 학생(학연산 협동과정생 포함)은 지도교수가 저자에 포함되어야 함.

- 학위취득 소요기간 장기화 방지제도

- 최근 세계적 연구중심 대학들이 학위취득 기간의 단축을 위하여 다방면으로 노력하는 추세임. 고려대학교 대학원 학위청구 논문제출 연한은 석사과정 6년, 박사과정 10년, 석박사통합과정 12년임.
- 본 교육연구단은 석사과정 2년, 박사과정 4년, 석박사통합과정 6년 졸업을 권장하며, 국내외 저명학술지 논문게재에 걸리는 기간을 고려하여 석사과정 3년, 박사과정 5년, 석박사통합과정 7년 졸업을 요구하고 있음.

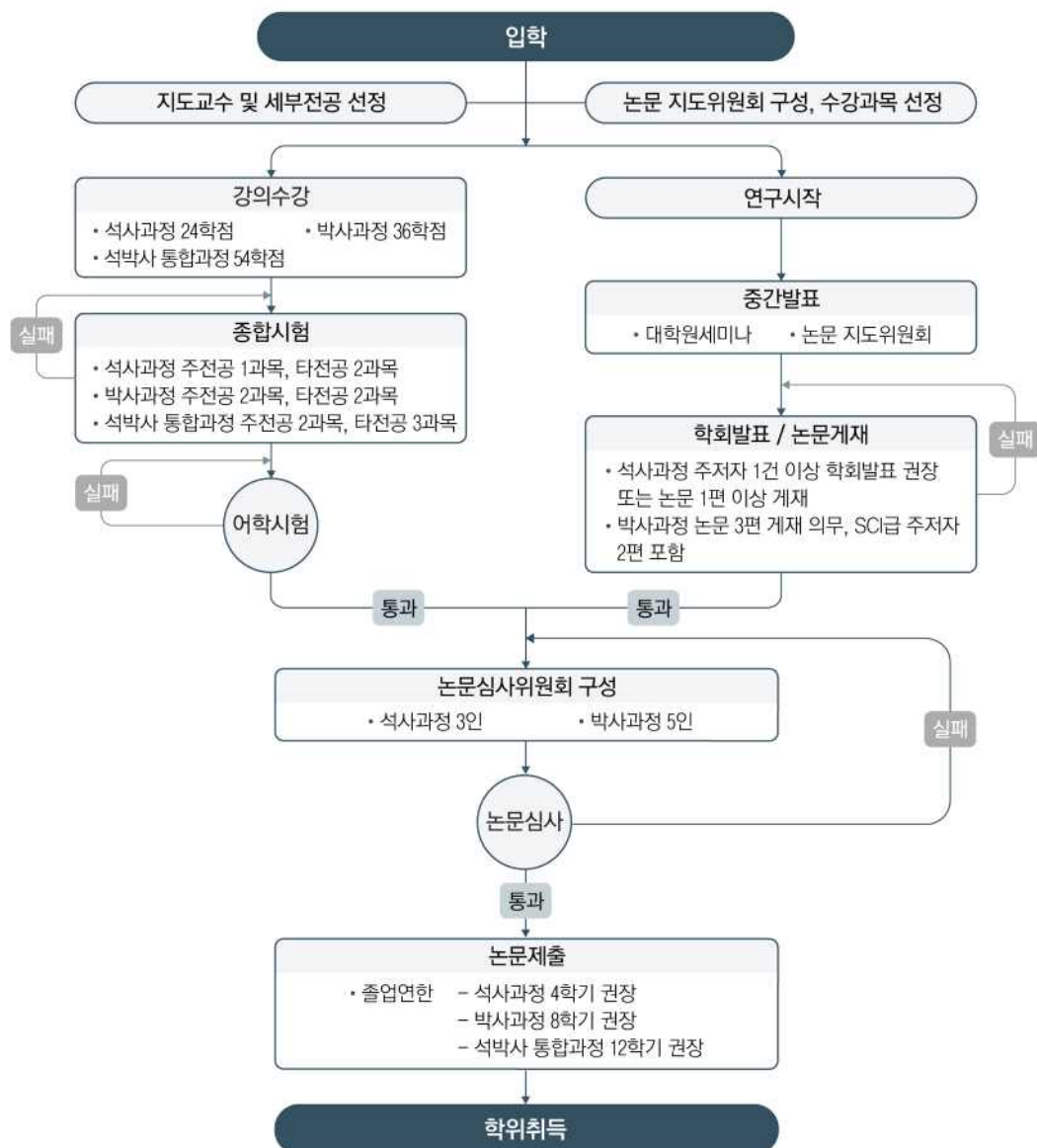


그림 2-2 교육연구단 학사관리 체계도

- 석사과정 이수 순서

1. 지도교수 선정: 입학과 동시에 선정
2. 이수학점: 주 전공 1과목 및 타 전공 2과목 포함 총 24학점 이상 이수, 논문지도위원회와 지도교수의 지도로 수강과목 선정
3. 종합시험: 이수한 교과목 중 주 전공과목 1과목과 타 연구실 개설 2과목 필기시험
4. 논문지도: 연구실별 세미나 혹은 개인지도뿐 아니라, 재학 중 “대학원세미나”를 필수 과목으로 2학기 이상 이수토록 의무화하여 진행 중인 연구결과를 의무적으로 학과 동료 및 전임교원들 앞에서 발표하고 평가받음.
5. 논문심사위원회: 지도교수가 주심이 되어 3인으로 구성되며, 국내외 저명교수의 학위논문 심사 참여를 적극적으로 권장하고 있음.
6. 논문심사: 논문심사 청구 자격을 얻기 위해 전공 필기 종합시험과 어학 능력 기준을 통과해야 하며, 논문 공개발표 후 논문 내용 및 관련 분야 지식평가 위주로 진행됨.
7. 졸업 연한: 평균 4학기(2년) 권장

- 박사과정 이수 순서

1. 지도교수 선정: 입학과 동시에 선정
2. 이수학점: 논문지도위원회에서 필수 이수할 타 전공과목 결정, 총 36학점 이상 이수
3. 종합시험: 기초공통과목 중 주 전공과목 2과목 및 타 연구실 개설 2과목 필기시험
4. 논문지도: 연구실별 세미나와 개인지도뿐 아니라, 재학 중 “대학원세미나”를 필수로 2학기 이상 이수토록 의무화함. 진행 중인 연구를 학과 동료 및 전임교원들 앞에서 의무적으로 발표하고 평가받음. 국내외 저명학자를 활용한 공동 지도교수 제도 가능함.
5. 논문심사위원회: 지도교수가 중심이 되고 타 학과 또는 대학의 외부 심사위원을 포함한 5인으로 구성되며, 특히 외국 저명교수의 학위논문 심사 참여를 적극적으로 권장하고 있음.
6. 논문심사: 논문심사 자격을 얻기 위해 전공 필기 종합시험과 어학 능력 기준을 통과해야 하며, 학위과정 중 국내외 학술지에 논문 3편 이상을 발표해야 하며 이 중 2편은 SCI급 논문 주저자로 발표해야 함. 공개발표 후 논문 관련 지식 평가로 진행됨.
7. 졸업 연한: 평균 8학기(4년) 권장

1.1.4 교육연구단 교육과정의 충실성과 지속성

- 강의 평가 환류로 대학원 교육의 충실성 제고

- 고려대학교는 1997년부터 학부 및 대학원 모든 교과목에 대한 강의 평가제를 시행하여 꾸준한 강의의 질적 향상을 도모하고 있으며, 과목별 종합 평점 및 학과, 단과대, 교내 전체의 평균 점수는 담당 교원, 학과장 및 단과대로 공식 통보되고 있음.
- 2004년부터 교과목을 수강한 모든 학생들이 해당 학기 종료와 더불어 학교 홈페이지에 접속하여 수강생 자신에 대한 평가 5항목, 교수평가 15항목 등 총 20개 항목에 대한 상대평가(각 문항 6점 만점) 및 5항목으로 이루어진 개방형 평가가 의무화되었음.

- 각 항목의 점수, 개방형 평가, 전체 강의 항목에 대한 평균값 등 각 과목 강의평가결과 및 학교와 학과 강의 평가 평균값을 학교 내부 인트라넷에 공개하여 강의담당자가 자신의 강의 평가결과를 분석하여 다음 강의에 반영될 수 있도록 함.
- 본 교육연구단은 2단계 BK21사업부터 각 전임교원의 강의 평가 결과를 교육연구단 홈페이지에 공개하여 강의의 질적 향상을 유도하였으며, 상위 5%(영어강의는 상위 10%) 내의 우수 강의 교원에게 석탑강의상과 인센티브(교수업적 평가에 반영)를 제공하고 있음.
- 2013~2019년에 본 교육연구단 대학원이 개설한 총 105개 과목의 강의 평가를 시행하였으며, 강의 평가결과 대학원 하위 5%의 과목은 단과대학 학장이 강의담당 교원을 면담하고 경고하여 차기 강의 준비에 만반을 기하도록 조치함.
- 영어강의의 실질적 질적 향상을 위하여 고려대학교 교수학습개발원의 영어권 Native Speaker 교수들이 교육연구단의 영어 강의자들과 팀티칭 및 개별상담으로 강의 중 영어 어법과 표현 등에 대한 점검과 지원을 하고 있음.
- 또한, 신입교원이 우수 강의를 주도적으로 개발하고 진행할 수 있도록 고려대학교 교수학습개발원에서 계열별 신입교원들의 강의 방법 등을 교류하여 영어강의의 질적 향상을 적극적으로 지원하고 있음.

- 교육내용 공개와 투명성

- 고려대학교는 2001년부터 고려대학교 교수학습(EKU) 포털 서비스에 e-learning을 위한 자료실을 구축하여 매 학기 모든 교과목의 강의계획서를 사전 공개하고 강의록도 전면 공개하고 있으며, 2015년부터 “블랙보드” 시스템을 활용하고 있음.
- 수강 신청 이전부터 교육연구단의 모든 대학원 개설과목의 강의계획서를 포함하여 강의록 및 기타 강의자료를 가상 학습 환경이자 강의 관리 시스템인 “블랙보드 런” 서비스 또는 일부 전임교원의 개별 연구실의 홈페이지를 통하여 전면 공개하고 있음.
- 매 학기 시작 전에 개설과목 강의계획서를 의무적으로 게시하고, 이를 교수 업적평가에 반영하고 있으며, 2018년 2학기부터 수강신청 이전에 공개된 강의계획서를 학생들이 평가하여 강의계획서를 보완할 수 있는 제도가 도입되어 활용하고 있음.

- 글로벌 수준 연구윤리 및 인권과 성평등 교육

- 고려대학교 대학원은 글로벌 수준 연구윤리 확보를 위한 관련 교육과정을 강화하고, 향후 이를 독립 학과목으로 개설하는 것을 추진하여 단일 교육연구단 차원보다 더 포괄적인 대학원 차원의 연구윤리 시스템을 구축하는 것을 목표로 함.
- 2011년 3월부터 “연구윤리교육” 이수가 의무화되었으며, 2017년 3월 개정된 일반대학원 시행세칙 제30조(인권과 성평등 교육 및 연구윤리교육)에 따라, 2017년 신입생부터 “연구윤리교육” 과 “인권과 성평등 교육” 이수가 의무화되었음.
- 고려대학교는 글로벌 수준 연구윤리 확보를 위해 2013년 6월 교무회의에서 연구윤리 교과목 개설을 결정하여 대학원생 대상 온라인 강좌를 개설하여 연구자로서 갖추어야 할 윤리적 소양을 함양하기 위한 교육을 실시하고 있음.
- 보고서 표절 검사 프로그램 운영: 대학원생이 제출한 보고서의 표절 문제를 검증할 수 있는 프로그램인 Turnitin을 제공하고 운영하고 있음.

- 강의계획서에 연구윤리위반을 엄금하는 문구를 명시하고, 연구윤리서약서에 의무적으로 서명하도록 실시하고 있으며, 대학원생이 연구윤리를 위반한 경우 처리절차 및 처벌조항에 관한 규정과 지침을 마련하였음.
- 연구윤리 준수 및 감독: 고려대학교는 현재 연구윤리 진실성과 관련한 사안이 발생한 경우 교원 윤리위원회에 심의를 요청하면 위원회에서 “특별조사위원회”를 구성하여 처리하고 있음.
- 연구 부정행위 제보처리 절차와 내부고발자 보호 관련 규정인 교원윤리위원회규정 제12조로 관리하고 있으며, 2014년부터 연구처 산하에 연구 진실성 위원회를 설치하여 독립적으로 연구윤리 관련 사항을 다루고 있음.
- 본 교육연구단의 연구윤리 교육은 특히 우리 학계에 필요한 글로벌 수준 연구윤리 확보를 위한 관련 교육과정의 강화로 본 교육연구단의 비전에 부합하는 연구윤리를 함양한 국내 최고급 전문 인재 양성의 성과를 창출할 것으로 기대됨.

- 연구실 안전교육

- 고려대학교 안전관리 위원회(위원장: 연구부총장 이관영 교수)는 연 1회 회의를 개최하여 교내의 전반적 연구 안전 점검 및 안전관리 교육프로그램을 조율하고 있음.
- 연구실과 실험실의 다양한 안전사고(화재, 화상, 파손, 감전, 화학물질에 의한 신체 손상 등) 위험을 예방하기 위해 본 교육연구단 소속 대학원생들은 대학본부 차원에서 제공되는 연구(실험)실 안전관리 교육에 반드시 참여하도록 유도하고 있음.
- 연구실 안전환경 조성에 관한 법률 제18조(교육, 훈련 등) 및 법 시행규칙 제9조(교육, 훈련의 시간과 내용)에 의하여 본교의 모든 연구 활동 종사자는 매 학기 일정 시간의 안전교육을 수강하도록 규정되어 있음.
- 매 학기 법정 안전교육을 6시간 이수 후 수료증을 출력하여 연구실에 게시해야 하며, 기존, 신규, 외국인 연구 활동 종사자에 각각 맞춘 별도의 교육을 이수하도록 권장함. 해당 학기 안전교육을 이수하지 못한 대학원생은 다음 학기 연구실 출입이 제한됨.
- 현재 본 교육연구단의 주 연구 활동 공간인 고려대학교 메디힐지구환경관, 아산이학관 및 이학별관의 화재 발생 시 안전 대피 요령 숙지를 위하여 관내 안전 전문기관인 성북소방서와 협력하여 매 학기 현실적인 재난(화재) 대피 훈련을 시행하고 있음.
- 정기적인 대피 훈련으로 유사시 신속 정확하게 대처할 수 있는 능력을 갖추도록 하며, 건물 매 층에 담당 교직원, 대학원생, 환경미화원들로 구성된 자위 소방대원을 배치하고, 건물 내 모든 인원이 빠짐없이 대피 훈련에 참여하도록 의무화함.

1.1.5 교육과 연구의 선순환 구조 구축

- 본 교육연구단은 **우수한 학생을 선발**하여 폭넓고 다양한 관련 분야 지식을 통합 적용할 수 있도록 교육하여 글로벌 지구환경 인재를 양성하는 목표 달성을 위하여 우수한 교육과 사회문제를 해결하는 연구가 순차적으로 함께 전진하는 선순환 구조가 매우 중요함.
- 지속 가능한 미래를 선도하는 글로벌 인재양성을 위하여 **국제수준의 대학원 교육**이 선행되어야 하며, 참여교수들의 교육 혁신과 헌신으로 핵심 기초지식과 사회문제 해결과 연계된 응용지식을 폭넓게 섭렵하도록 하여 연구에 진입할 수 있는 밑바탕을 형성함.

- 교육연구단 참여교수들이 사회문제와 과학 난제 해결을 위해 열정과 의욕으로 수행 중인 여러 국가 연구과제와 산업체 연구과제에 참여하여 연구의 과정을 경험하고 **창의적 연구를 시도**할 기회를 제공하여 차세대 리딩 신진연구자로 발돋움하도록 함.

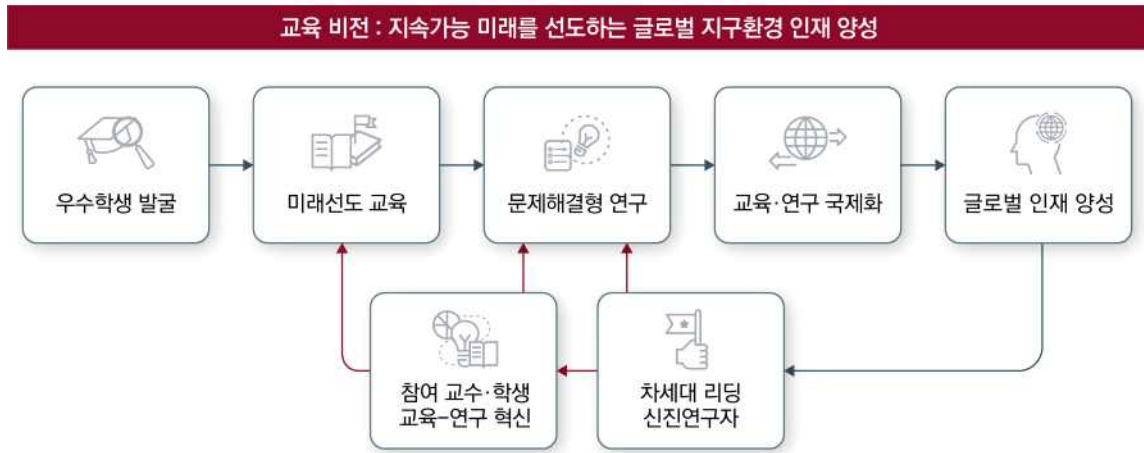


그림 2-3 교육연구단 교육과 연구의 선순환 구조

- 국제적 감각을 갖춘 글로벌 지구환경 인재를 양성하기 위하여 교육과 연구의 과정에서 해외 대학, 연구원, 기업체 등과의 교류 기회를 제공하고 국제적 관점에서 임팩트 있는 연구를 기획하고 수행할 수 있는 미래의 중견 연구자로 성장하도록 유도함.
- 상기한 **교육과 연구 선순환 구조의 핵심**은 **교육연구단 참여교수**로 우수학생 선발, 글로벌 수준의 대학원 교육, **문제 해결형 연구과제의 기획과 수주**, 국제 네트워크를 통한 **교육과 연구의 국제화** 등 선순환 과정 전반에 걸쳐 지속적인 혁신과 헌신이 요구됨.
- 다음에 본 교육연구단이 교육과 연구의 선순환 구조를 정착시키기 위하여 수행 중인 연구과제를 대학원 교육에 어떻게 연계하고 있는지에 대한 실례를 제시하였음.

1.1.6 연구역량의 교육적 활용 계획 및 실적(4단계 BK21사업 이후)

- 본 교육연구단이 수행 중인 다양한 국가연구과제를 교육 활동과 연계하여 창의적 미래인재 양성을 도모하고 있음.
- 예로, 환경부 ‘스마트 지중환경 관리기술 연구단’ (연구단장 조호영 교수, 연구 기간 2018.06 ~ 2022.12)은 오염지중환경조사 관련 연구를 수행 중이며 부지조사 기술개발을 위해 경기도 남양주시 와부읍에 위치한 고려대학교 부속농장인 덕소농장을 일반 테스트베드로 활용 중임.
- 테스트베드 내에 지하수, 토양 환경 변화를 감지하기 위한 첨단 시설을 구축하였고, 이를 대학원 교육에 연계하여 적극 활용 중이며 앞으로도 새로운 기술개발 결과물 들을 교과 내용에 적극적으로 반영하고자 함.
- 이러한 연구역량을 바탕으로 한 수업을 통해 더욱 실질적인 실험 및 실습을 할 수 있게 되었고, 문헌을 통한 단순 학습과 비교하여 학습 성취도 월등히 높았음.

표 2-3 교육연구단 연구역량의 교육적 활용 실적

연구과제명	스마트 지중환경 3D 진단·평가·예측 기술개발		
연구책임자	소속 : 고려대학교 지구환경과학과 성명: 조호영		
연구목적 (목표)	‘지중환경 내 유체경로 스마트 진단·평가·예측을 위한 통합시스템’ 구축		
연구장소	고려대학교 덕소농장 (경기도 남양주시 와부읍 도곡리 736-2)		
연구내용	- 현장적용 기술개발에 활용하기 위한 Test-bed, DB, 시스템 설계 및 구축 기술 확보 - 지중환경 특성모델 도출을 위한 물리·화학·생물학적 특성 DB 확보 - 지중환경 내 지구화학적(토양, 퇴적물, 암석 등 지질 매체의 광물, 화학, 미생물학적 요소) 상호반응 특성 분석 및 평가 - Test-bed를 활용한 현장시험 지원 및 요소기술 검증 - 실무지침서(매뉴얼) 및 지중환경 부지조사 프로토콜 작성		
해당(연관) 교과목명	지구물리탐사	지하수환경학	지구미생물학특론 및 실험
교과목명	지구미생물학특론 및 실험(EES407)		
담당자	소속 : 고려대학교 지구환경과학과 성명: 권만재 교수		
교육목적 (목표)	토양, 지하수, 암반 등을 포함한 지중환경을 특성화하는 조사방법을 배우고 이를 실제 현장 부지에 적용하여 다양한 지중환경 특성화 인자를 구할 수 있음.		
교육장소	고려대학교 덕소농장 및 경북 영덕		
교육내용	<u>교육연구단 대형연구과제의 테스트베드를 대학원 실험/실습 교육에 활용</u> - 덕소농장 시추 코어 특성 검토 및 주상도 작성 - 지하수 시료 채취 (지구미생물 분리 실험을 위한 시료로 활용) - 지하수 현장분석항목 측정 (pH, 온도, DO, Eh, EC) - 토양 코어 시료 채취 - 지표수 및 지하수 시료 채취, 이산화탄소 농도 및 유량을 포함한 현장 항목 측정		

- 한편, 본 교육연구단은 소속 대학원생을 대상으로 ‘지중환경 오염진단 기술 교육’을 실시하고 있음. 총 2021~2022년 8회에(회당 5시간) 걸쳐 이루어질 예정으로 2021년 8월 13일 1회차에 약 20명의 소속 대학원생이 참여하였고, 교육수료 시(20시간 이상 참여) 교육연구단장의 수료증을 발급 예정임.
- 본 연구실무교육은 국내 학연산 관련 전문가로 구성된 교수자의 체계적인 지중환경 정밀특성화 기술 교육을 통해 **사회문제 해결과 관련 산업 선도를 위한 기술적, 인적 기반을 마련**하는 것을 목표로 함.



그림 2-4 교육연구단 연구실무교육(온라인)

- 기타 중소 규모 연구과제를 통해 진행 중인 최첨단 연구의 목표, 내용 및 결과를 해당 과목의 내용에 반영하여 최신 연구 동향 및 수준에 접근하도록 교육연구단의 연구역량을 교육에 집중할 계획임.
 - 고려대학교가 미세먼지 특성화 대학원(2021년 2학기 시작)에 지정되어 대학원생 참여: 보건과학대학(주관), 이과대학 공과대학 생명과학대학 의과대학 등의 참여하여 학생들에게 다양한 수업 세미나 인턴 등의 기회를 제공함.
- 산학연 연계 세미나

연사	세미나 내용	시간
(주)에이스엔/대표	대기오염 및 악취현장 측정방법 및 사례(사업현장 중심으로)	2021.11.25
코웨이/과장	실내공기 청정기술 원리와 미래청정기	2022.03.11
MD헬스케어/팀장	MD헬스케어/팀장 바이오에어로졸 분석의 현재와 미래	2022.03.18..
에어랩(주)/대표	실내미세먼지관리 -공기정화장치효과	2022.04.27.
한국기계연구원	미세먼지의 이해와 한국기계연구원의 미세먼지 저감 연구	2022.05.25.
안전성평가연구소	환경 내 미세플라스틱의 오염, 거동 및 독성 연구 현황 .	2022.06.10
동일기술공사/부장	대기확산모델을 활용한 대기질 예측 - CALPUFF	2022.02.22
환경부 전장관 외	2022년 환경의날 특별세미나: 탄소중립시대 미세먼지 관리	2022.06.09
(주)경동엔지니어링/상무	환경영향평가소개 - 대기모델링분야	2022.06.14



그림 2-5. 2022년 환경의날 특별 세미나

- 현장실습

장소	교육 내용	시간
써니항공	국내에서 항공관측 용 연구항공기는 2대 정도 있지만 교육에 활용되기 어려움. 민간업체에서 소형 항공기를 대기측정에 대여하고 있으므로 공항 현장을 방문하여 항공관측에 대한 개관을 얻음.	2022.04.19
(주)에코이엔오	대기 시료를 채취하여 GC 및 HPLC 등 분석기기를 이용하여 성분을 직접 분석함.	2022.05.16.
케이웨더(주)	빅데이터를 활용하여 기상 및 대기오염을 예측하는 현장을 답사하고 연구원들에게 질의 및 응답.	2022.05.16.
서울시보건환경연구원	서울시 보건환경연구원에서 운영하는 지상 관측망 현황을 듣고 실험실과 최첨단 고가기가 탑재된 모바일 랩을 살펴보고 정책 입안을 위한 대기환경 연구의 가치를 깨닫도 중요성을 인지함.	2022.05.30.

- 인턴십 프로그램

기업명	인턴 실습 내용	시간
(주)켄텍	대기오염 분석기기(O3, NOx, CO, SO2, PM2.5, PM10)를 생산하는 국내 전문기업으로 현재 정부 지자체 연구소 등 여러 기관에서 사용되고 있으며 측정 네트워크를 통해 실시간 자료를 산출하고 있음. 대기오염물질 모니터링에 대한 기본 지식 특히 기기의 측정 원리 및 자료 수집 방법에 대해 상세히 배우고 자료 분석 기술을 습득함.	2022.02.01. ~02.28. (7일)
(주)에이스엔	대기질 측정 및 관리에 필요한 기술을 습득하고 실제 적용하는 능력 함양을 목표로 함. 휘발성 유기화합물(VOCs) 측정 및 분석 방법을 포함한 대기중 미량성분 측정 기술 및 분석 방법 습득 및 실습, 연구과제 제안서 작성방법 등을 배움.	2022.02.14. ~02.22. (7일)
케이웨더(주)	국내 기상산업을 개척한 기업으로 기상예보 및 관련 다양한 서비스를 제공하고 있음. 빅데이터 기반 기상예보에 대한 기초 지식을 습득함. 빅데이터 수집 및 분석, AI 기술의 적용, 기상데이터 서비스, 통합 대기질 관리 등에 대해 실질적인 예를 통해 배우고 실습을 진행함.	2022.02.23. ~03.04. (7일)
(주)에코이엔오	대기오염물질 측정에 사용되는 기초 분석이론(GC 및 HPLC)의 원리를	2022.07.11.

	배우고 실제로 분석기기를 사용해 성분을 분석하고 정량하는 기초 능력을 함양하는 강의와 실험 실습을 진행함.	~07.19 (7일)
(주)에이스엔	대기질 측정 및 관리 기술에 대한 특강을 통해 기초지식을 습득하고, 실제 적용하여 VOCs 등 미량기체 성분을 분석하고, 대기질 평가를 수행하고 보고서 작성 방법을 배움.	2022.08.10. ~08.19. (7일)

1.1.7 교육연구단의 대표적 교육목표에 대한 달성 방안

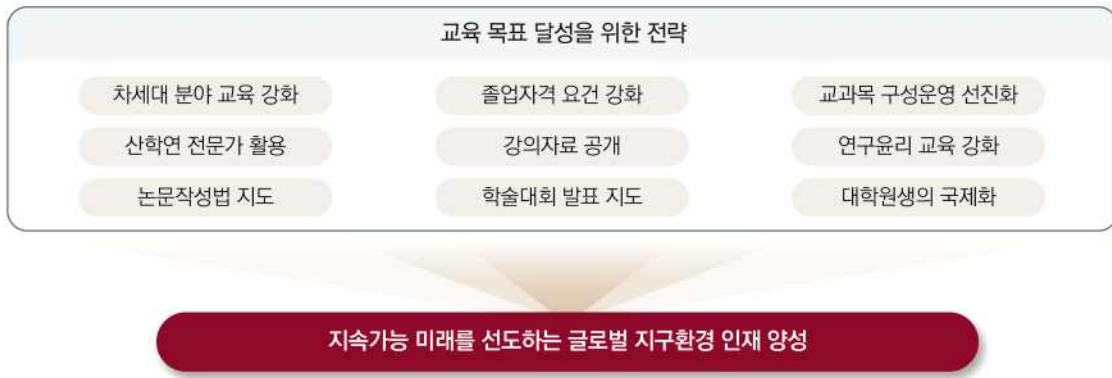


그림 2-5 교육연구단의 교육목표 달성을 위한 9대 전략

- 본 교육연구단의 대표 교육목표는 ‘교육과 연구의 선순환 패러다임 혁신’으로 이 목표의 달성을 통해 대한민국의 미래를 이끌어갈 국제적 수준의 전문지식과 융복합 능력을 겸비한 ‘지속가능 미래를 선도하는 글로벌 지구환경 인재 양성’을 달성할 수 있음.
- 1단계 BK21사업, 2단계 BK21사업, 3단계 BK21플러스 사업을 통해 확보된 경험과 해외 우수 교육과정의 장단점 평가를 통해 정비된 차세대 대학원 교육과정을 현실화, 구체화 및 선진화하고자 하며, 교육목표를 달성 방안으로 다음과 같은 세부 전략을 수립하였음.

표 2-4 교육연구단 교육목표 달성을 위한 세부 전략 및 내용

연번	세부 전략	내용
1	차세대 분야 교육 강화	향후 독창적 고부가가치 창출로 혁신 성장을 견인할 수 있는 융합인력 양성을 위해 차세대 산업 분야에 대한 교육 강화 - 광물자원 및 에너지자원의 탐사 개발 - 동아시아 지각진화 해석 - 지중환경(지하수 및 토양환경)의 오염조사·평가·해석과 환경복원 - 지질환경성 자연재해의 예측 및 저감
2	졸업 자격 요건 강화	- 석사과정 3과목, 박사과정 4과목의 종합시험을 통과해야 졸업자격이 주어지며, 매 학기 합격률이 70% 미만으로 엄격히 운영되고 있음. - 박사과정은 학위과정 중에 국내외 학술지에 연구논문 3편 이상(단, SCI급 국제저명학술지에 주저자로 최소 2편 이상)을 게재하여야 함.
3	교과목 구성·운영 선진화	해외 우수 벤치마킹 대학 (Princeton University and University of Wisconsin-Madison, Department of Geosciences) 선정과 비교를 통한 교과목 구성 및 학사운영의 선진화

4	산학연 전문가 활용	- 산업체 전문가를 주제별로 초빙하여 당면한 국가적 / 사회적 이슈를 다루는 무제과목 신설/강의 및 전문가 초청 특별 세미나 개최 - 산업체 전문가를 초빙하여 관련 분야에 관심 있는 학생들의 일대일 멘토링 프로그램 개설
5	강의자료 공개	강의계획서 / 강의자료 사전공개를 통한 대학원생들의 수업 선택권 보장 및 확대
6	연구윤리 교육 강화	매 학기 개설되는 ‘대학원세미나’ 과목에서 전공 교수진 직접 교육, 온라인 강좌 의무 수강제도 (연구윤리 기본개념과 연구부정행위 등), 리포트 및 논문 표절 검증 프로그램 사용법 교육 등 정착화
7	논문작성법 지도	기초공통수업에서 필수적으로 term paper 작성을 지도하고 있으며 수강하는 대학원생들의 학기에 따라 논문지도법 수준을 달리하여 지도하고 있음. 또한, 논문작성법 개요와 세부적인 영어 논문 작성에 대해 지도하고 대학원생들의 국내외 전문학술지 투고전략과 절차도 팀티칭 지도 확대
8	학술대회 발표지도	대학원 전공과목 수업에서 국내외 학술대회 발표에 필요한 프레젠테이션 자료 작성 방법, 논지 전개, 발표 진행 방법 등을 지도하고 수강생들의 대학원세미나 및 국내외 학회발표 계획에 따라 맞춤형 지도 확대
9	대학원생의 국제화	잠재 유망 국가 대학 및 연구소와 MOU를 체결해 우수 외국인 대학원생의 유치와 배출을 가속화할 계획임.

1.1.8 4단계 BK21사업 이후(2020.09~) 교육연구단 전임교원 대학원 강의실적



그림 2-6 교육연구단의 대학원 개설강의 목록

- 4단계 BK21사업 이후(2020.09~) 교육연구단 소속 대학원은 학기당 6~9과목, 평균 8강좌를 개설하였으며, 추가로 학기당 2개의 대학원세미나를 개설하여 총 32개 교과목과 8회의 대학원세미나를 개설하였음.
- 학기당 평균 8개 개설된 강좌는 졸업시험의 대상인 기초공통과목 평균 4과목, 기타 전공심화 평균 4과목으로 교육의 근간이 되는 기초공통과목과 전공 심화과정이 균형 있게 개설되어 대학원생에게 다양한 교육 기회를 제공함.
- 전공 분야별 개설과목은 교육연구단 전임교원의 인적 구성을 반영하며, 고체지구 관련 분야 총 10과목(25%), 천부지권환경 관련 분야 총 18과목(45%), 대기과학 관련 분야 총 4과목(10%), 세미나 총 8과목(20%) 등 모두 40과목임.

- 해외 저명 벤치마킹 대학원인 프린스턴대학 지질과학과는 고체지구 9과목(32%), 대기과학 7과목(25%), 천부지권환경 분야 5과목(18%), 세미나 과목 5과목(18%), 기타 2과목(7%) 등 총 28과목을 제공하여 본 교육연구단과 비슷한 교육 포트폴리오를 보임.
- 위스콘신주립대 지질과학과 대학원은 2017~2019년 2년간 고체지구 14과목(45%), 천부지권환경 4과목(13%), 각종 전공 세미나 11과목(35%), 기타 2과목(6%) 등 총 31과목을 개설하여 우리나라보다 강의 시수가 낮은 선진국의 교육여건을 반영하고 있음.
- 서울대 및 연세대 등 국내 주요 대학과의 학점 상호 교류 및 인정제도를 구축하여 본 교육연구단 교수진이 제공하지 못하는 분야의 강의를 타 대학원과 기관에서 이수하도록 적극 권장하여 교육의 내실화 및 전공 분야의 인적 네트워크 구축에 이바지하고 있음.

1.1.9 교육연구단 전임교원 대학원 강의계획 및 실적(4단계 BK21사업 이후(2020.09~))

- 향후 5년간(2020~2024) 본 교육연구단은 지난 5년간 개설했던 수준과 비슷하게 학기당 평균 7~8개의 일반 강좌와 2개의 대학원세미나를 개설할 예정이며, 앞으로도 국가적 및 사회적으로 중요한 수요를 반영하는 신규 강좌를 발굴하여 개설할 예정임.
- ⇒ 본 학과가 보유한 다양한 첨단 복합 과학기기의 과학적 원리와 특성에 관한 이론수업 및 실제 기기운영과 데이터처리 실습을 통해 지구과학 분야 기술발전의 최신 동향을 학습하고, 전문 실험연구자로서의 능력과 자질을 배양하고자 함.
- 2020년 6월 말 완공된 메디힐 지구환경관 대학원 전용 강의실과 첨단 멀티미디어 시설을 적극적으로 활용하여 강의의 질을 극대화할 예정이며, 메디힐 지구환경관의 첨단기기실과 연계하여 대학원 과목 실험수준의 향상을 추진하고 있음.
- ⇒ **메디힐 지구환경관 첨단 강의실과 현미경 실습실의 대학원 수업 활용:** 본 교육연구단이 신규로 메디힐 지구환경관에 개소한 첨단 강의실에서는 코로나 비대면 시대 교육에 적합한 하이브리드 방식 학습시스템을 구축하였음. 또한, 최첨단 현미경 실습실은 국내에서는 처음 구축된 학생 중심의 **문제 기반학습(PBL, Problem Based Learning)**이 가능한 디지털 오디오/비디오 장치가 구축된 실습실을 도입하였음.
- ⇒ PBL은 실제 과제를 해결하기 위해 학습자가 스스로 문제를 도출하고, 현장의 실제적 상황을 적용하여 지구환경과 관련된 다양한 문제를 탐구하며 아이디어 적용과 활용이 가능한 학습방법이며, 구성원들의 토의와 협력으로 최적의 문제 해결안을 도출할 수 있는 학습 형태로 대학원 강의와 실습에 최적화된 교수-학습법이라 할 수 있음.
- ⇒ 2021년 1학기 개설된 실험암석학 등의 대학원 강의에 PBL을 적용하여 학생들의 지구환경과학 문제 해결 능력, 의사소통과 비판적인 사고의 향상을 유도하였음.



그림 2-7 교육연구단의 프로젝트 기반 학습 모습

- 또한, 2020년 코로나-19사태로 대두된 온라인강의의 사회적 필요성에 맞추어 2020년 가을학기부터 매년 최소 1개 이상의 온라인강의를 신규 개설하고 최신 멀티미디어 시설과 기술을 활용한 차세대 온라인강의법의 개발을 도모하고 있음.

⇒ 2021년 2학기 11개, 2022년 1학기 10개 대학원 과목을 개설하였으며, 이중 영강비율은 61.9%, 온라인 강의 비율은 9.5%에 이르고 있음.

- 다음은 최근 1년간(2021.09~2022.08) 대학원 개설과목 현황임

학 기	학수번호 및 과목명	요목	이수 학점	영강 여부	온라인 여부
21 학 년 2 학 기	EES502 구조지질학특론 및 실험 (Advanced Structural Geology and Lab.)	취성/연성구조의 형성기구와 그 해석에 대한 문제점을 연구	3		
	EES506 지구화학특론 및 실험 (Advanced Geochemistry and Lab. Work)	지각물질 내 각종 원소의 함량, 분포, 분산 및 이동 특성과 화학반응에 대한 전반적 이해	3		
	EES507 지구물리학특론 I (Advanced Geophysics I)	지구의 전자기장, 중력장, 지열에 관한 이론 및 응용	3	○	
	EES512 대학원세미나 II (Graduate Seminar II)	석사학위 논문과 관련된 연구진행사항을 발표하고 토론	1		
	EES514 대학원세미나 IV (Graduate Seminar IV)	박사학위 논문과 관련된 연구진행사항을 발표하고 토론	1		
	EES520 지질공학특론 (Advanced Engineering Geology)	지하구조물의 설계 및 안정성 평가에 필요한 제반 이론 및 이의 응용	3	○	○
	EES570 오염물질모델링 (Contaminant Transport Modeling)	오염물질 운송에 관한 수치해석학적 접근 방법 및 이론	3	○	
	EES581 광물-물계면지구화학 (Mineral Water Interface Geochemistry)	광물-물 계면에서 일어나는 물리·화학적 변화 양상에 관한 지구화학적 이해	3	○	
	EES601 실험암석학 (Experimental Petrology)	magma의 상변화, 조암광물의 성분예 따른 상변화, 변성상의 조건 등에 관한 물리화학적 이론	3	○	
	EES628 대기자료분석 (Atmospheric Data Analysis)	대기의 측정 및 모델자료를 해석하는데 필요한 방법에 대한 이해와 실습	3		○
22 학 년 1	EES724 지구미생물학특론 및 실험 (Advanced Geomicrobiology and Laboratory)	지질학적, 지화학적 현상에 있어 미생물의 역할에 대한 최신 이론과 분석기법의 이해 및 광물화, 암석의 풍화, 환경오염정화 등에 있어 지구미생물의 역할을 평가할 수 있는 야외조사 및 실내 실험 능력을 배양	3	○	
	EES511 대학원세미나 I (Graduate Seminar I)	석사학위 논문과 관련된 연구진행사항을 발표하고 토론	3		
	EES513 대학원세미나 III (Graduate Seminar III)	박사학위 논문과 관련된 연구진행사항을 발표하고 토론	1		
	EES522 토양지구화학특론	토양 및 지표에서 일어나는	1	○	

학 기		지구화학적 기본원리 연구			
	EES525 지중생지구화학 (Subsurface Biogeochemistry)	지중환경에 존재하는 금속, 방사성핵종, 유기오염물질의 변환과 이동성을 조절하는 다양한 생지구화학적 작용에 대해 이해	3	○	
	EES555 연속체역학 (Continuum Mechanics in Geology)	연속체 역학의 기본 개념과 구조지질학에서의 응용	3	○	
	EES562 동위원소지구화학 (Isotope Geochemistry)	안정 및 방사성 동위원소의 분포 및 변화 원리 응용	3		
	EES569 지하수모델링 (Groundwater Modeling)	지하수 수치모델링의 유한차분법과 유한요소법 적용	3	○	
	EES612 지구물리학세미나 (Seminar in Geophysics)	최근에 활발히 연구되는 지구물리학 주제에 관한 연구	3	○	
	EES626 대기화학모델링	폐기물 처리와 저장에 관한 지질공학적 이해	3	○	
	EES627 폐기물처리지질공학 (Waste Management Geotechnology)	폐기물 처리와 저장에 관한 지질공학적 이해	3	○	

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

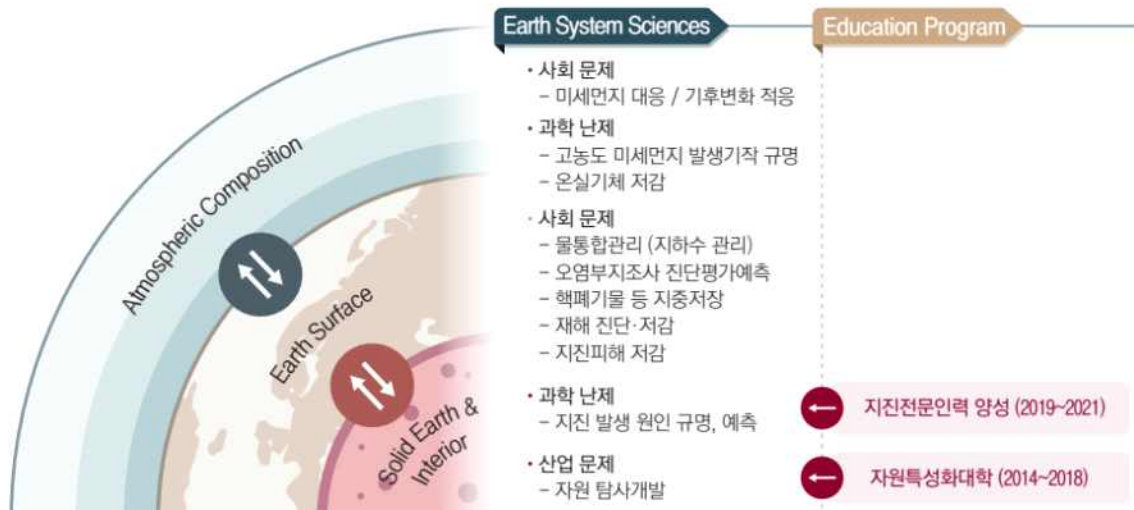


그림 2-8 교육연구단의 문제 해결 관련 교육프로그램 현황

- 본 교육연구단은 1999~2019년 1단계~3단계 BK21사업을 수행하면서 선진국 지구환경과학 교육과정에 부합하도록 차세대 대학원 교육과정을 정비하여 지구환경과학 분야의 다양한 과학 난제, 산업 문제, 사회문제 해결을 위한 글로벌 인재 배출을 노력하였음.
- 본 교육연구단은 고도 산업화 사회에 필요한 인재양성과 사회문제 해결을 위하여 다양한 맞춤형 교육 강화 및 산학연 연계 교육을 활성화하여 국내외 관련 학계와 산업계의 최신동향을 빠르게 교육과 연구에 접목하고 문제 해결형 교육을 강화하고 있음.
- 교육연구단 소속학과에서 운영하는 산업 문제와 사회 문제 해결과 관련된 교육 프로그램은 지진재해 방재를 위한 “지진전문인력양성(2019~2021년)” 프로그램을 운영하였음.

- 지진분야 전문인력 양성(2019~2021년) 프로그램: 사회 문제 및 과학 난제 해결형

- 2016년 이후 한반도 서부와 남동부의 활성단층 주변에서 일련의 자연지진이 자주 발생하고 있으며, 현재 이와 관련하여 한반도 활성단층의 분포와 지진재해 위험도에 대한 대형 국책과제가 국립재난안전연구원과 행정안전부 등의 감독하에 진행 중임.
- 지하에 유체를 주입하거나 추출하는 과정에서 지각 내의 응력변화가 발생하여 일어날 수 있는 유발지진은 셰일가스 개발사업에서 지하 암반에 고압의 수압(통상 50~60MPa 이상)을 가하여 인공적 단열(fracture)을 만드는 과정 중 발생하기도 함.
- 미국 중부 오클라호마주 프라하(2011년, Mw=5.7)와 동부 텍사스주(2012년, Mw=4.9) 폐수 심부 지중주입처리 과정이나, 대기 중 이산화탄소 저감을 위하여 이산화탄소를 포집 후 액화시켜 심부층에 주입하는 지중 저장 과정에서도 유발 지진이 발생 가능함.
- 지하 에너지원의 이용, 지하자원과 지하 공간의 활용도 증가에 따라 자연지진 외에도 다양한 원인의 유발 또는 촉발 지진이 향후 급속 증가할 것으로 전망되며, 이는 과학적, 공학적, 행정적 차원뿐 아니라 국민의 기본권 보전의 관점에서 중요한 이슈임.
- 우리나라도 지금까지 추구해온 자연지진 방재의 틀을 넘어 현대 문명과 기술의 발달에 의한 다양한 형태와 원인의 잠재적 지진을 과학적으로 이해하고, 국가 차원의 선제적 방재와 관리를 전담할 수 있는 전문 과학기술 인력의 수급과 행정체계 구축이 시급함.
- 지각 암석의 구성 물질, 지진 후보지 천부 및 심부 지각 물성, 단층의 특성에 대한 이해, 천부 및 심부 지각의 유체와 주입하는 유체의 특성과 주입 압력 등에 따른 물-암석 반응, 단층대 마찰특성 변화, 단열의 추가 발달 등을 종합하여 방재 달성이 가능함.
- 지진이 다양한 원인으로 발생할 수 있다는 점에서 지금까지 국내외에서 추진되고 개발된 기존의 수동적 지진방재 개념의 틀을 넘어 능동형 지진 위험 저감 방재 개념을 포함한 지진 전반에 대한 통합적 사고를 갖춘 지진방재 전문인력 양성이 목표임.
- 학위취득에 필요한 24학점 중 행정안전부 제시 필수 지질과학 및 지구물리학 전공(9학점)과 방재안전(3학점)을 반드시 이수하여야 함. 필수 교과목은 본 교육연구단 소속 대학원에 이미 개설되어 있으며, 방재안전 과목은 고려대학교 건축사회환경공학과에 개설됨.
- 2019년 2학기에 석사과정 3명, 박사과정 1명, 2020년 1학기에 석사과정 5명, 박사과정 1명, 2020년 2학기에 석사과정 4명, 박사과정 1명, 2021년 1학기에 석사과정 10명, 박사과정 2명의 대학원생이 지진전문인력 양성사업의 지원을 받고 있음.

표 2-5 지진분야 전문인력 양성 프로그램 교과목 개설 현황

구분	교과목명	주요 내용	개설 시기
기초 공통	구조지질학특론 및 실험	취성 및 연성 구조의 형성기구와 그 해석	1학기
	수리지질학특론	천부 지각의 지하수 분포와 이동의 이해	2학기
	암석성인론	화성암과 변성암 지각의 성인과 물성의 이해	1학기
	지구물리학특론	지구내부구조의 물리적 이해	2학기
	지질공학특론	지하구조물의 설계 및 안전성 평가에 필요한 제반 이론	1학기
	토양지구화학특론	천부 지각 토양의 물성과 특징의 이해	2학기
	퇴적환경학특론	천부 지각 지층의 퇴적환경 해석	2학기
전공 과목	동아시아 지구조발달론	동아시아의 지각구조 발달과 이해	2학기
	야외지구물리학	지각 물리현상의 현장조사	1학기
	연속체역학	연속체 역학의 기본 개념과 구조지질학에서의 응용	2학기
	재난관리론/안전관리론	재난의 효율적 관리 / 재난 발생시 체계적인 대처와 관리	1 / 2학기
	지진단층역학	지진발생과 관련한 단층의 동력학적 기작에 대한 이해	1학기
	지질정보시스템	각종 지질자료의 효율적 분석을 위한 DB 구축 및 맵핑 기법	1학기
	지하수모델링	천부 지각의 지하수 유동 모델	1학기
	환경지구물리학특론	천부 지각의 지하수 현장조사	2학기
	연구지도	학위 논문의 연구와 지도	1 / 2학기

- 천부지권 연구클러스터: 사회문제 해결을 위한 교육 현황 및 운영 계획

- 지질재해의 근본 원인을 이해하고 효율적으로 관리할 수 있는 전문인력에 대한 수요가 관련 연구소 및 국가기관을 중심으로 증가할 것으로 예상되므로, 지질재해 전반에 관련된 기본적 과학적 이해를 갖춘 전문인력 양성을 위한 교육이 필수적임.
- 다음은 천부지권 연구클러스터가 사회문제 해결을 위하여 개설한 교과목 현황으로 지중환경 (토양·지하수·암반) 오염 조사·평가·복원과 산사태 등 지질재해 발생 원인과 대응 방안에 대한 최신 이론과 기술개발 단계를 체계적으로 교육하고 있음.

표 2-6 천부지권 연구클러스터의 사회문제 해결과 관련된 교과목 개설 현황

구분	교과목명	주요 내용	개설 시기
기초 공통	지구화학특론 및 실험	지각물질 내 각종 원소의 함량, 분포, 분산 및 이동 특성과 화학반응에 대한 전반적 이해	2학기
	수리지질학특론	포화 및 불포화대에서의 수리특성 파라미터의 공간적 변화도와 모델링 접근방법	2학기
	오염물질운송론	지질 매체에서 오염물질의 이동 현상에 관한 이론	2학기
	토양지구화학특론	토양 및 지표에서 일어나는 지구화학적 기본원리 연구	1학기
	지중생지구화학	지중환경에 존재하는 금속, 방사성핵종, 유기오염물질의 변환과 이동성을 조절하는 다양한 생지구화학적 작용에 대해 이해	1학기
전공 과목	동위원소지구화학	안정 및 방사성 동위원소의 분포 및 변화 원리 응용	1학기
	지하수모델링	지하수 수치모델링의 유한차분법과 유한요소법 적용	1학기
	오염물질모델링	오염물질 운송에 관한 수치해석학적 접근 방법 및 이론	1학기
	지하수오염복원	탄화수소계 유기화합물 특히 BTEX와 같은 오염물질로 오염된 지하수 환경에 대한 복원기법에 대하여 학습	1학기
	침출수 및 사면처리공학	침출수와 사면안정에 대한 수리분석학적 이해	1학기
	광물-물 계면지구화학	광물-물 계면에서 일어나는 물리적 및 화학적 변화 양상에 관한 지구화학적 이해	1 / 2학기
	폐기물처리지질공학	폐기물 처리와 저장에 관한 지질공학적 이해	1학기
	토양환경지구화학	토양환경에서 발생하는 물리/화학적 반응에 관한 지구화학적 연구	2학기
	생지구화학물질순환	지구시스템에서 탄소, 질소, 황 등 주요 물질들의 생지화학적 순환 과정에 대한 이해	2학기
	지구미생물학특론 및 실험	지질학적, 지화학적 현상에 있어 지구미생물의 역할을 이해하기 위한 최신 이론과 분석기법에 대해 학습함	2학기

- 향후 **국제적 수준의 대학원 교육**을 위해 참여교수들은 교육 혁신과 헌신으로 핵심 기초지식과 사회 문제 해결과 연계된 응용지식을 폭넓게 교육할 수 있도록 지속해서 자기혁신 및 최선의 교육 콘텐츠를 개발하고자 함.
- 아울러, 국제적 감각을 갖춘 글로벌 지구환경 인재를 양성하기 위하여 교육과 연구의 과정에서 해외 대학, 연구원, 기업체 등과의 교류를 확대하고 이를 최대한 활용한 비교과 교육을 강화하고자 함.
- 지구환경과학 인재양성의 터전인 “메디힐 지구환경관”이 2020년 6월 완공되어 대학원 전용 강의실과 첨단 멀티미디어 시설을 적극적으로 활용하여 강의의 질을 극대화하였고, “첨단기기실”과 연계하여 대학원 실험수준의 향상을 추진할 예정임.
- 또한, 최근 온라인강의의 사회적 필요성에 맞추어 2020년 가을학기부터 매년 최소 1개 이상의 온라인강의를 신규 개설하고 최신 멀티미디어 시설과 기술을 활용한 차세대 온라인강의법을 개발할 예정임.

- 대기환경 연구클러스터: 사회문제 해결을 위한 교육 현황 및 운영 계획

- 지역적 규모의 대기오염 및 전 지구적 규모의 온난화 모두 인류의 활동에 의한 대기 조성 변화에 기인한 것으로 대기화학은 이러한 대기 중 화학물질들의 생성과 소멸 기작을 규명하고 변화를 진단·예측하며 그 영향을 평가하는 학문임.
- 대기환경 연구클러스터가 사회문제 해결을 위하여 개설한 교과목 현황은 아래와 같으며, 현재 황사, 미세먼지, 온실가스 발생 원인과 대응 방안에 대한 최신 이론을 체계적으로 교육하고 있음.
- 기존 국가과제를 통해 수행해온 활발한 국제 공동 협력을 확대하여 해외 석학들과의 대학원생교환제도 정착, 공동지도교수제 등 실질적 차원의 국제공동연구 프로그램을 활용한 비교과 교육을 강화하고자 함.

표 2-7 대기환경 연구클러스터의 사회문제 해결과 연관된 교과목 개설 현황

구분	교과목명	주요 내용	개설 시기
기초 공통	대기화학특론	대기의 주요 조성과 이를 결정하는 물리 화학적 과정에 대한 이해	1학기
전공 과목	대기화학분석	대기의 주요 미량성분을 측정하는 이론, 방법, 기기에 대한 이해	1학기
	대기화학모델링	대기의 화학 현상을 이해하고 예측하기 위한 모델의 이해	2학기
	생지구화학물질순환	지구시스템에서 탄소, 질소, 황 등 주요 물질들의 생지화학적 순환 과정에 대한 이해	2학기
	대기자료분석	대기의 측정 및 모델자료를 해석하는데 필요한 방법에 대한 이해와 실습	2학기
	대기오염	실내 공기오염, local 또는 regional 대기오염 현상 및 그 생성 과정과 개선 방안에 대한 이해	1학기

⇒ 다음은 4단계 BK21사업 이후(2020.09~) 본 교육연구단이 초등학생에서부터 전문인력 등 수강생들을 대상으로 실시한 **비교과 프로그램 참여 실적 현황**으로 다양한 사회문제 해결을 위한 기초교육 및 보수교육에 적극적으로 참여하였음.

표 2-8 사회문제 해결과 연관된 비교과 프로그램 참여 현황

연 번	프로그램정보			참여구성원 정보		구성원 참여 정보		
	프로그램명	개 설 횟 수	운 영 시 간	이 름	구 분	참 여 기 간 및 일 자	참 여 횟 수	참 여 구 분
1	광남고등학교 수과학융합특강	1회	6h/ 회	윤성택 조호영	전임 교원	2022.07.21	1	교수자
2	운영여고 초청특강(지속가능한 인 류와 지구환경과학)	1회	3h/ 회	윤성택	전임 교원	2022.04.06	1	교수자
3	불교환경연대 초청특강(토양지하 수환경과 기후위기)	1회	3h/ 회	윤성택	전임 교원	2022.07.02	1	교수자
4	제2회 K-CCUS 춘계학술대회 초청 강연(에너지전환과 CCUS의 필요 성)	1회	6h/ 회	윤성택	전임 교원	2022.05.26	1	교수자
5	2022 토양-지하수 청소년 여름캠프 (환경부 주관)	4회	2h/ 회	권만재	전임 교원	2022.07.28.~ 2022.07.29.	1	교수자
6	금촌고등학교 과학자 초청 특강 (미생물 지구화학)	1회	2h/ 회	권만재	전임 교원	2022.07.07.	1	교수자
7	온라인 미세먼지 전문가 심층 토 론회: BVOCs (관측)	1회	1h/ 회	이미혜	전임 교원	2022.07.07.	1	교수자
8	하나고등학교 과학학교(지구환경 의 정교한 평형)	1회	2h/ 회	이미혜	전임 교원	2022.6.18	1	교수자
9	환경한림원 환경리더스 포럼: 온실 가스 감축을 위한 IPCC 6차 보고 서의 의미와 대응방향(토론패널: 지구환경적 측면)	1회	1h/ 회	이미혜	전임 교원	2022.5.26	1	교수자
10	제 1회 지구환경과학과 고고학의 창의 융합 포럼 (Beyond The Traditional Study & Knowledge - ‘소통과 공감’)	1회	4h/ 회	이영재	전임 교원	2022.04.28	1	개최 및 진행자
11	KIST 연구자/대학원생을 위한 온 라인 미세먼지 특강(질산염의 생 성기작)	1회	2h/ 회	이미혜	전임 교원	2022.1.18	1	교수자
12	한국연구재단 금요일에 과학터치 2021년 토요과학강연회(미세먼지 생성: 지구 대기의 정교한 화학 튜 닝)	1회	2h/ 회	이미혜	전임 교원	2021.10.30	1	교수자
13	KBS 라디오 정관용 지금 이사람 (미세먼지와 오존)	1회	1h/ 회	이미혜	전임 교원	2021.7.6	1	교수자
14	WISSET 클럽하우스 요즘과학이야 기(과학_미세먼지)	1회	1h/ 회	이미혜	전임 교원	2021.4.27	1	교수자
15	과학영재교육원 과학영재 창의연 구(R&E) 지원센터 연구성과공유회 (대기환경과 미세먼지의 과학적 이해)	1회	2h/ 회	이미혜	전임 교원	2021.1.26	1	교수자
16	2020년도 고려대 안암동 캠퍼스타 운과 용문고등학교 연합 대학-고 교 연계 지역인재 육성 사업(편광 현미경 활용의 이론과 실습)	4회	4h/ 회	서지은	BK21 비전 임교 원	2020.8.11~2 020.8.13	4	교수자

17	한성과학고등학교 과학영재 창의 연구	10회	6h/회	김형수	전임교원	2021.07.15.~ 2021.08.13. 매주목,금	10	교수자
				이정민	대학원생	2021.07.15.~ 2021.08.13. 매주목,금	10	조교
18	2021 토양·지하수 청소년 여름캠프 (환경부 주관)	1회	4h/회	권만재	전임교원	2021.07.31.	1	교수자
19	2021 한국자원공학회 제116회 춘계학술발표회 초청특강(제목: 탄소 중립의 개념과 에너지전환 및 CCUS 추진전략)	1회	0.5h/회	윤성택	전임교원	2021.05.21.	1	교수자
20	2021 춘계 지질과학기술 공동학술대회 초청특강(제목: 환경지구화학 연구 동향과 전망: 지중환경을 중심으로)	1회	0.5h/회	윤성택	전임교원	2021.06.23.	1	교수자
21	대구과학고등학교 국내현장연구 (물과 토양 내 유기오염물질의 분석)	4회	8h/회	이순재	전임교원	2021.07.05.~ 2021.07.08.	4	교수자
22	대구과학고등학교 국내현장연구 (제목: 카르스트 지형의 형성에 있어 지하수의 역할: 국내 돌리네 습지 현장연구)	3회	8h/회	윤성택	전임교원	2020.12.28.~ 2020.12.31.	3	교수자
23	2020 세계토양의날 기념 심포지움 (환경부 주관)	1회	0.5h/회	윤성택	전임교원	2020.12.04.	1	교수자
24	문영여자고등학교 초청특강(제목: 지구시스템과 물환경)	1회	3h/회	윤성택	전임교원	2020.11.02	1	교수자
25	“제주도 지하수 실무 전문가 양성 프로그램”의 전문가 특강 프로그램	1회	2h/회	윤성택	전임교원	2020.12.03	1	교수자
26	한국가스안전공사 주관 “CCS 국내외 표준 및 기술 동향 세미나”	1회	1h/회	윤성택	전임교원	2020.11.10.	1	교수자
27	화정고등학교 국내현장연구 멘토링 (유류오염 토양세정 효율 평가)	4회	4h/회	이순재	전임교원	2020.09.20.~ 2020.09.23.	4	교수자

2. 인력양성 계획 및 지원 방안

2.1 최근 1년간 대학원생 인력 확보 및 배출 실적

〈표 2-1〉 교육연구단 소속 학과(부) 참여대학원생 확보 및 배출 실적

(단위: 명)

대학원생 확보 및 배출 실적					
실적		석사	박사	석·박사 통합	계
확보 (재학생)	2021년 2학기	25	10	4	39
	2022년 1학기	23	11	5	39
	계	48	21	9	78
배출 (졸업생)	2021년 2학기	4	0		4
	2022년 1학기	5	1		6
	계	9	1		10

2.2 교육연구단의 우수 대학원생 확보 및 지원 계획



그림 2-9 교육연구단 우수 대학원생 확보 및 지원 계획

2.2.1. 우수 대학원생 확보 계획 및 실적

- 2015~2019년 5년 동안 석사과정 58명, 박사과정 20명, 석박사 통합과정 2명 등 총 80명의 대학원생을 신규 확보하여 전임교수 1인당 연평균 약 1.6명 이상의 대학원생을 신규 확보한 것으로 동 분야 국내외 대학원생 확보 수준 이상었음.

⇒ 2022학년도 1학기 본 교육연구단은 석사과정 23명, 박사과정 11명, 석박사 통합 5명 등 총 39명의 대학원생이 입학하여 전임교수 1인당 연평균 약 3.9명의 신규 대학원생을 확보하여

2015~2019년 대비 약 240% 증가하였음. 대학원생 수의 양적 증가뿐만 아니라 박사과정과 석박사 통합과정생 수의 괄목한 만한 성장을 이루어 연구중심대학으로 기반을 확고히 하고 있음.

- 고려대학교 대학원 차원의 학사관리 시스템 개선: 우수학생의 조기 확보(입학), 학위과정 변경 유연화(재학), 수료연구생 지원 확대(수료), 학위논문 연구지원 및 졸업 연한 합리화(졸업) 등으로 선진 연구중심대학으로 도약을 도모하고 있음.

⇒ 고려대학교 대학원 차원의 우수 대학원생 확보를 위한 학사관리 시스템 개선의 효과로 본 교육연구단의 신규 대학원생 확보가 가속화되고 있음.

- 또한, 고려대학교 대학원은 세계적 연구중심대학에서 운영 중인 TA·RA 제도를 벤치마킹하여 대학원생이 강의 및 연구 활동에 적극적으로 참여하는 개념의 Graduate Teaching Affiliate (GTA), Instructor-G 제도 등을 도입하고 있음.

⇒ 고려대학교 대학원 차원의 우수 대학원생 지원 제도 정비와 확충이 본 교육연구단 신규대학원생 확보 계획과 시너지효과를 낼 것으로 기대됨.

- 교내·외 우수 학부생 발굴

- 우수 대학원 신입생에게 Admission Offer Package 제시: 대학원과 교육연구단이 대학원 과정 동안 지원할 금전적(성적 장학금, 교육 조교, 연구조교 급여 등) 및 비금전적 혜택을 예비 우수 대학원생에게 대학원 입학 시 제시하여 우수 대학원생 확보를 강화할 예정임.

⇒ 4단계 BK21사업 이후(2020.09~) 본 교육연구단은 4단계 BK21지원금을 포함한 장학금, 조교장학금, 연구조교 급여 등을 지급하고 있으며 참여대학원생은 등록금대비 65% 이상의 장학금수혜와 동시에 조교 급여를 수령하고 있음.

- 대학원 프로그램 우수성 홍보: 교수, 대학원생, 학부생이 참여하는 교내 대학원생 우수 연구결과 발표회를 매년 개최하여 모범 사례 공유와 융합 연구 활성화를 도모하고 참여 학부생들의 연구에 관한 관심을 유도하고자 함. 교외 우수 대학원생 유치를 위해 교육연구단 홍보 비디오, 소개자료 제작과 함께 국내 대학원생 모집 사이트에 본 교육연구단 단위의 모집 광고를 게재하고자 함.

⇒ 지난 2년간 코로나19 장기화로 인해 비대면 수업과 회의에 많은 시간과 노력이 투입되어 당초 계획하였던 우수 연구결과 발표회를 갖지 못했으나 3차년도에는 온라인 설명회 등을 개최하고자 함.

⇒ 본 교육연구단은 2021년과 2022년 춘계대한자원환경지질학회에서 교육연구단 홍보를 하였으며, 교육연구단 소속 참여교수 연구실 단위별로 대한지질학회 등에 홍보를 실시하였음(2021.08, 2022.08).

- 학부연구생 제도 활용: 본교 학부 3, 4학년 학생들이 참여교원 연구실에서 인턴으로 연구 경험을 쌓는 기회를 제공하는 학부연구생 제도를 활용하여 우수 학부생을 조기에 발굴하고 있으며 동시에 학위취득 기간 장기화도 방지하게 되었음. 이러한 학부연구생 제도의 장점을 적극 홍보·활용하여 우수 대학원생 유치를 확대하고 있음.

⇒ 본 교육연구단은 지구환경과학과 3~4학년 학부연구생을 대상으로 **진리장학금 프로그램(지구 시스템 기반의 지구환경과학 심화교육)**을 운영하여 매년 학부연구생 약 10명이 지원하고 있음. 2020년 2학기 학부연구생 중 4명이 대학원 진학을 결정하여 본 제도가 효과적임을 입증함.

⇒ 또한 교육연구단 소속 참여교수 연구실별로 학부연구생제도를 운영하여 **우수 학부생을 조기에 발굴**하고 대학원 진학 시 필요한 연구역량을 향상하고 있음.

표 2-10 본 교육연구단 학부연구생 현황

학기	학부 연구생	진리장학금 참여	학기	학부 연구생	진리장학금 참여	학기	학부 연구생	진리장학금 참여
2020년 2학기	문수현	○	2021년 1학기	최재훈	○	2021년 2학기	홍준기	○
	오유선	○		김태운	○		임정아	
	서찬영	○		홍수현			차수지	
	송호준	○		안현태	○		김나영	
	정혜정	○		이명현	○		김태윤	○
	김주희	○		홍준기	○		홍서현	
	배민서	○		김민주	○			
	임정아	○		이휘재	○			
	차수지	○		오승준	○			
	홍준기			서보성				
2022년 1학기	정혜정	○	2022년 2학기					
	홍준기			강연진				
	강연진			장윤서	○			
	장윤서	○		손혜민	○			
	손혜민	○		김창영	○			
	서보성	○		조성우	○			
	서현수	○		이창훈				
	김창영	○		최이준				
	조성우	○		김나경				
	홍서현	○		홍서현	○			
	이용웅			김태윤				
	이창훈			서현수	○			
	최이준			안현태				
	김나경							

- 대학원생 장학제도 확충

- 우수한 교내장학금 제도 확충: 본 교육연구단에서는 교내외 각종 장학금과 연구비 확보를 위해 노력하고 있으며, 2015~2019년 5년간 전임교원 1인당 연평균 약 4.5억 원의 연구비를 확보하여 연간 대학원생 약 20명 이상의 학비와 인건비를 확보하였음.
 ⇨ 4단계 BK21사업 이후(2020.09~) 전임교원 1인당 연간 약 3.78억 원의 연구비를 수주하여 본 교육연구단 소속 대학원생들의 학비와 인건비를 확보함.
- 고려대학교 대학원에서 시행하는 교내장학금 중 수업료를 50~100% 지원받을 수 있는 행정조교, 연구조교, 실험조교 제도와 본교 졸업특대생이 대학원에 진학하는 경우 수업료와 입학금을 100% 지원하는 졸업특대생 장학금 등을 적극적으로 활용하고자 함.
 ⇨ 대학원 차원에서 정비하고 있는 조교 지원 제도가 계획대로 추진되어 향후 본 교육연구단으로 진학할 우수 대학원생 확보에 긍정적인 영향을 미치고 있음.
- 본 교육연구단 소속학과가 확보한 각종 장학금과 참여교수진 연구비 인건비 폴링제도를 신설하여 다수의 석박사과정 대학원생들이 안정적으로 학업과 연구에 매진할 수 있는 여건이 확보되었으며 이에 우수 대학원생의 유치와 지원을 하고자 함.
 ⇨ 고려대학교 대학원과 산학협력단이 공동으로 협력하여 지도교수 인건비 폴링제도를 보완하고 참여교수진 연구비 인건비 폴링제를 정비하고 있으며, 향후 보다 더 안정적으로 참여대학원생들에게 인건비 지급이 가능할 것으로 사료됨.

- 우수 외국인학생 유치

- 우수 해외 대학원생 유치: 국가별, 지역별 특성을 고려한 차별화된 협력, 학교 차원에서 유학박람회 참가, 외국 정부와의 MOU 체결을 통한 국비 유학생 유치, U21, APRU 등 기존 해외 네트워크 및 해외학회 academic job board 구인 광고 등의 적극 활용으로 최상위권 해외 대학원생을 확보하려 계획함.

⇒ 코로나19 장기화로 인한 영향에도 불구하고 적극적 유치활동과 광고를 통해, 4단계 BK21사업 이후(2020.09~) 6명의 해외 우수 박사과정 학생을 선발하였음.

표 2-11 본 교육연구단 4단계 BK21사업 이후(2020.09~) 외국인 학생 입학 현황

이름	국적	현황	지도교수
Mr. Yidan Zhang	중국	2020.09 입학, 박사과정 재학 중	권만재
Mr. Franklin Enow Arrey	카메룬	2021.03 입학, 박사과정 재학 중	윤성택
Ms. Rizka Amalia	인도네시아	2022.03 입학, 박사과정 재학 중	김성룡
Ms. Sijing Chen	중국	2022.03 입학, 석사과정 재학 중	이미혜
Ms. Moqian Wang	중국	2022.09 석사과정 입학예정	권만재
Ms. SAVIC Anja	세르비아	2022.09 박사과정 입학예정	이미혜

2.2.2 우수 대학원생 지원 계획 및 실적

- 비교과 커리큘럼 강화

- 석·박사과정별 글로벌 교육역량을 강화하고 학생 중심의 교육지원 확대를 위하여 대학원생의 학업 주기를 고려한 맞춤형 비교과 프로그램을 확대 운영하여 교육연구단 참여대학원생들이 장차 우수 연구자로서 발전할 수 있는 환경을 조성하고 있음.

⇒ 아래는 4단계 BK21사업 이후(2020.09~) 실시된 대학원생 교육역량 강화를 위한 중·단기 맞춤형 비교과 프로그램 10건에 대한 상세 기술 내용임.

표 2-12 석·박사과정 글로벌 교육역량 강화를 위한 비교과 프로그램 수행 현황

연 번	프로그램정보			참여구성원 정보		구성원 참여 정보		
	프로그램명	개설 횟수	운영 시간	이름	구분	참여 기간 및 일자	참 여 횟 수	참여 구분
1	지구통계학 세미나	12회	2h/ 회	이순재	전임 교원	2022.07~ 2022.08.	12	교육책임자
2	산학연 연계 세미나(미세먼지 특성화 대학원)	9회	2h/ 회	이미혜	전임 교원	2021.11~ 2022.06	9	교육책임자
3	현장실습(미세먼지 특성화 대학원)	4회	8h/ 회	이미혜	전임 교원	2022.04~ 2022.05	4	교육책임자
4	인턴십 프로그램(미세먼지 특성화 대학원)	4회	7일/ 회	이미혜	전임 교원	2022.02~ 2022.07	4	교육책임자
5	GIS 및 AHGW 기술 교육	12회	2h/ 회	이순재	전임 교원	2022.07~ 2022.08.	12	교육책임자
6	수질 오염 분석 실무 교육 (ICP-OES)	2회	8h/ 회	이순재	전임 교원	2022.08	1	교육책임자
7	제1회 지구환경과학과 고고학의 창의 융합 포럼	1회	4h/ 회	이영재	전임 교원	2022.04.28.	1	연구책임자
8	지중환경 오염 진단 기술 교육	8회	5h/ 회	조호영	전임 교원	2021.08.13.~ 2022.09.30	1	연구책임자
9	지하수 및 하천수 유동 모델링	36회	2h/ 회	이순재	전임	2021.07~	1	교육책임자

	교육		회		교원	2022.02.		
10	수질 및 토양 오염 분석 실무 교육	4회	8h/회	이순재	전임 교원	2021.07.05.~ 2021.07.08.	1	교육책임자
11	SEM연구단 전문가세미나	1회	2h/회	조호영	전임 교원	2021.07.16.	1	연구책임자
12	SEM연구단 동계워크숍 및 자문 회의	1회	5h/회	조호영	전임 교원	2021.02.05.	1	연구책임자
13	CCS 연구단 워크숍	1회	8h/회	윤성택	전임 교원	2020.12.10.~ 2020.12.11.	1	연구책임자

⇒ 아래는 2021년부터 7월부터 진행 중인 대학원생 교육역량 강화를 위한 **맞춤형 비교과 프로그램 3건**에 대한 교육 내용으로 2022년까지 실시될 예정이며, 대학원생 만족도를 포함한 성과 분석을 통해 향후 프로그램을 확대 운영하고 추가 개발하고자 함.

4단계 BK21 고려대학교 지구환경과학교육연구단 연구실무교육-001

- 1. 개요**
- 이수과목명 : 지구환경 오염 관련 기술 교육
 - 목 적 : 4단계 BK21 고려대학교 지구환경과학교육연구단 소속 대학원생 학생을 대상으로 지구환경 오염 관련 기술 교육을 통해 사회문제 해결과 관련 산업 인도를 위한 기술적 인력 기양 지원
 - 장 소 : 온라인 교육(Zoom) 상설에 따라 대학원 교육으로 진행 가능함
 - 시 간 : 2021-2022년 총 4회 (화요일 4시간)
 - 교수자 : 화과 교수인 국내 학연상 관련 전문가
 - 대 상 : 4단계 BK21 고려대학교 지구환경과학교육연구단 소속 대학원생

2. 교육 계획표

회차	시 간	내 용
1	2021.12.19 (화) 13:30~14:30	
2	2022.01.09 (화) 13:30~14:30	■ 지구환경 오염 관련 기술 교육
3	2022.01.17 (화) 13:30~14:30	■ 대기오염
4	2022.01.25 (화) 13:30~14:30	■ 지구환경 오염 관련 기술 교육
5	2022.02.01 (화) 13:30~14:30	■ 대기오염
6	2022.02.08 (화) 13:30~14:30	■ 대기오염
7	2022.02.15 (화) 13:30~14:30	■ 대기오염
8	2022.02.22 (화) 13:30~14:30	■ 대기오염

- 3. 기 타**
- 교육주최 : (주)한국지식산업연구원
 - 참여료 : 해당과목에 대한 학비 지원 (문의: 02-250-4886, education@krisa.ac.kr)

4단계 BK21 고려대학교 지구환경과학교육연구단 연구실무교육-002

- 1. 개요**
- 이수과목명 : 지리정보 시스템 구축 기술 교육
 - 목 적 : 4단계 BK21 고려대학교 지구환경과학교육연구단 소속 대학원생 학생을 대상으로 지리정보 시스템 구축 기술 교육을 통해 사회문제 해결과 관련 산업 인도를 위한 기술적 인력 기양 지원
 - 장 소 : 온라인 교육(Zoom) 상설에 따라 대학원 교육으로 진행 가능함
 - 시 간 : 2021-2022년 총 4회 (화요일 4시간)
 - 교수자 : 화과 교수인 국내 학연상 관련 전문가
 - 대 상 : 4단계 BK21 고려대학교 지구환경과학교육연구단 소속 대학원생

2. 교육 계획표

회차	시 간	내 용
1	2021.12.19 (화) 13:30~14:30	■ 지리정보 시스템 구축 기술 교육
2	2022.01.09 (화) 13:30~14:30	■ 지리정보 시스템 구축 기술 교육
3	2022.01.17 (화) 13:30~14:30	■ 지리정보 시스템 구축 기술 교육
4	2022.01.25 (화) 13:30~14:30	■ 지리정보 시스템 구축 기술 교육
5	2022.02.01 (화) 13:30~14:30	■ 지리정보 시스템 구축 기술 교육
6	2022.02.08 (화) 13:30~14:30	■ 지리정보 시스템 구축 기술 교육
7	2022.02.15 (화) 13:30~14:30	■ 지리정보 시스템 구축 기술 교육
8	2022.02.22 (화) 13:30~14:30	■ 지리정보 시스템 구축 기술 교육

- 3. 기 타**
- 교육주최 : (주)한국지식산업연구원
 - 참여료 : 해당과목에 대한 학비 지원 (문의: 02-250-4886, education@krisa.ac.kr)

4단계 BK21 고려대학교 지구환경과학교육연구단 연구실무교육-003

- 1. 개요**
- 이수과목명 : 수질 및 토양 오염 분석 실무 교육
 - 목 적 : 4단계 BK21 고려대학교 지구환경과학교육연구단 소속 대학원생 학생을 대상으로 수질 및 토양 오염 분석 기술 교육을 통해 사회문제 해결과 관련 산업 인도를 위한 기술적 인력 기양 지원
 - 장 소 : 온라인 교육(Zoom) 상설에 따라 대학원 교육으로 진행 가능함
 - 시 간 : 2021-2022년 총 4회 (화요일 4시간)
 - 교수자 : 화과 교수인 국내 학연상 관련 전문가
 - 대 상 : 4단계 BK21 고려대학교 지구환경과학교육연구단 소속 대학원생

2. 교육 계획표

회차	시 간	내 용
1	2021.12.19 (화) 13:30~14:30	■ 수질 및 토양 오염 분석 실무 교육
2	2022.01.09 (화) 13:30~14:30	■ 수질 및 토양 오염 분석 실무 교육
3	2022.01.17 (화) 13:30~14:30	■ 수질 및 토양 오염 분석 실무 교육
4	2022.01.25 (화) 13:30~14:30	■ 수질 및 토양 오염 분석 실무 교육
5	2022.02.01 (화) 13:30~14:30	■ 수질 및 토양 오염 분석 실무 교육
6	2022.02.08 (화) 13:30~14:30	■ 수질 및 토양 오염 분석 실무 교육
7	2022.02.15 (화) 13:30~14:30	■ 수질 및 토양 오염 분석 실무 교육
8	2022.02.22 (화) 13:30~14:30	■ 수질 및 토양 오염 분석 실무 교육

- 3. 기 타**
- 교육주최 : (주)한국지식산업연구원
 - 참여료 : 해당과목에 대한 학비 지원 (문의: 02-250-4886, education@krisa.ac.kr)

- 기본적인 정보검색과 논문 작성법은 고려대학교 도서관이 주관하는 “도서관 이용자 교육”에서, 연구 학술 문서 영작문 및 교정, 영문이력서 작성 상담 서비스는 국제어학원에서 운영하는 “IWS (International Writing Service)”에서 제공하고 있음.
- 예비 교수자에게 장래의 강의에 대비하여 교수-학습 모형 및 교수법을 교육하는 EMI (English Mediated Instruction)을 교수학습개발원에서 제공하고 있으며, 향후 박사 졸업논문 제출 이전 “박사과정 대상 교수법 비교과 프로그램” 필수 이수를 추진함.

- 영어 논문작성 지도 및 지원 강화

- 교육연구단 기초공통과목 강의마다 팀페이퍼(team paper) 작성을 권장하여 석사과정 1~2학기 학생들은 강의와 연계된 내용을 작성하고, 석사과정 3~4학기 학생들은 본인 논문작성의 틀에서 영어로 팀페이퍼를 작성하여 국제학술지 게재로 연계되도록 하였음.
- 박사과정은 국제저명학술지 게재를 가정하여 영어 팀페이퍼 작성을 기본으로 하며 초안 작성 후 논문의 전개, 표현방법, 논지의 오류 등 세부사항은 강의 담당 교수와 지도교수가 1:1 지도로 보완하여 실질적으로 국제학술지 논문 투고와 연계시켰음.
- 매 학기 개설되는 ‘대학원 세미나’ 과목에서 영어 논문작성법, 연구윤리교육, 국내 학술대회와 해

외 학술대회 논문 구두 발표법과 포스터 발표법 등에 대하여 세부 전공 분야에 따라 교육연구단 전임교원이 팀티칭으로 지도하고 있음.

- 본 교육연구단에서 2015년 이후부터 현재까지 제출한 모든 학위논문은 100% 영어로 작성하여 향후 국제저명학술지 논문게재가 쉽도록 지도하고 있음.
- 고려대학교 학교 차원에서 대학원생이 해외 저명학술지에 논문을 투고할 경우 투고 이전에 영어권의 원어민이 영어 논문 교정을 도와주는 프로그램이 운영되고 있어 이를 대학원생이 적극적으로 활용하도록 지원하고 있음.
- 학위과정 중 대학원생이 제1 저자 또는 참여 저자로 발표한 SCI급 국제학술지 논문과 국내 학술지 논문에 대한 보상 강화와 우수논문을 시상하여 연구의 질을 향상하고 선의의 경쟁을 유도함.

- 해외 학회발표, 장단기 연구 프로그램 지원 강화

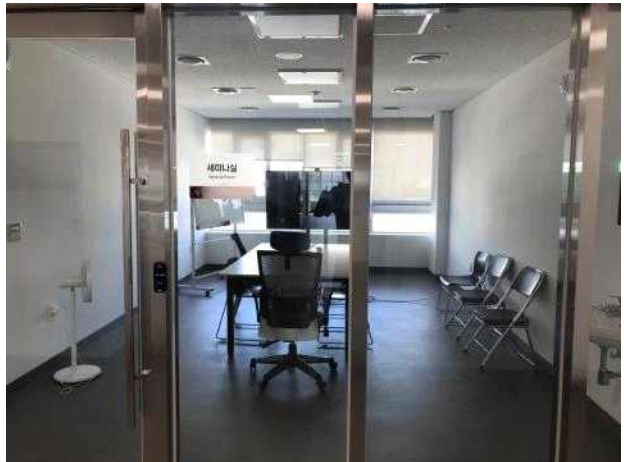
- 해외 저명학술회의와 워크숍 논문 발표 지원: 4단계 BK21사업 이후(2020.09~) 해외 저명학술회의와 워크숍에서 총 16건의 대학원생 논문 발표하였으며, 대학원생의 연구 안목을 넓히고 국제적 연구 분위기 조성을 위하여 국제학술회의 참석을 적극적으로 지원하고 있음.
- 해외 유명 석학을 초빙하거나 국내외 워크숍에 참여한 유명 석학들의 강연에 대학원생들을 참여시켜 최신 연구 동향을 습득하게 하여 연구의 국제적 안목을 확보하도록 하며 동시에 해외 공동연구 등의 인적 네트워크 구축에도 활용하려 함.
- 국제 공동연구 추진: 국내에서 수행하기 어려운 실험과 연구를 해외 교류 대학이나 연구소에서 진행하는 것을 적극적으로 지원하고 있으며, 해외 연구 동향 정보를 파악해 앞으로의 연구 진행과 논문 집필에 활용할 수 있도록 하고자 함.
- 지구환경과학 연구 분야의 특성상 기존 국내의 지질과 환경영역을 뛰어넘어 해외에서 해당 연구 분야의 대표적 연구지역을 선정하여 현재 대학이나 연구소와 공동연구를 진행하도록 교류와 협약을 추진하고 있음.
- 학위과정 중 해외 우수연구실에 단-중기 파견하여 공동연구를 수행하면서 구축한 해외 중견연구인력, 신진연구인력, 대학원생 등과 장기적 안목에서 인적 네트워크를 유지하여 향후 관련 분야에서 중추적인 역할을 할 수 있도록 함.

- 대학원생 연구환경 개선

- 오피스 공간: 학과 단독 건물인 메디힐지구환경관(Mediheal EES Hall; 2020년 6월 준공) 5, 6, 7층에 대학원생 오피스 공간을 마련하여 학업과 연구에 몰두할 수 있는 최적의 환경을 제공함.



- 소규모 세미나실: 메디힐지구환경관 5, 6, 7층에 최대 8인까지 수용 가능한 세미나실을 조성하고 멀티미디어를 설치하여 온라인 회의, 소규모 그룹 회의가 자유롭게 이루어질 수 있도록 함.



- 다목적 휴게 공간: 메디힐 지구환경관 5, 6, 7층에 커피와 다과가 가능한 휴게 공간을 조성하여 대학원생 간의 소통과 머무르고 싶은 공간으로의 혁신을 도모함.



- 교육연구단 인력양성 관련 어려움

⇒ 코로나19가 장기화하는 가운데 교육연구단 연구인력의 핵심인 대학원생들이 겪는 피해가 상당히 컸던 것으로 평가됨. 특히 실험장비·재료 공급 지연으로 연구 수행에 차질을 빚었고, 연구 학업 시간

의 감소로 연구 진행에 어려움이 있었으며, 대부분 국제학회의 취소 및 온라인 전환으로 최신 연구 동향 파악과 연구결과 발표가 불가능하거나 매우 어려웠음.

⇒ 포스트 코로나 시대를 대비하여 대면 교류가 불가피한 경우 온라인 국제공동연구회의, 온라인 국제학회 참석 등 적극적인 언택트 교류를 통해 계획 대비 침체되어있는 국제공동연구의 활성화를 도모하고자 함.

2.3 참여대학원생의 취(창)업의 질적 우수성

구 분		졸업 및 취(창)업현황 (단위: 명, %)						취창업률% (D/C)×100
		졸업자 (G)	비취업자(B)		취(창)업대상자 (C=G-B)	취(창)업자 (D)		
			진학자				입대자	
			국내	국외				
2021년 8월 졸업자	석사	2			0	2	2	100
	박사	0			0	0	0	
2022년 2월 졸업자	석사	4	2	0	0	2	1	0
	박사	0			0	0	0	

2.3.1 교육연구단의 3단계 BK21플러스 취업률 현황

- 본 교육연구단은 지구환경과학 분야 최고급 전문 인재 양성을 핵심 비전으로 삼아 창의적이고 내실 있는 대학원 교육으로 미래의 지구환경과학 핵심 분야를 선도하고 우리 사회의 문제들을 해결할 수 있는 창의적 고급 전문 인력을 꾸준히 육성하고 있음.
- 지난 3단계 BK21플러스 사업 기간 동안(2013년 9월~2020년 8월) 배출한 졸업생은 석사학위자 61명, 박사학위자 12명 등 총 73명으로, 석사학위자 61명 중 21명(34.4%)은 박사과정(국내 13명, 해외 8명)에 진학하고 40명이 취업하였으며(취업률 72.5%), 박사학위자 12명 중 11명이 취업하였음(취업률 91.7%).
- 지난 5년간 배출한 취업 대상 졸업생의 평균 취업률은 76.9%로 이는 일부 졸업생들의 해외 유학 준비 등의 사유로 취업이 미뤄지는 점을 반영함. 최근 국가적 취업난으로 특히 자원 분야 취업이 어려운 상황임을 고려할 때 80%에 근접한 취업률은 우수한 실적으로 판단됨.
- 교육연구단 석사학위자 취업 현황 분석 결과 대부분 전공 분야에 취업하여 석사 졸업생 취업률 향상을 위한 기업 네트워크 구축, 국내 산업체 인턴 프로그램 활용, 산업체 전문가 활용 컨설팅 활성화, 취업과 인성 멘토링 시스템 등의 취업 기회 재고가 효과적임을 보여줌.
- 한편, 교육연구단 차원에서 해외 우수 연구 집단과 학위과정 중 공동연구 및 방문 연구 기회를 제공하는 국제화 네트워크와 국제학술지 논문발표 독려가 국공립 연구기관 등 전문 분야에서 다양한 진로를 개척하는 박사학위자들의 경쟁력을 강화하였음.

2.3.2 4단계 BK21사업 교육연구단의 2020.09-2022.08년 졸업생 취업률 현황

- 최근 2년간(2020.9~2022.8) 본 교육연구단은 석사학위자 17명과 박사학위자 2명 등 총 19명이 배출되었으며, 석사학위자 17명 중 4명(23.5%)은 본 교육연구단 대학원 박사과정에 진학하였고 8명이 취업하였음(취업률 61.5%). 2022.8월 졸업생의 경우 졸업준비로 인해 취업준비 기간이 부족했던만큼 곧 취업이 되리라 기대함.
- 2021년 2월에 졸업한 박사학위자 1명은 본인의 전공 분야와 연관된 해외 전문기관에 취업하여 차세

대 연구 활동의 기반을 굳건하게 다지고 있음.

2.3.3 2021-2022년 졸업생 취업의 질적 우수성

- 다음은 2021년 2월, 8월, 2022년 2월에 졸업하고 취업한 석사학위자와 박사학위자 취업의 질적 우수성에 관한 기술임.

- 도현권 (2021년 2월 박사학위 졸업생, 현 캐나다 University of Guelph 박사후연구원)

- 최근 국내외적으로 탄소중립이라는 과학기술계의 화두가 대두되었다. 이산화탄소 포집, 저장 및 활용기술(CCUS)은 가장 효과적으로 대규모 이산화탄소 배출을 저감하는 핵심기술로 자리매김하였으며, 국내에서도 최근 CCUS를 통한 2050년까지의 감축 목표가 제시되었다. CCS는 Geo-energy 기술의 하나로서 기술적 실현을 위해서는 심부지질환경에 관한 정밀한 이해가 선행되어야 함.
- 도현권 박사는 박사학위 연구에서 지중저장된 이산화탄소의 누출을 모니터링하고 평가하는 소위 CCS 환경관리기술을 주제를 다루었다. 특히, 환경부 지원 ‘이산화탄소 저장 환경관리연구단’ 과제에 지속적으로 참여하여 음성 인위누출시험부지와 국내 이산화탄소 자연유출지(탄산수)를 대상으로 지구화학-지구물리-지질 융합 환경관리기술을 체계적으로 연구하였음. 많은 연구자료를 바탕으로 CCS 환경관리 분야의 논문을 국제학술지에 게재하였음. 동 연구주제는 본 연구단 지질환경 분야의 교육과 연구 분야의 목표와 완전히 부합됨.
- 2021년 2월 박사학위를 취득하였으며(지도교수: 윤성택), 이후 CCS기술 선진국인 캐나다의 University of Guelph의 Morwick G360 Groundwater Research Institute에 Post-Doctoral Fellow로 취업하여 지중환경 및 지하수체를 대상으로 하는 CCS 기술 분야 연구개발에 참여하고 있음.

- 손지원 (2021년 2월 석사학위 졸업생, 현 에코브레인 이노솔루션팀 연구원)

- 석사과정에서 서울의 고농도 미세먼지 발생의 원인인 질산염(NO_3^-) 생성 과정에 관한 연구를 수행함. 우리나라는 2015년 미세먼지 측정이 공식적으로 시작된 후 고농도 사례 빈도가 높아지면 국가와 사회의 문제로 대두되었음. 우리나라와 중국 모두 대기오염 물질의 배출이 감소하고 있는 상황에서 발생하는 고농도 미세먼지 사례는 대부분이 질산염의 증가에 의한 사례로 현재의 과학 수준에서 이해가 안 되는 난제로 이에 관한 집중적인 연구의 필요성이 대두되어 서울의 질산염 생성 과정을 측정하고 모델로 모사하는 연구를 이에 적절한 지역에 위치한 고려대학교 캠퍼스에서 수행함.
- 질산염은 대기로 배출되는 NO_x 의 다양한 산화과정을 통해 생성되는데 이 과정에서 다양한 산화가를 가진 질소산화물이 관여하며 특히 이질반응이 매우 중요한데 이에 대한 이해가 매우 부족함. 따라서 여러 종의 질소산화물을 실시간으로 측정하여 이들의 농도분포와 거동을 이해하는 연구를 수행함. 질소산화물 중 질산염의 전구기체인 질산 (HNO_3)을 측정하고 함께 얻은 미세먼지 조성 분석결과와 함께 서울에서 2018~2019년 초여름에 관측한 고농도 질산염 사례 특성을 세밀하게 분석하였음.
- 2018~2019년 5~6월에 고농도 미세먼지 사례는 먼저 외부 유입에 의해 농도가 상승하였고 이후 공기가 정체되면서 고농도가 발생하는 유입 후 정체 사례로 NO_x 농도가 매우 높은 메가시티인 서울에서 HONO 의 이질생성반응을 통해 생성되는 HNO_3 와의 관련성을 제안하였으며 더불어 혼합고의 변화에 따른 수직 이동의 역할이 중요함을 보임.
- 이러한 연구 경험을 기반으로 에코브레인 이라는 지구환경 관련 연구기반 솔루션을 찾아 제공하는 벤처 업체에서 현재 탄소중립관련 사업을 수행하고 있음. 우리나라뿐 아니라 전 세계가 탄소중립을

향해 산업계의 방향이 조정되고 있는 상황에서 이의 실현을 위한 실질적인 연구를 수행하여 관련 분야에서 적절한 방안을 제시하는 업체의 필요성이 급증하였음. 이는 국가사회 문제해결을 목표로 대기환경 분야의 전문가를 양성하는 본 교육연구단이 사업 목표를 잘 수행하고 있음을 입증하는 우수한 결과임.

- 이선희 (2021년 2월 석사학위 졸업생, 현 한국기계전기전자시험연구원 화학분석센터 연구원)

- 환경지구미생물 연구실(지도교수: 권만재)에서 유기산, 황산염 등 오염물질 유입으로 인한 도심 지중환경 탄소, 철, 황의 생지구화학적 변화 관련 주제로 석사학위 논문연구를 수행한 이선희 석사는 도시지하공간 개발에 따른 토양의 물리적, 화학적, 생물학적 특성을 밝히기 위한 연구를 수행함.
- 본 연구를 통해 Q1급 SCIE 국제학술지 게재하였으며 도심지중환경 내 탄소, 철 황의 생지구화학적 순환과정 이해를 통해 향후 진화과정 예측에 기여하고, 도심지중환경의 오염물질 거동·이동 평가 등과 같은 분야에 활용 가능할 것으로 판단됨.
- 이선희 석사는 석사학위 과정 중에 오염물질을 포함한 지중환경 생지구화학적 평가 과정에서 분석 분야에 관심을 가졌고 학위 취득 후 (재)한국기계전기전자시험연구원(KTC) 화학분석센터에 연구원으로 취업하였음. KTC는 기계, 전기, 전자, 조명, 신재생에너지, 화학, 의료 등의 전 분야에서 국내 산업발전의 역사와 함께해 온 우리나라 대표 시험, 연구, 인증 기관임.
- 대학원에서 습득한 지식과 경험을 바탕으로 취업에 성공한 사례로 문제해결력을 갖춘 전문지식인의 양성이라는 본 교육연구단의 목표와 매우 부합함.

- 윤여원 (2021년 2월 석사학위 졸업생, 현 한국농어촌공사 전남지역본부 환경지질부 직원)

- 지질공학 연구실(지도교수: 조호영)에서 고준위폐기물 처분장 공학적방벽의 완충재로 사용이 고려되는 벤토나이트의 열-수리-화학-역학적 특성 관련 주제로 석사학위 논문연구를 수행한 윤여원 학생은 지구환경과학과 관련된 과학과 공학적 지식을 연계하여 최근 국가적으로 관심이 큰 고준위폐기물 처분장의 안정성 평가에 관한 연구를 수행함.
- 본 연구를 통해 Q1급 SCIE 국제학술지 게재하였으며 처분장 주변환경과 벤토나이트의 상호작용이 벤토나이트 완충재 공학적 특성에 미치는 영향에 대한 이해에 기여하고, 관련 분야에 활용 가능성이 클 것으로 기대되는 연구 결과를 산출함.
- 윤여원 석사는 석사학위 과정 중에 사회문제 해결을 위해 과학과 공학적 지식을 연계하는데 큰 관심을 가져 석사학위 논문 주제 이외에도 환경부 지중환경관리연구단 과제 등 문제해결형 과제에 참여하였고, 학위 취득 후 사회문제해결형 공공기관인 한국농어촌공사 환경지질부에 취업하였음.
- 대학원에서 습득한 지식과 경험을 바탕으로 취업에 성공한 사례로 문제해결력을 갖춘 전문지식인의 양성이라는 본 교육연구단의 목표와 매우 부합함.

- 박초원 (2021년 8월 석사졸업): 2021년 12월 1일 한국기상산업기술원 취업(6급)

- 박초원 석사는 한반도에 발달한 주요 광역단층 중의 하나인 금왕단층의 야외구조와 미구조에 대한 연구를 수행하여 지진 발생시에 일어나는 단층암과 단층암구조 형성과정을 규명하였으며 특히 화강암체에 왜 폭이 넓은 단층이 발달하는 가에 대한 성인적 모델을 제시함. 이 결과는 Q2급 SCIE 국제학술지에 논문으로 게재됨.
- 대학원에서 배양된 지식과 과학적 사고능력을 바탕으로 해당분야에 취업하여 지진관련 업무를 수행하고 있음.

- 강유정 (2021년 8월 석사졸업): 2022년 1월 국립기상과학원 취업 (전문연구원)

- 대기중 refractory BC(rBC) 단일입자를 Single Particle Soot Photometer (SP2)를 이용하여 분석함. SP2는 고가의 분석 기기로 국내 몇 개 도입되었지만 기기를 보정하고 정확한 값을 계산하는 알고리즘을 확보하여 결과를 산출하는 고급 기술을 보유한 전문가가 본 사업단 외에는 없음 (현 충남대 교수).
- 기상청 기상항공기에는 기후변화유발물질인 BC 입자 관측을 위해 SP2가 탑재되어 있으며 연중 관측을 수행하고 있음. 그중 2020년 3~6월 서해상 항공관측 결과를 분석하여 학위논문을 작성하였음. 그 중 기기관련 내용으로 졸업 전에는 공저자로 (2020년) 항공관측 결과로 졸업 후에는 1저자로 (2021년) 한국대기환경학회지(SCOPUS 등재지)에 논문을 게재함.
- 코로나 시기 중국의 lockdown 영향으로 서해상 BC 농도가 매우 낮았음. 이른 봄철에 고농도 사례는 흔함고 위에서 관측되었으며 이때 외부에서 이동된 생체소각(난방 등의 목적) 기원의 큰 BC 입자가 많았음, 반면 이른 여름 공기 정체시에는 흔함고 아래에서 고농도가 나타났는데 이때는 입자의 크기가 더 작은 화석연료 연소 기원임이 밝혀짐. 이러한 결과는 국립기상과학원의 기상항공기 관측 목적에 부합되어 연구원으로 선발됨.
- 대학원에서 습득한 지식과 경험을 바탕으로 취업에 성공한 사례로 문제해결력을 갖춘 전문지식인의 양성이라는 본 교육연구단의 목표와 매우 부합함.

3. 참여대학원생 연구실적의 우수성

① 참여대학원생 저명학술지 논문의 우수성

● 다음은 4단계 BK21사업 이후(2020.9~) 게재된 참여대학원생 저명학술지 목록 및 상세현황임.

연번	논문제목	게재학술지명	학술지 구분	ISSN	년도	권	쪽	주저자	기타 저자	IF	Q
1	Distribution and speciation of Sb and toxic metal(oids) near an antimony refinery and their effects on indigenous microorganisms	Journal of Hazardous Materials	SCIE	0304-3894	2021.02	403	123625	박수찬*		14.224	Q1
2	Groundwater contamination assessment in Ulaanbaatar City, Mongoliawith combined use of hydrochemical, environmental isotopic, andstatistical approaches	Science of the Total Environment	SCIE	0048-9697	2021.04	765	142790		이경진	10.753	Q1
3	The Ordovician succession of the Taebaek Group (Korea) revisited: old conodont data, new perspectives, and implications	Geosciences journal	SCIE	1226-4806	2021.08	25	417~431	조세현		1.439	Q4
4	Characteristics of HONO and its impact on O3 formation in the Seoul Metropolitan Area during the Korea-US Air Quality Study	Atmospheric Environment	SCIE	1352-2310	2021.02	247	118182	길준수		5.755	Q1
5	Shift of nitrate sources in groundwater due to intensive livestock farming on Jeju Island, South Korea: With emphasis on legacy effects on water management	Water Research	SCIE	0043-1354	2021.03	191	116814		강현지	13.4	Q1
6	Ribbon rocks revisited: the upper Cambrian (Furongian) Hwajeol Formation, Taebaek Group, Korea	Facies	SCIE	0172-9179	2021.05	67	1~19		조세현, 정다영	2.211	Q2
7	Waste foundry dust (WFD) as a reactive material for removing As(III) and Cr(VI) from aqueous solutions	Journal of Hazardous Materials	SCIE	0304-3894	2021.06	412	125290	나선원		14.224	Q1
8	Integrative 3D geological modeling derived from SWIR Hyperspectral imaging techniques and UAV-based 3d model for carbonate rock	Remote Sensing	SCIE	2072-4292	2021.08	13	1~18		조세현	5.349	Q1
9	Impact of organic acids and sulfate on the biogeochemical properties of soil from urban subsurface environments	Journal of Environmental Management	SCIE	0301-4797	2021.08	292	112756	이선휘		8.91	Q1
10	Antimony Redox Processes in the Environment: A Critical Review of Associated Oxidants and Reductants	Journal of Hazardous Materials	SCIE	0304-3894	2022.06	431	128607	Yidan Zhang		10.588	Q1
11	Fault reactivation and propagation during the 2017 Pohang earthquake sequence	Geothermics	SCIE	0375-6505	2021.05	92	1-11		안상익	4.284	Q1
12	Carbonate fault mirrors with extremely low frictional healing rates: A possible source of aseismic creep	Geophysical Research Letters	SCIE	1944-8007	2021.06	48	e2021GL093749	박요한*		5.576	Q1
13	Robust Evidence of ¹⁴ C, ¹³ C, and ¹⁵ N Analyses Indicating Fossil Fuel Sources for Total Carbon and Ammonium in Fine Aerosols in Seoul Megacity	Environmental Science and Technology	SCIE	0013-936X	2022.04	56	6894-6904		황주리	11.357	Q1
14	Origin of multiple principal slip zones in a fault gouge zone within granitoids	Journal of Structural Geology	SCIE	0191-8141	2022.09	162	104691	박초원*	김재훈	3.366	Q2
15	Formation of clast-cortex aggregates in experimental fault gouges	Tectonophysics	SCIE	0040-1951	2022.09	839	229524	김재훈		3.66	Q2
16	Treatment of Heavy metal wastewater by ceramic microfilter functionalized with magnesium oxides	Water, Air, Soil Pollution	SCIE	0049-6979	2021.12	232	498		나선원	2.98	Q2
17	Hydraulic and physicochemical properties of dense thin bentonite layers permeated with variably mixed alkaline solutions of KOH and CaCl ₂ at various temperature (25-75 oC) for 3 years	Geotextile and Geomembranes	SCIE	0266-1144	2022.06	50	521-534	윤여원	나선원	5.839	Q1
18	P-T-X-CO ₂ -bulk rock composition modeling of garnet decomposition in amphibolite and mafic granulite: tectono-metamorphic insights into the Permian-Triassic orogeny on the eastern margin of the Korean Peninsula	CONTRIBUTIONS TO MINERALOGY AND PETROLOGY	SCIE	0010-7999	2022.09	117	89	박병준		4.076	Q1
19	Estimation of shallow S-wave structure from Quasi Transfer Spectrum and Bayesian inversion using microarray data at a deep drilling site in Chungnam National University	Geosciences Journal	SCIE	1226-4806	2022.06	26	367-383	전영준		1.439	Q4
20	Hydrogeochemical characteristics of bottled	Water	SCIE	2073-4	2022.	14	1457	이경진		3.530	Q2

	waters sourced from bedrock aquifers in South Korea: evaluation of water type and natural background levels			441	05						
21	Tracing CO ₂ leakage and migration using the hydrogeochemical tracers during a controlled CO ₂ release field test	Applied Geochemistry	SCIE	0883-2927	2022.08	143	105390		강현지	3.841	Q2

* 해당 참여대학원생은 3단계 BK21사업 참여이후 졸업하였고, 4단계 BK21사업에 참여하지는 않았으나 논문은 2020.9 이후에 게재됨

- 지난 5년간(2015~2019년) 20편의 논문이 참여 대학원생(졸업생)에 의하여 국제전문학술지에 출판되었으며, 이 중 분야별 최상위 25%(Q1) 학술지에 11편이 발표되어 매우 우수한 논문이 발표되었음.
- ⇒ 4단계 BK21사업 이후(2020.9.~) 21편의 논문이 참여 대학원생(졸업생)에 의하여 국제전문학술지에 출판되었으며, 이 중 분야별 최상위 25%(Q1) 학술지에 13편이 발표되어 약 2년의 짧은 기간동안 양적으로나 질적으로 모두 괄목한 만한 성장을 이루고 있음.
- ⇒ 또한, 참여 대학원생(졸업생)이 발표한 논문의 절반 이상인 13편이(61.9%) 주저자로 논문을 발표하였고, 주저자 논문 8편이(61.5%) 최상위의 25%(Q1) 학술지에 출판되었으며 이는 참여 대학원생(졸업생)이 주도적으로 연구를 수행하고 우수한 논문을 집필하고 있음을 보여주는 고무적인 현상임.
- 다음은 참여 대학원생(졸업생) 대표 연구업적(주저자)의 우수성에 관한 기술임.

논문 1: Characteristics of HONO and its impact on O₃ formation in the Seoul Metropolitan Area during the Korea-US Air Quality Study, Atmospheric Chemistry and Physics (2021.01) (IF 4.798, 기후 및 대기과학 분야 SCI 상위 20.2% 저널(2020년 기준), Q-value: Q1

- 창의성 · 혁신성: Atmospheric Environment는 대기화학 분야에서는 학문적인 기반과 혁신적인 기여를 가장 중요하게 평가하는 가장 권위 있고 게재가 어려운 소수의 저널 중 하나임. 최근 대기환경 분야의 연구가 확장되며 범위 또한 확장된 오픈 저널의 등장과 함께 대기화학 자체에 집중된 본 저널은 임팩트 팩터가 상위 20% 정도에 머무르게 됨. 본 논문에서는 아직까지 생성 기작이 분명하게 밝혀지지 않은 대기중 주요 질소산화물인 HONO의 생성기작을 첨단 분석장비를 사용한 측정과 신경망모델을 적용한 결과를 기반으로 제안하였음. HONO는 도시의 오존(미세먼지 이차생성에도 관여) 생성에 핵심적인 역할을 하는 것으로 알려져 있으나 측정이 쉽지 않고 생성 기작 또한 밝혀지지 않아 대기화학 분야의 핵심적인 연구주제 중 하나임. 상세 측정과 다양한 각도에서의 해석 그리고 기계학습을 도입하여 이질반응을 다룬 최초의 연구로서 창의성과 혁신성이 인정되었으므로 한 달 정도의 짧은 기간의 측정 자료에 기반한 제안임에도 받아들여짐. 이러한 연구를 기초로 더 많은 자료가 축적되어 HONO 생성을 모사하는 기계학습 기반의 모델을 만들었으며 미세먼지 생성과의 연관성을 집중적으로 분석하고 있음.
- **교육연구단의 비전과 목표와의 부합성:** 개인적인 창의성을 바탕으로 협업을 통한 창의성의 확대를 통한 문제 해결 능력을 함양하는 전문인력 양성에 크게 이바지하였다고 판단됨. 본 연구 논문의 제 1 저자인 김준수 군은 석박사 통합과정으로 입학하여 현재 병역특례요원으로 복무 중임. 집중 측정 캠페인에 여러 연구자와 함께 측정하고 자료를 분석하였으며 그 결과를 종합한 후 기계학습을 측정 연구에 도입하였음. 일반적으로 기체상 연구의 틀을 깨고 입자상 측정 결과를 도입하고 이를 계산 과정에 포함하여 대기화학 분야에서 풀어야 하는 복잡한 이질반응에 대한 실마리를 제공함. 이후 이 문제에 답을 제시할 것으로 기대됨. 본 연구사업단은 문제 해결형 전문 인력 양성을 목표로 하는데 이러한 측면에서 분명한 본보기가 되었다고 판단됨.

- **전공 분야의 기여:** 서울은 NO_x 농도가 매우 높은 세계적인 메가시티의 하나임. 질소산화물은 오존과 미세먼지 발생에 모두 핵심적인 역할을 하는데 우리나라의 고농도 미세먼지 발생에 따라 이러한 복잡한 기작에 대한 이해에 앞서 질소산화물을 적극적으로 감축하는 정책을 시행해 왔음. 따라서 가능할 것으로 추정되지만 확실한 증거를 찾기 매우 어려운 질소산화물의 특성과 역할에 대한 실마리를 찾는 것은 매우 중요함. 본 연구에서는 밤시간 HONO가 CCN으로 작용하는 크기보다 작은 입자를 통한 NO_x의 이질 반응에 의해 생성되어 이후 오존을 생성하는 광화학반응이 촉진된다는 것을 측정과 모델 결과로 나타냄. 이 연구의 대기화학 분야에의 과학적 기여는 세 가지 측면에서 매우 큼. 첫째, 대기화학 연구는 기체상과 입자상으로 구분되어 수행되는데 본 연구에서는 이를 통합하여 새로운 돌파구(breakthrough)를 제시함. 둘째, 연구의 방법 측면에서 기계학습의 도입을 통해 이질반응의 증거를 제시하여 기체상과 입자상의 missing link를 제시함. 셋째, 연구의 결과 측면에서 알려지지 않은 도시 대기 중 HONO 생성 기작에 대한 실마리를 제공함.

논문 2: The Ordovician succession of the Taebaek Group (Korea) revisited: old conodont data, new perspectives, and implications, Geosciences Journal (2020.12) (IF 2.096, 지구과학 분야 199종 중 상위 65.8% 저널(2020년 기준), Q-value: Q3

- **창의성 · 혁신성:** 이 논문은 전기고생대 북중국판 오르도비스기 지층의 퇴적작용에 관련된 연구임. 100여 년 전 일본 지질학자들이 정립하여 오늘날까지 사용되고 있는 우리나라 오르도비스기 층서에 최근 중국학자들이 정립한 코노돈트 생층서 개념을 적용하여 기존 학계의 도그마를 혁파할 수 있는 가설을 제안했다는 점에서 매우 창의적인 연구임. 본 논문에서 과거 우리나라에서 수행된 모든 코노돈트 생층서 데이터를 재분석하여 우리나라 오르도비스기 지층에 지금까지 보고된 적은 없으나 대비되는 북중국판의 지층에서는 오래전부터 알려진 부정합이 태백산 분지에도 존재할 가능성을 최초로 논리적으로 제기하였으며, 제안된 가설의 검증을 위한 향후 연구 방향도 제시하였다는 점에서 국내와 동북아시아 퇴적 지질과 생층서 분야에서 주목받을 혁신성을 갖추었음.
- **교육연구단의 비전과 목표와의 부합성:** 논문의 제1 저자인 조세현 (박사과정)은 본 사업단에서 석사과정을 이수하고 박사과정으로 진학한 후 지금까지 국내 학계에서 과거 오랫동안 도그마로 여겨진 가설에 문제점이 있음을 파악하고, 석사과정 동안 수행하지 않았던 전혀 새로운 방향과 주제의 연구를 주체적으로 수행하며 교외의 전문가들과 교류하여 본 논문을 작성할 수 있었음. 따라서 본 논문은 교육연구단의 비전과 목표인 창의적 인력양성에 크게 이바지하였다고 판단됨.
- **전공 분야의 기여:** 이 논문에서 100여 년 전에 일본 지질학자들이 정립하여 오늘날까지 사용되고 있는 우리나라와 동북아시아 전기고생대 지층의 정합적 퇴적작용 개념에 최근 중국학자들이 전 세계적 연구 동향에 맞추어 개정한 코노돈트 생층서 개념을 적용하여 지금까지 국내와 동북아시아 지질학계의 도그마로 받아들여지던 전기고생대 조선누층군의 정합적 퇴적작용을 논리적으로 반박하는 가설을 최초로 제기하였음. 또한 곧 국제학회지에 투고 예정인 후속 연구에서 새로운 코노돈트 생층서와 퇴적학적 데이터의 융합연구로 본 논문에서 제시한 가설을 한 단계 뛰어넘는 더욱 새로운 결과가 도출되어, 앞으로 국내와 동북아시아 퇴적 지질 및 생층서학의 도약에 과학적으로 크게 이바지할 것으로 기대됨.

논문 3: Waste foundry dust (WFD) as a reactive material for removing As(III) and Cr(VI) from aqueous solutions, Journal of Hazardous Materials (2021.06) (IF 10.588, 환경과학 분야 SCI 상위 3.6% 저널(2020년 기준), Q-value: Q1

- **창의성 · 혁신성:** 본 연구는 철을 이용하는 주물 공정의 부산물인 폐주물분진을 산출되는 비소와 크롬으로 오염된 산업폐수를 처리하기 위한 반응물질로 활용하기 위한 연구임. 다양한 표면분석 기술

을 사용하여 폐주물분진의 광물학적, 물리화학적 특성 자료와 폐수에서 비소와 크롬 제거 효율 평가를 위한 반응 실험을 통해 활용을 위한 주요 인자를 제시하였음. 또한 반응 후 물질에 대한 다양한 표면분석을 통해 제거 기작을 규명함으로써 산업부산물의 활용 가능성을 넓힌 중요한 연구임.

- **교육연구단의 비전과 목표와의 부합성:** 지구물질의 기본 원리를 산업부산물에 적용함으로써 지구과학의 산업적 응용 분야 개척에 크게 기여하였다고 판단됨. 지중환경 개선을 위해 지중환경 오염물질의 하나인 산업부산물의 재활용 방법에 대한 실증적이고 실용적인 연구를 통해 ‘교육과 연구의 선순환 패러다임 혁신’이라는 교육연구단의 교육 목표와 ‘창의적 문제 해결형 연구 경쟁력 강화’라는 연구목표를 동시에 달성하였다고 판단됨. 논문의 제1 저자인 나선원 학생(참여대학원생, 석박사통합과정)은 지구물질의 물리화학적, 광물학적, 환경 및 공학적 특성 관련 분야 연구를 수행하고 있음. 특히 지구과학의 기본 원리를 환경 및 공학 분야에 적용하는 세일가스 모암 특성화, 산업폐수 처리를 위한 자연물질 활용, 고준위폐기물처분을 위한 공학방벽 벤토나이트 완충재 특성화 등 사회 문제 해결을 위한 연구과제에 참여하여 우수한 성과를 산출하고 있어 우수인력 양성이라는 연구단 목표와 부합함.
- **전공 분야의 기여:** 산업부산물인 폐주물분진은 분산을 통한 대기오염, 매립 시 지하수 오염을 유발할 가능성이 있는 지정폐기물로 다른 산업부산물에 비해 연구가 많이 진행되지 않아 활용성이 제한되어 있었음. 본 연구는 폐수에서 비소와 크롬 제거를 위한 반응물질로 활용 가능성을 평가하면서 제거 기작을 규명함으로써 본 연구에서 평가한 특정 조건뿐만 아니라 다양한 환경에서 활용 가능성을 높임으로써 지구물질과학의 산업적 활용성 개척에 크게 기여하였다고 판단됨.

논문 4: Impact of organic acids and sulfate on the biogeochemical properties of soil from urban subsurface environments, Journal of Environmental Management (2021.8) (IF 6.798; 환경과학 분야 274종 중 상위 12.4%, Q-value: Q1)

- **창의성 · 혁신성:** 본 연구는 도시화와 인간활동의 영향에 따라 지중환경의 생지구화학적 특성은 자연환경과는 달리 급격히 변화할 수 있음을 가정하고, 이에 따른 도시지하공간 개발에 의해 달라지는 토양의 물리적, 화학적, 생물학적 특성을 밝히기 위한 연구를 진행함. 도심 건설 전 부지의 토양을 깊이에 따라 샘플링 후, 실내배치실험을 진행하여 도심지중환경의 미생물-탄소-철-황의 순환에 대한 개념모델을 복합적인 거동특성을 예측하는 매우 도전적이고 창의적인 연구임. 본 연구를 통해 도심지하공간 개발에 따른 지중생지구화학적 특성변화에 대한 과학적, 기술적 이해도 향상에 기여할 수 있음.
- **교육연구단의 비전과 목표와의 부합성:** 본 연구성과는 제1 저자의 석사학위 논문의 결과로서 특히 도심지중환경 샘플을 활용하여 탄소, 철, 황의 생지구화학적 순환을 해석하였다는데 큰 의의와 성과가 있으며, 본 사업단 지질환경 분야의 교육과 연구 분야의 목표와 매우 부합됨.
- **전공 분야의 기여:** 다양한 과학적인 기여 중 특히 도심지중환경 발생하는 원소의 생지구화학적 순환에 관한 연구는 국내에서 처음으로 시도됨. 본 연구결과, 유기산과 황산염의 유입과 시멘트에 의한 pH 상승이 지중환경 탄소, 철, 황의 순환에 미치는 영향이 지대함을 밝혔으며 도심지중환경변화 연구 필요성에 대한 핵심 문헌으로 활용될 것으로 기대됨.

논문 5: Estimation of shallow S-wave structures from the quasi-transfer spectrum and Bayesian inversion using microarray data at a deep drilling site at Chungnam National University, Korea

- **창의성 · 혁신성:** 본 연구는 microarray에서 측정된 배경 잡음 자료에 주파수-파수 분석법을 이용하여 분산 자료를 추정함으로써 관측 부지 하부의 전단파 속도 구조 모델을 추론함. 이 과정에서 기

존의 선형 역산 기법이 아닌 transdimensional and hierarchical Bayesian 역산 기법을 적용함으로써 분산 자료의 불확실성을 고려하며 역산 결과 (전단파 속도 구조 모델)의 불확실성을 정량적으로 분석할 수 있는 분석 기법을 제시함. 이는 기존 기법의 문제점을 파악하고 새로운 역산 기법을 창의적으로 적용시킴으로써 분석 결과의 신뢰도를 효과적으로 향상시킨 연구로 판단됨.

- **교육연구단의 비전과 목표와의 부합성:** 본 연구의 제 1저자인 전영준(박사과정)은 전단파 속도 구조 분석에 사용되는 자료의 불확실성을 효과적으로 처리하기 위하여 새로운 역산 기법을 적용하였고 이를 통해 기존의 방법론이 가지고 있던 역산 결과의 상대적으로 낮은 신뢰도를 효과적으로 향상 시킴으로써 기존 방법론의 문제점을 해결 및 보완함. 또한 해당 역산 기법은 학계에서 선도적인 위치에 있음. 이를 통해 ‘창의적 문제 해결형 연구 경쟁력 강화’ 라는 연구 목표 중 ‘사회 문제 해결 및 관련 산업 선도형 연구 확대’ 및 ‘세계 선도 연구 분야 육성’ 을 동시에 달성하였다고 판단됨.
- **전공 분야의 기여:** 본 연구는 속도구조모델의 불확실성과 microarray 하부의 구조적 복잡성을 매개 변수화하고 역산 과정 중에 분석하여 추론된 모델의 사후 확률 밀도 분포를 제공함으로써 모델의 불확실성을 평가할 수 있는 합리적인 속도 구조 모델을 추론하는 방법론을 제시함. 또한 해당 분석 기법이 요구되는 현장 변수 (측정 시간, 수신기의 시공간적 배치 등)을 함께 분석함으로써 향후 수행될 유사 연구에 실용적인 지침을 제시하였음. 이는 지구물리탐사 분야의 신뢰도를 효과적으로 향상시키는데 기여하였다고 판단됨.

② 참여대학원생 학술대회 대표실적의 우수성

- 4단계 BK21사업 이후(2020.9.~) 참여대학원생의 **국제학술대회 16건, 국내학술대회 105건**의 실적을 보이고 있으며 이는 코로나로 인한 학술대회 참여의 불리한 여건에도 불구하고 국내외 온라인 학술대회에 적극적으로 참여하여 본 사업단에서 수행한 연구결과의 우수성을 알린 결과임.
 ⇨ 향후에도 포스트 코로나 시대를 대비하여 대면 연구가 불가피한 경우 온라인 국제학회 참석 독려를 통해 **국제적 연구수준의 결과를 도출**하고자 함.
- 다음은 참여대학원생의 **국제학술대회 대표실적(제1저자 및 공저자)**의 발표실적의 상세내용임.

연번	학위과정	성명	세부 전공 분야	발표 형식	학술대회 발표실적 상세내용
1	박사과정	김재훈	구조지질학	포스터	① 김재훈(주저자)
					② Seismogenesis in granite of brittle-ductile transition regime
					③ AGU Fall Meeting 2020
					④ 1 (공동저자 중 제출 대학원생 수)
					⑤ 2020 (Online)
2	석사과정	박초원	구조지질학	포스터	① 박초원(주저자)
					② Factors controlling the color of fault gouges: an example from the Geumwang Fault, South Korea
					③ AGU Fall Meeting 2020
					④ 2 (공동저자 중 제출 대학원생 수)
					⑤ 2020 (Online)
3	박사과정	장이단	환경지구미생물학	구두	① 장이단(주저자)
					② The identification of potential antimony(V)-reducing bacterium in soils collected from the vicinity of antimony refinery
					③ Asia Oceania Geosciences Society
					④ 1 (공동저자 중 제출 대학원생 수)
					⑤ 2021 (Online)

4	석사 과정	이 선 휘	환경 지구 미생 물학	구 두	① 이선희(공저자) ② Geochemical and Microbial Factors Contributing to the Degradation of Total Petroleum Hydrocarbons in Soils from a Closed Military Base ③ Asia Oceania Geosciences Society ④ 2 (공동저자 중 제출 대학원생 수) ⑤ 2021 (Online)
5	석·박사 통합 과정	박 강 현	환경 지구 미생 물학	구 두	① 박강현(공저자) ② Changes in Microbial Community Structure and Functional Diversity Along the Subsurface Zonation by Geochemical Properties ③ Asia Oceania Geosciences Society ④ 2 (공동저자 중 제출 대학원생 수) ⑤ 2021 (Online)
6	석사 과정	최 수 연	계면 광물 학	포스 터	① 최수연(공저자) ② Characterization of Arsenic Sorption on Siderite Spherules under anoxic Environments: Effects of Siderite Crystal Size and Surface Modification by Citrate ③ Goldschmidt2022 (발표일 2022.7.13) ④ 1 (공동저자 중 제출 대학원생 수) ⑤ 2022 (Online)
7	석·박사 통합 과정	길 준 수	대기 화학	포스 터	① 길준수(주저자) ② Formation of HONO and its implication for nitrogen oxides chemistry in urban Seoul ③ IGAC (International Global Atmospheric Chemistry) Conference (발표일 2022.9.11.) ④ 1 (공동저자 중 제출 대학원생 수) ⑤ 2022 (대면)
8	석·박사 통합 과정	윤 창 동	대기 환경 학회	구 두	① 윤창동(주저자) ② 관악산 정상에서 측정된 PM2.5와 O3의 장기변동 특성 ③ 한국대기환경학회 공동학술심포지움 및 학생콜로키움 ④ 3 (이현민, 차준일, 김효민) (공동저자 중 제출 대학원생 수) ⑤ 2022 (대면)
9	석사 과정	임 연 주	지진 학	포스 터	① 임연주(주저자) ② Lithospheric structures around the Mt. Baekdu (Changbaishan) volcano by Bayesian joint inversion of receiver functions and surface wave dispersions ③ AGU Fall Meeting 2021 ④ 1 (공동저자 중 제출 대학원생 수) ⑤ 2021 (Online)
10	석사 과정	김 민 경	지진 학	포스 터	① 김민경(주저자) ② 3-D Velocity Structures of the Uppermost mantle beneath the Southern Korean Peninsula from Pn and Sn Tomography ③ AGU Fall Meeting 2021 ④ 1 (공동저자 중 제출 대학원생 수) ⑤ 2021 (Online)
11	석사 과정	이 지 연	지진 학	포스 터	① 이지연(주저자) ② Bayesian full moment tensors inversion of seismicity occurred near the EGS site in Pohang, South Korea ③ AGU Fall Meeting 2021 ④ 1 (공동저자 중 제출 대학원생 수) ⑤ 2021 (Online)
12	석사 과정	조 경 준	지진 학	포스 터	① 조경준(주저자) ② Complex upper mantle anisotropy beneath the Korean Peninsula from shear wave splitting of core-refracted waves ③ AGU Fall Meeting 2021 ④ 1 (공동저자 중 제출 대학원생 수) ⑤ 2021 (Online)

13	석사 과정	Rizka Amalia	지진 학	포스터	① Rizka Amalia(주저자)
					② Hierarchical cluster analysis & event relocation of the 2019 Ambon aftershocks using waveform cross correlation
					③ AOGS Annual Meeting 2022
					④ 1 (공동저자 중 제출 대학원생 수)
					⑤ 2022 (Online)

- 다음은 참여대학원생의 **국제학술대회 대표실적(제1저자)**의 우수성을 기술함.

발표1. Seismogenesis in granite of brittle-ductile transition regime (김재훈)

- **창의성과 혁신성:** 취성-연성 변형 전이대는 지각의 변형이 취성 변형 영역에서 연성 변형 영역으로 전이되는 지역으로 대륙지각에서 발생하는 대부분의 진원지가 분포하고 있음. 실험을 통하여 취성-연성 전이대의 역학적 거동이나 미구조 진화과정에 대해서는 많은 부분이 밝혀졌으나 자연상태에서 발달한 전단대의 연구는 부족하여 아직 완벽하게 이해되지 않음. 이 연구는 취성-연성 전이대에서 발달한 전단대의 발달 초기의 모습을 밝혀 실험을 통해 밝혀진 내용과의 연결고리가 될 수 있을 것으로 판단됨.
- **교육연구단의 비전 및 목표와의 부합성:** 박사과정 대학원생인 제1 저자는 본인의 지질 조사와 분석으로 국제학술대회에 참석하여 포스터 발표를 수행하여 연구의 국제적 안목을 키움. 국제학술대회에서 연구 분야의 최신 동향을 접하고 해외 연구자들과 교류함으로써 글로벌 수준의 전문가를 양성하는 본 교육연구단의 목표와 부합함.
- **해당 전공 분야의 과학적 기여:** 취성-연성 변형 전이대에서 발달한 전단대의 진화양상을 파악하여 취성-연성 변형 전이대에서 발생하는 지진성 슬립과의 연관성을 제시함. 지진성 슬립 후 비지진성 슬립기간동안 전단대가 유체와의 상호작용을 통해 어떠한 작용이 진화에 영향을 미칠 수 있는지를 밝힘.

발표 2. Factors controlling the color of fault gouges: an example from the Geumwang Fault, South Korea (박초원, 김재훈)

- **창의성과 혁신성:** 단층대의 주 슬립대를 따라 대부분의 슬립이 발생하기 때문에 주 슬립대를 구성하고 있는 물질에 관한 연구는 과거 단층의 미끌림 특성을 판단하기 위해 필수적임. 그러나 자연의 단층대에서 관찰되는 주 미끌림대는 대부분 수 cm 이하의 매우 좁은 폭을 가지며 μm 크기의 점토광물로 이루어져 있기 때문에 분석이 어려움. 이를 주사 투과 전자 현미경과 전계 에너지 소실 분광광도계 등 새로운 관찰방법론의 접근으로 극복함.
- **교육연구단의 비전 및 목표와의 부합성:** 석사과정 대학원생인 제1 저자는 야의 지질 조사와 분석을 통해 해석한 연구 결과로 국제학술대회에 참석하여 포스터 발표를 수행함. 이를 통해 해외 연구자들과 피드백을 주고받음으로써 글로벌 역량을 키울 수 있는 계기가 되었음. 또한, 본인 연구 분야 최근 연구 사례를 접하며 국제적인 연구 트렌드를 익힐 수 있는 기회를 제공함. 이는 글로벌 수준의 전문가를 양성하고자 하는 본 교육연구단의 목표와 부합함.
- **해당 전공 분야의 과학적 기여:** 결정질암에 발달한 단층대의 단층핵은 일반적으로 주변 모암과의 강도 차이가 크기 때문에 두께가 좁다고 알려져 있으나, 단층비지의 강도가 고결강화, 압축강화, 그리고 팽창강화작용에 의해 크게 강화되는 경우 단층비지의 두께가 증가할 수 있음. 결정질암에 발달한 금강단층의 주 슬립대 관찰을 통해 주요 동적 약화작용 중 하나인 열 가압이 지진성 슬립 시 유동화를 야기하여 단층비지의 구조를 파괴함으로써 단층비지를 강화할 수 있다는 새로운 강화작용을 제안함.

발표 3. The identification of potential antimony(V)-reducing bacterium in soils collected from the vicinity of antimony refinery (장이단)

- **창의성과 혁신성:** 본 연구는 오염토양에서 안티몬을 환원시키는 미생물을 분리하여 지중환경 내 최근 관심의 대상이 되고 있는 안티모니(Sb) 생물학적 환원 기작을 규명하는 연구임. 기존에 잘 알려지지 않은 신규한 지중환경 미생물의 동정과 환원과정에서 생성되는 침전광물의 분석을 병행하는 연구로써 지중환경의 복잡성에 도전하는 창의적인 연구임.
- **교육연구단의 비전 및 목표와의 부합성:** 박사과정 두 번째 학기 대학원생인 제1 저자는 본인의 오염토양 내 안티몬과 미생물의 반응을 모사한 실내배치실험을 통해 생산한 결과를 통해 생애 첫 국제학술대회에 참석하여 구두 발표를 수행하여 연구의 국제적 안목을 키우는 계기가 되었음. 발표자가 국제학술대회 참석으로 본인 연구 분야 최신 연구 사례를 접하고 해외 연구자들과 활발히 교류할 기회를 제공하여 글로벌 수준의 전문가를 양성하는 본 교육연구단의 목표와 부합함.
- **해당 전공 분야의 과학적 기여:** 기존 연구에서 주로 안티몬을 산화시키는 미생물에 초점이 맞추어졌으나 본 연구에서는 지중환경에서 흔한 환원환경을 대상으로 안티몬의 미생물학적 환원을 연구한 결과로써, 신규오염물질인 안티몬의 지중환경 내 거동의 과학적 이해에 이바지함.

발표 7. Formation of HONO and its implication for nitrogen oxides chemistry in Urban Seoul (길준수)

- **창의성과 혁신성:** 국내 주요 대기 오염물질 중 하나인 오존과 초미세먼지 질산염은 차량, 공장 등에서 배출되는 질소산화물 및 휘발성유기화합물과의 반응을 통해 이차생성됨. 여러 선행연구를 통해 배출되는 대기오염물질과 오존 및 초미세먼지 질산염의 관계는 대략적으로 알려져있으나, 이들의 자세한 생성기작은 아직 이해가 부족함. 본 연구에서는 질소산화물 중 하나인 아질산을 중심으로 질소산화물로부터 오존 생성과정, 그리고 질소산화물로부터 질산염 생성과정의 연결고리를 밝혔으며, 아질산의 생성기작에 대한 새로운 조건을 제시함. 따라서 이러한 연구결과는 도시지역에서의 오존 및 초미세먼지 질산염 생성에 대한 이해 증진에 큰 도움이 될 것으로 판단됨.
- **교육연구단의 비전 및 목표와의 부합성:** 박사과정 대학원생인 제1 저자는 본인의 대기 오염물질 측정 결과와 이를 분석한 자료를 활용하여 국제 학술대회 참석 및 포스터 발표를 수행하였음. 국제 학술대회에서 관련 분야의 국외 연구자 발표를 통해 최신 연구동향을 접하였고, 지속적인 토의 및 본인의 포스터 발표를 통해 해당 연구분야에 대한 국제 협력 가능성을 키움. 글로벌 수준의 전문가를 양성하는 본 교육연구단의 목표와 부합함.
- **해당 전공 분야의 과학적 기여:** 일차 배출되는 질소산화물로부터 아질산을 거쳐 오존 및 초미세먼지 질산염을 생성하는 프로세스를 제시함. 대기오염물질 측정결과를 광화학모델에 적용하여 아질산을 거치는 프로세스가 도시지역 오존 및 초미세먼지 질산염 생성에 미치는 기여도를 정량적으로 밝혀냄. 머신러닝 기법을 이용하여 아질산 형성의 특성을 제시하였으며 이를 통해 아질산 농도 예측의 불확실도를 줄일 수 있을 것으로 기대됨.

발표 9. Lithospheric structures around the Mt. Baekdu (Changbaishan) volcano by Bayesian joint inversion of receiver functions and surface wave dispersions (임연주)

- **창의성과 혁신성:** 백두산 하부의 암석권 구조를 추정하는 것은 지각과 맨틀 사이에서 발생하는 마그마 구조의 상호 작용을 이해하는데 중요한 역할을 함. 현재까지 백두산 아래 마그마 구조에 대한 지진학적 모델이 다수 제안되었으나 결과가 일관되지 않으며 백두산의 북한 지역 하부는 전단파 속도가 불분명하여 추가적으로 종합적인 마그마 구조에 대한 연구가 필요함. 본 연구는 수신 함수

와 표면파를 베이지안 통합 역산을 통해 백두산 및 주변 지역 하부의 속도 불연속면 깊이 및 전단파 속도를 모두 제한하였으며 사후 확률 밀도를 이용하여 불확실성을 제시함. 통계학적인 방법 및 통합적인 지진파 분석 방법을 동시에 사용한 창의적인 연구로써, 개선된 백두산 하부의 마그마 구조 모델을 제시할 수 있을 것으로 판단됨.

- **교육연구단의 비전 및 목표와의 부합성:** 석사과정 대학원생인 제 1저자는 국제학술대회에 참가하여 본인의 백두산 하부 구조에 대한 분석 결과로 포스터 발표를 수행하였으며 이를 통해 연구의 국제적 안목을 기르는 밑거름이 되었음. 발표자가 국제학술대회에 참석하여 해외 연구자들과 교류할 기회를 얻음과 동시에 본인 연구 분야의 최신 연구 사례 및 동향을 접할 수 있는 기회를 제공한 것은 글로벌 수준의 전문가 양성이라는 본 교육연구단과의 목표와 부합함.
- **해당 전공 분야의 과학적 기여:** 백두산 하부에 전단파 속도가 증가하는 층이 존재한다는 발견은 현재 최상부지각으로의 마그마 공급 활동의 부재를 지시할 수 있음. 또한 백두산 아래 두꺼운 지각의 생성 기작을 서술함으로써 화산체 하부의 마그마 구조 형성 기작을 제시함.

발표 10. 3-D Velocity Structures of the Uppermost mantle beneath the Southern Korean Peninsula from Pn and Sn Tomography (김민경)

- **창의성과 혁신성:** 한반도는 과거 섭입대의 영향을 받았으며 섭입대에서의 맨틀 동역학에 의한 지각의 진화를 이해하기 위해서는 맨틀과 지각의 직접적인 상호 작용이 발생하는 최상부맨틀의 속도 구조 및 물성을 파악하는 것이 중요함. 그러나 지진 자료 부족 및 데이터 수집의 어려움으로 인해 그동안 면밀한 연구가 수행되는데 어려움이 있었음. 본 연구에서는 P 및 S 굴절파와 Fast Marching Method를 이용하여 3차원 최상부맨틀 속도 모델을 작성함. 얻어진 모델과 지표 지질을 연관 지어 해석한다면 한반도가 겪은 지구조적 사건을 구체적으로 추측할 수 있는 단서가 될 것으로 판단됨.
- **교육연구단의 비전 및 목표와의 부합성:** 석사과정 대학원생인 제 1저자는 3차원 속도 모델을 해석하여 한반도 지각 진화 역사에 대해 연구하였으며 해당 연구 결과로 국제학술대회에 참석하여 포스터 발표를 수행함으로써 연구의 국제적 안목을 키움. 국제학술대회에서 해당 분야의 다양한 연구를 접하면서 최신 연구 경향을 파악하였으며 해외 연구자들과 활발히 교류함. 이는 글로벌 수준의 전문가를 양성하는 본 교육연구단의 목표와 부합함.
- **해당 전공 분야의 과학적 기여:** 본 연구는 한반도 하부 지각이 불균질하게 수정되었음을 확인하였고 지표 지질과 연관 지어 부분적인 수정이 일어날 수 있는 두 가지 시나리오를 제시함. 또한 섭입대에서 발생하는 복잡한 지구조적 운동에 의해 발생하는 지각 수정을 공간적으로 제한함.

발표 11. Bayesian full moment tensors inversion of seismicity occurred near the EGS site in Pohang, South Korea (이지연)

- **창의성과 혁신성:** 2017년 발생한 규모 5.4 포항 지진과 포항 본진 이전 가장 큰 규모로 발생했던 규모 3.2 지진은 각각 지열 발전 과정에 의해 촉발 및 유발된 지진으로 인식됨. 수리 자극이 종료된 이후에도 규모 3 이상의 지진 활동을 포함하는 여진이 수차례 발생하였으나 이러한 주요 지진에 대한 전 성분 모멘트 텐서 해는 아직 충분히 정밀하게 추정되거나 비교되지 않음. 본 연구는 포항 지역에서 발생한 총 9 개의 지진에 대하여 전 성분 모멘트 텐서 역산을 수행하였으며 계층적 베이지안 방법을 이용하여 추정된 정량적인 불확실성과 해의 분포를 고려하여 보다 정밀하게 추정된 해를 바탕으로 포항 지역 지진들에 대해 연구함.
- **교육연구단의 비전 및 목표와의 부합성:** 석사과정 대학원생인 제 1저자는 포항 지진에 대한 계층적 베이지안 전 성분 모멘트 텐서 역산을 수행하여 연구한 주요 결과로 국제학술대회에 참석하여 포

스터 발표를 수행하였으며 본인의 연구와 관련 있는 주제의 다양한 연구를 접하며 국제적인 연구 동향과 안목 파악하고 안목을 기를 수 있었음. 이는 글로벌 수준의 전문가를 양성하고자 하는 본 교육연구단의 목표와 부합함.

- **해당 전공 분야의 과학적 기여:** 포항 EGS 부지 인근에서 발생한 지진들의 서로 다른 모멘트 텐서 성분은 촉발 및 유발된 지진의 경우에도 자연 지진의 주요 기작인 단층면의 전단 작용이 우세하게 작용하여 나타날 수 있다는 것을 암시함. 이는 단층면이 유체와의 직접적인 상호 작용에 의해 발생되기보다는 유체 주입에 의해 야기된 응력 변화가 전달되며 기존에 존재하던 단층면을 재활성화시켰음을 제시함.

발표 12. Complex upper mantle anisotropy beneath the Korean Peninsula from shear wave splitting of core-refracted waves (조경준)

- **창의성과 혁신성:** 한반도의 형성과 진화의 역사를 이해하기 위해서는 한반도 하부의 맨틀의 동역학적 특성에 대한 이해가 필요함. 한반도의 지표 지질을 대상으로 한 한반도 지사에 대한 지질학적 연구는 수차례 수행된 바 있으나 판의 이동 기작을 설명하는 상부 맨틀의 동역학적 특성에 대해서는 지속적인 연구가 필요함. 본 연구는 한반도의 상부 맨틀의 비등방성을 측정함으로써 상부 맨틀의 유동 특성에 대해 유추하였으며 수치 모사를 통해 암석권과 연약권의 복잡한 상호작용이 존재할 수 있음을 확인함. 이러한 결과는 판 규모로 확장하여 대륙판의 진화 역사를 이해하는 데 도움이 될 수 있을 것으로 판단됨.
- **교육연구단의 비전 및 목표와의 부합성:** 석사과정 대학원생인 제 1저자는 본인의 분석과 수치 모사 결과로 국제학술대회에서 포스터 발표를 수행함. 또한 유사한 분야의 해외 연구자와 교류하고 다양한 분야의 연구자와 토의함으로써 국제적인 최신 연구 경향을 접하고 글로벌 역량을 키울 수 있는 기회가 됨. 이는 글로벌 지구환경 인재 양성을 목표로 하는 본 연구단의 비전과 부합함.
- **해당 전공 분야의 과학적 기여:** 기존의 판 구조론은 대륙판의 생성과 소멸의 기작을 잘 설명하지 못함. 본 연구는 한반도 규모의 작은 규모의 암석권의 구조에 의해서도 지구 규모의 맨틀 흐름이 유발될 수 있음을 제시하여 대륙판의 진화가 작은 규모의 암석권 비균질성에 의해서도 시작될 수 있을 가능성을 제시함.

발표 13. Hierarchical cluster analysis & event relocation of the 2019 Ambon aftershocks using waveform cross correlation (Rizka Amalia)

- **창의성과 혁신성:** 2019년 발생한 규모 6.5의 Ambon 지진으로 인도네시아에는 사상자와 기반 시설 손상이 발생함. 본 연구에서는 파형 상호 상관을 통해 단층면에 존재하는 identified clusters를 정량화하고자 함.
- **교육연구단의 비전 및 목표와의 부합성:** 석사과정 대학원생이자 유학생인 제 1저자는 본인의 분석 결과와 해석으로 국제학술대회에서 포스터 발표를 수행함. 토의 과정에서 다양한 해외 연구자와 교류함으로써 글로벌 역량을 키울 수 있었음. 또한 본인 연구 분야의 최근 연구 경향을 접함으로써 국제적인 연구 경향을 학습할 수 있는 기회가 됨. 이는 글로벌 수준의 전문가를 양성하고자 하는 본 교육연구단의 목표와 부합함.
- **해당 전공 분야의 과학적 기여:** 파형 유사성으로부터 지진원 유사성을 분석한 결과 기존 연구 결과와 상응하는 3개의 cluster를 독립적으로 확인할 수 있었음.

③ 참여대학원생 특허, 기술이전, 창업 실적의 우수성

- 4단계 BK21사업 이후(2020.9~) 참여대학원생의 **국내특허등록 1건, 출원 5건**의 실적을 보이고 있음. 기초학문의 특성상 지적재산권 등록이 활발히 이루어지고 있지 않으나, 기초연구를 바탕으로 관련 산업발전에 핵심이 될 수 있는 기술로 이어지도록 노력한 결과로 평가됨.
- 다음은 참여대학원생의 **특허(주발명자 및 공동발명자)** 실적의 상세내용과 2, 3, 5, 6번 특허의 우수성에 관한 기술임.

연 번	학위 과정	성 명	실적 구분	특허, 기술이전, 창업 등 실적 상세내용
1	석·박사 통합 과정	나 선 원	특허 등록	① 이순재, 조호영, 이영재, 김봉주, 구자영, 이선용, 나선원, 장봉수, 곽은지
				② 세라믹 분리막 및 이의 제조 방법
				③ 대한민국
	박사 과정	곽 은 지		④ 10-2159552-0000
				⑤ 2020.09
2	석·박사 통합 과정	나 선 원	특허 출원	① 이선용, 이영재, 조호영, 이순재, 김재현, 장봉수, 나선원
				② 중금속 흡착을 위한 표면 개질된 기능성 세라믹 필터 및 이의 제조방법
				③ 대한민국
				④ 10-2020-0180412
				⑤ 2020.12
3	박사 과정	곽 은 지	특허 출원	① 이순재, 이영재, 김재현, 김봉주, 장봉수, 곽은지, 구자영, 김민경, 곽호연
		김 민 경		② 지하수의 흐름제어 및 오염 확산방지 시스템
	석사 과정	곽 호 연		③ 대한민국
				④ 10-2020-0186746
				⑤ 2020.12
4	석사 과정	최 수 연	특허 출원	① 이선용, 이영재, 장봉수, 최수연
				② 결정질 능철석 및 이의 제조방법
				③ 대한민국
				④ 10-2022-0079517
				⑤ 2022.06.29
5	석사 과정	곽 호 연	특허 출원	① 이순재, 김재현, 조호영, 권만재, 배민서, 김주희, 곽호연
		배 민 서		② 간헐적 양수 처리시스템
				③ 대한민국
				김 주 희
		⑤ 2022. 8. 4		

6	박사 과정	곽 은 지	특허 출원	① 이순재, 김재현, 곽호연, 김주희, 배민서, 곽은지, 김민경
	석사 과정	김 민 경		② 시험용 가스 센서의 교정 장치 및 교정 방법
		곽 호 연		③ 대한민국
		김 주 희		④ 10-2021-0186484
		배 민 서		⑤ 2021.12.23

<2번 발명의 우수성> - 중금속 흡착을 위한 표면 개질된 기능성 세라믹 필터 및 이의 제조방법

- 본 발명 특허는 오염된 하폐수의 여과를 위해 이용되는 천연 광물로 제조한 세라믹 필터의 표면 개질을 통해 제거 기능이 추가된 세라믹 필터 및 이의 제조방법에 관한 것으로, 구체적으로는 세라믹 필터 표면에 고반응성 마그네슘알루미늄-이중층산화물(MgAl-LDO)과 마그네슘산화물(MgO)의 복합체(MgAl-LDO/MgO)를 안정적으로 코팅함으로써 오염수로부터 양이온뿐만 아니라 비소와 같은 음이온성 중금속을 효과적으로 흡착 제거할 수 있는 방법을 제공하는 것임.
- 최근 인구 증가 및 산업의 발달로 인한 수질 환경 내 중금속 오염의 심각성이 증감됨에 따라 효과적인 폐수처리기술 개발이 요구되고 있다. 이러한 수처리 방법들 중 세라믹 필터와 같은 막분리 기술은 화학적 처리 기술에 비해 폐수의 화학성에 대한 영향이 적으며, 화학약품 사용을 최소화하여 슬러지 발생을 줄일 수 있고, 높은 수율로 처리수를 회수 및 재이용하여 폐수 오염원의 부하를 줄일 수 있음. 또한, 간편한 설치, 운전 자동화, 뛰어난 내구성으로 인해 재사용 및 장기운전이 가능하여 처리비용을 크게 절감할 수 있는 장점이 있음. 그러나 이러한 장점에도 불구하고, 부족한 표면 반응성과 물리적 여과에 의존하는 주된 오염물질 제거 기작으로 인해 세라믹 필터를 이용한 고농도 중금속 오염 폐수의 처리효율은 높지 않으며 성능 유지를 위해서는 필터 교체주기가 짧아지는 단점이 있음.
- 본 발명에 따라 세라믹 필터는 마그네슘알루미늄-이중층산화물(MgAl-LDO)과 마그네슘산화물(MgO)로 구성된 복합체를 포함하여 음이온성 중금속과 양이온성 중금속의 흡착능이 동시에 향상되고, 미세공극 구조 형성 및 비표면적이 증가하여 중금속 흡착 및 촉매 반응에 유리함. 또한, 본 발명에 따른 세라믹 필터는 용해도가 낮고 안정한 마그네슘 알루미늄-이중층산화물을 포함함으로써 마그네슘 용출 및 코팅물질의 물리화화적인 박리현상은 감소하고, 층간 음이온 교환반응이 기작이 새로 추가되어 음이온성 중금속의 흡탈착 효율이 증가하는 장점이 있음.
- 본 연구업적은 **지중환경 개선을 위해 지중환경 오염물질의 하나인 산업폐수 처리 방법**에 대한 실증적이고 실용적인 기술개발을 통해 ‘**교육과 연구의 선순환 패러다임 혁신**’이라는 **교육연구단의 교육 목표**와 ‘**창의적 문제 해결형 연구 경쟁력 강화**’라는 **연구목표**를 동시에 달성하였다고 판단됨.
- 상기 특허 등록에 이바지한 나선원 학생은 세라믹 물질의 수처리 활용 관련 SCI 논문을 등재하였으며, 폐수물분진, 고준위폐기물처분 완충재 등 지구물질과학의 활용 연구를 수행하고 있음.

<3번 발명의 우수성> - 지하수의 흐름제어 및 오염 확산방지 시스템

- 본 발명 특허는 본 발명은 지하수의 흐름제어 및 오염 확산방지 시스템에 관한 것으로, 보다 상세

하계는 양수정과 주입정의 개수, 유량, 설치 위치 중 적어도 하나를 제어하여 시스템 가동 시 양수정과 주입정 사이에 다양한 수리적 경계를 형성함으로써, 오염된 지하수의 흐름을 원하는 방향으로 제어하여 지하수에 포함된 오염물질을 효과적으로 처리할 수 있는 동시에 양수정 주변의 오염된 지하수가 주입정 측으로 확산되는 것이 방지되는 지하수의 흐름제어 및 오염 확산방지 시스템에 관한 것임. 이 발명에서 **오염된 지하수의 확산방지를 위한 벽체 시설과, 지하수의 흐름을 벽체 시설로 유도하고 양수하고 다시 지하수계로 침투시키는 지하수 흐름제어 기술**을 제안하였음.

- 이 기술을 통해 양수정과 주입정 사이에는 수리적 경계를 생성하고, 이에 의해 양수정 주변의 지하수에 포함된 오염물질이 주입정 측으로 확산하는 것을 방지할 수 있음. 또한 양수정과 주입정의 효율적 배열을 조절함으로써, 관정형 반응벽체 시공 비용을 절감할 수 있음. 또한 지중환경 내 관정의 시공 시 공벽 붕괴를 예방할 수 있는 최소 간격을 확보한 배치를 통해 안정적 지중환경 시설 배치를 설계할 수 있다. 이러한 특징으로 인해 장기적으로 오염정화가 수행되어야 하는 곳이나, 도심지 등 정화설비의 지표 노출이 꺼려지는 경우 선택할 수 있는 지하수 정화 기술 적용 시 효율적이고 안정적인 시설의 설계에 활용될 수 있음.
- 본 연구업적은 **지중환경 개선을 위한 실증적이고 실용적인 기술 개발** 결과로써 교육연구단에서 수립한 ‘**교육과 연구의 선순환 패러다임 혁신**’이라는 교육연구단의 교육 목표와 함께 ‘**창의적 문제 해결형 연구 경쟁력 강화**’라는 연구목표를 동시에 달성하였다고 자평함. 특히 도심에 위치하는 군부대 지하수 오염지역 등의 현장 진입이 불가능한 경계에서 지하수의 확산 차단을 수행해야 하는 경우 적용 가능하며, 관련 기관 및 토양 지하수 정화 업체의 정화 기법 설계 시 검토 가능한 기술로서 이바지할 수 있을 것으로 기대됨.

<5번 발명의 우수성> - 간헐적 양수처리 시스템

- 본 발명 특허는 지하수내 오염 확산 방지를 위한 간헐적 시설 운영을 고려한 양수 처리 시스템 설계 및 운영 기법에 관한 것이다. 보다 상세하게는 간헐적 시설 운영을 고려한 양수정/주입정 사이 간격 산정, 지중환경의 불균질성을 고려한 시설 운영 방법과 계절적 변동에 의한 가변적 지하수 흐름에 대응한 능동적 시설 운영 기술에 관한 것이다.
- 이 기술을 통해 오염확산 방지를 위해 운영하는 양수 처리시설의 지질매체 불균질성 및 운영시간 등의 가변적 조건에 대응하여 오염 유출 가능성을 최소화하는 합리적 운영방안을 설계할 수 있다.
- 본 연구업적은 **지중환경 개선을 위한 실증적이고 실용적인 기술 개발** 결과로써 교육연구단에서 수립한 ‘**교육과 연구의 선순환 패러다임 혁신**’이라는 교육연구단의 교육 목표와 함께 ‘**창의적 문제 해결형 연구 경쟁력 강화**’라는 연구목표를 동시에 달성하였다고 자평함. 특히, 현재 오염확산 방지를 목적으로 운영중이나 오염 유출이 우려되는 과거 설치 시설의 현장 맞춤형 운영기법 제시에 이바지 할 수 있을 것으로 기대됨.

<6번 발명의 우수성> - 시험용 가스센세의 교정 장치 및 교정 방법

- 본 발명이 제안하는 시험용 가스 센서의 교정 장치는, 시험용 가스 센서에 의해 측정되는 가스를 수용하는 가스 챔버부, 상기 가스 챔버부의 일측에 연통되게 연결되고 설정 농도의 표준 가스 또는 상기 표준 가스를 함유하지 않는 배경 가스 중 적어도 하나를 선택적으로 공급하는 가스 공급부, 상기 가스 챔버부의 타측에 연통되게 연결되고 상기 가스 챔버부에 수용된 가스를 외부로 배출하는 가스 배출부, 및 상기 가스 챔버부에 설치된 상기 시험용 가스 센서의 측정 결과를 분석하여 상기 시험용 가스 센서의 성능을 검정 및 교정하는 센서 교정부를 포함할 수 있다.
- 이 기술을 통해 실시간으로 모니터링용으로 운영되는 다수의 현장 검측용 센서의 교정 및 검증을 수행하여, 조사 자료의 신뢰성을 확보할 수 있다.
- 본 연구업적은 **지중환경 개선을 위한 실증적이고 실용적인 기술 개발** 결과로써 교육연구단에서 수립한 ‘**교육과 연구의 선순환 패러다임 혁신**’이라는 교육연구단의 교육 목표와 함께 ‘**창의적 문**

제 해결형 연구 경쟁력 강화' 라는 연구목표를 동시에 달성하였다고 자평함. 특히, 지중환경 유래 물질에 의한 위해성 평가를 위해 실내외의 넓은 영역을 대상으로 현장 조사 운영시, 다수의 이동형 검측 장비 운영이 필요하며, 이러한 상황에 검측자료를 기반으로한 의사결정의 신뢰성 확보에 기여할 것으로 생각됨.

④ 대학원생 연구 수월성 증진계획

- 고려대학교 대학원은 세계적 연구중심대학에서 운영 중인 TA·RA 제도를 벤치마킹하여 대학원생이 연구와 강의 활동에 적극적으로 참여하는 개념의 Graduate Teaching Affiliate (GTA), Instructor-G 제도 등을 도입하여 운영하고 있음.
- 본 교육연구단은 소속 대학원생들이 글로벌 수준의 연구성과를 도출할 수 있도록 다음과 같은 행정, 교육, 연구, 및 국제화 신규 지원을 개발하여 연구 자율성 향상과 연구 몰입도를 높이고자 함.

<세계적 수준 연구성과 도출을 위한 지원>

- 연구역량 강화 지원

- **과학 문해능력 강화:** 대학원생들의 논문작성 능력향상을 위해 영어 논문작성법, 국제학술지 투고 전략, 연구를 위한 국내·외 학술 정보탐색, 논문검색, 전공별 논문작성법, 학술정보지원(EndNote, RefWorks, JCR, Scival 등) 교육을 시행함.
- **디지털 문해능력 강화:** 새로운 교육과 연구방법론에 대한 대학원생들의 수요에 대응하여 교육 방법론 비교과 과정을 개발하고 인공지능과 정보처리 기술 발전에 따른 빅데이터 활용 방법론과 글로벌 연구혁신 패러다임에 대응한 최신 연구방법론 등을 발굴하고 확대 교육하고 있음.
- **공동교수 지도제 도입:** 관심 분야에 관한 연구 주제선정의 자율성을 강화할 수 있도록 기본적으로 1인의 지도교수를 위촉하고, 타 분야나 학과 교원도 지도교수로 위촉할 수 있도록 하여 학문 간 융합과 주전공과 부전공분야의 폭넓은 학문 소양을 배양하도록 함.
- **연구환경 및 문화 개선:** 대학원생들이 몰입할 수 있는 연구주제 선정의 자율성과 연구시간 확보 등 연구사업 종사자의 인권 보호, 도전적이고 창의적인 연구를 수행할 수 있는 학생 중심의 수평적 문화 조성 및 고충 처리, 개방적이고 협력적인 동료관계 형성을 위한 체계 및 프로그램을 마련함.

- 연구의 국제화 지원 강화

- **국내외 네트워킹 강화:** 국내외 산업계와 기술교류회 등을 실시하여 산업계와의 네트워킹의 장을 마련하고, 해외 교환 방문 프로그램, 세계 우수 대학과 대학원생 교환프로그램, 박사학위 취득자 해외 연수 프로그램 등을 확대하여 추진하고 있음.
- **국제 공동연구 추진:** 국내에서 수행하기 어려운 실험과 연구를 해외 교류 대학이나 연구소에서 진행하는 것을 적극적으로 지원하고 있으며, 해외 연구 동향 정보를 파악하여 앞으로의 연구 진행과 논문 집필에 활용하고 있음.
- **해외 연구실 파견:** 학위과정 중 해외 우수연구실에 단-중기 파견하여 공동연구를 수행하면서 해외 중견연구인력, 신진연구인력, 대학원생 등과 장기적 안목에서 인적 네트워크를 구축하고 유지하여 향후 관련 분야에서 중추적인 역할을 할 수 있도록 함.
- **지구환경과학은 복잡계를 다루는 응용과학이므로 지역성이 큰 장점이 될 수 있음.** 이 특성을 살려 해당 연구 분야의 전문성을 해외 사이트에 적용하여 연구할 수 있도록 현재 대학이나 연구소와 공동연구 진행을 위한 교류와 협약을 추진하고 있음.

- 세계적 학술지 편집자 등을 초청하여 최고 수준의 연구논문 멘토링 프로그램 운영을 추진하여 본교 대학원에서 추진하는 Nature지 게재를 위한 1:1 멘토링을 받을 수 있는 네이처 라운드 테이블에 참가하고 유사한 프로그램을 확대할 계획임.
- 해외 유명 석학을 초빙하거나 국내외 워크숍에 참여한 유명 석학들의 강연에 대학원생들을 참여시켜 최신 연구 동향을 습득하게 하여 연구의 국제적 안목을 확보하도록 하며 동시에 해외 공동연구 등의 인적 네트워크 구축에도 활용 함.
- **해외 저명학술회의와 워크숍 논문 발표 지원:** 대학원생의 연구 안목을 넓히고 국제적 연구 분위기 조성을 위하여 국제학술회의 참석을 적극적으로 지원하고 있음.

<교육연구단 우수 대학원생 장학금과 학술 활동 지원>

- 우수 대학원 신입생 Admission Offer Package 지원: 대학원과 교육연구단이 대학원 과정 동안 지원할 금전적(성적 장학금, 교육 조교, 연구조교 급여 등) 및 비금전적 혜택을 대학원 입학 시 제시하여 우수 대학원생 확보를 강화함.
- **조교 재정지원:** 교육연구단 대학원생의 연구몰입도 제고를 위하여 조교장학금(수업 조교(학기당 8~10명, 수업료 50~75% 지원), 연구조교(학기당 전임교원 1인당 1명, 수업료 75~100% 지원), 연구장학금(우수 장학금 등), 행정장학금(행정조교 등)을 활용하고 있음.
- **학생인건비 교육연구단 통합관리제도 운용:** 연구책임자가 개별 관리하던 학생인건비를 교육연구단 단위로 통합 관리하여 대학원생의 재정적 안정화는 물론 교육연구단 내 학문 분야 간 대학원생의 융합 연구 활성화 유도하고 있음.
- 본 교육연구단은 4단계 BK21사업 이후(2020.09~) 전임교원 1인당 연평균 약 3.78억 원의 연구비를 수주하여 연간 대학원생 약 37명 이상의 학비와 인건비를 운영하고 확보하고 있어 앞으로 학생인건비 통합관리제도로 더 많은 우수 대학원생을 유치하고 지원할 계획임.
- **국제화 Fellowship 확대:** 대학원 재학 중 외국 대학 정규학기 국제복수 및 공동학위 과정 수학 시 또는 중단기 해외프로그램 참여, 국제적 학술 행사 참여시 대학 본부 차원의 국제화 Fellowship을 신규 지원할 계획임.
- 우수 외국인 대학원생 장학금을 확대하여 우수 장학금(수업료+입학금 100%), 자연계(수업료 75%), 협정 교류(수업료+입학금 100%), 정부 초청(수업료+입학금 100%) 등을 지원하고 있음.
- **우수학생 포상제 확대:** 본교 대학원 차원에서 대학원생들의 연구 동기를 높이고 성취 의욕을 고취하기 위한 대학원 차원의 우수 연구성과 포상제, 우수논문 포상제, KU Graduate Student Achievement Award 등과 같은 시상프로그램을 운영하고 있음.

<영어 논문작성 지도 및 지원 강화>

- 본 교육연구단에서 2015년 이후 제출한 모든 학위논문은 100% 영어로 작성하여 향후 국제저명학술지 논문게재가 쉽도록 지도하고 있음.
- 매 학기 개설되는 ‘대학원 세미나’ 과목에서 영어 논문작성법, 연구윤리교육, 국내 학술대회와 해외 학술대회 논문 구두 발표법과 포스터 발표법 등에 대하여 세부 전공 분야에 따라 교육연구단 전임교원이 팀티칭으로 지도하고 있음.
- 매 기초공통과목 강의에서 영어 텀페이퍼(term paper) 작성을 권장하여 석사과정 1~2학기 학생들은 강의와 연계된 내용을, 석사과정 3~4학기 학생들은 논문작성의 틀에서 텀페이퍼를 작성하여 국제학술지 게재로 연계되도록 함.

- 박사과정은 국제저명학술지 게재를 가정하여 영어 텀페이퍼 작성을 기본으로 하며 초안 작성 후 논문의 전개, 표현방법, 논지의 오류 등 세부사항은 강의담당 교수와 지도교수가 1:1 지도로 보완하여 실질적으로 국제학술지 논문 투고와 연계시키고 있음.
- 본교 대학원 차원에서 제공되는 **대학원생 논문 Clinic** 제도와 본교 차원에서 대학원생이 해외 저명 학술지에 논문을 투고할 경우 투고 이전 영어권 원어민이 영어 논문 교정을 도와주는 프로그램을 적극적으로 활용하여 우수성과 창출을 도모하고 있음.

4. 신진연구인력 현황 및 실적

4.1 신진연구인력 현황 및 실적

- 4단계 BK사업에서 본 교육연구단 사업비 규모의 한계로 학기평균 1~2인의 신진인력 지원하였음.
- 본 교육연구단 소속 신진연구인력은 고려대학교 총장이 발령하는 연구 교원(연구교수) 신분으로 임명하여 보험 혜택 등을 부여하고 연구에 몰입할 수 있도록 모든 행정업무에서 배제하여 지난 12개월 간(2021.09~2022.08) BK 신진연구인력이 SCI급 논문 3편을 산출하였음.

① 서지은 박사(2020년 9월 1일 ~ 2022년 8월 31일)

- 한국연구재단의 창의도전과제(다양한 광상 유형에서 산출하는 광물자원의 화학적 특성 연구NRF-2019R1I1A1A01063546) 책임연구자로 3차년도 연구를 수행하였음(2021.09~2022.05).
- 한국연구재단의 창의도전과제(중생대 한반도 아다카이트질 화성활동과 관련된 광화작용 비교, NRF-2022R1I1A1A01071269) 책임연구자로 과제에 선정되었음(2022.06~2025.05).
- 수행 과제와 관련된 연구 결과를 국제 우수학술지(Geosciences Journal/ Ore Geology Reviews/ Geochimica et Cosmochimica Acta)에 3편 게재하였으며, Geochimica et Cosmochimica Acta에 게재한 논문은 국제 공동 연구 결과임.
- 논문작성 등 학술 활동뿐 아니라 대학원생들의 현장 실습, 연구 방향 제시, 결과 해석 등 대학원생 지도 및 교육을 위해서도 많은 기여를 하였음.
- 2021년 9월에 고려대학교 지구환경과학과에 연구교수로 임용되어 본 사업단과 소속 학과에서 연구와 강의(학기 당 6시수)를 맡고 있음.
- 본 지구환경과학교육연구단의 첨단기기실의 고가 장비(EPMA) 구축과 운영에 기여하고있음.
- 고려대학교 4단계 BK21 RC 협의회 대표로 각 교육연구단 간의 연구 관련 교류 활동을 수행하고 있으며, 고려대학교 연구기획팀 RC로서 학교 차원의 프로젝트 기획을 지원하고, R&D 기획에 있어 분야 간 연결고리 및 거점 역할을 하는 등 연구과제 기획에 적극적으로 참여하고 있음.
- 고려대학교 기업산학협력센터(기산협)에서 주최하는 회의를 매주 참석하여 기업과 협력 가능한 산학과제를 탐구하고 있음.
- 리빙랩 과제(주제:고려대학교 내 폐건전지 관리 실태 및 효율적인 수거를 위한 아이디어 제안)를 기획하여 현재 고려대학교 대학원생들과 과제 수행을 하고 있음(2022.07~2022.12).
- 2022년 고교-지역사회 연계 진로교육과정 운영(주제: 지속 가능한 Green 지구환경과 에너지)을 수행하였음(2022.07).

<국제저널 - SCIE>

Bongsu Chang, Yeontae Jo, Jieun Seo, Young Jae Lee (2022) Characterizing mineral assemblages and chemical compositions of rock and material of arhat statuettes unearthed in Naju, Korea: A comprehensive rock-forming model. Preprint submitted to Journal of Archaeological Science. (under review)

Jeonggeuk Kang, Seon-Gyu Choi, Jieun Seo*, Sang-Tae Kim, Gyoo-bo Kim, Jung-Woo Park, Seong-Jun Cho (2022) Evolution of skarns of the giant Sangdong tungsten-molybdenum deposit, Taebaeksan Basin, South Korea. Ore Geology Reviews. (under review)

Il-Hwan Oh, Sang-Mo Koh, Chul-Ho Hwo, Bum Han Lee, Jieun Seo, Sang-Gun No, Seong-Jun Cho, Bong Chul Yoo (2022) Geochemistry and zircon U-Pb-Hf isotopes of igneous rocks associated with the Dongnam Fe-Mo skarn deposit in Taebaeksan Basin, South Korea. Geosciences Journal 26, 587-607.

Jong Hyun Lee, Jieun Seo, Seon-Gyu Choi, Chang Whan Oh, Young Jae Lee (2022) Different characteristics of barren and W-Mo-productive Cretaceous granites in the Hwanggangri

mineralized district, South Korea. Ore Geology Reviews 141, 104645.

Scott A. Whattam, Roger H. Hewins, Jieun Seo, Bertrand Devouard (2022) Refractory inclusions as Type IA and aluminium-rich chondrule precursors: Constraints from melting experiments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 319, 30-55.

<국내저널>

서지은, 최선규, 이영재, 허철호 (2022) 한반도 내 코발트자원 부존 가능 지역에 대한 고찰. 광물과 암석 예정.

서지은, 최선규, 이영재, Etsuo Uchida (2021) 한반도 중생대 철 광화작용의 재조명. 지질학회지 57(4), 615-628.

<국제학술회의발표>

Jieun Seo, Seon-Gyu Choi, Young Jae Lee (2022) Formation of the titanomagnetite deposit in Yeoncheon, South Korea. ED: Anthony B Christie 'THE CRITICAL ROLE OF MINERALS IN THE CARBON-NEUTRAL FUTURE' 16TH BIENNIAL MEETING SGA 2022. 28-31 March 2022. ROTORUA, NEW ZEALAND

Nature Conference (Waste Management and Valorisation for a Sustainable Future) 2021.10.26-2021.10.28. Seoul.

② 김재현 박사(2020년 9월 1일 ~ 2021년 8월 31일)

- 환경지질학연구실(지도교수: 이순재)이 수행하는 기존의 과제에 참여하여 연구를 수행하고, 신규 연구 과제 기획에 적극 참여하여 환경산업기술원, 연구재단, 한국광해광업공단에서 지원하는 과제 수주에 많은 기여를 하였음.
- 한국연구재단의 창의도전과제(국내 정비하천 지중환경 특성을 반영한 하천수-지하수 혼합대의 지하유체 및 오염물질 거동 연구) 책임연구자로 과제에 선정되었음(2020.06~2022.05).
- 연구 수행결과를 국제우수학술지 (Environmental Science and Pollution Research 등)에 4편 게재함.
- 특허 출원 (국내특허 3건 및 저작권)등의 기술 개발 활동을 주도하여 대학원생들의 문제해결 능력 함양 및 다양한 학술 및 기술 성과 창출을 지원함.
- 대학원생들의 현장 실습, 연구 방향 제시, 결과 해석 등 대학원생 지도하는데 기여를 하였으며, 학부에서도 강의(학기 당 1시수)를 맡고 있음.

<국제저널 - SCIE>

J. H. Kim, B. Chang, B. J. Kim, C. Park, J. Y. Goo, Y. J. Lee, et al. (2020), Applicability of weathered coal waste as a reactive material to prevent the spread of inorganic contaminants in groundwater, *Environmental Science and Pollution Research* Vol. 27 Issue 36 Pages 45297-45310.

B. Kim, C. Park, K. Cho, J. Kim, N. Choi and S. Lee (2021) Sulfuric Acid Baking—Water Leaching for Gold Enrichment and Arsenic Removal from Gold Concentrate, *Minerals*, Vol. 11 Issue 12 Pages 1332.

J.-Y. Goo, J.-H. Kim, Y. J. Lee and S. Lee (2021) Configuration of Non-Pumping Reactive Wells Considering Minimum Well Spacing, *Applied Sciences*, Vol. 11 Issue 23 Pages 11408.

J.-H. Kim, S. Y. Lee, S. Rha, Y. J. Lee, H. Y. Jo and S. Lee (2021) Treatment of Heavy Metal Wastewater by Ceramic Microfilter Functionalized with Magnesium Oxides, *Water, Air, & Soil Pollution* Vol. 232 Issue 12 Pages 498.

4.2 우수 신진연구인력 확보 및 지원 계획

- 우수 신진연구인력 확보를 위해 당초 계획대로 학과 홈페이지, 국내외 academic job site 등으로 본

교육연구단의 우수성을 홍보하여 정기 채용 공고 후 새로 신진연구인력을 확보하였음.

- **새로운 전문 직군 양성**을 기획한 당초 계획서 내용에 따라, 학제 간 협력 강화를 위하여 2020년 2월 교육연구단 소속 연구교수(Research Coordinator)가 중심이 되는 ‘BK21 RC 협의체’를 창립하였으며, 이 협의회의 초대회장을 본 지구환경교육연구단의 연구교수가 중심이 되어 교내뿐만 아니라 국내 교육연구단 간 협력체계를 강화해 나가는 활동을 하고 있음.
- **신진연구인력 안정적 강의기회 확대**를 위해 고려대학교는 지난 3년간 학문 후속세대를 비전임 교원으로 채용하여 강의 기회를 확대하였으며, 본 지구환경과학교육연구단의 비전임 연구교원의 강의 비중을 확대하였음.
- 또한, 이를 위하여 고려대학교 본부 차원의 「강사 인사규정」 제·개정, 우대선발 강좌 비중확대, 이공계 실습 조교인 Teaching Fellow의 강사전환 등을 통해 학문 후속세대에 대한 강의기회 확대 제공을 하기 위한 노력을 본 지구환경과학교육연구단 참여교수를 중심으로 추진하고 있음.
- **신진연구자 기본연구역량 강화**하기 위해 영어 논문작성법, 국제학술지 투고 전략, 연구를 위한 국내·외 학술 정보탐색, 논문검색, 전공별 논문작성법, 학술정보지원강화(EndNote, RefWorks, JCR, Scival 등)에 대한 교육을 제공하고 있음.
- **선도 연구지원을 위한 최신 연구 기자재 확보 및 사용기회 확대**: 학문 후속세대 지원과 우수 연구인력 양성을 위해 연구 교원(박사후연구원 포함)의 경우 메디힐 지구환경관 첨단 분석 기기센터의 첨단 기기를 우선하여 사용할 기회를 제공할 예정으로 현재 고가 분석장비들을 구축 중임.
- **연구 네트워킹역량 강화**: 신진연구인력의 세계적 연구성과 도출을 위해 국제수준의 Global Professorship Program, 해외 정규 교환 방문 프로그램, 박사학위 취득자 해외연수 프로그램 등의 운영을 계획하였으나, 코로나 발생으로 지연되고 있음.

4.3 향후 추진 및 확대 계획

- **신진연구인력 논문작성지원확대**: 고려대학교 차원에서 신진연구인력의 우수연구성과 도출을 위해 ‘신진연구인력 국제학술지 논문 교정지원 사업’, ‘신진연구인력 전문학술지 논문게재장려 지원사업’을 도입하여 운영할 계획임.
- **산업계 네트워킹** 기반으로 KU-크림슨 기업 등과 기술교류회 등을 실시하여 산업계와의 네트워킹의 장을 마련하고, 학제 간 융합 연구를 위해 신진연구인력에게는 학제간연구회 지원사업을 통해 지원하고 있음.
- **최신 연구방법론 교육프로그램 확대**: 고려대학교는 인공지능 정보처리 기술 발전에 따른 빅데이터 활용 방법론 및 글로벌 연구혁신 패러다임에 대응한 리빙랩 설계 등 최신 연구방법론 강의를 신진연구인력을 위하여 개설하고 확대할 예정임.
- 강의 평가 환류 체계를 강화하여 강의 평가결과가 우수한 비전임 박사학위자에 대해 인센티브를 제공하고 지속적인 강의기회를 제공하는 기반을 마련할 예정임.
- 학문 후속세대의 교수 역량 향상 지원을 위하여 비전임 박사학위자가 전문적인 교수법을 익히고 올바른 교수자로 성장할 수 있도록 지원하는 비교과 프로그램을 개설하여 제공할 예정임.
- 또한, 연구자 관점의 비전임 교원 인사관리 행정, 박사후연구원 관리, 연구공간 및 장비 활용의 제도를 강화하여 ‘Research Fellow’ 제도 기반을 마련하여 미래 전문가 양성에 일조할 예정임.
- **연구 자율성 강화 지원**: 신진연구자들이 연구에 몰입할 수 있도록 연구환경문화 개선으로 선순환 체계를 마련하여 도전적이고 창의적인 연구를 수행할 수 있는 수평적 문화 조성 및 개방적이고 협력적인 연구환경 조성하여 미래 연구자로 성장할 수 있도록 유도함.

5. 참여교수의 교육역량 대표실적

- 다음은 참여교수의 교육역량 대표실적 3건에 대한 상세 내용임.

연번	참여교수명	연구자등록번호	세부전공분야	대학원 교육관련 대표실적물	DOI번호/ISBN/인터넷 주소 등
참여교수의 교육관련 대표실적의 우수성					
1	이영재		광물학	신규과목개설	
	신규과목명: 첨단지구분석특론(영강) (A Cutting-Edge Professional Technology and Analysis in Geoscience) (EES727) (3학점 영강) 개설시기: 2022년 9월~ 현재 우수성: 본 신규과목은 대학원생들에게 최근 기술 발전에 따른 지구분석 기기의 동향을 이해하고, 각 기기별 원리와 특성을 이해하여 학생들의 연구 목적에 적합한 기기의 선택 및 활용법을 배양하기 위해 개설하였음. 수업에서는 지구의 자연 광물 및 이온종의 특성 분석을 위한 핵심 기기들이 주로 다루어지며, 주차별 본 학과가 실보유한 다양한 첨단분석기기(XRD, XRF, FT-IR, ICP-OES, 편광현미경, EPMA 등)의 이론 학습 및 활용 실습을 통해 장비의 원리를 이해하고, 연구 목적에 맞는 장비의 선택 및 활용법, 양질의 데이터 생산 및 처리 방법을 익히게 됨. 또한, 분석결과에 대한 학생들의 다양한 분야의 연구 적용 타당성을 발표하고, term-paper 작성과 함께 조별 토의를 실시하여 다학제적 연구력 증진에 기여함. 본 교과목은 학생들의 분석기기 실습교육 요구와 필요에 맞추어 개설되었으므로 학생들의 자발적 수업참여와 강의 만족도가 특히 높을 것으로 판단됨.				
2	김성룡	10874690	지구물리학	신규과목개설	
	신규과목명: 지구과학을 위한 인공지능(영강) (Artificial Intelligence for Geoscience) (EES726) (3학점 영강) 개설시기: 2022년 9월~ 현재 우수성: 폭발적으로 증가하는 지구환경과학 분야 디지털 빅데이터를 다루기 위해 인공지능에 기반한 새로운 방법론을 학습할 필요가 있다. 이를 위해 기존 “지구물리학 특수연구” 과목을 “지구과학을 위한 인공지능”으로 지구환경과학 전반에서 활용할 수 있는 인공지능 방법을 학습하는 과목으로 개편하고자 한다. 본 신규과목에서는 대학원생들이 다양한 지구과학 연구분야에서 인공지능을 적용하는 방법을 학습한다. 이를 위해 인공지능, 특히 심층학습의 개념과 원리를 이해한다. 지구과학 개별 연구분야에 적용하기 위해 발표된 적용사례를 학습하고 실습을 통해 실제 연구에 적용한다. 본 교과목은 학생들의 최신 심층학습에 대한 강의 요구와 필요에 맞추어 개설되었으므로 학생들의 자발적 수업참여와 강의 만족도가 특히 높을 것으로 판단됨.				
3	이순재			신규과목개설	
	신규과목명: 지구통계학 (Geostatistics) (EES527) (3학점 영강) 개설시기: 2022년 9월~ 현재 우수성: 본 신규과목은 대학원생이 지구통계학적 해석 방법을 이해하고 본인의 연구에 적용하기 위하여, 지구환경과학 분야의 공간적 분포하는 자료를 획득하여, 불확실성 고려한 특성화, 가설 검증, 예측 과정을 학습한다. 특히 지질학적, 지화학적, 수리지질학적, 광상학적 현상에 있어 지구통계학의 역할을 이해하기 위한 최신의 이론과 분석기법에 대해 학습하고, 이를 구현한 다양한 통계 도구의 활용을 통해 특성화 및 예측을 수행하는 능력을 배양하기 위해 개설하였음. 본 과목은 2013년 출판된 지구통계학 주교재를 활용한 참여교수의 강의와 함께 대학원생들의 보유 자료의 특성화 및 매 수업마다 다양한 통계 도구를 활용한 지구통계 적용사례의 발표로 구성됨. 대학원생의 기초 연구역량 강화에 기여할 것으로 기대됨.				

6. 교육의 국제화 전략

① 교육 프로그램의 국제화 현황 및 계획

● 4단계 BK21사업 이후(2020.09~) 외국 연구소 및 대학과의 주요 인적 교류 현황

1. 교육연수 사업명: 르완다 국립대학교 건립사업 (University of Rwanda Infrastructure Development Project)

- 본 사업은 개발도상국의 산업 및 발전을 위해 대한민국 수출입은행(EDCF)이 지원하는 ODA 차관 사업임. 르완다 내 7개의 국공립대학 통합정책(One University)에 따라 2013년 르완다 국립대학교 출범하였고, 해당 대학의 인프라 구축 및 교육 훈련을 통해 고등교육 수준의 향상과 교육 수혜자를 확대하기 위한 사업임.
- 실무자 교육 연수 프로그램 중 Mining and geology equipment training은 고려대학교 지구환경과학과에서 3일 동안 진행함. 실무자 교육연수 프로그램은 르완다 대학교의 요청에 따라 현재 석사과정 대학원생 5인을 연수 대상자로 대체 선발하여 진행함.
- 연수 참석학생(5명): Juliette confiance KABATESI / Nawally UMUTONIWASE / Francois HATEGEKIMANA / Lydie UWIBAMBE / Joseph IRANZI
- 프로그램 일정

일자	시간	내용	강사
Aug 31 st (Tue)	08:30	Move to Korea Univ.	KIM, Hyeong Soo Park, Byung-Jun Lee, Jung-Min
	09:30	P/ How to use Clino-meter	
	11:30	P/ Practice	
	12:30	Lunch	
	13:30	P/ Practice	
	16:30	G1/ Observation of minerals and rocks	
	18:00	Dinner	
Sep 1 st (Wed)	08:30	Move to Korea Univ.	KIM, Hyeong Soo Park, Byung-Jun Lee, Jung-Min
	09:30	CP/ How to make thin section by Cutter and Polisher	
	12:30	Lunch	
	13:30	CP/ Practice of making thin section	
	18:00	Dinner	
Sep 2 nd (Thu)	08:30	Move to Korea Univ	KIM, Hyeong Soo Park, Byung-Jun Lee, Jung-Min
	09:30	M/ Understanding of polarized microscope	
	11:30	M/ Practice: Identification of mineral using microscope 1	
	12:30	Lunch	
	13:30	M/ Practice: Identification of mineral using microscope 2	
	17:00	Action plan 03. Review and QnA	
	18:00	Dinner	

- 활동사진



2. 고려대-ITB (Institut Teknologi Bandung; 반등 과기대) 공동 원격 세미나

- 고려대-ITB (Institut Teknologi Bandung; 반등 과기대) 공동 원격 세미나
- 고려대와 ITB의 지진학 관련 합동 Zoom 세미나를 2021년 8월 5일 개최
- 각 기관 전반적인 연구의 방향에 대해 토의하고 대학원생 각자의 연구를 발표하는 기회를 가짐.
- 프로그램 관련 email 회신

Dear Seongryong,

Thank you for the list of the presenter from KU. Prof. Nugraha from ITB could only give the presentation early in the morning. So how about if we proceed as followings. We need to have two breaks to facilitate both lunch time.

Note - all time in UTC+7 (Jakarta Time)

07:30 - 07:35 : Opening
 07:35 - 08:05 : Prof. Andri D. Nugraha [Overview of aftershock monitoring of 2018 Lombok earthquake]
 08:05 - 08:35 : Prof. Sang-Jun Lee [Upper crustal shear wave velocity and radial anisotropy models from ambient noise tomography]
 08:35 - 08:45 : Dr. Seongryong Kim [Overview of research in KU]
 08:45 - 08:55 : Dr. David P. Sahara [Overview of research in ITB]
 08:55 - 09:00 : photo-session
 09:00 - 09:15 : Jongwon Han [Machine Learning in Seismology and Application on Gyeongju Earthquake [PhD-1]
 09:15 - 09:30 : Martanto [Auto Classification of Volcano-Tectonic (VT) Earthquake Using Machine Learning Case Study of Agung Volcano Unrest 2017] [M-2]
 09:30 - 09:45 : Yeonjoo Im [Lithospheric structures around the Mt. Baekdu (Changbaishan) volcano by Bayesian joint inversion of receiver functions and surface wave dispersions] [M-3]
 09:45 - 10:00 : Aria W. Baskara [Seismotectonic of the 2019 Mw 6.5 Ambon earthquake and its aftershocks based on moment tensors inversion] [M-2]
 10:00 - 11:00 : Break [lunch time Korea]
 11:00 - 11:15 : Young-Jun Jeon [Estimating subsurface S-wave structures from transdimensional and hierarchical Bayesian inversion with f-k analysis using geophone microarray] [PhD-1]
 11:15 - 11:30 : Faiz Muttaqi [Seismic structure imaging and anisotropy using tomography in southern of Java] [PhD-3]
 11:30 - 11:45 : Hayoung Park [Evaluation of ground motion prediction equations in Korean Peninsula] [M-1]
 11:45 - 12:00 : Rizka Amalia [Application of Omori-Utsu law for estimating the decay rate and re-entry protocol in a mining] [M-2]
 11:00 - 12:00 : Break [lunch time Indonesia]
 12:00 - 12:15 : Jaeseok Lee [3D ground motion predictions of scenario earthquakes in the southeastern Korean Peninsula] [M-3]
 12:15 - 12:30 : Taufiq Rafie - Variation of in-situ stress along the Sumatran subduction zone [PhD-3]
 12:30 - 13:00 : Discussion on possible collaboration and wrap up

Regarding the zoom we could use the following link

Topic: Join Seminar ITB - KU 2021

Time: Aug 5, 2021 07:30 AM Jakarta (UTC+7)

Join Zoom Meeting

<https://us02web.zoom.us/j/82413994462?pwd=d0pySkVwSGdxMERPaGw3VFV4Q1B5QT09>

Meeting ID: 824 1399 4462

Passcode: 830020

Best regards,

David

- 고려대 지진학 연구 소개 슬라이드

2021 Joint Seminar between ITB and KU



Collaboration with:



August 5, 2021

- 사업 신청 당시 **향후 해외학자 활용 계획 및 역할**을 아래와 같이 설정하였으나 코로나19 장기화로 인해 2022년 하반기 이후에 진행할 계획임.

연번	일시	이름 / 소속	활용 계획	역할
1	2023. 01~	Prof. Sang-Tae Kim / 캐나다 McMaster University	공동연구 및 초청 강연	캐나다 McMaster 대학 School of Geography & Earth Sciences 연구진과 동위원소 지구화학 분야 공동연구 방안과 2022년 하반기부터 고려대 메디힐 지구환경관에 설치될 첨단분석기기 구축 및 활용방안을 논의하고, 본 사업단 대학원 연구수준 향상을 위한 단기강좌와 초청 강연 예정임.
2	2023. 01~	Dr. Ed OLoughlin / 미국 Argonne National Lab	공동연구 및 초청 강연	미국 Argonne National Lab.의 Molecular Environmental Science Group과 지중생지구화학 분야 공동연구 방안을 논의하고, 본 사업단 대학원 연구수준의 향상을 위한 단기강좌 및 초청 강연 예정임.
3	2023. 01~	Prof. Martin Jun / 미국 Purdue University	공동연구 및 초청 강연	광섬유 기반 온실가스 현장 모니터링 기술 개발 및 현장 적용과 관련한 공동연구 성과 점검과 향후 계획 협의 및 초청 강연 예정임.
4	2023. 01~	Prof. Nguyen Trung Minh / 베트남 National Museum of Nature	공동연구 및 초청 강연	Critical zone에 관한 공동연구 상세 추진 내용과 본 사업단과의 MOU에 기반한 공동연구와 인력 교류 방향 협의 및 초청 강연 예정임.

- 4단계 BK21사업 이후(2020.09~) **해외학자 활용 실적**은 아래와 같음.

연번	일시	이름 / 소속	활용 계획	역할
----	----	---------	-------	----

1	2022. 8.17	Prof. David Sahara / Bandung Institute of Technology, Indonesia	공동연구 계획 및 초청강연	반동과학기술대학교는 인도네시아 최상위 연구중심대학으로 Geophysical Engineering, Mining Engineering, Petroleum Engineering, Metallurgical Engineering, Geothermal Engineering 등의 공학분야가 강하지만 에너지자원 광물의 성인 등 기초분야에 대해 약점을 가지고 있고 본 연구단과의 협업을 통해 상호 시너지를 일으킬 것으로 사료됨. 현재 인도네시아에서 수행되고 있는 자원탐사 관련 최신연구동향을 소개함.
2	2022. 7.27	Dr. Barry Lefer and John Crawford / 미국 NASA (Project Manager, Chief Scientist)	공동연구 계획 발표 및 논의	미국 NASA에서 KORUS-AQ 이후 NASA GTE (Global Tropospheric Experiment) 프로그램으로 Asia-AQ를 2024년 1-3월에 대한민국~인도에 이르는 지역에서 DC-8을 이용하여 항공관측을 수행할 계획임. 최근 강북 비행 금지가 해제되어 본교 위로 비행이 가능해짐. 서울과 태국을 중심으로 지상 네트워크 관측을 수행할 예정이므로 이에 대한 연구 방향을 논의함.
3	2022. 6.24.	Professor Saewung Kim / 미국 Univ. of California, Irvine, Department of Earth System Science	초청 강연	국내 연구진과 협력으로 항공관측을 수행하여 서산 산업단지 상공에서 VOC와 SO2를 측정하였고 상세 결과를 바탕으로 산업단지의 배출량을 정량적으로 추정하고 본 연구실에서 충남 대기환경연구소에서 측정한 VOCs 측정 결과와 비교 분석함.
4	2021. 12	Dr. YoungJae Kim / 미국 Argonne National Lab.	공동연구 및 초청강연	미국 Argonne National Lab.과의 지중환경 내 광물 미구조와 계면 지구화학적 반응에 대한 미시분광학 및 양자모델링적 복합해석을 위한 공동연구 방안을 논의하고, 본 사업단 대학원 연구수준의 향상을 위한 초청 강연 실시하였음.

- **우수 외국인 학생 유치 현황** - 4단계 BK21사업 이후(2020.09~) 해외 외국인 학생의 적극적인 유치 활동을 통해 아래와 같이 우수 외국인 석사 및 박사과정 학생을 6명을 유치하였음.

연 번	이름	국적	현황	지도 교수
1	Mr. Yidan Zhang	중국	2020.09 입학, 박사과정 재학 중	권만재
2	Mr. Franklin Enow Arrey	카메룬	2021.02 입학, 박사과정 재학 중	윤성택
3	Ms. Rizka Amalia	인도네시아	2022.03 입학, 박사과정 재학 중	김성룡
4	Ms. Sijing Chen	중국	2022.03 입학, 석사과정 재학 중	이미혜
5	Ms. Moqian Wang	중국	2022.09 입학, 석사과정 재학 중	권만재
6	Ms. SAVIC Anja	세르비아	2022.09 입학, 박사과정 재학 중	이미혜

● 우수 외국인 학생 유치 계획

- 해외 우수 대학 및 연구기관과 학생교류 및 공동연구 프로그램을 통한 학생 유치

· 기관: Vietnam National Museum of Nature, Vietnam

· 내용: 학생, 교수, 연구진 교환 및 공동연구 프로그램 운영에 관한 MOU 연장 체결 완료 (2020.02).

- 해외 전문 학술 웹사이트 활용

· 웹사이트: AEESP 및 해외 주요학회지 광고 (Geological Society of America, Geochemical Society, American Geophysical Union 등)

· 내용: 해외 광고로 석사 및 박사과정 우수 대학원생을 지속적으로 유치하고자 함.

- 해외기관을 통한 학생 교환 프로그램을 신설 - 아래와 같이 프로그램을 신설을 통해 우수 외국인 학생을 유치하고자 함.

연 번	기관	담당자	일시	내용	담당 교수
1	Shanghai Institute of Technology	Dr. Xiona Shang	2022년 2학기~	Shang 교수는 본교에서 박사학위를 받은 후 북경 중국환경과학연구원 (CRAES) 한중공동연구단과 상해 푸단대학에서 재직 후 상해기술대학 환경공학과 교수로 부임하였음. 코로나로 인해 연구교류가 지연되고 있으나 대기환경 측면에서 산둥지역과 상해 지역과의 연구 협력은 매우 중요함.	이미혜
2	중국 연변 대학교	김분희 교수	2022년 2학기	1단계 BK사업 시 서울대학교와 본 사업단이 연변대학교 환경분석센터와 국제협력 연구를 수행하였으며, 당시 참여 연구원이 연변대학교 교수가 되어 지속적인 협력을 요청함. 중국 동베이 지역의 연변은 동북아시아 대기 환경과 지질환경 연구 수행에 적절한 지역으로, 1단계 BK사업 시 MOU를 체결하였으나 해당 연구소가 없어져 화학부와 지리학부 두학과와 협력 연구와 대학원생 교류를 추진하고자 함.	이미혜
3	Institut Teknologi Bandung (ITB, 인도네시아 반둥과 학기술 대학)	Prof. David Sahara	2022 가을	인도네시아의 ITB는 지진연구 및 지하자원 탐사에 높은 위상을 가지고 있음. 이에 따라 ITB의 Faculty of Mining and Petroleum Engineering과 학과 단위의 MOA를 맺고 석사과정 학생을 대상으로 공동학위제를 추진 중이며, 현재 David Sahara 교수의 고려대학교 방문을 통해 MOA 작성을 마치고 현재 대학 내 검토 및 승인 단계에 있음. 2023년 1학기를 목표로 공동학위제가 시작되면, 고려대학교 측 학생들은 다양한 실제 현장경험을 할 수 있을 것으로 기대됨. 해당 프로그램은 향후 박사학위 공동 수여로 확장될 예정임	김성룡

● 본 교육연구단 지원예정 우수 외국인 학생

연 번	이름	국적	학위 또는 소속	지도예정 교수
1	Nguyen Thi Thao	베트남	M.S.: Korea University (2010년) - 환경지구화학 전공 - Vietnam Institute of Geological Sciences 소속 연구원으로 본 교육연구단 박사과정 진학 예정	윤성택 (환경 지구화학)
2	Le Thi Thuy	베트남	B.S.: Vietnam National University, Hanoi (2020) - 환경화학 전공 - 2023년 1학기 진학 예정	이미혜 (대기화학)

- 우수 교수진에 의한 국제적 수준의 교육과 연구가 실현될 수 있도록 교육과정을 구성하여 지질과학을 기초로 한 지구환경과학 분야에서 향후 국가 경제와 기초학문의 성장을 이끌어갈 창의적 최고급 전문인재 양성을 성공적으로 수행할 수 있을 것으로 기대함.

② 참여대학원생 국제공동연구 현황과 계획

- 대학원생의 해외 연구실 공동연구 수행 현황

연 번	공동연구참여자			상대국/ 소속기관	연구활동 및 기대효과	연구 기간
	교육연구단		국외 공동 연구자			
	대학 원생	지도 교수				
1	이선희	권만재	Edward O ‘Loughlin	미국 / Argonne National Lab.	• 도심 지하 공간 개발에 따른 지중환경 탄소, 황, 철 생지구화학적 변환 및 미생물군집변화 연구 • Dr. Edward O’ Loughlin은 지중환경 원소의 생지구화학적 순환 연구의 저명과학자로 소속 대학원생의 연구역량 및 국제화 역량이 크게 향상될 것으로 기대	202012 - 202102
2	장이단	권만재	Edward O ‘Loughlin	미국 / Argonne National Lab.	• 지중환경 내 안티몬(Sb) 거동에 영향을 미치는 생지구화학적 산화·환원 작용 연구 • Dr. Edward O’ Loughlin은 지중환경 원소의 생지구화학적 순환 연구의 저명과학자로 소속 대학원생의 연구역량 및 국제화 역량이 크게 향상될 것으로 기대	202101 - 202202
3	박강현	권만재	Matthew F. Kirk	미국 / Kansas State University	• 심부 기원 CO₂ 누출이 토양 미생물군집변화 및 생지구화학적 특성에 미치는 영향 연구 • Prof. Kirk는 이산화탄소 지중저장이 지중환경에 미치는 영향 연구분야에 있어 저명 과학자로, 공동연구를 통해 담당 대학원생의 국제화 역량에 크게 향상될 것으로 기대	202109 - 202208
4	강유정 윤창동	이미혜	Yugo Kanaya	일본 / JAMSTEC	• Soot Photometer (SP2)를 이용한 BC(black carbon) mixing state 분석 • 미국과 유럽에서 개발된 분석 기술을 기반으로 Kanaya 박사 연구팀은 동북아시아 환경 최적의 분석 기술과 장기 자료를 보유함. 협력을 통해 최대 배출원 중국의 BC 영향 규명을 기대하 동시에 극지환경 연구에 접목하고자 함.	202001 - 202212

5	황주리 김효민	이미혜	Savarino Joël	프랑스 / Institut des Géosciences de l'Environnement IGE	• 동북아시아 고농도 미세먼지는 질산염에 의해 발생되는데 기존의 입자생성 이론으로 그 변환과정이 설명되지 않음 • 동위원소 지문법을 활용해 미세먼지의 변환 기작과 배출원을 파악하는 고도의 분석 기술을 보유한 프랑스 연구팀과의 협력을 통해 질산염 생성기작을 규명하였고 앞으로 빠르게 변화하는 대기환경 파악에 적용하고자 함.	202007 - 202212
6	길준수	이미혜	Martin Schultz	독일 / Earth System Data Exploration Dept. of Federated Systems and Data Jülich Supercomputing Centre Forschungszentrum Jülich	• 조기 정보를 제공하기 위한 목적으로 머신러닝을 이용해 대기오염을 분석하고 예측하는 새로운 AI 기반 모델 개발 연구를 수행중임. 이 기술을 우리나라를 포함한 아시아에 적용하여 더 정확하고 저렴한 대기질 예측을 하고자 함. • 대류권 오존 평가 (TOAR)을 함께 수행하였고 현재 TOARII 협력중임. 이들 프로그램을 통해 이 팀의 머신러닝 적용 가능성이 드러남. 독일 연구팀이 개발한 AI 방법을 기반으로 우리나라에서 실시간 네트워크 생산 자료를 활용하여 오존 예측 시스템을 구축하고자 하는데 협력하고자 함.	

● 대학원생의 해외 연구실 공동연구 수행 계획

연 번	공동연구참여자			상대국/ 소속기관	연구활동 및 기대효과	연구 기간
	교육연구단		국외 공동 연구자			
	대학 원생	지도 교수				
1	장이단	권만재	Ed. O ‘Loughlin	미국 / Argonne National Lab	• 안티몬 환원미생물 분리 및 안티몬 환원 기작, 환원산물 특성화 연구 • Dr. O’ Loughlin은 지중환경 내 핵종, (준)금속의 거동 및 미생물학적 반응 연구분야에 있어 저명 과학자로, 해당 공동연구를 통해 담당 대학원생의 국제화 역량에 크게 향상될 것으로 기대	202209- 202302

● 대학원생의 장단기 해외연수 계획 - 아래 대학원생 연수활동은 코로나19 장기화로 인한 해외출장의 어려움으로 2022년 하반기 이후에 시행할 계획임

연 번	공동연구참여자			상대국/ 소속기관	연수활동 및 기대효과	연구 기간
	교육연구단		국외 공동연구 자			
	대학 원생	지도 교수				

1	박강현/ Zhang Yidan	권만재	Maxim Boyanov, Edward O' Loughlin, Ken Kemner	미국 / Argonne National Lab.	- 싱크로트론 기반 X-ray 분석을 이용한 심부 단열대 미생물 작용에 의한 이차생성 광물 동정 및 변환 분석 - Argonne National Lab의 Advanced Photon Source (APS)의 Synchrotron X-ray를 직접 활용할 수 있는 기회를 통해 소속 대학원생의 연구역량 향상과 함께 최고 수준의 논문 작성이 가능할 것으로 기대	202211 - 202212
2	길준수	이미혜	Martin Schultz	독일 / Jülich Supercomputing Centre	- 질소산화물은 낮의 광화학 밤의 입자 표면 이질반응에 의해 오존과 미세먼지 생성에 기여함. 하지만 생성 조건과 분석이 매우 까다로워 이질반응에 대한 이해가 매우 미흡 - 인공신경망모델과 머신러닝 기법의 대기화학 적용 기술 개발을 선도하는 Schultz 박사 팀과의 협력 연구를 통해 질소산화물의 이질반응 과정의 규명과 영향 파악에 기여가 기대	202304 - 202305
3	윤창동	이미혜	Yugo Kanaya	일본 / JAMSTEC	- BC 장기 측정 결과 분석 논의 및 SP2 쇄빙선 극지관측 기술 습득 (일본 2026년 우리나라 2027년 북극관측 전용 쇄빙선 완공) - MAX-DOAS를 이용해 본교에서 서울의 NO2 및 미량 반응기체의 컬럼 관측 협업 진행 및 논의	202212 - 202301

● 대학원생의 장단기 해외연수 현황(4단계 BK21사업 이후(2020.09~))

연 번	공동연구참여자			상대국/ 소속기관	연수활동 및 기대효과	연구 기간
	교육연구단		국외 공동연구 자			
	대학 원생	지도 교수				
1	An Xiangyi	이진한	Weijun Gan	중국 / 지진국 지질연구 소	- GPS, InSAR를 이용한 지표변형 분석을 통해 지진예측 방법을 개발 - 측지자료를 이용한 지표변형 분석에 선도적 역할을 하는 중국 지질연구소에 박사과정 대학원생의 장기연수로 연구역량 국제화 및 지진예측방법 개발	202103 - 202202
2	Frankli ne Enow Arrey	윤성택		카메룬 / Yaounde 대학교	카메룬 현지 오염조사	202201 - 202202

Ⅲ

연구역량 영역

1. 참여교수 연구역량

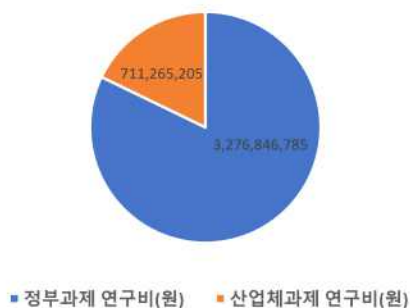
1.1 연구비 수주 실적

〈표 3-1〉 최근 1년간(2021.9.1.-2022.8.31.) 참여교수 1인당 정부, 산업체, 해외기관 등 연구비 수주 실적

항 목	수주액(천원)		
	3년간(2017.1.1.-2019.12.31.) 실적 (선정평가 보고서 작성내용)	최근 1년간(2021.9.1.-2022.8.31.) 실적	비고
정부 연구비 수주 총 입금액	8,549,181	3,276,846	
산업체(국내) 연구비 수주 총 입금액	1,898,926	711,265	
해외기관 연구비 수주 총 (환산) 입금액	0	0	
1인당 총 연구비 수주액	1,160,901	398,811	
참여교수 수	9	10	

- 최근 1년간(2021.9~2022.8) 본 교육연구단 참여교수들은 정부 과제 연구비 32억 7684만 원과 산업체 과제 연구비 7억 1126만 원 등 **총 39억 8811만 원**의 연구비를 수주하였으며, 이는 **참여교수 1인당 연간 평균 3억 9881만 원**에 해당함.
- 이는 지난 3년간(2017.1~2019.12) 수주한 1인당 연간 평균 수주액(3억 8697만원)과 유사한 수준으로 사업 초반임을 감안 할 때 매우 우수한 실적으로 판단되며 향후 수주액이 지속적으로 상승할 것으로 기대함.
- 본 교육연구단이 수주한 연구비는 연구클러스터별로 천부지권 18.29억 원(45.9%), 고체지구 11.36억 원(28.5%), 대기환경 7.07억 원(17.7%)으로 세분되며, 추가로 인력양성 사업으로 3.15억 원(7.9%)을 확보하였음.

2021~2022 교육연구단 연구비 분류



2021~2022 연구 클러스터별 연구비 현황

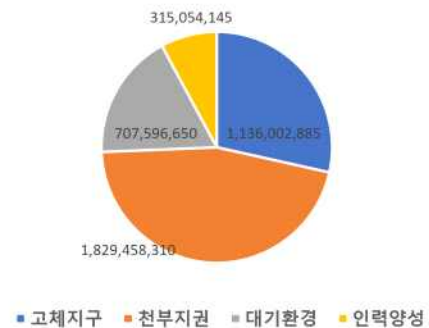


그림 3-1 지난 1년간 교육연구단 참여교수 연구비 수주실적 현황

- 상기한 교육연구단의 연구비 현황은 **지구과학 분야 국내 최상위권 실적**으로 연구 클러스터 간의 유기적 협력을 극대화하여 공동연구 활성화, 공동지도교수제 활용 등 연구목표를 효율적으로 달성할 수 있도록 노력하며 다수의 대형사업을 유치하여 가능하였음.

1.2 연구업적물

① 참여교수 연구업적물의 우수성

1.2.1 교육연구단 학술 및 연구 활동 계획

- 본 교육연구단은 연구역량 향상을 위하여 연구 클러스터의 특성화와 연계화 및 환류 시스템 정착, 산학연협력과 국제화를 강화하여 우리 사회의 지속 가능한 발전을 위협하는 사회적 문제를 해결하고자 기존 연구역량을 뛰어넘는 연구목표를 설정하고 있음.
- 또한, 해외 우수연구기관의 협력을 통한 **연구의 국제화 강화**로 글로벌 수준 연구역량을 달성하고자 계획하고 있음.
- 참여교수, 대학원생, 신진연구인력의 저명 국제학술대회 및 국내외개최 학술대회 참가 지원, 해외 석학 초청 강연, 국내-해외 Joint 심포지엄 개최 등의 국제화 지원으로 해외 최신 연구 동향을 습득하고 국제 네트워크를 확대하는 연구역량 강화를 계획하고 있음.
- 3단계 BK21사업 참여대학원생의 약 16%가 외국인 학생들이었으며, 졸업 후 이들이 국내외 전공 관련 전문기관으로 진출하여 앞으로 외국인 졸업생들이 근무하는 국외 연구소, 대학 및 전문기관 등과의 전략적 교류와 국제공동연구를 계획하고 있음.

- 고체지구 연구 클러스터

- 광물과 석유자원의 탐사와 개발은 탐사 대상 지역 지질의 이해가 필수로 광화작용과 석유자원 집유장 형성 등이 지각의 조구조 운동 결과와 연결되므로 지각진화 규명이 최적 탐사지역 설정에 필수적으로 이는 고체지구 연구 클러스터의 핵심 주제 중 하나임.
- 한반도 활성단층의 분포와 지진재해 위험도에 대한 대형 국책과제들이 진행 중이며, 향후 지금까지 국내외에서 추진되었던 지진 위험관리와 방재 개념을 넘어 자연 및 유발 지진 위험을 체계적 점검, 관리하고 방재하기 위한 새로운 전략적 접근법 개발이 필요함.
- 지구 내부의 물리적·화학적·운동학적 특성을 이해하고 이를 바탕으로 지구 내부 물질과 에너지 이동과 형성 등을 연구하는 지구 동역학(geodynamics) 분야는 고체지구 분야의 과학 난제와 사회문제 해결에 필수적이므로 고체지구 클러스터의 핵심 주제임.
- 또한, 최근 지구의 지질작용(예, 광물과 암석의 순환, 생명의 진화, 판 구조 운동 등)에 대한 이해가 우주의 생명 가능 지대(habitable zone) 연구에 기초 핵심자료로 활용되므로, 국내외 지구 동역학 및 행성지질학 연구자들과 통합적 연구를 진행하고자 함.
- 세부적으로 ① 동북아시아 지각진화 통합연구, ② 한반도 활성단층과 지진 방재 연구, ③ 폐기물 지중 처분 최적지 도출 연구, ④ 거시적 동북아시아 지각 하부 구조 모델 도출 연구 등을 중점 수행할 계획임.

- 천부지권 연구 클러스터

- 인구의 급격한 증가와 도시화로 인한 자연현상과 관련된 자연재해와, 산업의 발달에 따라 부수되는 인간의 활동으로 발생하는 환경재해 위험이 급증하고 있으므로, 이러한 재해의 효율적 관리를 위한 원인에 대한 철저한 이해와 예측과 방지에 대한 기술개발이 필수임.
- 또한, 자연재해와 환경재해의 궁극적이고 효율적 관리를 위해 생물권, 수권, 암석권 등으로 이루어진 지구계 각 요소의 상호 작용과 순환 관계에 입각하여 인간 활동에 영향을 주는 자연현상과 인류 활동으로 야기되는 환경변화에 대한 근본적인 과학적 이해가 필요함.
- 인류의 삶과 직결된 천부지권 환경에서 각종 오염물질의 이동, 분산 특성과 운명을 체계적으로 이해하고 대처하기 위한 종합적 연구가 절실히 요구되며, 천부지권의 핵심인 지표, 지하수, 토양환경, 오염물질이 이동하는 지질 매체에 대한 종합적 이해가 중요함.
- 환경지구화학, 지하수환경, 토양환경, 생지구화학 분야의 공동연구로 천부 지권 환경을 구성하는 지질 매체의 유형별 특성이 오염물질 거동에 미치는 영향을 빈틈없이 검토하여 국내 지권 환경 분야 기초 기반 연구를 글로벌 수준으로 강화할 계획임.
- 세부적으로 ① 천부 지권 환경 내 오염물질의 기원·분산·운명에 관한 종합 해석 연구, ② 천부 지권 내 오염물질 거동에 관한 실내 실험과 최적 모델 파라미터 결정 연구, ③ 수리 모델링과 지화학 모델링을 활용한 천부 지권에서 오염물질 거동 해석 연구, ④ 지중환경 변화에 지구미생물의 직·간접적인 역할 등을 중점 수행할 계획임.
- 또한, 향후 지질재해의 근본 원인을 이해하고 효율적으로 관리할 수 있는 전문 인력에 대한 수요가 관련 연구소 및 국가기관을 중심으로 증가할 것으로 예상되므로, 지질재해 전반에 관련된 연구와 기본적 과학적 이해를 갖춘 전문인력 양성을 목적으로 함.

- 대기환경 연구 클러스터

- 도시화와 산업화의 가속으로 도시를 중심으로 오존과 미세먼지 농도가 증가하며 대기 질 저하가 심화됨. 앞으로 더욱 가속화될 도시화로 현재 진행 중인 온난화에 의한 공기의 정체가 대기 질을 더욱 악화시킬 것으로 전망됨(IPCC, 2021).
- 지역 규모의 대기오염부터 글로벌 규모의 온난화까지 모두 인간의 활동이 대기 조성 변화를 초래하여 기인한 것으로 대기화학은 대기 중 화학물질들의 생성과 소멸 과정을 규명하고 변화를 예측하여 최종적으로 정책 수립의 기반을 제공하므로 문제 해결형 연구의 전형이 됨.
- 본 교육연구단은 지구 내부와 지표 부근 환경과 대기환경의 상호작용을 중심으로 변화하는 대기 조성을 진단하는 연구를 수행하였으며, 반응성 미량 기체부터 미세먼지 조성, 오존과 미세먼지의 화학 변환과정을 파악하는 연구를 동북아시아 전역에서 수행 중임.
- 세부적으로 ① 미세먼지 중 질산염 변환과정과 질소의 이질반응 규명, ② 미세먼지 중 동위원소와 대기 중 휘발성 유기화합물(VOC) 분석, ③ BC 단일입자 분석과 특성 파악, ④ 서울의 오존 생성기작 파악, ⑤ 인공신경망 모델 활용 대기 이질 화학반응 파악 등에 대하여 과학적 난제 해결과 동시에 사회문제 해결을 위한 접근으로 중점 수행할 계획임.

1.2.2 교육연구단 연구목표 달성 방안 및 달성 정도

- 대표연구업적 실적 우수성 향상 목표

- **JCR 분야별 상위 10% 국제학술지 논문 200% 증가:** 본 교육연구단이 2015~2019년에 발표한 논문의 31%가 JCR 분야별 상위 10%급의 최우수 국제학술지였으며, 이를 4단계 BK 5년간 **발표논문의 60% 이상을 최우수 국제학술지에 게재하여 200% 이상 향상**을 목표로 함.

⇒ 4단계 BK21사업 이후(2020.09~) 약 2년간 총 91편의 SCIE급 논문을 발표하였으며 이중 28편을 JCR 분야별 상위 10%급의 최우수 국제학술지에 게재하였음(30.8%). 아래 교육연구단 대표연구업적 질적 우수성 확보 방안 통해 향후 4년간 신청 당시 목표를 달성할 계획임

- **Scopus 기준 교육연구단 피인용 횟수 300% 증가:** 본 교육연구단 참여교수들의 2015~2019 SCOPUS 누적 피인용 횟수 6,066회(연평균 1,213회)를 향후 5년간 300% 이상 향상된 누적 18,000회를 목표로 하여 연구의 가시적인 질적 성장과 글로벌 수준의 연구 임팩트를 목표로 함.

⇒ 4단계 BK21사업 이후(2020.09~) 게재 논문의 경우 출판된 지 약 2년 미만으로 평가자료로 제시하기는 어려우나 최우수 국제학술지를 포함한 Q1급 학술지 게재율의 증가를 통해 피인용 횟수의 지속적인 상승이 기대됨. Scopus 기준 본 교육연구단 참여교수들의 2020~2022년 8월까지 32개월간 누적 피인용 횟수는 총 6,934회(연평균 2,600회)로, 이는 3단계 BK21 사업수행 최종 5년(2015~2019년)간 달성한 총 6,066회(연평균 1,213회)의 2배 이상에 달하는 실적임. 4단계 BK사업에 참여하는 본 교육연구단 교수들의 피인용 횟수가 지속해서 증가하고 있음을 지시하는 고무적인 현상으로, 향후 4년간 누적 피인용 횟수 300% 이상 향상 목표를 달성할 수 있을 것으로 기대됨.

- **NSC급 논문 300% 증가:** 본 교육연구단이 지난 5년간 1편 발표한 NSC급 논문을 향후 5년간 Nature 자매지 포함하여 300% 이상 향상된 3편 이상 발표를 목표로 하여 해외 벤치마킹 대학과 비교하여 가장 열세인 NSC급 최우수 학술지 실적을 제고할 계획임.

⇒ 4단계 BK21사업 이후 NSC급 자매지 논문 1편을 게재하였으며 추가 1편이 제출되었고, 아래 III. 연구역량강화 - 교육연구단 대표연구업적 질적 우수성 확보 방안을 통해 향후 3년간 신청 당시 목표를 문제없이 달성할 것으로 기대됨.

- 대표연구업적 질적 우수성 확보를 위한 방안

- 교육연구단 참여교수의 연구몰입도 제고를 위한 “**유연책임수업시간제**” 도입: 한 학기 6학점인 책임수업을 탄력적으로 운영하여 해당 학기에 3학점 강의를 하고 나머지 3학점을 다음 학기로 이월할 수 있게 허용하여 연구에 전념할 수 있는 시간을 보장하도록 함.
- 교육연구단 참여교수가 기존 16주 학기제를 탈피하여 4~10주간 집중강의 형태로 수업할 수 있는 “**유연학기제**”를 활용하도록 권장하는 유연한 학사행정 지원으로 연구에 충분히 전념할 수 있는 시간을 확보하도록 지원하고 있음.
- **교내의 공동기기원, 장비 공유플랫폼 내실화**로 공동기기의 활용 편의성을 높이기 위해 고려대학교 공동기기 통합 종합정보시스템을 활용하고, 한국기초과학지원연구원(KBSI) 서울센터 및 한국과학기술연구원(KIST)과 협력하여 고가장비 공유와 공동 활용을 극대화함.
- 교육연구단의 경쟁력을 비약적으로 향상하게 할 단독 건물 **메디힐지구환경관(Mediheal EES Hall)**: 2020년 6월 준공)과 첨단 분석 기기 인프라 확충을 위해 확보된 기부금 40억 원으로 2022년 하반기 운영개시를 목표로 한 메디힐-에이스 첨단기기실이 준비 중임.

- 대학간 공동연구 계획

- 지금까지 미국, 프랑스, 중국, 일본, 베트남 등의 해외 우수대학과 다양한 공동연구를 수행한 본 교육연구단은 앞으로도 기존 해외 대학뿐 아니라 인도 등 새로운 해외 교육·연구기관과의 공동연구로 연구역량을 강화할 계획임.
- 교육연구단 전임교원들이 수행 중인 대형연구사업에 참여하는 여러 국내 대학과 활발한 공동연구

를 수행 중이며, 교육연구단 소속학과 단독 건물에 신설되는 메디힐-에이스 첨단기기실의 첨단 분석 장비를 활용한 신규 공동연구를 발굴하고 추진할 계획임.

- 또한, 차기 대형연구사업 발굴·확보를 통해 국내 대학과의 추가 공동연구를 적극적으로 추진할 예정이며, 이를 바탕으로 국내 지구환경과학 연구의 활성화에 이바지하고 궁극적으로 세계를 선도할 대한민국 지구환경과학 교육과 연구의 메카가 되고자 함.

② 교육연구단의 학문적 수월성을 대표하는 연구업적물(4단계 BK21사업 이후(2020.9~))

- 교육연구단의 학문적 수월성을 대표하는 실적물은 4단계 BK21사업 이후(2020.9~) 아래 본 교육연구단 참여교수진이 게재한 논문 가운데, 3개의 연구클러스터(고체지구 / 천부지권 / 대기환경)에서 각각 1건과 추가 1건 등 총 4건을 자체선정하여 과학적 수월성을 중심으로 기술함.

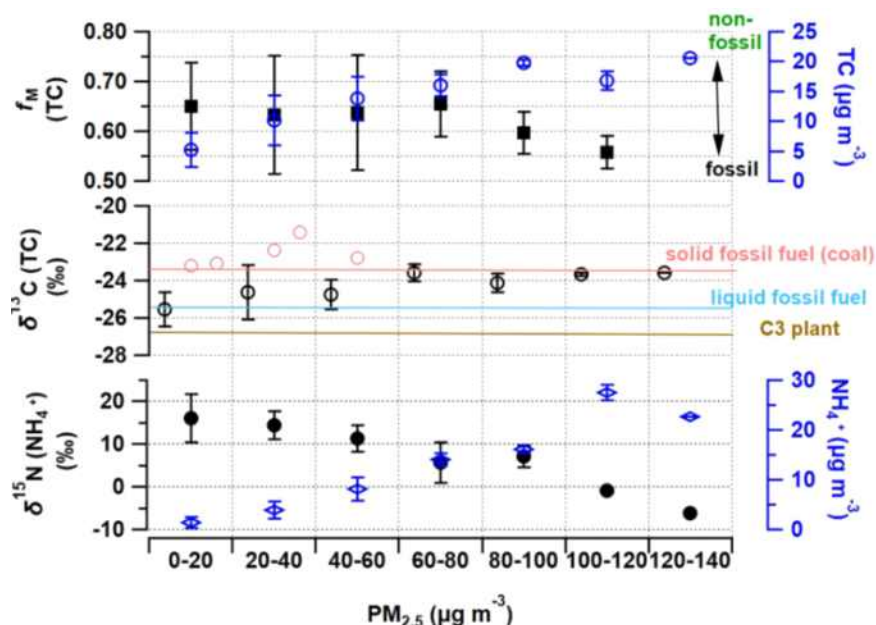
연 번	대표연구업적물 설명
1	논문명: Carbonate fault mirrors with extremely low frictional healing rates: A possible source of aseismic creep (2021년 6월) 내용: 지진간기의 마찰회복은 반복되는 지진 사이클의 필요조건이며, 지진단층 메커니즘을 이해하고 정량적으로 해석하는데 있어서 매우 중요한 마찰특성 중 하나이다. 지진성 단층의 주 전단대에서는 거울처럼 반짝이는 단층면인 단층거울면을 흔히 발견할 수 있다. 이러한 단층 거울면은 다양한 조건에서 실험을 통해서도 재현할 수 있다. 이 논문은 단층거울의 마찰회복 특성을 이해하기 위해 실험실에서 카라라 대리암의 전단변형을 통해 생성한 i) 단층거울면을 갖는 단층암, ii) 단층거울면이 파쇄된 단층암, iii) 단층거울면이 발달하지 않은 단층암의 마찰 거동을 비교 분석하였다. 그 결과 단층거울의 마찰회복이 일반적인 단층암의 마찰회복보다 훨씬 낮다는 것을 보여주었다. 이는 마찰회복이 광물성분뿐만 아니라 단층암의 물리적 구조 에도 의존한다는 것을 나타내며 낮은 마찰회복은 응력회복을 방해하기 때문에 활성 단층 구역의 탄산염 단층거울면은 비지진성 크립을 할 수 있다는 것을 제시하였다. 수월성: 단층거울면의 지진단층역학적 중요성이 큼에도 불구하고 단층거울면의 마찰회복에 대한 연구는 이루어진 바가 없다. 이 논문은 단층거울면의 마찰회복에 대해 처음으로 연구하였고 단층거울면이 발달하지 못한 단층암의 마찰회복과 비교 분석함으로써 지진 사이클에서 단층거울면이 미칠 수 있는 영향을 밝혔다. 또한 탄산염 광물 외에 다른 종류의 광물로 구성된 단층거울면의 경우에도 치밀하게 소결된 나노입자로 이루어져 있다면 매우 낮은 마찰회복 률을 보일 것으로 추정하여, 그러한 단층거울면은 저주파 지진의 진원이 되거나 단층대의 복잡한 슬립 거동의 원인이 될 수 있다는 것을 처음으로 제시하였다. 본 연구성과는 지구과학 다학제 분야 201개 저널 중 IF 25위(상위 12.4%) 최상위 학술지인 Geophysical Research Letters (2021년 IF 5.576)에 게재되었다.
2	논문명: Shift of nitrate sources in groundwater due to intensive livestock farming on Jeju Island, South Korea: With emphasis on legacy effects on water management (2021년 3월) 내용: 최근 전 세계적으로 질소관리(Nitrogen management)가 이산화탄소 등 온실가스 감축과 함께 인류의 지속가능성을 위협하는 가장 중요한 지구촌 환경문제로 부각되었으며, 질소관리를 위한 생지구화학적 질소순환 연구가 21세기 과학기술계의 핵심 난제 및 도전과제로 떠올랐다. 질소와 인으로 대표되는 영양물질은 주로 농업(과다시비)과 축산업(가축분뇨 처리)으로부터 기인하며, 따라서 유럽과 미국 등 선진국에서는 일찍이(1990년대 이후) 수계 단위로 농

축산업 등 토지이용에 관한 과학적 관리를 통한 통합물관리가 시행되어 정착되고 있다. 이에 비해 우리나라에서는 아직 관련 제도를 정착시키기 위한 다학제적 연구가 매우 미진하며, 이 문제는 수계의 부영양화 등 환경문제로 나타나고 있다. 질소계 물질의 수계 오염과정은 지표수를 통한 직접유출과 지하수를 통한 기저유출로 이루어지는데, 일반적으로 후자의 오염부하가 높은 것으로 알려져 있다. 지하수를 통한 질소 오염은 지하수 흐름 특성상 오염원 발생 후에 다양한 정도의 일정 시기가 지나서 나타나는데, 이를 ‘legacy N effects’라 한다. 이 문제를 이해하는 것은 지하수계를 통한 질소오염 관리의 기초가 된다. 본 연구에서는 물공급을 지하수에 전적으로 의존하는 제주도 내에서 오랫동안 축산활동이 이루어졌던 서부 한림지역의 지하수 질소오염을 대상으로 질소오염의 수준(수화학 분석 활용), 오염과정(화산암 내 지질구조를 따른 지하수 유동)과 오염원(질산성질소의 질소-산소 동위원소 연구 활용)을 밝히고, 특히 지하수의 CFCs 연령측정을 통하여 축산업의 역사에 따른 오염의 역사, 즉 legacy 문제를 창의적으로 해석하였다. 본 연구를 통하여 질소오염관리의 최적 대책을 제시하였다.

수월성: 본 논문은 지질과학의 기초지식에 기반한 환경과학 연구성과 극대화에 관한 대표적 사례로, **지질과학 분야의 기초지식이 환경(특히 지질환경) 응용 분야에 활용**되어야 함을 보여주었다. 이는 본 사업단의 교육 및 연구목표에 정확히 부합한다. 본 연구성과는 환경과학 분야 279개 저널 중 IF 15위(상위 5.4%), 환경공학 분야 54개 저널 중 IF 6위(상위 11.1%), 수자원 분야 100개 저널 중 IF 1위(상위 1%) 등 환경과학 및 환경공학 분야의 최상위 학술지인 Water Research (2021년 IF 13.4)에 게재되었다.

논문명: Robust Evidence of ^{14}C , ^{13}C , and ^{15}N Analyses Indicating Fossil Fuel Sources for Total Carbon and Ammonium in Fine Aerosols in Seoul Megacity (2022년 4월)

내용: 2018년 4월 ~ 2019년 12월 서울 고려대학교에서 채취한 $\text{PM}_{2.5}$ 중 총탄소(TC)의 비화석 연료 기여도 (^{14}C 의 f_M) 및 $\delta^{13}\text{C}$ 와 NH_4^+ 의 $\delta^{15}\text{N}$ 를 분석하였다. TC는 화석연료의 기여도가 평균 $37\% \pm 10\%$ 였고, NH_3 는 차량 배기가스 및 발전 장치(발전소 NH_3 슬립)의 기여도가 하절기에 $60\% \pm 26\%$, 동절기에 $66\% \pm 22\%$ 였다. 특히 고농도 $\text{PM}_{2.5}$ 사례 시 NH_4^+ 에 대한 차량 배출의 기여도가 증가하였다.



그림설명 : 2018~2019년 동안 서울 고려대학교에서 채취한 $\text{PM}_{2.5}$ 의 질량농도에 따른 다중 동

	위원소비의 변화를 나타냄. TC (total acrbon) 중 fraction modern (f_M)과 $\delta^{13}C$, NH_4^+ 중 $\delta^{15}N$와 TC와 NH_4^+ 의 농도 수월성: 국내 미세먼지 연구에 다중동위원소 분석을 도입하여 이론 첫 성과로 NH_4^+의 주배출원이 화석연료, 특히 자동차의 영향이 큼을 밝혔다. 추후 NH_3 저감이 필요한 것으로 판단될 경우 실질적인 정책 수립의 과학적 근거가 될 수 있다 [과학·기술·정책적 의의]. 본 연구 결과는 환경과학 분야 상위 7.9% 학술지인 Environmental Science and Technology (2021년 IF 11.357, https://doi.org/10.1021/acs.est.1c03903)에 게재됨.
4	논문명: Zn speciation and fate in soils and sediments along the ground transportation route of Zn ore to a smelter (2022년 9월) 내용: 최근 국내 OO제련소 주변을 대상으로 중금속 오염원인, 분포, 제어에 관한 다양한 연구와 보고가 이루어지고 있다. 본 연구는 OO제련소 주변 아연 오염과 분포, 존재형태를 이해하기 위해 제련소 주변 현장 토양과 퇴적물을 대상으로 다양한 지화학적, 광물학적 특성을 분석하였다. 아울러 수입된 아연 정광의 수송과정에서 흘림과 비산을 통해 주변환경으로 이동/변환할 경우와 제련과정을 거치면서 주변환경으로 이동과 변환할 경우 아연의 존재형태를 비교 평가하였다. Zn 정광(ZnS로서의 56% Zn, sphalerite)은 항구를 통해 수입되어 수십 년 동안 Zn 제련소로 수송되었으며, 제련 공정은 제련소 주변 산비탈 토양과 강변 퇴적물로 Zn과 황산을 배출하였다. 제련소 주변 토양의 경우 제련과정에서 발생한 황산으로 인해 토양 pH가 약산성을 띠고, 주변 퇴적물의 경우 주기적인 범람으로 인해 토양 pH가 중성-약 알칼리성을 보였다. XAFS 분석에 따르면 산비탈 토양은 franklinite($ZnFe_2O_4$)와 무정형의 Zn(II) 종을 포함하는 반면 강변 퇴적물은 주로 hydrozincite($Zn_5(OH)_6(CO_3)_2$), sphalerite 및 franklinite. 산비탈 토양은 낮은 pH와 중간 수준의 총 Zn(~1514 ppm)을 갖는 반면, 강변 퇴적물은 중성 pH 및 더 높은 총 Zn(12,363 ppm)을 보였다. 산비탈 토양에서 sphalerite가 없고 franklinite가 우세한 것은 sphalerite의 반응성과 산성 pH에서 용해에 대한 franklinite의 저항성에 기인한다. 이러한 결과는 도로변을 따라 먼지와 토양으로 유출된 Zn 정광이 다양한 O-배위 Zn 종으로 변형되었던 운송 경로에 따른 이전 Zn 분석결과와 차이를 보인다. 결론적으로 운송 및 제련 중 토양 및 퇴적물에 분산된 Zn 정광은 장기간 풍화 동안 다양한 안정성과 생체 이용률을 갖는 Zn 상으로 변형될 수 있다. 본 연구결과는 OO제련소 주변 환경독성평가와 향후 오염정화공법 선정시 필요로 하는 핵심정보로 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 수월성: 본 논문은 지질과학의 기초지식에 기반한 환경과학 연구성과 극대화에 관한 대표적 사례로, 지질과학 분야의 기초지식이 환경(특히 지질환경) 응용 분야에 활용되어야 함을 보여 주었다. 아울러 대학과 국내외 연구소(Argonne National Lab / Korea Institute of Science and Technology)가 협력연구를 통해 환경오염으로 인한 사회적 갈등 문제 해결을 위한 과학적 근거를 도출한 사례로 이는 본 사업단의 교육 및 연구목표에 정확히 부합한다. 본 연구성과는 환경과학 분야 279개 저널 중 IF 9위(상위 3.2%)의 최상위 학술지인 Journal of Hazardous Materials (2021년 IF 14.224)에 2022년에 게재되었다.

- 다음 표는 4단계 BK21사업 이후(2020.9.01.~) 본 교육연구단 참여교수가 SCIE급 저널에 게재한 실적 현황으로 총 91편을 게재하였고, 이 중 48편을 JCR 분야별 상위 25%이상인 Q1급에 게재하였으며 (52.7%) 상위 10%이상인 저널에 28편(30.8%)를 게재함.

연번	논문제목	게재학술지명	학술지 구분	ISSN	년도	권	쪽	주저자	기타 저자	IF	Q
1	Removal of Cd(II) and Pb(II) from wastewater via carbonation of aqueous Ca(OH)(2) derived from eggshell	Process Safety And Environmental Protection	SCIE	0957-5820	2020. 09	141	278-287		이미혜	7.926	Q1
2	Enhanced Arsenic (III and V) Removal in Anoxic Environments by Hierarchically Structured Citrate/FeCO3 Nanocomposites	Nanomaterials	SCIE	2079-4991	2020. 09	10	1773	이영재		5.719	Q1
3	Geochemical pattern recognitions of deep thermal groundwater in South Korea using self-organizing map: Identified pathways of geochemical reaction and mixing	Journal Of Hydrology	SCIE	0022-1694	2020. 10	589	1252 02	윤성택		6.708	Q1 (10 %)
4	Analyses and numerical evaluation of integrated time-series monitoring datasets including CO2 concentration and fluxes at controlled CO2 release site in South Korea	Journal Of Hydrology	SCIE	0022-1694	2020. 11	590	1252 13		윤성택	6.708	Q1 (10 %)
5	Fossil-driven secondary inorganic PM2.5 enhancement in the North China Plain: Evidence from carbon and nitrogen isotopes	Environmental Pollution	SCIE	0269-7491	2020. 11	266	1151 63	이미혜		9.988	Q1 (10 %)
6	Effects of Preferential Incorporation of Carboxylic Acids on the Crystal Growth and Physicochemical Properties of Aragonite	Crystals	SCIE	2073-4352	2020. 10	10	1-19	이영재		2.67	Q2
7	Partitioned Fault Movement and Aftershock Triggering: Evidence for Fault Interactions During the 2017 M-w 5.4 Pohang Earthquake, South Korea	Journal Of Geophysical Research-Solid Earth	SCIE	2169-9313	2020. 11	125	e2020JB020005		김성룡	4.39	Q1
8	Detection and quantification of underground CO2 leakage into the soil using a fiber-optic sensor	Optical Fiber Technology	SCIE	1068-5200	2020. 12	60	1023 75		윤성택	2.8	Q2
9	Quantitative assessment of deep-seated CO2 leakage around CO2-rich springs with low soil CO2 efflux using end-member mixing analysis and carbon isotopes	Journal Of Environmental Management	SCIE	0301-4797	2020. 12	276	1113 33	윤성택		8.91	Q1
10	Hydrochemical Parameters to Assess the Evolutionary Process of CO2-Rich Spring Water: A Suggestion for Evaluating CO2 Leakage Stages in Silicate Rocks	Water	SCIE	2073-4441	2020. 12	12	1-19	윤성택		3.53	Q2
11	Microbial diversity of two natural CO2-rich springs with contrasting hydrochemical features	Geosciences Journal	SCIE	1226-4806	2020. 12	24	745-753		윤성택	1.439	Q4
12	Applicability of weathered coal waste as a reactive material to prevent the spread of inorganic contaminants in groundwater	Environmental Science And Pollution Research	SCIE	0944-1344	2020. 12	27	4529 7-45 310	이순재	이영재	5.19	Q2
13	Uranium sequestration in fracture filling materials from fractured granite aquifers	Journal Of Environmental Radioactivity	SCIE	0265-931X	2020. 12	225	1064 40	조호영		2.655	Q3
14	Application of conditional generative model for sonic log estimation considering measurement uncertainty	Journal Of Petroleum Science And Engineering	SCIE	0920-4105	2021. 01	196	1080 28		윤성택	5.168	Q1 (10 %)
15	Short-Term Monitoring of Geogenic Soil CO2 Flux in a Non-Volcanic and Seismically Inactive Emission Site, South Korea	Frontiers In Earth Science	SCIE	2296-6463	2021. 01	8	5993 88		윤성택	3.661	Q2
16	Analysis of the state of the art of international policies and projects on CCU for climate change mitigation with a focus on the cases in Korea	Sustainability	SCIE	2071-1050	2021. 01	13(1)	1-12		이미혜	3.889	Q2
17	Pretreatment for capacitive deionization: Feasibility tests using activated filter media and granule activated carbon filtration	Journal Of Industrial And Engineering Chemistry	SCIE	1226-086X	2021. 01	93	253-258		이순재	6.76	Q1
18	A study on the trend of domestic waste generation and the recognition of recycling priorities in Korea	Sustainability	SCIE	2071-1050	2021. 02	13(4)	1-12		이미혜	3.889	Q2
19	Revisiting soil bacterial counting methods: Optimal soil storage and pretreatment methods and comparison of culture-dependent and -independent methods	PLOS ONE	SCIE	1932-6203	2021. 02	16	e0246142	권만재	조호영	3.752	Q2
20	Distribution and speciation of Sb and toxic metal(loid)s near an antimony refinery and their effects on indigenous microorganisms	Journal Of Hazardous Materials	SCIE	0304-3894	2021. 02	403	1236 25	권만재		14.224	Q1 (10 %)
21	Characteristics of HONO and its impact on O-3 formation in the Seoul Metropolitan Area during the Korea-US Air Quality study	Atmospheric Environment	SCIE	1352-2310	2021. 02	247	1181 82	이미혜		5.755	Q1
22	Assessment of Daytime HONO Emission Source from Asphalt Surface to Urban Air	Applied Sciences	SCIE	2076-3417	2021. 02	11	1-13		이미혜	2.838	Q2

23	Delineating the impacts of poultry burial leachate on shallow groundwater in a reclaimed agro-livestock farming area, using multivariate statistical analysis of hydrochemical data	Environmental Science and Pollution Research	SCIE	0944-1344	2021. 03	28	7742-7755	윤성택		5.19	Q2
24	Waste nutrient solutions from full-scale open hydroponic cultivation: Dynamics of effluent quality and removal of nitrogen and phosphorus using a pilot-scale sequencing batch reactor	Journal Of Environmental Management	SCIE	0301-4797	2021. 03	281	1118-93	권만재		8.91	Q1
25	Shift of nitrate sources in groundwater due to intensive livestock farming on Jeju Island, South Korea: With emphasis on legacy effects on water management	Water Research	SCIE	0043-1354	2021. 03	191	1168-14	윤성택		13.4	Q1 (10 %)
26	Assessment of Soil Contamination by Gas Cloud Generated from Chemical Fire Using Metabolic Profiling and Associated Bacterial Communities	Minerals	SCIE	2075-163X	2021. 04	11	372		윤성택	2.818	Q2
27	Groundwater contamination assessment in Ulaanbaatar City, Mongolia with combined use of hydrochemical, environmental isotopic, and statistical approaches	Science Of The Total Environment	SCIE	0048-9697	2021. 04	765	1427-90	윤성택		10.237	Q1 (10 %)
28	Facies analysis of the Upper Ordovician Xiazhen Formation, southeast China: Implications for carbonate platform development in South China prior to the onset of the Hirnantian glaciation	Facies	SCIE	0172-9179	2021. 04	67	18	조석주		2.211	Q2
29	Biogeochemical dynamics and microbial community development under sulfate- And iron-reducing conditions based on electron shuttle amendment	PLOS ONE	SCIE	1932-6203	2021. 05	16	e0251883		권만재	3.752	Q2
30	Geochemical and microbial characteristics of groundwater and mineral precipitates in a waste disposal site impacted by seawater intrusion and high alkalinity	Journal Of Environmental Management	SCIE	0301-4797	2021. 05	285	1120-87	권만재		8.91	Q1
31	Upper crustal shear wave velocity and radial anisotropy beneath Jeju Island volcanoes from ambient noise tomography	Geophysical Journal International	SCIE	0956-540X	2021. 05	225	1332-1348	김성룡		3.352	Q2
32	The Korea-United States Air Quality (KORUS-AQ) field study	Elementa-Science Of The Anthropocene	SCIE	2325-1026	2021. 05	9	00163		이미혜	4.569	Q2
33	Fault reactivation and propagation during the 2017 Pohang earthquake sequence	Geothermics	SCIE	0375-6505	2021. 05	92	1020-48	이진한		4.566	Q1
34	Development and timing of two orthogonal fold systems in the western Gyeonggi Massif, Korea	Episodes	SCIE	0705-3797	2021. 06	44	83/97	김형수		2.439	Q3
35	Light-absorption enhancement of black carbon in the Asian outflow inferred from airborne SP2 and in-situ measurements during KORUS- AQ	Science Of The Total Environment	SCIE	0048-9697	2021. 06	773	1455-31		이미혜	10.237	Q1 (10 %)
36	Nonlinear Sorption of Organic Contaminant during Two-Dimensional Transport in Saturated Sand	Water	SCIE	2073-4441	2021. 06	13	1557	이순재		3.53	Q2
37	Carbonate fault mirrors with extremely low frictional healing rates: A possible source of aseismic creep	Geophysical Research Letters	SCIE	0094-8276	2021. 06	48	e2021GL093749	이진한		5.576	Q1
38	Waste foundry dust (WFD) as a reactive material for removing As(III) and Cr(VI) from aqueous solutions	Journal Of Hazardous Materials	SCIE	0304-3894	2021. 06	412	1252-90	조호영		14.224	Q1 (10 %)
39	Spatial patterns of Zn, Cd, and Pb isotopic compositions of ground and surface water in mine areas of South Korea reflecting isotopic fractionation during metal attenuation	Science Of The Total Environment	SCIE	0048-9697	2021. 07	779	1464-53		윤성택	10.237	Q1 (10 %)
40	Controlling the Structural Robustness of Zirconium-Based Metal Organic Frameworks for Efficient Adsorption on Tetracycline Antibiotics	Water	SCIE	2073-4441	2021. 07	13	1869		이순재	3.53	Q2
41	Ribbon rocks revisited: the upper Cambrian (Furongian) Hwajeol Formation, Taebaek Group, Korea	Facies	SCIE	0172-9179	2021. 07	67	19	조석주		2.211	Q2
42	Impact of organic acids and sulfate on the biogeochemical properties of soil from urban subsurface environments	Journal Of Environmental Management	SCIE	0301-4797	2021. 08	292	1127-56	권만재		8.91	Q1
43	Evaluation of natural attenuation-potential and biogeochemical analysis in nitrate contaminated bedrock aquifers by carbon source injection	Science Of The Total Environment	SCIE	0048-9697	2021. 08	780	1464-59		윤성택	10.237	Q1 (10 %)

44	The Ordovician succession of the Taebaek Group (Korea) revisited: old conodont data, new perspectives, and implications	Geosciences Journal	SCIE	1226-4806	2021.08	25	417/431	조석주		1.439	Q4
45	Electrokinetic remediation of heavy metal-contaminated soils: performance comparison between one- and two-dimensional electrode configurations	Journal Of Soils And Sediments	SCIE	1439-0108	2021.08	21	2755-2769		윤성택 조호영	3.536	Q2
46	Selective leaching trace elements from bauxite residue (Red mud) without and with adding solid NH4Cl using microwave heating	Metals	SCIE	2075-4701	2021.08	11	1281	조호영		2.695	Q2
47	Diversity and composition of soil Acidobacteria and Proteobacteria communities as a bacterial indicator of past land-use change from forest to farmland	Science Of The Total Environment	SCIE	0048-9697	2021.11	797	148944	권만재	조호영	10.237	Q1 (10%)
48	Effect of CO2 on biogeochemical reactions and microbial community composition in bioreactors with deep groundwater and basalt	Science Of The Total Environment	SCIE	0048-9697	2022.02	807	150803	권만재		10.237	Q1 (10%)
49	Bacterial distribution on the ocular surface of patients with primary Sjögren's syndrome	Scientific Reports	SCIE	2045-2322	2022.02	12	1715		권만재	4.996	Q2
50	Peroxide activation by microbially synthesized sulfidated iron: Comparison against abiotic iron-based materials in terms of treatment efficiency and oxidative degradation pathway	APPLIED CATALYSIS B-ENVIRONMENTAL	SCIE	0926-3373	2022.04	303	120884		권만재	24.319	Q1 (10%)
51	Antimony Redox Processes in the Environment: A Critical Review of Associated Oxidants and Reductants	Journal of Hazardous Materials	SCIE	0304-3894	2022.06	431	128607	권만재		14.224	Q1 (10%)
52	Zn speciation and fate in soils and sediments along the ground transportation route of Zn ore to a smelter	Journal of Hazardous Materials	SCIE	0304-3894	2022.09	438	129422	권만재		14.224	Q1 (10%)
53	Morphological and chemical classification of fine particles over the Yellow Sea during spring, 2015-2018	Environmental Pollution	SCIE	0269-7491	2022.07	305	119286		이미혜	9.988	Q1 (10%)
54	Oxidation pathways and emission sources of atmospheric particulate nitrate in Seoul: based on $\delta^{15}\text{N}$ and $\Delta^{17}\text{O}$ measurements	Atmospheric Chemistry and Physics	SCIE	1680-7316	2022.04	22(8)	5099-5115	이미혜		7.197	Q1
55	Record-Breaking Slow Temperature Evolution of Spring Water During 2020 and Its Impacts on Spring Bloom in the Yellow Sea	Frontiers in Marine Science	SCIE	2296-7745	2022.04	9	824361		이미혜	5.247	Q1
56	Robust Evidence of ^{14}C , ^{13}C , and ^{15}N Analyses Indicating Fossil Fuel Sources for Total Carbon and Ammonium in Fine Aerosols in Seoul Megacity	Environmental Science and Technology	SCIE	0013-936X	2022.04	56(11)	6894-6904	이미혜		11.357	Q1 (10%)
57	A case study of heavy PM _{2.5} secondary formation by N ₂ O ₅ nocturnal chemistry in Seoul, Korea in January 2018: Model performance and error analysis	Atmospheric Research	SCIE	0169-8095	2022.03	266	105951		이미혜	5.965	Q1
58	An analysis of the temporal variability in volatile organic compounds (VOCs) within megacity Seoul and an identification of their sources	Atmospheric Pollution Research	SCIE	1309-1042	2022.03	13(3)	101338	이미혜		4.831	Q2
59	Regional heterogeneities in the emission of airborne primary sugar compounds and biogenic secondary organic aerosols in the East Asian outflow: evidence for coal combustion as a source of levoglucosan	Atmospheric Chemistry and Physics	SCIE	1680-7316	2022.01	22(2)	1373-1393		이미혜	7.197	Q1
60	Elemental Carbon Observed at a Peri-Urban Forest Site near the Seoul Metropolitan Area as a Tracer of Seasonal Haze Occurrence	Atmosphere	SCIE	2073-4433	2021.12	12(12)	1627	이미혜		3.11	Q3
61	Dust Criteria Derived from Long-Term Filter and Online Observations at Gosan in South Korea	Atmosphere	SCIE	2073-4433	2021.11	12(11)	1419	이미혜		3.11	Q3
62	Characterization of submicron aerosols over the Yellow Sea measured onboard the Gisang 1 research vessel in the spring of 2018 and 2019	Environmental Pollution	SCIE	0269-7491	2021.09	284	117180		이미혜	9.988	Q1 (10%)
63	Leaching behavior of cerium, strontium, cobalt, and europium from immobilized cement matrix	Applied Sciences	SCIE	2076-3417	2021.09	99(18)	8418		조호영	2.838	Q2
64	Transient behavior of arsenic in vadose zone under alternating wet and dry conditions: A comparative soil column study	Journal of Hazardous Materials	SCIE	0304-3894	2022.01	422	126957		조호영	14.224	Q1 (10%)
65	Hydraulic and physicochemical properties of dense thin bentonite layers permeated with variably mixed alkaline solutions of KOH and CaCl ₂ at various temperatures (25.75 .C) for 3 years	Geotextiles and Geomembranes	SCIE	0266-1144	2022.06	50	521-534	조호영		5.839	Q1

66	A synthetic microplastic fiber-manufacturing method and analysis of airborne microplastic fiber transport behavior in porous media	Science of The Total Environment	SCIE	0048-9697	2022.09	838	155888		조호영	10.753	Q1 (10%)
67	Magnitude and nucleation time of the 2017 Pohang Earthquake point to its predictable artificial triggering	Nature communications	SCIE	2041-1723	2021.11	12	6397		이진한	17.694	Q1 (10%)
68	Pressure-temperature-time-deformation (P-T-t-d) path for Devonian forearc deposits in the Imjingang Belt, South Korea: Implications for Permian-Triassic collisional orogenesis on the eastern margin of Eurasia	Journal of Metamorphic Geology	SCIE	1525-1314	2022.04	40(3)	489-516	김형수	이진한	4.472	Q1 (10%)
69	Measurement of seismometer misorientation based on P-wave polarization: application to dense temporary broadband seismic array in the epicentral region of 2016 Gyeongju earthquake, South Korea	Geosciences Journal	SCIE	1226-4806	2022.02	26	385-397		이진한	4.439	Q4
70	Origin of multiple principal slip zones in a fault gouge zone within granitoids	Journal of Structural Geology	SCIE	0191-8141	2022.09	162	104691	이진한		3.336	Q2
71	Formation of clast-cortex aggregates in experimental fault gouges	Tectonophysics	SCIE	0040-1951	2022.09	839	229524	이진한		3.66	Q2
72	Treatment of Heavy Metal Wastewater by Ceramic Microfilter Functionalized with Magnesium Oxides	Water, Air, and Soil Pollution	SCIE	0049-0679	2021.12	232 (12)	498	이순재	이영재 조호영	2.984	Q3
73	Different characteristics of barren and W-Mo-productive Cretaceous granites in the Hwanggangri mineralized district, South Korea	Ore Geology Reviews	SCIE	0169-1368	2022.02	141	104645		이영재	3.714	Q1 (10%)
74	Characterization of arsenite (As(III)) and arsenate (As(V)) sorption on synthetic siderite spherules under anoxic conditions: Different sorption behaviors with crystal size and arsenic species	Journal of Colloid and Interface Science	SCIE	0021-9797	2022.05	613	499-514	이영재		9.965	Q1
75	P-T-X-CO ₂ -bulk rock composition modeling of garnet decomposition in amphibolite and mafic granulite: tectono-metamorphic insights into the Permian-Triassic orogeny on the eastern margin of the Korean Peninsula	CONTRIBUTION S TO MINERALOGY AND PETROLOGY	SCIE	0010-7999	2022.09	117	89	김형수		4.076	Q1
76	Configuration of Non-Pumping Reactive Wells Considering Minimum Well Spacing	Applied Science-Basel	SCIE	2076-3417	2021.12	11 (23)		이순재	이영재	2.838	Q2
77	Sulfuric Acid Baking-Water Leaching for Gold Enrichment and Arsenic Removal from Gold Concentrate	Minerals	SCIE	2075-163X	2021.12	11 (12)		이순재		2.818	Q2
78	Size distributions, mixing state, and morphology of refractory black carbon in an urban atmosphere of northeast Asia during summer	Science of The Total Environment	SCIE	0048-9697	in press			이미혜		10.753	Q1 (10%)
79	Regional characteristics of fine aerosol mass-increase elucidated from long-term observations and KORUS-AQ campaign at a Northeast Asian background site	Elementa	SCIE	2325-1026	in press			이미혜		4.569	Q2
80	Estimation of shallow S-wave structures from the quasi-transfer spectrum and Bayesian inversion using microarray data at a deep drilling site at Chungnam National University, Korea	Geosciences Journal	SCIE	1226-4806	2022.06	26	367-383	김성룡		1.439	Q4
81	Three-Dimensional Seismic-Wave propagation Simulations in the Southern Korean Peninsula Using Pseudodynamic Rupture Models	Bulletin of the Seismological Society of America	SCIE	0037-1106	2022.04	112	939-960	김성룡		3.104	Q2
82	Moment Tensor Solutions for Earthquakes in the Southern Korean Peninsula Using Three-Dimensional Seismic Waveform Simulations	Frontiers in Earth Science	SCIE	2296-6463	2022.07	10	945022	김성룡		3.661	Q2
83	Seismological characteristics of microearthquake sequence near Suncheon, South Korea, from 2009 to 2020	Geosciences Journal	SCIE	1226-4806	2022.07	26	609-620		김성룡	1.439	Q4
84	Physicochemical patterns observed in a groundwater well with CO ₂ stratification: A case study of automated monitoring from South Korea	Journal of Hydrology	SCIE	0022-1694	2022.01	604	127229	윤성택		6.708	Q1 (10%)
85	Data-driven sequence labeling methods incorporating the long-range spatial variation of geological data for lithofacies sequence estimation	Journal Of Petroleum Science And Engineering	SCIE	0920-4105	2022.01	208	109345		윤성택	5.168	Q1 (10%)

86	Development of an integrated hydrochemical index for delineating livestock manure-derived groundwater plumes in agro-livestock farming areas	Ecological Indicators	SCIE	1470-160X	2022. 05	138	108838	윤성택		6.263	Q1
87	Hydrogeochemical characteristics of bottled waters sourced from bedrock aquifers in South Korea: evaluation of water type and natural background levels	Water	SCIE	2073-4441	2022. 05	14	1457	윤성택		3.530	Q2
88	Constraining the effectiveness of inherent tracers of captured CO ₂ for tracing CO ₂ leakage: Demonstration in a controlled release site	Science of The Total Environment	SCIE	0048-9697	2022. 06	824	153835		윤성택	10.753	Q1 (10 %)
89	Tracing CO ₂ leakage and migration using the hydrogeochemical tracers during a controlled CO ₂ release field test	Applied Geochemistry	SCIE	0883-2927	2022. 08	143	105390	윤성택		3.841	Q2
90	Technological environment and commercialization of carbon mineralization flagship in Korea: production and utilization of complex carbonates using coal ash	Clean Technologies and Environmental Policy	SCIE	1618-954X	2022. 08	24	1621-1637		윤성택 조호영 이미혜	4.700	Q2
91	Coupled effect of porous network and water content on the natural attenuation of diesel in unsaturated soils	Chemosphere	SCIE	0045-6535	2022. 09	302	134804		윤성택	8.943	Q1

③ 참여교수 특허, 기술이전, 창업 실적의 우수성

- 4단계 BK21사업 이후(2020.09.01.~) 총 3건의 특허 등록이 이루어졌으며, 기초학문의 특성상 지적재산권 등록이 활발히 이루어지고 있지 않으나 관련 산업발전에 핵심이 될 수 있는 원천기술개발에 노력한 우수한 결과임.
- 다음은 특허(등록) 실적의 우수성을 서술함.

연번	참여 교수명	연구자 등록번호	세부전공분야	실적 구분	저서, 특허, 기술이전, 창업 상세내용
저서, 특허, 기술이전, 창업 실적의 우수성					
1	이순재		환경지질학	특허 (등록)	① 이순재, 조호영, 이영재, 김봉주, 구자영, 이선용, 나선원, 장봉수, 곽은지
					② 세라믹 분리막 및 이의 제조 방법
					③ 대한민국
					④ 10-2159552-0000
					⑤ 2020.09
					· <u>창의성·혁신성</u>: 본 발명은 중금속 흡착제를 포함하여 중금속을 선택적으로 흡착할 수 있는 세라믹 분리막 및 이의 제조 방법에 관한 것임. 산성 및 염기성 용액 환경에서 운영할 수 있는 세라믹 막은 다양한 산업 으로부터 발생된 유가금속 회수 및 자원 재이용 측면에서 매우 중요한 요소기술이 될 수 있음. 본 특허에서는 입자상 오염물질의 필터 분리 뿐만 아니라, 일부 이온상의 물질을 흡착하여 분리할 수 있는 흡착 기능성을 부여하는 세라믹 분리막 제조 방법을 제안함. · <u>교육연구단의 비전과 목표와의 부합성</u>: 자원 재이용 기술 개발을 통해 지중환경 보존에 관한 연구단의 교육/연구 분야와 부합하며, 주요 전략 자원의 확보 기술이 주요한 이 시기에 폐자원으로부터 유용 자원의 회수가능성을 확보할 수 있는 융합지구과학기술을 다룸 · <u>해당 전공분야의 기여</u>: 세라믹원료의 고부가가치의 환경 제품으로 개발하는 다양한 가능성을 제시하였으며, 세라믹 소재의 물성 제어 에 대한 이해 증진과 특성 부여 기술

	개발에 기여하고, 지구과학의 지구 물질 분야가 응용 가능한 분야 개척에 기여 · <u>업적물 산출 시 기여한 역할</u> : 본 특허는 환경부 선진화기술개발 사업으로 조호영 교수, 이영재 교수, 이순재 교수가 수행한 협동연구의 결과임			
	조호영	(기입안함)	특허	① 조호영, 김진석 ② 레드머드로부터의 유용 중금속을 선택적으로 회수하는 방법 ③ 대한민국 ④ 10-2220768-0000 ⑤ 2021
2	· <u>창의성 · 혁신성</u> : 종래의 알루미늄 제조 시 발생하는 산업부산물인 레드머드(red mud) 처리 기술의 한계를 극복하기 위한 것으로서, 첨가제가 포함된 레드머드를 마이크로파를 조사하여 전처리하는 단계를 통해 레드머드 내의 유용 중금속을 용해되기 쉬운 상으로 변형시키며, 용출과정을 통해 추가 처리를 하여 유용 중금속을 회수하기 위한 고농도의 용출용액을 얻는 방법을 제공함 · <u>교육연구단의 비전과 목표와의 부합성</u> : 지중환경 보존을 위해 지중환경 오염물질의 하나인 산업부산물의 재활용 방법에 대한 실증적이고 실용적인 기술 개발이므로 교육연구단 목표와 부합함. · <u>지역산업에의 기여</u> : 광물학적 지식의 응용을 통해 국민생활문제 해결에 기여 · <u>업적물 산출 시 기여한 역할</u> : 본 특허발명은 조호영 교수가 연구책임자인 수처리 기술 개발 연구과제를 바탕으로 파생하였으며 발명 참여자 중 가장 큰 특허 기여율을 보유함			
	조호영	(기입안함)	특허	① 이중화 전성천 천정용 이명재 조호영 ② 더블패커를 이용한 구간별 수리시험 시스템 및 그 방법 ③ 대한민국 ④ 10-2230804-0000 ⑤ 2021
3	· <u>창의성 · 혁신성</u> : 지중환경 특성 조사는 현장 특성에 적합한 방법으로 수행되어야 함. 특히 지층의 수리특성은 깊이에 따른 지층의 특성에 따라 달라질 수 있으므로 이를 정확히 측정하는 것은 매우 중요함. 본 발명은 더블패커를 이용한 구간별 수리시험 시스템 및 그 방법에 관한 것으로, 높은 신뢰성으로 구간별 수리시험을 수행할 수 있는 더블패커를 이용한 구간별 수리시험 시스템 및 그 방법을 제공함 · <u>교육연구단의 비전과 목표와의 부합성</u> : 지중환경 보존을 위해 지중환경에서 발생하는 현상을 규명하기 위한 방법에 대한 실증적이고 실용적인 기술 개발이므로 교육연구단 목표와 부합함. · <u>지역산업에의 기여</u> : 수리지질학, 지질공학 지식의 응용을 통해 국민생활문제 해결에 기여 · <u>업적물 산출 시 기여한 역할</u> : 본 특허발명은 조호영 교수가 연구책임자인 환경부 지중환경오염위해관리기술개발사업 연구단 과제의 성과로 산출되었으며 위탁연구기관인 산업체 지오그린과의 공동출원을 통해 활용 가능성을 높임.			

- 아울러 4단계 BK21사업 이후(2020.09.01.~) 총 11건의 특허 출원이 이루어졌으며, 발명의 우수성을 고려할 때 등록으로 이루어질 것으로 평가되며, 관련 산업발전에 크게 기여할 것으로 기대됨.

연도	항목	출원 국가	출원 일자	출원번호	발명의 명칭	출원인 구분	발명자 수	참여 교수
2020년	국내 특허	대한민국	20201112	10-2020-0151275	외부 장착형 지하수 필터팩 및 이의 설치 방법	주식회사 지오그린21 고려대학교	5	윤성택

						산학협력단		
2020년	국내 특허	대한민국	202012 22	10-2020- 0180412	중금속 흡착을 위한 표면 개질된 기능성 세라믹 필터 및 이의 제조방법	고려대학교 산학협력단	7	이영재 조호영 이순재
2020년	국내 특허	대한민국	202012 29	10-2020- 0186746	지하수의 흐름제어 및 오염 확산방지 시스템	고려대학교 산학협력단	9	이순재 이영재
2020년	국내 특허	대한민국	202012 22	10-2020- 0180411	중금속 제거용 탄산철 복합체 및 이의 제조방법	고려대학교 산학협력단	3	이영재
2021년	국내 특허	대한민국	202108 04	10-2021- 0102412	지층 공극률 측정을 위한 단일중성자검층 장비의 교정방법	한국지질자 원연구원 고려대학교 산학협력단	4	조호영 권만재
2021년	국내 특허	대한민국	202108 31	10-2021- 0107165	자연수소 부존 가능 지역 선정방법 및 자연수소 부존 지역 정밀 탐사방법	고려대학교 산학협력단	1	김형수
2021년	국내 특허	대한민국	202112 23	10-2021- 0186484	시험용 가스 센서의 교정 장치 및 교정 방법	고려대학교 산학협력단	7	이순재
2022년	국내 특허	대한민국	202204 19	10-2022- 0047864	비소 제거용 고반응성 보헤마이트 흡착제 및 그 제조방법	고려대학교 산학협력단	3	이영재
2022년	국내 특허	대한민국	202206 29	10-2022- 0079517	결정질 능철석 및 이의 제조방법	고려대학교 산학협력단	3	이영재
2022년	국내 특허	대한민국	202208 04	10-2022- 0097389	간헐적 양수 처리시스템	고려대학교 산학협력단	7	이순재 조호영 권만재
2022년	해외 특허	미국	202202 22	17/637,2 51	DEVICE FOR OPTIMIZING TRAINING INDICATOR OF ENVIRONMENT PREDICTION MODEL, AND METHOD FOR OPERATING SAME	고려대학교 산학협력단	2	윤성택

2. 산업 사회에 대한 기여도

2.1 산업·사회 문제 해결 기여 실적

2.1.1 지구환경과학 관련 산업 문제·사회 문제·과학 난제

- 본 교육연구단은 1999~2019년 1단계 BK21사업부터 2단계 BK21사업과 3단계 BK21플러스 사업을 수행하며 지구시스템의 미래환경변화에 대응할 수 있는 창의적 고급전문인력을 양성하여 사회·산업 문제 해결과 지구환경과학 분야 난제 해결에 정진해왔음.
- 향후 고준위 핵폐기물과 일반폐기물의 지중 처분, 오염 토양 및 지하수 관리와 정화, 지진재해 예측과 저감 등 우리 사회의 지속적 성장과 번영을 위해서 전략적으로 해결해야 하는 도전적 이슈 분야에 다음과 같은 대형 연구사업을 성공적으로 운영하고 있음.
- 환경부 CO₂저장 환경관리기술개발사업 이산화탄소 지중저장 환경관리연구단(2014~2021년, 연구책임자:윤성택 교수)은 이산화탄소의 지중 거동과 누출 연구로 지구환경과학 분야 과학 난제인 온실기체 저감과 사회 문제인 기후변화에 대응하였음.
- 원자력안전위원회 자연재해연구단(2016년~2022년, 연구책임자: 이진한 교수)은 지구환경과학 분야 과학 난제인 우리나라 남동부의 지진 발생기작 규명을 위한 기초자료를 도출하였으며, 또한 사회 문제인 지진재해 저감에도 대응하였음.
- 환경부 지중환경오염위해관리 기술개발사업 스마트 지중환경관리연구단(2018~2022년, 연구책임자: 조호영 교수)은 지중환경 오염경로 진단·평가기술 및 오염물질 거동 평가·예측 등의 연구로 사회 문제인 천부 지권의 환경오염 해결에 대응하였음.

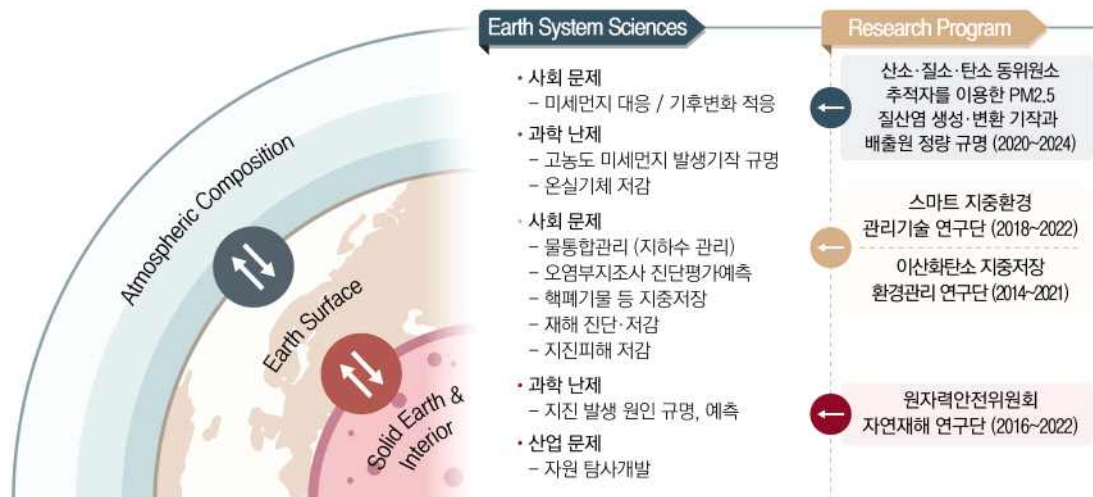


그림 3-2 교육연구단 연구클러스터들이 지향하는 문제 해결 유형과 대형 연구과제 현황

2.1.2 연구클러스터별 산업 문제·사회 문제·과학 난제 해결 기여 실적

- 지난 5년간(2015~2019) 본 교육연구단이 사회·산업 문제와 지구환경과학 난제 해결을 위하여 총 54건(정부 과제 35건, 산업체 과제 19건, 과제 연구비 총 149억 원)을 수행하였으며, 총 177편의 논문을 국제학술지에 게재하고 특히 17개를 등록하는 성과를 거두었음.
- 또한, 본 교육연구단은 2015년 UN이 제시한 17대 지속 가능 개발목표 (Sustainable Development Goals; <https://www.un.org/sustainabledevelopment/>)와 미국 NSF의 지구과학 7대 연구 분야에서 인류사

회의 지속 발전에 필수적인 다음 4대 핵심가치를 도출하였음.

① 깨끗한 환경, ② 안전한 삶, ③ 지속 가능한 에너지자원, ④ 지구시스템 난제 해결

- 위 핵심가치를 달성하기 위하여 지난 5년간 및 최근 1년간 본 교육연구단의 연구역량을 집중하였으며, 이에 따른 성과를 연구클러스터별로 과제 수, 연구비, 논문실적과 ① 과학기술 발전에 기여, ② 사회 문제 해결에 기여, ③ 산업기술 발전에 기여 순으로 정리하였음.

표 3-2 4단계 BK 이전 5년간(2016.09.01~2020.08.31) 교육연구단 연구클러스터별 연구비 현황

	정부과제 연구비(원)	산업체과제 연구비(원)	합계(원)	비율(%)	비고
고체지구	2,708,807,980	58,940,418	2,767,748,397	18.6	기초지질, 자원 탐사, 지진연구
천부지권	7,995,250,922	1,137,755,755	9,133,006,677	61.4	지중환경 오염 조사평가, 이산화탄소 지중 저장
대기환경	763,228,000	807,329,995	1,570,557,995	10.6	미세먼지 저감
인력양성	1,394,930,806	-	1,394,930,806	9.4	BK21플러스, 자원인력양성, 지진인력양성
계	12,862,217,707	2,004,026,168	14,866,243,876	100.0	

표 3-3 4단계 BK21사업 이후 (2020.09.01~) 교육연구단 연구클러스터별 연구비 현황

	정부과제 연구비(원)	산업체과제 연구비(원)	합계(원)	비율(%)	비고
고체지구	2,322,908,393	113,543,823	2,436,452,216	32.2	기초지질, 자원 탐사, 지진연구
천부지권	2,309,238,058	893,020,615	3,202,258,673	42.4	지중환경 오염 조사평가, 이산화탄소 지중 저장
대기환경	1,098,000,000	33,862,250	1,131,862,250	15.0	미세먼지 저감
인력양성	790,653,669	-	790,653,669	10.4	4단계 BK21, 지진인력양성
계	6,520,800,120	1,040,426,688	7,561,226,808	100.0	

2.1.2.1 고체지구 연구클러스터

- 고체지구 연구클러스터는 최근 5년간 당면한 사회·산업 문제 해결, 지구환경과학 난제 해결에 이바지하기 위해 아래와 같은 연구를 수행함. 특히 ② 안전한 삶과 함께 ④ 지구과학 난제 해결을 위한 연구과제를 중점적으로 수행하였음.
- 지난 5년간(2016.09.01~2020.08.31) 성과를 종합하면 총연구과제 12건, 총연구비 수주액 27.7억 원, 총 국제학술지 논문 35편임.
- 다음은 고체지구 연구클러스터가 수행한 사회 문제·과학 난제 문제 해결 관련 과제 목록임.

연번	주무부처/지원기관	연구과제 분류 및 과제명	관련 핵심가치
1	한국연구재단	경기육괴와 영남육괴에서 발생한 다변성 작용과 변형작용의 특성과 시기	④ 지구시스템 난제 해결
2	한국해양연구원 부설 극지연구소	다산기지 주변 후기 고생대 고착성 생물의 고생태	

3	한국연구재단	동아시아 전기고생대 탄산염 퇴적상의 진화	
4	한국연구재단	정선지역 조선누층군의 변형작용과 조구조 진화	
5	한국연구재단	한반도와 중국 북중부 고생대층에 대한 고생물학/퇴적학적 비교연구	
6	교육부	BK21Plus 지구환경과학사업단 3~7차연도 국고지원금	① 깨끗한 환경, ② 안전한 삶, ③ 지속 가능한 에너지자원, ④ 지구시스템 난제 해결 + 인력양성
7	행정안전부	PEAK 인력 양성을 위한 교육	
8	행정안전부	국가 지진방재 ACE 양성 프로그램	
9	한국기상산업진흥원	GNSS 자료를 이용한 남한의 지표변형 분석 및 지표변형과 지진의 상관관계 연구	② 안전한 삶
10	원자력안전위원회	경주지역의 미소지진 관측 시스템 구축 및 운용 기술개발	
11	원자력안전위원회	미소지진 관측 시스템 구축 및 운용 개발	

- 다음은 고체지구 연구클러스터가 수행한 산업 문제 해결 관련 과제 목록:

연번	주무부처/지원기관	연구과제 분류 및 과제명	관련 핵심가치
1	한국가스공사 가스연구원	매설배관의 내진 구조해석 및 성능평가 기술 개발 위탁용역	② 안전한 삶
2	해외자원개발협회	협력그룹	③ 지속 가능한 에너지자원
3	해외자원개발협회	광물자원 탐사·개발	
4	해외자원개발협회	비전통자원개발	

- 4단계 BK21사업 이후(2020.09~) 성과를 종합하면 총연구과제 23건, 총연구비 수주액 24.3억 원, 총 국제학술지 논문 18편임.
- 다음은 고체지구 연구클러스터가 수행한 사회 문제·과학 난제 문제 해결 관련 과제 목록임.

연번	주무부처/지원기관	연구과제 분류 및 과제명	관련 핵심가치
1	한국연구재단	한반도 대륙 연변부에서 유체 침투로 유발된 변성교대작용과 변성작용의 특성	④ 지구시스템 난제 해결
2	한국연구재단	경기육괴와 영남육괴에서 발생한 다변성작용과 변형작용의 특성과 시기	
3	한국연구재단	후기 캄브리아기(프롱지안) 태백층군의 재조명: 내륙해 퇴적작용과 전 지구적 고해양 변화	
4	한국기상산업진흥원	지각과 맨틀의 3차원 응력/밀도/속도 분포 결정	
5	한국기상산업진흥원	심층학습과 강화학습을 이용한 다중관측소 지진데이터 분석 알고리즘 개발	
6	한국기상산업진흥원	단층운동에 따른 지진파 전파 및 지진동 예측 수치 모의 기술 개발	
7	한국기상산업진흥원	물리적 지진모델링에 대한 한반도 1차원 및 3차원 속도구조 적용	

8	한국기상산업진흥원	계기관측 기반 진도산출 및 진도전파 시뮬레이션 기술 개발	
9	한국지질자원연구원	지진 빅데이터 활용을 위한 지진원 파형 학습자료 작성	
10	한국지질자원연구원	지진학 기반 활화산 하부 마그마 및 지각/맨틀 구조 영상화 기술 개발	
11	교육부	4단계 BK21 지구환경과학교육연구단 국고지원금	① 깨끗한 환경, ② 안전한 삶, ③ 지속 가능한 에너지자원, ④ 지구시스템 난제 해결 + 인력양성
12	행정안전부	PEAK 인력 양성을 위한 교육	
13	원자력안전위원회	경주지역의 미소지진 관측 및 지진원 분석 기술 개발	② 안전한 삶
14	원자력안전위원회	국내 가속도 관측소 부지특성 분석 및 DB 구축	
15	한국연구재단	2022년도 실험실 특화형 창업선도대학사업	기타(인력양성, 기술발굴)
16	과학기술일자리진흥원	공공기술기반 시장연계 창업탐색 지원사업 협실창업혁신단(수도권-고려대)	
17	한국연구재단	대학 창의적 자산 실용화 지원(BRIDGE+)사업	
18	연구개발특구진흥재단	2020년 신규 강소특구 사업화 기술발굴 지원사업(내비온)	
19	연구개발특구진흥재단	2020년 신규 강소특구 사업화 기술발굴 지원사업(SYP)	
20	과학기술일자리진흥원	2021년도 대학기술경영촉진사업 고려대학교 산학협력단	
21	과학기술일자리진흥원	2021-2022년도 기업연계 청년기술전문인력 육성사업	
22	재단법인 한국특허전략개발원	지식재산 수익 재투자 지원 사업	
23	한국연구재단	공공기술기반 시장연계 창업탐색 지원사업 실험실 창업혁신단 (수도권-고려대)	

- 다음은 고체지구 연구클러스터가 수행한 산업 문제 해결 관련 과제 목록임.

연 번	주무부처/지원기관	연구과제 분류 및 과제명	관련 핵심가치
1	한국가스공사 가스연구원	매설배관의 내진 구조해석 및 성능평가 기술 개발 위탁용역	② 안전한 삶
2	포항시청	포항지역 지진 안정성 조사 및 연구용역	

2.1.2.2 천부지권 연구클러스터

- 천부지권 연구클러스터는 최근 5년간 당면한 사회·산업 문제 해결, 지구환경과학 난제 해결에 기여하기 위해 아래와 같은 연구를 수행함. 특히 ① 깨끗한 환경, ② 안전한 삶과 함께 ④ 지구과학 난제 해결을 위한 연구과제를 중점적으로 수행하였음.

- 지난 5년간(2016.09.01~2020.08.31) 성과를 종합하면 총연구과제 27건, 총연구비 수주액 91.3억 원, 총 국제학술지 논문 121편임.
- 다음은 천부지권 연구클러스터가 수행한 사회 문제·과학 난제 문제 해결 관련 과제 목록임.

연 번	주무부처/지원기관	연구과제 분류 및 과제명	관련 핵심가치
1	한국환경산업기술원	CO ₂ 지중 저장 환경관리 기술개발	① 깨끗한 환경, ② 안전한 삶
2	한국연구재단	KURT 기반 벤토나이트-결정질 암반 지화학적 상호반응 특성 규명	② 안전한 삶, ④ 지구시스템
3	한국연구재단	국내산 벤토나이트의 열-화학-수리-역학 복합 거동 특성 연구	난제 해결
4	한국연구재단	도심 토양·지하수의 석유계 탄화수소에 의한 오염 및 정화기법 연구	① 깨끗한 환경, ④ 지구시스템
5	한국연구재단	도심 지하 공간개발이 탄소, 철, 황의 지중생지구화학적 순환에 미치는 영향 연구	난제 해결
6	한국환경산업기술원	무기오염물질의 확산제어를 위한 반응매질 개발 및 확산방지 시설 시공/제어기술개발	① 깨끗한 환경, ② 안전한 삶 ④ 지구시스템
7	한국연구재단	미시분광학적 특성 분석을 통한 유기-금속이 도핑된 나노 탄산염 광물의 형성 및 반응 메커니즘 연구	
8	한국연구재단	미시적 해석을 통한 금속이온이 도핑된 나노 인산염 광물 입자의 형성과 전이 및 반응 메커니즘 이해	
9	한국광해관리공단	오염특성별 중금속 존재 형태 규명	
10	한국에너지기술평가원	원자력 이용시설 지하수 방사성오염 통합감시시스템 개발	② 안전한 삶
11	한국환경산업기술원	유해중금속 제거를 위한 고기능성 Ceramic Microfilter 제조 및 적용 기술개발	① 깨끗한 환경
12	한국환경산업기술원	이산화탄소 저장을 위한 환경관리 실증화 기술개발	① 깨끗한 환경, ② 안전한 삶
13	제주녹색환경지원센터	제주도 화산암반수 중 기능성 바나듐의 산출특성에 관한 연구	① 깨끗한 환경
14	한국환경산업기술원	지중환경 오염경로·오염물질 스마트 진단·평가·예측 현장적용 기술개발	① 깨끗한 환경, ② 안전한 삶
15	한국지질자원연구원	직접 수성 방법에 의한 레드머드와 슬레이트 혼합물의 광물 탄산화 특성 연구	① 깨끗한 환경
16	국립환경과학원	축산단지 지역의 지하수 배경농도 등 오염실태조사	① 깨끗한 환경, ② 안전한 삶
17	한국환경산업기술원	토양-지하수 환경에서의 유해 화학물질의 거동 평가	① 깨끗한 환경
18	한국환경산업기술원	도심 지중생활공간 위해성평가 및 오염원인 진단 기술 개발	① 깨끗한 환경, ② 안전한 삶

- 다음은 천부지권 연구클러스터가 수행한 산업 문제 해결 관련 과제 목록임.

연 번	주무부처/지원기관	연구과제 분류 및 과제명	관련 핵심가치
1	한국환경산업기술원	샘물 오염원 추적을 위한 오염원 추적 기법 시범 적용 및 매뉴얼 개발	① 깨끗한 환경
2	엘지생활건강	국내 대표 지질유형별 지하수 연대측정 및 수화학 특성 분석을 통한 화강암반 지역 먹는샘물의 차별성과 우수성 평가	
3	(주)지오그린21	농도 조사 연구용역	① 깨끗한 환경, ② 안전한 삶
4	국립환경과학원	농축산지역 지하수 중 질산성 질소 수질 관리 개선사업 연구용역	
5	국립환경과학원	농축산지역 지하수 중 질산성 질소 수질 관리 개선사업(I)	
6	국립환경과학원	농축산지역 지하수 중 질산성 질소 수질 관리 개선사업(II)~(III)	① 깨끗한 환경, ② 안전한 삶
7	한국환경산업기술원	수리제어와 TDR 원리를 이용한 토양 내 유류탐지 센서 연구개발	
8	(주)한라산	제주 서부지역 지하수 형성과정 및 한라산소주 제품 원수인 지하수의 수질 등에 관한 연구	
9	제주녹색환경지원센터	제주 지하수 수질 분류/평가기술 고도화 및 질소계 오염 정량화를 통한 최적 수질 관리 방안 도출	

- 4단계 BK21사업 이후(2020.09~) 성과를 종합하면 총연구과제 18건, 총연구비 수주액 32.0억 원, 총 국제학술지 논문 53편임.
- 다음은 천부지권 연구클러스터가 수행한 사회 문제·과학 난제 문제 해결 관련 과제 목록임.

연 번	주무부처/지원기관	연구과제 분류 및 과제명	관련 핵심가치
1	한국환경산업기술원	지중환경 오염경로·오염물질 스마트 진단·평가·예측 현장적용 기술 개발	① 깨끗한 환경, ② 안전한 삶
2	한국환경산업기술원	무기오염물질의 확산제어를 위한 반응매질 개발 및 확산방지 시설 시공/제어 기술 개발	
3	한국환경산업기술원	지중환경 오염원인 규명을 위한 환경수사학 통합기술 개발	① 깨끗한 환경, ② 안전한 삶
4	한국연구재단	도심 토양·지하수의 석유계 탄화수소에 의한 오염 및 정화기법 연구	① 깨끗한 환경, ④ 지구시스템 난제해결
5	한국연구재단	도심지하공간개발이 탄소, 철, 황의 지중생지구화학적 순환에 미치는 영향 연구	
6	한국연구재단	철탄산염 광물 고용체 형성 및 상전이 특성의 미시적 규명을 통한 (고)지환경 해석의 새로운 접근	
7	한국연구재단	지중환경 내 안티몬(Sb) 거동에 영향을 미치는 생지구화학적 산화·환원 작용 연구	
8	한국환경산업기술원	도심 지중생활공간 위해성 평가 및 오염원인 진단 기술 개발	

9	한국연구재단	고온 열수 및 증기 조건이 벤토나이트의 완충재의 수리-역학적 성질의 가역-비가역적 변화에 미치는 영향 연구	② 안전한 삶, ④ 지구시스템 난제 해결
10	한국연구재단	새로운 열수합성을 통한 고반응성 나노 보헤마이트의 형성 및 비소 흡착 메커니즘 연구	① 깨끗한 환경

- 다음은 천부지권 연구클러스터가 수행한 산업 문제 해결 관련 과제 목록임.

연 번	주무부처/지원기관	연구과제 분류 및 과제명	관련 핵심가치
1	한국환경산업기술원	이산화탄소 저장을 위한 환경관리 실증화 기술 개발	① 깨끗한 환경, ② 안전한 삶
2	제주특별자치도 상하수도본부	제주특별자치도 상수원 특성조사 및 효율적 관리방안 연구용역	
3	국립환경과학원	농축산지역 지하수 중 질산성질소 수질관리 개선사업(Ⅳ)	
4	국립환경과학원	농축산지역 지하수 중 질산성질소 수질관리 개선사업(Ⅴ)	
5	한국지질자원연구원	심부 단열대 바이오필름 특성화 및 발달과정 모델 연구	① 깨끗한 환경
6	연천군청	연천군지 편찬 용역	
7	한국연구재단	다중방벽 핵종 생지구화학 상호 반응 평가	
8	한국연구재단	벤토나이트 완충재 자연유사 연구	
9	제주특별자치도 상하수도본부	삼다수 주 함양지역 및 수질진화 연구	

- 한편, 환경부 지중환경오염위해관리 기술개발사업 스마트 지중환경관리연구단은 약 4년 7개월간 약 150억 원의 환경부 지원을 받는 공공활용 과제(스마트 지중환경 오염거동 3D 진단평가예측 기술 개발)로써 12개 기관 약 100여 명이 참여연구원이 참여하는 대형국가연구과제이며 고려대학교 산학협력단이 총괄과제, 그 외 4개 세부과제로 구성되어 있음.
- 본 교육연구단 참여교수 5인(조호영, 윤성택, 이영재, 이순재, 권만재)과 대학원생 매년 20여 명 이상이 참여하여 복잡성을 갖는 지중환경을 이해하고 다양한 오염에 효율적으로 대응하기 위해 유체의 이동경로, 오염물질-지질매체간의 상호작용, 오염부지개념모델 개발연구를 수행하고 있음.
- 국내 토양·지하수 환경 오염이라는 중대한 산업문제해결을 위해 산학연 공동연구를 통해 지중환경 정밀오염조사 기법과 절차를 체계화하는 연구를 수행하고 있음. 본 과제의 성공적인 수행을 통해 오염정화효율증가, 최적정화공법선정, 효율적 오염부지 관리가 가능할 것으로 기대됨.



그림 3-3 교육연구단의 사회·산업 문제 과학 난제 해결에 기여(2020-2022년 연구단 연구활동)

2.1.2.3 대기환경 연구클러스터

- 대기환경 연구클러스터는 최근 5년간 당면한 사회·산업 문제 해결, 지구환경과학 난제 해결에 기여하기 위해 아래와 같은 연구를 수행함. 특히 ① 깨끗한 환경, ④ 지구과학 난제 해결을 위한 연구과제를 중점적으로 수행하였음.
- 지난 5년간(2016.09.01.~2020.08.31) 성과를 종합하면 총연구과제 11건, 총연구비 수주액 15.7억 원, 총 국제학술지 논문 22편임. 다음은 대기환경 연구클러스터가 수행한 사회 문제·과학 난제 문제 해결 관련 과제 목록임.

연번	주무부처/지원기관	연구과제 분류 및 과제명	관련 핵심가치
1	한국연구재단	PAM reactor 모사실험 기반 중국기원 이차 미세먼지 생성량과 생성특성 파악	① 깨끗한 환경, ④ 지구시스템 난제 해결
2	국립환경과학원	수도권 2차 미세먼지 생성 과정 규명 (I)	
3	국립환경과학원	한-중 월경성 미세먼지 저감을 위한 공동연구	
4	한국기상산업진흥원	황해 경계층 대기 중 이차에어로졸 지시자 PAN과 탄소 동위원소 측정을 통한 연무 발생 파악	
5	국립환경과학원	관측기반 대기질 모델 개선체계 구축(III)	① 깨끗한 환경
6	국립환경과학원	관측기반 대기질 예보 개선 - 질산염 2차 생성 중심으로	
7	한국해양과학기술원	대기환경 관측시스템 구축과 관측자료 생산	
8	한국해양과학기술원	동북아시아 배경 대기질 변동성 감시와 장거리 대기오염물질 영향 파악	
9	한국연구재단	지구시스템 통합연구를 위한 대기권 기초원천 연구과제 개발 및 투자전략 수립	
10	환경부	한-중 공동연구단 운영지원 사업	
11	산림청	석포지역 산림피해 원인조사 및 복원 방향 연구용역	

- 4단계 BK21사업 이후(2020.09~) 성과를 종합하면 총연구과제 5건, 총연구비 수주액 11.3억 원, 총 국제학술지 논문 21편임.
- 다음은 대기환경 연구클러스터가 수행한 사회 문제·과학 난제 문제 해결 관련 과제 목록임.

연번	주무부처/지원기관	연구과제 분류 및 과제명	관련 핵심가치
1	한국연구재단	산소-질소-탄소 동위원소 추적자를 이용한 PM2.5 질산염 생성-변환 기작과 배출원 정량 규명	① 깨끗한 환경, ④ 지구시스템 난제해결
2	한국연구재단	수도권 초미세먼지 발생 기작 및 배출 특성 규명	
3	한국과학기술연구원	국제협력 기반 질산염 기원 추적 및 생성 매커니즘 규명	① 깨끗한 환경
4	국립환경과학원	서울 및 광주 지역에서 생성되는 2차 무기염 성분의 생성기작 규명(II)-황산염, 질산염, 암모늄염을 중심으로	
5	한국환경산업기술원	미세먼지관리 특성화대학원	

2.2 산업·사회 문제 해결 기여 계획

2.2.1 실적분석을 통한 산업·사회 기여 계획수립 방향 설정

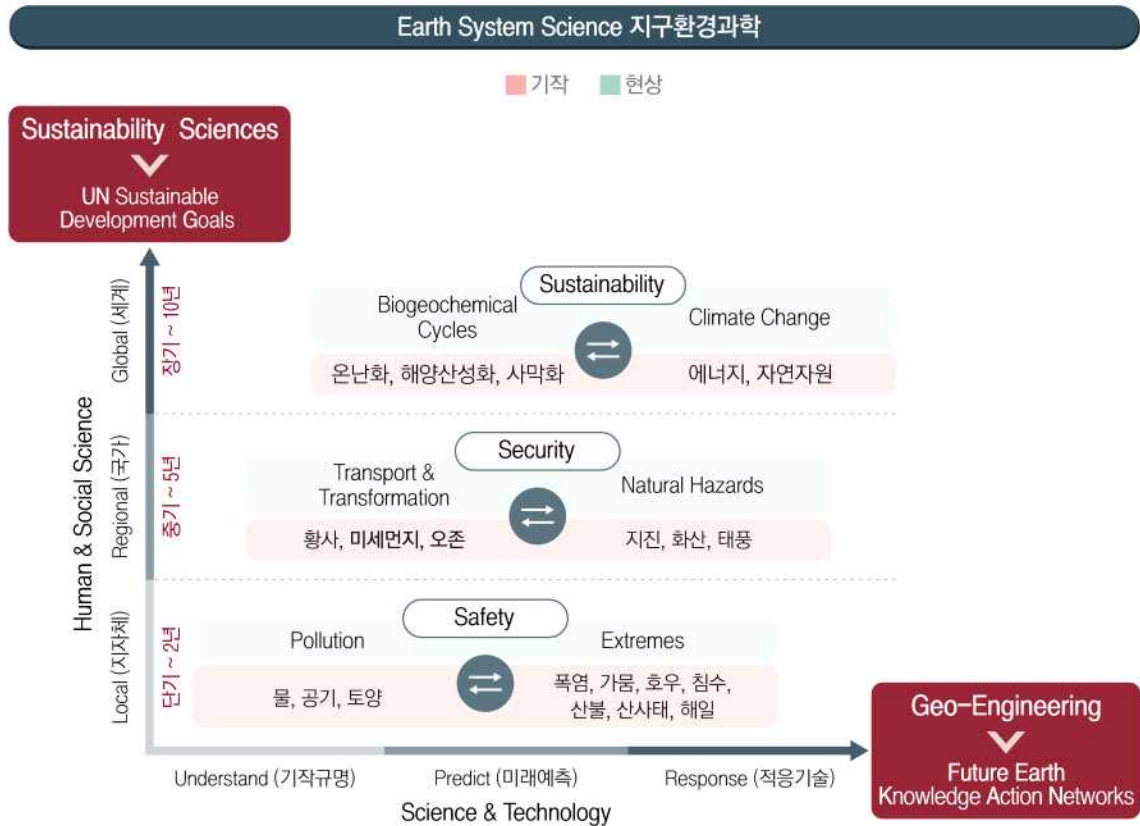


그림 3-4 교육연구단의 사회·산업 문제 과학 난제 해결에 기여하기 위한 중·장기 비전

- 본 교육연구단은 지난 3단계 BK21플러스 사업을 통해 지구환경과학 분야에서 글로벌 역량의 우수 인재를 양성함과 동시에 특히 미래지향적 연구과제를 발굴하고 기획하여 대형 연구사업단을 수주하고 운영하는 등 높은 수준의 연구성과를 도출하였음.
- 지구 내부와 표층 환경이 대기환경과 상호작용하는 지구시스템의 순환에 맞추어 조직된 연구클러스터들은 이러한 상호 작용을 종합적인 교육과 연구로 반영하고 있으며 또한 연구클러스터별 창의적이고 차별화된 연구도 병행하고 있음.
- 따라서 본 교육연구단은 그간 축적한 과학기술 지식과 경험을 공유하고 도출된 연구성과를 바탕으로 지속 가능한 우리 사회의 성장에 이바지하고자 4단계 BK21사업의 사회·산업 문제, 과학 난제 해결 기여 추진전략을 다음과 같이 수립하고자 함.
- **사회·산업 문제 해결:** 동북아시아 중심의 대한민국 지리적 특성으로 인한 황사, 미세먼지, 그리고 지진 등 자연재해 발생이 빈번히 발생하고 있음. 본 교육연구단은 이러한 문제 발생의 원인과 기작 규명부터 적용 관리 기술까지 전 주기를 아우르는 산학융합 연구를 활성화하여 지속 가능한 대한민국의 미래 융성에 이바지하고자 함.
- **과학 난제 해결:** 대한민국 과학계는 선진국 과학 수준을 추격 또는 모방하는 단계를 뛰어넘어 전 세계 과학과 기술을 선도하는 리더 국가에 걸맞은 위상 정립이 필요함. 본 교육연구단은 동북아시아 지구환경변화와 관련 대형 연구과제를 활성화할 계획임.

- 상기한 문제해결을 위한 전략으로 **대형융합연구, 산학연 공동연구**, 동북아시아를 중심으로 한 **국제연구**를 수행하고자 하며, 수월성 연구결과를 바탕으로 한 결과를 다시 교육에 반영하여 문제해결을 위한 장기적인 선순환이 이루어질 수 있도록 체계화하고자 함.

2.2.2 연구클러스터별 산업 문제·사회 문제·과학 난제 해결 기여 계획

2.2.2.1 고체지구 연구클러스터

- 고체지구 연구클러스터는 우리 사회가 직면한 사회·산업 문제와 과학 난제를 아래와 같이 분류하고, 체계적이고 심층적인 연구를 통해 문제해결에 이바지해오고 있음.
 - **사회 문제 해결:** 지진피해와 지질재해 저감, 고준위 핵폐기물 지중 처분 최적지 도출
 - **산업 문제 해결:** 광물자원과 에너지자원의 자주적인 탐사와 개발기술 개발
 - **과학 난제 해결:** 지진발생 원인 규명, 동북아시아 지각의 층상구조와 지구 규모의 순환과정 연계와 모델링
- 한반도 활성단층의 분포와 지진재해 위험도에 대하여 지금까지 진행된 대형 국책과제들 이후에 지금까지 국내외에서 추진되었던 지진 위험관리와 방재 개념을 넘어 자연 및 유발 지진 위험을 체계적 점검하고 방재하기 위한 국책과제의 전략적 개발이 필요함.
- 천부지권 연구클러스터에서 추진하고 있는 고준위 방사성폐기물 지중 처분 연구와 관련하여 폐기물 저장에 최적화된 지질매체가 우리나라 국토 어느 곳에 분포하는지에 대한 관점에서 본 교육연구단 차원의 대형 국책과제의 개발을 준비할 예정임.
- 광물자원과 석유자원의 탐사와 개발을 위한 기술개발은 탐사 대당 지역 지각의 조구조 운동과 연관된 광화작용과 석유자원 집유장 형성 등을 3차원으로 해석할 수 있는 기술개발이 필요하여 관련 공기업 및 대기업과 공동연구를 도출할 예정임.
- 지구 내부 물리적·화학적·운동학적 특성을 이해하고 이를 바탕으로 지구 내부 물질과 에너지 이동과 형성 등을 연구하는 지구 동역학(geodynamics)의 관점에서 동북아시아 지각진화를 재조명하여 지금까지 지표 지질조사에 주로 의존하였던 연구를 확대할 예정임.
- 진행 중인 대표적 대형 연구과제

① (원자력안전위원회) 자연재해 연구단(2018~2022)

2.2.2.2 천부지권 연구클러스터

- 천부지권환경(토양·지하수환경) 연구클러스터는 우리 사회가 직면한 사회·산업 문제와 과학 난제를 아래와 같이 분류하고, 체계적이고 심층적인 연구를 통해 문제 해결에 이바지해오고 있음.
 - **사회 문제 해결:** 물통합관리(지표수·지하수 통합관리), 오염 진단·평가·예측, 핵폐기물을 포함한 산업폐기물의 지중저장, 재해 진단·저감: 지반 함몰, 산사태
 - **산업 문제 해결:** 지속가능형 지중환경 (물환경, 지하수환경, 토양환경, 심부지중환경) 관리 기술, 오염부지 현장에 직접 적용할 수 있는 진단·평가·예측 기술
 - **과학 난제 해결:** 온실기체 저감, 자연적 및 인위적 환경변화에 대한 불균질 지질매체의 거동 특성, 광물 기반 미시규모 지구화학적 반응기작의 정량적 규명을 통한 (고)환경 복원·예측 기술
- 인구의 급격한 증가와 도시화로 인한 자연현상과 관련된 자연재해와, 산업의 발달에 따라 부수되는 인간의 활동으로 발생하는 환경재해 위험이 급증하고 있으므로, 이러한 재해의 효율적 관리를 위한 원인에 대한 철저한 이해와 예측과 방지에 대한 기술개발이 필수임.

- 또한, 자연재해와 환경재해의 궁극적이고 효율적 관리를 위해 생물권, 수권, 암석권 등으로 이루어진 지구계 각 요소의 상호 작용과 순환 관계에 입각하여 인간 활동에 영향을 주는 자연현상과 인류 활동으로 야기되는 환경변화에 대한 근본적인 과학적 이해가 필요함.
- 천부지권환경 연구클러스터는 지구환경 구성 권역들의 상호작용에 의한 오염물질의 분산과 이동과정을 규명하여 오염물질의 확산방지, 제거 및 복원을 위한 환경기술을 개발하고, 지구온난화 방지를 위한 이산화탄소 지중저장 기술개발을 지속 추진할 계획임.
- 천부지권환경(토양·지하수환경) 연구클러스터는 연구 수월성을 기반으로 물통합관리(지하수관리), 오염부지조사 진단평가예측, 고준위 핵폐기물저장, 지구온난화 방지를 위한 이산화탄소 지중저장 등 우리 **사회가 직면한 난제 해결**에 결정적으로 이바지하고자 함.
- 지구온난화라는 인류 전체가 당면한 사회 문제 해결을 위한 전략으로 이산화탄소 지중저장 관련 **대형 융합연구**를 추가로 기획 및 수행을 통해 완성도 높은 결과를 바탕으로 온실가스저감 사회 문제 해결에 이바지하고자 함.
- 아울러 거대도시화와 더불어 대규모 지하 공간(예: 지하철, 지하구조물, 지하도로) 개발 및 활용에 따른 물 부족, 오염 현상에 대한 다양한 지질학적, 수리지질학적, 생지구화학적 변화를 연구하는 대형공동연구과제 발굴과 기획이 필요한 시점임.
- 산업 문제 해결을 위한 전략으로 환경 관련 산업체의 애로사항 및 요구사항을 반영한 **산학연 공동연구**과제 기획과 수행을 통해 오염부지조사 진단평가예측, 중저준위·고준위 핵폐기물지중처분 관련 조사기술의 실제적인 적용이 이루어질 수 있도록 노력하고자 함.
- 과학 난제 해결을 위한 전략으로 지중환경 관련 **국제화연구 수행**과 더불어 세계를 선도할 수 있는 리딩 연구클러스터로의 발전을 이루고자 함. 특히 동북아시아를 포함한 아시아권 국가와의 국제공동연구를 통해 우리 삶에 직결되는 문제 해결에 적극 기여하고자 함.
- 완료 또는 진행 중인 대표적 대형 연구과제

① (환경부) 이산화탄소 지중저장 환경관리 연구단(2014~2021) - 2021년 완료

② (환경부) 스마트 지중환경 관리기술 연구단(2018~2022)

2.2.2.3 대기환경 연구클러스터

- 본 연구클러스터는 지구 내부와 표층 환경이 대기와 상호작용을 중심으로 변화하는 대기 조성을 진단하는 연구를 수행해 왔으며, 반응성 미량 기체부터 미세먼지 조성 그리고 오존과 미세먼지의 화학 변환과정을 파악하는 연구를 동북아시아 지역을 대상으로 수행하고 있음.
- 대기환경 연구클러스터는 우리 사회가 당면한 사회 문제와 지구환경과학 난제를 아래와 같이 분류하고, 체계적이고 심층적인 연구로 문제를 해결하며 대응하고 있음.
 - **사회 문제 해결:** 미세먼지 대응 및 대기질 개선, 기후변화 적응
 - **과학 난제 해결:** 고농도 미세먼지 발생기작 규명
- 최근 쾌적하고 안전한 삶을 영위하고자 하는 국민적 기본권을 심각하게 위협하는 미세먼지 문제로 국가적 관심이 큰 대기환경 분야의 대기질 개선 및 기후변화 대응 분야로 특화하여 지질과학 및 지질환경과 연계하여 특성화된 연구결과를 도출해왔음.
- 대기과학 연구클러스터는 연구 수월성을 기반으로 아래에 제시한 우리 사회가 직면한 미세먼지 대응, 기후변화 적응 등 난제 해결을 위한 대형 연구과제 발굴과 수주를 진행하고 있음.
- 국지적 대기오염부터 전 지구적 규모의 온난화까지 모두 인류 활동에 의한 대기 조성의 변화에 기

인한 것으로 대기화학은 대기 중 화학물질들의 생성과 소멸 기작을 규명하고 변화를 진단하고 예측하며 미래 정책 수립에 기반이 되는 과학자료를 제공하는 문제 해결형 연구의 전형임.

- 가속화되는 도시화로 인하여 전 지구적인 온난화가 국지적 공기의 정체를 초래하여 대기질 저하가 더욱 심화할 것으로 전망되기 때문에 특히 전 세계적으로 인구 밀도가 매우 높은 동북아시아는 이와 같은 문제에 매우 취약하며 이에 대한 근본적 해결책이 필요함.
- 중국이 강력한 정책을 시행하여 북경 지역 미세먼지 농도가 매년 $\sim 7 \text{ mg m}^{-3}$ 감소하였으며, 우리나라도 정부의 노력으로 어느 정도 효과는 있었으나 추운 계절 고농도 미세먼지의 발생 빈도와 강도가 증가하였는데 발생 기작의 이해가 매우 미흡한 상태임.
- 또한, 미세먼지와 더불어 대기 중 오존 농도도 증가하고 있으므로 미세먼지와 오존 생성 기작 파악을 위한 기초연구를 기반으로 향후 정책 수립에 적용 가능한 결과를 도출할 수 있는 국가과제의 발굴과 수행이 필요함.
- 향후 미세먼지 중 질산염 변환과정과 질소의 이질반응 규명, 미세먼지 중 동위원소와 대기 중 휘발성 유기화합물(VOC) 분석, BC 단일입자 분석과 특성 파악, 서울의 오존 생성기작 파악, 인공신경망 모델을 활용한 대기의 이질화학반응 파악 등의 주제에 대해 **과학적 난제 해결과 동시에 사회 문제 해결을 위한 접근**으로 연구를 수행할 예정임.
- 국립환경과학원 국립기상과학원 해양과학기술원 등 국내 연구기관과 구축된 측정 인프라를 활용하며, 과기정통부와 환경부를 주축으로 **과학적 난제 해결과 사회 문제 해결을 위한 연구**를 기반으로, WMO(국제기상기구) Future Earth 등 국제연구협의체를 리드하는 연구로 동북아시아 대기환경변화 진단과 개선에 이바지할 계획임.
- 최근 상기한 과학적 난제 해결을 위한 과학적 해결책을 제시할 것으로 기대되는 대형 중장기 연구를 수주하여 아래와 같은 중장기 연구를 통해 고농도 미세먼지 발생원인인 질산염의 생성 과정을 밝히고자 함.
- 진행 중인 대표적 대형 연구과제

① (연구재단) 산소·질소·탄소 동위원소 추적자를 이용한 PM2.5 질산염 생성·변환 기작과 배출원 정량 규명(2020~2024)

2.2.2.4 지역사회문제 해결

- KU 창업 에코시스템 기반 창업지원 프로그램 강화

- 본 교육연구단은 그동안 우수 인력을 양성하여 졸업생의 대부분이 안정적인 대학, 국가출연연구원, 공기업, 대기업, 기타 전문 스타트업에 기업 등에 취업하였으나 반면에 최근 5년간 교원창업과 교육연구단 대학원생 창업 실적은 전무한 상황임.
- 따라서 본 교육연구단은 지역사회 창업 생태계에 다양한 형식과 방법으로 기여할 수 있는 교수·연구·지원인력 등을 통해 기업 및 지역사회와 연계된 창업 종합지원프로그램을 지원할 계획임.

- 지역사회연계 프로그램 강화: 안암캠퍼스타운 및 온마을캠퍼스사업

- 고려대학교는 산학협력의 혁신모델인 학(연)-산-관-민의 쿼드러플헬릭스를 구축하여 지원, 지역사회연계, 분야별 전문가 성장 지원, 창업프로그램 고도화 등 미흡한 부분을 보완하여 네트워크를 확장하고자 함.
- 인류사회의 공동문제해결(SDGs)을 위한 교육과정 개설 및 공동연구를 활성화할 계획임. 예로, 안암

동 캠퍼스 타운은 대학지역 연계 수업을 제공하여 지금까지 다양한 전공으로 지역사회에 총 428회의 강의를 제공하였으며 762명 이상이 참여하였음.

- 혁신에 있어 ‘문제중심’, ‘가치 지향성’, 혁신 주체 간 협력 모델이 강조되면서 대학의 사회적 가치 창출 요구에 따라 본 교육연구단은 안암동 캠퍼스 타운, 온마을캠퍼스사업 등에 참여하여 지역사회문제 해결을 위한 프로그램 개발·활동 지원을 계획함.

- 2022년 고교-지역사회 연계 진로교육과정 운영

- 주제: 지속 가능한 Green 지구환경과 에너지
 - 운영기간: 2022년 7/25(월)~7/28(목)
 - 이수단위: 4시간X4차시=총16시간(1학점)
 - 기대효과: 대기 환경, 암석, 광물, 자원
 1. 지구 구성 물질 탐구 및 기후변화 등 지구환경의 이해
 2. 과거-현재의 자원·에너지원의 고찰 및 미래 자원·에너지의 이해



- 2022년 리빙랩 방법론을 활용한 사회문제 해결형 연구과제

- 주제: 고려대 내 폐건전지 관리 실태 및 인식조사 (수거·관리 방안 모색)
 - 과제기간: 2022년 7월 1일 ~ 2022년 12월 30일 (약 6개월)
 - 기대효과: 본교 정책 방향인 지속가능발전 목표(SDGs) 이행을 위한 체계화된 프로그램 일환으로 활용될 수 있으며, 고려대의 ESG 경영에 기여할 수 있음. 또한, BK21 과제 성과물로 활용될 수 있으며, 리빙랩을 통한 지역사회 및 국가 환경 문제를 해결하는데 이바지할 것으로 기대됨. 이는 거시적으로 시민의 인식 변화를 이끌어 ‘지속 가능한 지구환경’을 유도하는 데 이바지할 것이고 마

지막으로, 고려대 맞춤형 사회문제 해결로 교내외 전문적인 연구기관과 협력하며 국가 대형과제 사전 기획을 수립할 수 있으며, 추후 지자체 및 기업참여 유치를 통한 산학협력 유도가 가능함.

ESG 경영과 지속가능 가치를 위한

GREEN

엠베서더 아이디어 경진대회

22.6.17(금)~22.6.30(목)



모집개요

- 활동기간
22.7.1~22.11.30 (총 5개월)
- 모집인원
5팀 (팀당 인원 2~3명)
- 지원자격
고려대 학부생 및 대학원생
(팀장 BK21 참여 대학원생 필수)
- 모집기간
22.6.17(금)~22.6.30(목)
- 지원방법
온라인 지원 (<https://forms.gle/cw3NPsCr3WMkHgND6>)




활동내용 및 혜택

- 교내 폐건전지 실태조사 및 보고서
폐건전지가 환경에 미치는 영향, 각 단과대 및 본부별 폐건전지 수거, 관리 현황 등을 조사하여 보고서 작성
- 폐건전지 활용 아이디어 제안
교내 폐건전지의 효율적인 수거 및 활용을 위한 아이디어 제안
- SNS 홍보 및 캠페인 수행
교내 폐건전지 수거 및 관리 관련 인식의 변화를 위한 홍보 캠페인 수행
- 혜택1) 활동비 250만 원 (팀당)
- 혜택2) GREEN 엠베서더 위촉장 수여
- 혜택3) 최우수팀 100만 원 상금 및 표창

문의

고려대 지구환경과학교육연구단
(still4@korea.ac.kr)

| 주최 |



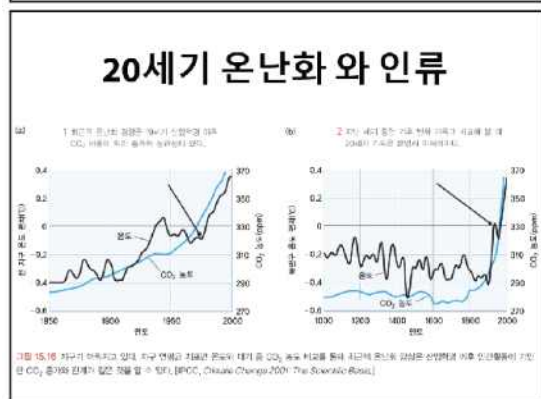
고려대학교
인문산학융합원



4단계 BK21
지구환경과학교육연구단

- 2022년 강북 혁신교육지구 ‘마을교사 활동지원’ 사업 참여

- 강연주제: 지구와 나(기후변화와 환경)
 - 교육일자: 2022년 8/30(화)
 - 교육장소: 강북구나눔돌봄센터



- 2022년 고려대학교 하계 연구기획위원회 심포지엄

- 주제: 연계협력을 위한 RC 역할 탐색과 고도화: K-SciShops 제안
 - 개최 기간: 2022년 7/12(화)
 - 개최 장소: SK 미래관 최중현 홀 + 온라인
 - (세션3) 연계협력을 위한 RC역할 탐색과 고도화: K-SciShop 제안 발표

20220525 (공개)

연구기획팀

연구기획위원회 주관 제3회 Creative KU Research Symposium (안)

□ 2022 하계 심포지엄 개최 개요

- 행사명 : (가칭)연말의 연구기금 후원, 연구기획위원회 주관 제3회 Creative KU Research Symposium
- 일시 : 2022년 7월 12일(화) 10:00~ 17:30 ○ 장소 : SK미래관 최충현 홀 + 온라인
- 방식 : 온·오프라인 하이브리드(온라인 : Zoom 화상회의 또는 Youtube 생중계)
- 총괄 주제 : 미정
- 후원 : 연말의 연구기금
- 본 행사는 연말의 연구기금에서 후원하고, 이를 프로그램에 반영할 계획임
- (재)보건장학회 연말의 이사장 (경제 49)께서 주식회사 유한양행의 우선주 2000주 (매각대금 110,773,010원)를 기부하였음
- 학교는 기부금에서 관련 연구과제(2개 과제) 및 학생활동에 지원하였음

□ 프로그램 개요

- 오전(1부)은 기부자 및 초청 연사, 오후(2부)는 위원회 중심으로 기획
- 오후는 오전 프로그램 초청자와 오후 프로그램 참석자가 함께함
- 총 5개 세션으로 구성(오전 2개, 오후 3개 세션)
- 4개 세션은 연구처 주관으로 기획 예정
- 연구단장 주관 토론(4세션)은 연구기획위원회 연구단장 중심 기획 필요

□ 연구단장 주관 토론(4세션) 프로그램 기획 방향

- 단장 의견 수렴 후 프로그램 기획
- 19개 분야별 단장님의 의견 수렴 후 프로그램 기획 예정
- 심포지엄 형식의 디지털 전환
- 이번 심포지엄은 PPT발표를 지양하고, 모든 단장님의 짧은 영상을 사전 촬영하여 이를 바탕으로 재구조화(Transmedia Knowledge)하고, 이 자료를 바탕으로 심포지엄에서 토론하는 형식으로 기획하고자 함
- 영상 촬영은 사전에 공통 질문 의견 수렴 후 인터뷰 형식 등으로 진행 예정
- 기획 방향에 대한 의견 요청 예정

□ 프로그램(안)

시 간	프로그래
1부 : 기부자 및 외부 연사 초청	
10:00 ~ 10:10	개회
10:10 ~ 11:00	(세션1) 연말의 연구기금 ○ 연말의 연구기금 지원 연구(2과제) 중간 보고 및 ESG전략 연계 - 1부 행사에 기부자 및 유한양행 대표 초청 검토 중 ○ 주요 발표 내용 - 우리나라 디지털 플랫폼 기업의 ESG 경영평가(미디어학부 김성철 교수) - 유한양행 ESG 경영철학 및 ESG 경영실화에 관한 연구(경영학부 이재혁 교수) - 연말의 연구기금 학생활동(CCP) 활동 현황 공유(CTL)
11:00 ~ 12:00	(세션2) 연사 초청 강연 ○ (초청후보) 범부처의료기기사업단장(김범민 교수) - 의료기기 R&D전략 논의, 연구기금 기부자 및 유한양행 특화 전략 연계
12:00 ~ 14:00	(오전) 수당제원티하우스 - 1부 초청자(기부자 및 강연자)와 함께 오전 후 오후는 내부 심포지엄
2부 : KU R&D 세부 전략	
14:00 ~ 14:30	(세션3) 연계협력력을 위한 RC역할 탐색과 고도화: K-SciShop 제안 ○ RC (리서치코디네이터) 주관 R&D전략 보고 - 리빙필을 보완하는 'K-SciShop' 전략 - 무형가치평가 전략 - 디지털 전환과 R&D전략 과 무형가치평가 전략
14:30 ~ 15:00	(세션4) 재정지원사업과 대학 R&D전략 ○ 본교의 3대 재정지원사업(대학혁신사업, 4단계 BK21, LINC 3.0) 분석 및 전략 분석 후 보고 형식으로 발표 - 3대 사업단 협조를 통해 연구교수(RC) 중심으로 분석 - 분석 목표 : KU 재정지원사업 활용전략 및 국가 R&D 정책 분석 및 제언
15:00 ~ 15:10	휴식
15:10 ~ 17:00	(세션5) 연구단장 주관 토론
17:00 ~ 17:30	총장 간담회



연계협력력을 위한 RC 역할 탐색과 고도화: K-SciShops 제안

2022. 7. 12

서지은

- 2022년 제1회 지구환경과학과 고고학의 창 의 융합 포럼

● 포럼 주제: Beyond The Traditional Study & Knowledge-소통과 공감

- 목적: 지구환경과학과 고고학의 공동 포럼을 통한 학제간 연구의 비전 모색
- 일시: 2022년 4월 28일 목요일, 14시~18시

- 2022년 제2회 지구환경과학과 고고학의 창 의 융합 포럼(예정)

● 포럼 주제: Beyond The Traditional Study & Knowledge-소통과 공감.

- 목적: 지구환경과학과 고고학의 공동 포럼을 통한 학제간 연구의 비전 모색
- 일시: 2022년 10월 28일 목요일 (예정)

제 1회 지구환경과학과 고고학의 창의 융합 포럼
 포럼 주제: Beyond The Traditional Study & Knowledge - '소통과 공감'

일시: 2022. 4. 28. (목), 14:00 ~ 17:00
 장소: 고려대학교 메디칼지구환경관 1층, 유일순홀
 목적: 지구환경과학과 고고학의 공동 포럼을 통한 학제간 연구의 비전 모색



시 간	내 용
14:00~14:05	개회식
14:05~14:15	축사
14:15~16:00	발표1 석조 문화재의 복합부재 훼손과 복원: 탄산염결 증상으로 서지훈 고려대학교 BK21 지구환경과학교육연구단 연구교수
	발표2 고고유적 조사에 있어 지구물리탐사의 적용과 그 사례: GPR 중심으로 박규환 고려대학교 고려대학교 문화유산융합연구소 연구원
	발표3 고지자기 연대측정의 원리와 그 사례 장봉수 고려대학교 지구환경과학과 역사과정
	발표4 발사광탄소연대에 관한 고고학적 연구 동향 김수빈 고려대학교 고고미술사학과 박사과정
16:00~17:00	Q & A
17:00	폐 회

주관/주최: 4단계 BK21 지구환경과학교육연구단, 4단계 BK21 문화유산 스마트기술 융합교육연구단
 문의: Tel, 02-3290-3170 E-mail, still4@korea.ac.kr




- 제주도 광역상수원 진단

- 제주도 광역상수원(지하수)의 과학적 진단을 통하여 상수원의 현황(등급) 및 관리방안을 종합 평가함. 이에 따라 제주 동부지역 신규 광역상수원을 확정하게 됨.

- 제주삼다수 지하수 함양 및 유동 특성 평가

- 제주개발공사와 공동으로 삼다수 원수에 대하여 수화학 및 연령추적자 연구를 수행함으로써 지하수 함양 및 연령, 유동 특성 등을 새롭게 규명함.

3. 참여교수의 연구의 국제화 현황

① 국제적 학술활동 참여 실적 및 현황

● 국제학회/학술대회 활동(4단계 BK21사업 이후(2020.9~))

연 번	일시	이름	활동내용
1	2021.08.02.~08.06	권만재	국제학술대회 조직위원회 위원: 2021 AOGS - Biogeoscience Session BG16 - Biogeochemistry of Persistent Contaminants and Nutrients in Terrestrial and Aquatic Ecosystems
2	2014.01~현재	이미혜	국제연구조직 위원: Future Earth iLEAPS(Integrated Land-Ecosystem Atmosphere Processes Study) - Science Steering Committee(SSC)
3	2015.01~현재	이미혜	국제연구조직 위원: World Meteorological Organization(WMO) Global Atmosphere Watch(GAW) - Membership in the Scientific Advisory Group(SAG) on Reactive Gases
4	2021.12.	이미혜	AGU 2021 Fall Meeting Session Convener
5	2020~2022	이미혜	International Global Atmospheric Chemistry (IGAC) Conference SPC (Scientific Program Committee)

● 국제학술대회, 워크숍 및 포럼 개최(4단계 BK21사업 이후(2020.9~))

- 본 교육연구단은 지속해서 해외전문가를 초청한 워크숍 및 포럼 등을 통한 국제화를 위해 노력하였으나 코로나19 장기화로 인해 워크숍 국제학술대회, 워크숍 등이 취소 또는 연기되었음.

● 국제 학술지 관련 활동: 편집위원 등 관련 활동(4단계 BK21사업 이후(2020.9~))

- 윤성택 교수: 수자원 분야 SCIE급 최우수 국제학술지 Journal of Hydrology 및 Journal of Hydrology X 의 부편집위원장 (2019.2.~현재)
- 권만재 교수: SCIE급 국제학술지 Minerals Special Issue Editor (2020.4.~2021.7.31.), Frontiers in Microbiology Review Editor (2022.5.~현재)

② 국제 공동연구 실적

<표 3-4> 4단계 BK21사업 이후(2020.09~) 국제 공동연구 실적

연번	공동연구 참여자		상대국 /소속기관	국제 공동연구 실적	DOI 번호/ISBN 등 관련 인터넷 link 주소
	교육연구 단 참여교수	국외 공동연구 자			
202204	이미혜	Joel Savarino	프랑스 / University of Grenoble Alpes	Robust Evidence of ¹⁴ C, ¹³ C, and ¹⁵ N Analyses Indicating Fossil Fuel Sources for Total Carbon and Ammonium in Fine Aerosols in Seoul Megacity	https://doi.org/10.1021/acs.est.1c03903
202204	이미혜	Claudia I. Czimczik	미국 / University of California	Robust Evidence of ¹⁴ C, ¹³ C, and ¹⁵ N Analyses Indicating Fossil Fuel Sources for Total Carbon and Ammonium in Fine Aerosols in Seoul Megacity	https://doi.org/10.1021/acs.est.1c03903

202204	이미혜	Paolo Laj Joel Savarino	프랑스 / University of Grenoble Alpes	Oxidation pathways and emission sources of atmospheric particulate nitrate in Seoul: based on $\delta^{15}\text{N}$ and $\Delta^{17}\text{O}$ measurements	https://doi.org/10.5194/acp-22-5099-2022
202108	권만재	Matthew F. Kirk	미국 / Kansas State University	Effect of CO ₂ on biogeochemical reactions and microbial community composition in bioreactors with deep groundwater and basalt	DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.150803
202111	권만재	Finneran, K.T.	미국 / Clemson University	Diversity and composition of soil Acidobacteria and Proteobacteria communities as a bacterial indicator of past land-use change from forest to farmland	DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.148944
202108	권만재	O'Loughlin, Edward J.	미국 / Argonne National Laboratory	Impact of organic acids and sulfate on the biogeochemical properties of soil from urban subsurface environments.	DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.112756
202105	권만재	Boyanov, Maxim I.	미국 / Argonne National Laboratory	Ham B, Kwon J.-S., Boyanov M.I., O'Loughlin E.J., Kemner K.M., Kwon M.J. (2021) Geochemical and microbial characteristics of seepage water and mineral precipitates in a radwaste disposal facility impacted by seawater intrusion and high alkalinity. Journal of Environmental Management, Vol. 285, Article No. 112087	DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.112087
202105	권만재	Flynn, Theodore M.	미국 / Argonne National Laboratory	Flynn T.M., Antonopoulos D.A., Skinner K.A., Brulc J.M., Johnston E., Boyanov M.I., Kwon M.J., Kemner K.M., O'Loughlin E.J. (2021) Biogeochemical dynamics and microbial community development under sulfate-And iron-reducing conditions based on electron shuttle amendment. PLoS ONE Vol. 16, Article No. e0251883	DOI: 10.1371/journal.pone.0251883
202103	권만재	Rahman, Arifur	미국 / Jacobs Engineering Group Inc.	Kwon M.J., Hwang Y., Lee J., Ham B., Rahman A., Azam H., Yang J.-S. (2021) Waste nutrient solutions from full-scale open hydroponic cultivation: Dynamics of effluent quality and removal of nitrogen and phosphorus using a pilot-scale sequencing batch reactor. Journal of Environmental Management, Vol. 281, Article No. 111893.	DOI: 10.1016/j.jenvman.2020.111893
202102	권만재	Boyanov, Maxim I.	미국 / Argonne National Laboratory	Park S.-C., Boyanov M.I., Kemner K.M., O'Loughlin E.J., Kwon M.J. (2021) Distribution and speciation of Sb and toxic metal(loid)s near an antimony refinery and their effects on indigenous microorganisms. Journal of Hazardous Materials, Vol. 403, Article No. 123625.	DOI: 10.1016/j.jhazmat.2020.123625
202104	윤성택	Batsaikhan, Bayartungalag	몽골 / Mongolian Academy of Sciences	Batsaikhan B., Yun S.-T., Kim K.-H., Yu S., Lee K.-J., Lee Y.-J., Namjil J. (2021) Groundwater contamination assessment in Ulaanbaatar City, Mongolia with combined use of hydrochemical, environmental isotopic, and statistical approaches. Science of the Total Environment, Vol. 765, Article No. 142790.	DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.142790

202101	윤성택	Emelyanova, Irina V.	호주 / Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization	Jeong J., Park E., Emelyanova I., Pervukhina M., Esteban L., Yun S.-T. (2021) Application of conditional generative model for sonic log estimation considering measurement uncertainty. Journal of Petroleum Science and Engineering, Vol. 196, Article No. 108028.	DOI: 10.1016/j.petrol.2020.108028
202012	윤성택	Joe, Hang Eun	미국 / Purdue University	Joe H.-E., Zhou F., Yun S.-T., Jun M.B.G. (2020) Detection and quantification of underground CO ₂ leakage into the soil using a fiber-optic sensor. Optical Fiber Technology, Vol. 60, Article No. 102375.	DOI: 10.1016/j.yofte.2020.102375
202106	이미혜	Schwarz, Joshua P.	미국 / NOAA Earth System Research Laboratory (ESRL)	Cho C., Schwarz J.P., Perring A.E., Lamb K.D., Kondo Y., Park J.-U., Park D.-H., Shim K., Park J.-S., Park R.J., Lee M., Song C.-K., Kim S.-W. (2021) Light-absorption enhancement of black carbon in the Asian outflow inferred from airborne SP2 and in-situ measurements during KORUS-AQ. Science of the Total Environment, Vol. 779, Article No. 145531.	DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.145531
202102	이미혜	Whitehill, Andrew R.	미국 / U.S. Environmental Protection Agency	Gil J., Kim J., Lee M., Lee G., Ahn J., Lee D.S., Jung J., Cho S., Whitehill A., Szykman J., Lee J. (2021) Characteristics of HONO and its impact on O ₃ formation in the Seoul Metropolitan Area during the Korea-US Air Quality study. Atmospheric Environment, Vol. 247, Article No. 118182.	DOI: 10.1016/j.atmosenv.2020.118182
202011	이미혜	Yang, Xiaoyang	중국 / Chinese Research Academy of Environmental Sciences	Lim S., Yang X., Lee M., Li G., Gao Y., Shang X., Zhang K., Czimczik C.I., Xu X., Bae M.-S., Moon K.-J., Jeon K. (2020) Fossil-driven secondary inorganic PM _{2.5} enhancement in the North China Plain: Evidence from carbon and nitrogen isotopes. Environmental Pollution, Vol. 266, Article No. 115163.	DOI: 10.1016/j.envpol.2020.115163
202009	이미혜	Thriveni, Thenepalli	인도 / Sri Venkateswara University	Habte L., Shiferaw N., Thriveni T., Mulatu D., Lee M.-H., Jung S.-H., Ahn J.W. (2020) Removal of Cd(II) and Pb(II) from wastewater via carbonation of aqueous Ca(OH) ₂ derived from eggshell. Process Safety and Environmental Protection, Vol. 141, pp. 278-287.	DOI: 10.1016/j.psep.2020.05.036
202009	이영재	Kim, Youngjae	미국 / Argonne National Laboratory	Lee S.Y., Kim Y., Chang B., Lee Y.J. (2020) Enhanced arsenic (III and V) removal in anoxic environments by hierarchically structured citrate/FeCO ₃ nanocomposites. Nanomaterials, Vol. 10, pp. 1-22.	DOI: 10.3390/nano10091773
202106	이진한	Hirose, Takehiro	일본 / Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology	Park Y., Hirose T., Ree J.-H. (2021) Carbonate Fault Mirrors With Extremely Low Frictional Healing Rates: A Possible Source of Aseismic Creep. Geophysical Research Letters, Vol. 48, Article No. e2021GL093749.	DOI: 10.1029/2021GL093749
202108	조석주	Lee, Dongjin	중국 / Jilin University	Cho S.H., Lee B.-S., Lee D.-J., Choh S.-J. (2021) The Ordovician succession of the Taebaek Group (Korea) revisited: old conodont data, new perspectives, and implications. Geosciences Journal, Vol. 25, pp. 417-431.	DOI: 10.1007/s12303-020-0044-5

202107	조석주	Lee, Dongjin	중국 / Jilin University	Lee J.-H., Cho S.H., Jung D.Y., Choh S.-J., Lee D.-J. (2021) Ribbon rocks revisited: the upper Cambrian (Furongian) Hwajeol Formation, Taebaek Group, Korea. Facies, Vol. 67, Article No. 19.	DOI: 10.1007/s10347-021-00630-3
202104	조석주	Liang, Kun	중국 / Chinese Academy of Sciences	Park J., Lee J.-H., Liang K., Choh S.-J. (2021) Facies analysis of the Upper Ordovician Xiazhen Formation, southeast China: Implications for carbonate platform development in South China prior to the onset of the Hirnantian glaciation. Facies, Vol. 67, Article No. 18	DOI: 10.1007/s10347-021-00626-z
202206	조호영	Ha Ngoc Anh	베트남 / Vietnam Academy of Science and Technology	Yoon Y.W., Anh H.N., Rha S.W., Kim J.-S., Jo H.Y. (2022) Hydraulic and physicochemical properties of dense thin bentonite layers permeated with variably mixed alkaline solutions of KOH and CaCl ₂ at various temperatures (25.75 .C) for 3 years. Geotextiles and Geomembranes, Vol. 50, pp. 521-534.	DOI: 10.1016/j.geotexmem.2022.02.004
202202	권만재	Matthew F. Kirk	미국 / Kansas State University	Effect of CO ₂ on biogeochemical reactions and microbial community composition in bioreactors with deep groundwater and basalt	DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.150803
202206	권만재	O'Loughlin, Edward J.	미국 / Argonne National Laboratory	Antimony Redox Processes in the Environment: A Critical Review of Associated Oxidants and Reductants	DOI: 10.1016/j.jhazmat.2022.128607
202209	권만재	Bhoopesh Mishra	미국 / Illinois Institute of Technology	Zn speciation and fate in soils and sediments along the ground transportation route of Zn ore to a refinery	DOI: 10.1016/j.jhazmat.2022.129422
202110	김성룡	Benoit Tauzin	프랑스 / Université de Lyon	Evidence of Volatile-Induced Melting in the Northeast Asian Upper Mantle	DOI: 10.1029/2021JB022167

③ 외국 대학 및 연구기관과의 연구자 교류 실적 및 계획

- 외국 대학 및 연구자와의 교류 계획 - 신청당시 아래와 같이 교류계획을 세웠으나 코로나 장기화로 인한 해외출장의 어려움으로 일부 교류는 2022년 이후에 시행할 계획임

연 번	기관 / 연구자	교류 계획 및 관련 실적
1	미국 Argonne National Lab. / Dr. Edward O' Loughlin, Dr, Ken Kemner	• (권만재 교수 연구팀) 미국 아르곤국립연구소와 공동연구 수행 • 2021년 상반기 Dr. O' Loughlin 고려대 방문, 권만재 교수 2021년 하반기 아르곤국립연구소 방문. 권만재 교수 연구팀은 2009년 이후 아르곤국립연구소 Molecular Environmental Science 그룹과 지속해서 공동연구를 수행하고 있음 • 제련소 주변 중금속 존재 형태 분석, 바이오 필름 분석 및 지중환경오염평가 관련 회의 및 실험 수행 - 관련 실적(국제학술지 논문 게재): • Kwon et al., 2018, J Environ Management, 206, 938-948 외 8편

2	프랑스 Institute of Environmental Geosciences / Savarino Joël	• (이미혜 교수 연구팀) 프랑스 Institut des Geosciences de l' Environnement/ CNRS (Glaciologie) Savarino Joël (Directeur de Recherche)과 공동연구 • 프랑스 Institute of Environmental Geosciences는 그르노블에 있는 유럽을 대표하는 빙하연구소이며 Savarino Joël은 빙권의 질소순환 연구로 저명한 과학자로 특히 청정지역 극미량 질소 동위원소와 산소 동위원소 분석 전문가임. 2021년 6~7월 중 향후 정기적인 방문 일정 결정 • PM_{2.5} 주요성분 질산염 (NO₃⁻)의 산소, 질소 동위원소(¹⁷O, ¹⁸O, ¹⁵N) 분석. • 서울 및 주요 지역에서 채취한 PM_{2.5} 중 질산염을 분리하여 그중 안정성 질소와 산소 동위원소를 분석하여 대기 중 질산염 생성과정 추정 - 관련 실적(국제학술지 논문 게재): • Oxidation pathways and emission sources of atmospheric particulate nitrate in Seoul: based on $\delta^{15}\text{N}$ and $\Delta^{17}\text{O}$ measurements, Atmospheric Chemistry and Physics • Robust Evidence of ¹⁴C, ¹³C, and ¹⁵N Analyses Indicating Fossil Fuel Sources for Total Carbon and Ammonium in Fine Aerosols in Seoul Megacity, Environmental Science and Technology
3	베트남 Vietnam National Museum of Nature / Prof. Nyugen Trung Minh	• (윤성택 교수 연구팀) 베트남 자연박물관(VNMN)과의 공동연구 • 본 사업단과 VNMN 사이의 MOU를 기반으로 국제공동연구 및 대학원생과 연구원 인력교류를 활발히 추진키로 한 바 있음. 이에 따라, 금년 상대국 책임자인 Nyugen Trung Minh 교수의 고려대학교 방문(2021. 6~7월)과 윤성택 교수의 초청방문(2020.2.14-20 및 향후 매년 추진)을 추진하였으나, 코로나-19상황으로 인하여 연기됨. 특히, 윤성택 교수의 베트남 방문에서는 최근 국제적인 연구관심사 중 하나인 “Critical Zone Study”를 추진할 계획이었음. • 연기된 상호 방문연구는 코로나 상황이 회복되는대로 추진할 것임. - 관련실적: 고려대 지구환경과학과-VNMN MOU
4	호주 CSIRO / Matthew Myers, Bobby Pejcic	• (윤성택 교수 연구팀) 호주 대륙규모 온실가스배출량 분석연구 (2020~2021): 호주 CCS현장에서 적용한 국내개발 딥러닝 융합기반 통합환경해석 및 예측기법(MRSSM)을 mobile lab을 이용한 대륙 규모 온실가스배출 및 기후변화 영향성 평가 연구에 확장 적용할 예정 (Matthew Myers, Bobby Pejcic). • 또한 개선된 MRSSM (A-MRSSM)을 통해 FIR 자료 해석능 향상을 통한 새로운 Shale identification 기법을 개발할 예정임 (Bobby Pejcic). - 관련실적: 현재 2020.02의 단기방문을 통해 기존연구의 마무리 및 향후 탐사 및 분석방법에 대한 논의를 수행함.
5	미국 Argonne National Lab. / Dr. YoungJae Kim	• (이영재 교수 연구팀) 미국 아르곤국립연구소와 공동연구 수행 • 이영재 교수 연구팀은 Dr. YoungJae Kim박사가 미국 미시간주립대 박사과정일때부터 아르곤국립연구소 박사후연구원으로 재직할때까지 지속해서 공동연구를 수행하고 있음. • 지중환경 내 다양한 광물 중 특히 탄산염, 인산염 및 금속수산화광물의 형성과 계면지구화학 반응에 대한 토의 및 양자모델링적 해석 제공 - 관련 실적(국제학술지 논문 게재): • Lee et al., 2020, Nanomaterials, 10(9), 1773 • 2021년 하반기 Dr. YoungJae Kim 고려대 방문 및 초청강연.

6	미국 University of California, Urvine Claudia I. Czimczik	• (이미혜 교수 연구팀) 미국 Department of Earth System Science, University of California, Irvin의 Claudia I. Czimczik 교수와 공동연구 • 미국 UCI는 교내 Accelerated Mass Spectrometer를 보유하여 협력 학과에서는 지구환경 다양한 매체 내 방사성 탄소동위원소를 분석하고 더불어 탄소와 질소 안정성 동위원소를 함께 분석하여 기원과 프로세스를 추정하는 연구를 리드하고 있음. 2016년부터 연구 협력이 지속되고 있음. • PM_{2.5}의 주요 조성은 TC TN 중 탄소와 질소 동위원소(¹⁴C, ¹³C, ¹⁵N) 분석. • 서울을 포함한 국내 거점 지역에서 PM_{2.5}를 채취하여 TC TN을 분석하고 그중 탄소와 질소 동위원소 및 수용성 조성을 동시에 분석하여 탄소성 질소성 에어로졸의 생성과정과 기원을 규명하며 향후에는 건강 영향 평가에도 활용할 예정임. - 관련 실적(국제학술지 논문 게재): • Robust Evidence of ¹⁴C, ¹³C, and ¹⁵N Analyses Indicating Fossil Fuel Sources for Total Carbon and Ammonium in Fine Aerosols in Seoul Megacity Environmental Science and Technology
7	인도네시아 ITB (반둥 과학기술대)	• (김성룡 교수 연구팀) 인도네시아 반둥 과학기술대학(ITB)와의 공동연구 • 인도네시아 자바섬(자카르타와 반둥지역 포함)의 MEMS를 활용한 지진조기경보를 위한 딥러닝 모델 개발을 공동으로 진행하기로 함 • 최근 ITB의 David Sahara 교수가 공동연구를 위한 현지 연구비를 수주했으며, 상호 방문을 통한 원활한 자료 공유 및 향후 다양한 지진학 연구를 위한 협력을 약속함 • 인도네시아는 많은 지진이 발생하는 국가로, 현재 조기경보 체계 수립을 위해 정부 차원에서 많은 노력을 기울이고 있음. 성공적인 협력연구를 통해 장기적인 연구 협력관계 구축이 기대됨
8	베트남 Vietnam Academy of Science and Technology / Dr. Ha Nogoc Anh	• (조호영 교수 연구팀) 베트남 과학기술아카데미(VAST) 지질연구소(IGS)와의 공동연구 • 본 사업단과 VAST-IGS 사이의 MOU를 기반으로 국제공동연구 및 대학원생과 연구원 인력교류를 활발히 추진키로 한 바 있음. 이에 따라, 조호영 교수 연구실에서 VAST-IGS 소속 연구원인 Mr. Ha Ngoc Anh이 2018년 2월에 박사학위를 취득하였음. 학위 취득 후 IGS로 복귀한 후 현재까지 연구 교류를 지속하고 있음. • 조호영 교수는 최근(20.01~현재) Dr. Anh이 연구책임자로 IGS에서 수행하는 과제(Research on alteration of chemicophysical properties of weathering crusts for landslide mitigation in Da Lat area, Lam Dong province)에 대한 자문을 하고 있고, 향후 결과 논의 등을 통해 국제학술지 논문 작성을 계획하고 있음. • 또한 Dr. Anh은 고준위폐기물 심부 처분장 공학적방벽 완충제로 고려되는 벤토나이트의 열-수리-화학적 특성 관련 연구주제로 석사와 박사학위를 취득한 후 관련 교류를 지속하고 있어 향후 베트남에서 관련 사업 수행시 지속적 협력 연구가 기대됨. - 관련 실적(국제학술지 논문 게재): • Hydraulic and physicochemical properties of dense thin bentonite layers permeated with variably mixed alkaline solutions of KOH and CaCl₂ at various temperatures (25.75 .C) for 3 years. (2022) Geotextiles and Geomembranes, Vol. 50, pp. 521-534.