【신청서요약문】

<신청서 요약문>

<table>
<tr><td rowspan="3">중심어</td><td>친환경 에너지자원</td><td>스마트 자원개발</td><td>비전통가스</td></tr>
<tr><td>바이오에너지</td><td>이산화탄소/미세먼지 저감</td><td>지속가능한 지구환경</td></tr>
<tr><td>융합</td><td>현장중심</td><td>국제화</td></tr>
<tr><td>교육연구팀의
비전과 목표</td><td colspan="3">
• '19 GDP 기준 세계 12위의 경제규모의 우리나라는 세계 9위의 에너지 소비국으로서, 산업 부문의 전력 소비가 크게 (49.0%('10) 57.1%('18)) 증가했으며, 에너지 소비 증대로 인한 미세먼지, 온실가스 배출과 같은 산업/사회 문제가 심각한 상황임
• 천연가스는 오염물질 배출이 없고, 이산화탄소 배출량이 낮은 친환경 에너지 자원이며, 최근 셰일가스혁명으로 인해 지정학적 리스크가 낮아짐
• 바이오매스를 원료로 활용한 바이오가스는 유기성 폐기물의 친환경처리와 탄소 중립적인 에너지를 생산할 수 있는 국가 중점 개발이 필요한 재생에너지 자원임
• 현재 우리나라의 에너지 소비 증가로 인한 산업/사회 문제 해결을 위해서는 에너지 공급구조 개선이 필수적임. 선도국들은 이에 대응하여 발전 연료를 천연가스와 바이오가스로 대체하고 있음. 미국과 캐나다는 천연가스/바이오가스 혼합연료를 사용하는 친환경 버스 운영을 통해 연비 30% 증가와 이산화탄소 20% 절감을 이루었으며, 독일은 현재 재생에너지 사용량 중 약 10%를 바이오가스로 공급중임
• 산업통상자원부('20)의 자원개발 기본계획(안)의 주요 추진전략인 '자원안보로의 정책 전환' 을 위해서는 남북관계 개선, 북방/남방외교 등 신 국제 정세에 대한 대비와 '현장 맞춤형 자원개발 인력양성' 이 필수적임. 또한, '20년 5월 7일 관계부처 합동으로 발표된 '한국판 뉴딜 추진방향' 의 주요 전략인 '전 산업으로 AI 융합 확산' 에 정합하는 스마트 기술과 친환경에너지자원 개발기술의 융합이 절실함
• 이를 위하여 본 BK21 FOUR 교육연구팀(기후변화대응형 친환경에너지자원 스마트개발 글로벌리더 양성 교육연구팀)은 스마트 기술과 중점 에너지자원개발기술의 융합, 현장중심 교육 및 연구 프로그램을 개발 및 활성화시켜, 융합형 연구를 선도할 협응형 리더 양성, 우리나라의 산업/사회 문제 해결을 위한 전문가 양성, 핵심 의제를 선도하는 글로벌리더 양성을 최종 목표로 함
(1) 교육연구팀 비전
친환경에너지자원 스마트개발 분야를 선도하는 글로벌리더 양성
(2) 교육연구팀 핵심가치/목표/전략
[융합]
• 목표 : 친환경에너지자원 스마트개발 분야의 융합형 교육/연구 프로그램 개발/활성화
• 전략 : 4차 산업혁명에 대응한 스마트 기술 융합을 통하여 친환경 에너지자원 개발기술 고도화, 지역사회 문제해결을 위한 교육/연구 모델 창출
[현장중심]
• 목표 : 현장중심 협업/연구, 산학연 연계 활성화를 통한 문제해결 전문가 육성
• 전략 : 현장 연계 교육/연구 프로그램 도입, 산학연 연계 교육 및 교류 네트워크 확대, 산업계 외부위원(IAB)의 자문을 통한 교과과정 지속적 개선
[국제화]
• 목표 : 교육연구프로그램의 국제화를 통한 핵심 의제를 선도하는 글로벌리더 양성
</td></tr>
</table>

	• 전략 : 다국적 인재 유치 강화, 대학원생 국제 교류 능력 활성화, 국제 네트워크 강화를 통한 인적 교류 저변 확대, 해외 실증현장 활용 교육 및 연구 **[과학기술/산업/사회 문제 해결]** • 목표 : 공동체의 일원으로서 소임을 다하는 사회책임형 인재 육성 • 전략 : 과학기술/산업/사회 문제해결을 위한 교육/연구 융합 모델 창출, 융합형/현장중심형 교육/연구 프로그램 개발 및 정착
교육역량 영역	**■ 교육연구팀 교육 비전** • IC-PBL+, Cross-listing, AI-X 등 융합/문제해결형 교육혁신 프로그램을 통해 친환경 에너지자원 개발분야의 스마트화를 선도할 글로벌리더/전문가 양성 **■ 교육연구팀 교육 핵심가치 및 목표** • 친환경 에너지자원개발 분야와 인공지능/기계학습을 활용한 스마트 자원개발 기술의 융합형 교육 프로그램의 확대 및 활성화를 통한 통찰력 있는 융합형 리더 양성 • IC-PBL+ 기반 산업문제해결형 교육 프로그램에서는 국내/외 현장 전문가들로 구성된 IAB 위원들을 현장문제해결 중심의 교육에 활용하고, 위원회의 자문에 바탕 한 교과과정의 지속적 혁신을 통해 사회/산업 현장문제해결에 최적화된 리더 양성 • 국제 공동연구, 해외 현장 파견 교육, 다국적 인재 확보 등 체계적 국제화 교육 시스템을 구축하여 핵심 연구의제를 선도하는 글로벌리더 양성
연구역량 영역	**■ 교육연구팀 연구 비전** • 친환경 에너지자원 분야의 핵심 연구의제를 선도하는 글로벌 연구리더 양성 **■ 교육연구팀 연구 핵심가치 및 목표** • 4차 산업혁명에 대응한 스마트 자원개발기술과 친환경에너지 개발기술의 융합 연구 인프라 구축, 연구 프로그램 개발 및 활성화 • 현장중심 인재 양성을 위한 국내/외 현장 실증연구 및 산학협력 연구 활성화 • 세계적 수준의 국제 공동연구 및 글로벌 네트워크를 통한 핵심 연구의제 선도 • 친환경 에너지자원 분야에서 세계적 수준의 연구주제 설정 및 집중을 통한 연구의 고도화 • 질적 연구지표 제고를 통한 연구력 향상 : 연구업적의 질적평가 기반 교원 인사평가제도 강화, H-index 향상 목표 설정, Q1 논문 비중 목표 설정, QS 랭킹 진입 제고
기대 효과	• 본 교육연구팀은 BK21 FOUR 사업을 통하여 **융합형 연구를 선도할 협응형 리더 양성**, 우리나라의 **산업/사회 문제 해결을 위한 전문가 양성**, **핵심 연구의제를 선도하는 글로벌리더 양성**을 목표로 친환경에너지자원 개발기술의 스마트화 및 고도화에 이바지함 • 본 교육연구팀은 IC-PBL+, IAB, Cross-listing 등을 활용한 교육역량의 혁신적 강화를 통해 친환경에너지 자원 스마트개발 분야를 선도하고, 관련 산업/사회 문제 해결을 통하여 공동체 구성원으로서의 소임을 다하는 **사회 책임형 리더 양성**에 기여함 • 본 교육연구팀은 스마트 기술과의 융합연구, 국내외 현장중심연구, 국제적 공동연구, 연구의 질적수준 향상을 바탕으로 **글로벌 수준의 연구중심 그룹으로 도약함** • 본 교육연구팀은 대학의 교육혁신과 연구고도화를 통해 인력양성의 새로운 패러다임을 제시하고, 우리나라의 에너지 공급구조 변화, 대기오염, 기후변화 등 사회/산업 문제 해결에 중추적인 역할을 담당할 **기후변화대응형 친환경에너지자원 스마트개발 글로벌리더를 양성함**

Ⅰ. 교육연구팀 구성, 비전 및 목표

1. 교육연구팀 구성

1.1 교육연구팀장의 교육연구행정 역량

성 명	한글	[redacted]	영문	[redacted]
소속기관	한양대학교	공과대학	자원환경공학과	

<표 1-1> 교육연구팀장 최근 5년간 연구실적

연번	저자	논문제목/저서제목/book chapter/ 설계작품명	저널명/학술대회명 /출판사/행사명	권(호), 페이지/ISSN/ISBN (pp. ** - **)	게재·출판·행사 연도	DOI 번호 (해당 시)
1	[redacted]	Influence of coil pitch on thermal performance of coil-type cast-in-place energy piles	ENERGY AND BUILDINGS	129, pp. 344-356	2016	10.1016/j.enbuild.2016.08.005
2	[redacted]	Numerical model for shaley rock masses displaying long-term time dependent deformation (TDD) behavior and its application to a pedestrian tunnel constructed under Lake Ontario	KSCE JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING	21(7), pp. 2919-2931	2017	10.1007/s12205-017-1359-2
3	[redacted]	Seismic Response of Circular Tunnels in Jointed Rock	KSCE JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING	22(4), pp. 1121-1129	2018	10.1007/s12205-017-1184-7
4	[redacted]	Waste sludge derived adsorbents for arsenate removal from water	Chemosphere	239, 124832	2019	10.1016/j.chemosphere.2019.124832
5	[redacted]	Finite Element Steady-State Vibration Analysis Considering Frequency-Dependent Soil-Pile Interaction	APPLIED SCIENCES-BASEL	9(24), 5371	2019	10.3390/app9245371

I. 교육연구팀 구성, 비전 및 목표

1. 교육연구팀 구성

1.1 교육연구팀장의 교육연구행정 역량

교육연구팀장의 경력

기간	소 속(직 위)	역 할
2008~2017	Arup Group Ltd.(뉴욕 본사) (Americas Tunnels Skills Leader & Global Tunnel Skills Network Leader)	· 런던 / 홍콩 등 스마트자원 및 지하공간 개발 관련 기술 교육 · 전세계 Arup 기술연구 교류 네트워크 구축 및 활성화
2017	WSP/Parsons Brinckerhoff(뉴욕 본사) (Vice President & Senior Supervisor)	· 지하공간 계획 / 설계 / 시공 / 유지보수
2017~현재	한양대학교 자원환경공학과 (정교수)	· 학부 / 대학원 스마트 자원 및 지하공간 개발 관련 교육 및 연구

교육연구팀장의 연구역량

산업체 문제해결 연구역량

- 기술연구 총책임자로서 송도 신도시 마스터플랜, 싱가폴 DTSS 심부지하 하수 운반 및 환경처리 시스템 그리고 64 억$(약 7.8조원) 규모의 뉴욕 Second Avenue Subway 1 & 2 단계 등 전 세계에 걸친 주요 메가프로젝트들을 리드하며 산업체 문제를 해결에 기여
- 세계적인 메가 프로젝트 및 미국, 영국 등 전세계 국가기관 연구를 수행한 경력으로 한양대로 특별 초빙된 이승원 교수는 현장중점 연구 및 교육체계 구축을 주도함

과학기술/사회문제해결 연구역량

- 자원개발 및 지하공간 건설은 각종 공해로 인한 첨예한 소송과 대립, 경제적 손실 등의 이슈들이 야기됨. 이러한 소음, 분진, 진동문제를 해결코자 4차 산업혁명 중 핵심인 인공지능을 활용하여 2018년 ~ 2020년 정부지원 연구과제를 아래와 같이 수행 중에 있음

- ㈜성진이엔씨와 협업하여 진동제어공법 중 하나인 선대구경의 효율 증진 연구 수행
- ㈜아이콘트와 협업하여 진동속도 예측 인공지능 프로그램 개발(2019년 완료)

교육연구팀장의 교육 · 행정 역량

학생 역량 강화를 위한 교육역량

- 30개 이상의 국제적 기관, 기업 간 협업을 주도하며 메가 프로젝트들을 리드한 이승원 교수의 풍부한 경험과 사회/산업 문제 해결 노하우는 학생들에게 Industry-Coupled Problem-Based Learning+(IC-PBL+) 강의로 교육되고 있음. IC-PBL+로 진행된 지하공간공학특론은 학생들로부터 최고의 강의 만족도로 평가됨(최종점수 100점)
- 현재 Industry Advisory Board(IAB) 주임교수로 연 2회 이상 IAB 자문위원을 초청하여 학과의 교과과정에 대한 회의를 진행하고 이를 반영한 교과과정을 개발함

학생행복 중심의 행정역량

- Global Tunneling Project of the Year(2015) 등 총 5개의 올해의 프로젝트 상을 기술연구 총책임자로서 수상한 바 있으며 이를 통해 본 교육연구팀장의 조직관리 능력이 검증됨
- 학교의 다양한 상담프로그램을 통해 학부 및 대학원 학생들과 지속적으로 상담을 함. 이에 대한 결과로 한양대 부임 후 3년 연속 “최다 학생상담상” 을 수상함
- 현 한양대학교 자원환경공학과 교수, 학과장 및 공과대학원 교육 혁신 Committee를 겸임하며 대학원생들의 비전 실현을 위해 다양한 정책을 구상/적용 중에 있음

1.2 교육연구팀 참여교수 및 참여연구진

<표1-2> 교육연구팀 참여교수 및 참여연구진 현황

연번	성명 (한글/영문)	직급	연구자 등록번호	세부전공분야	신임교수 *	외국인
1	[redacted]	교수	[redacted]	석유/가스/지하유체공학	기존	내국인
2	[redacted]	교수	[redacted]	유기성폐기물처리	기존	내국인
3	[redacted]	교수	[redacted]	암반공학	신임	내국인
4	[redacted]	조교수	[redacted]	오염토양/지하수복원	신임	외국인

1.3 교육연구팀 대학원 학과(부) 현황

<표 1-3> 교육연구팀 대학원 학과(부) 현황 (단위: 명)

기준일	대학원 학과(부)		학과(부) 소속 전체 교수 수	참여교수 수
2020.05.14	자원환경공학과	임상,건축학 인문사회계열 포함	10	4
		임상,건축학 인문사회계열 제외	10	4

<표 1-4> 교육연구팀 대학원 학과(부) 소속 전임교원 변동 현황

(단위 : 명)

구 분	2017년		2018년		2019년		2020년		비고
	1학기	2학기	1학기	2학기	1학기	2학기	1학기	2학기	
전체 교수 수 (명)	7	8	9	9	9	9	10	10	
전입 교수 수 (명)		1	1				1		
전출 교수 수 (명)	3								

<표 1-5> 최근 3년간 교육연구팀 대학원 학과(부) 소속 전임 교수 변동 내역

연번	성명	변동 학기	전출/전입	변동 사유	비고
1	[redacted]	2017년 1학기	전출	사직	
2	[redacted]	2017년 1학기	전출	정년퇴임	
3	[redacted]	2017년 1학기	전출	사직	
4	[redacted]	2017년 2학기	전입	신규 임용	
5	[redacted]	2018년 1학기	전입	신규 임용	
6	[redacted]	2020년 1학기	전입	신규 임용	

<표 1-6> 교육연구팀 참여교수 지도학생 현황

(단위 : 명, %)

기준일	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 (%)
2020. 05.14	자원환경 공학과	전체	7	6	85.71	7	6	85.71	7	6	85.71	21	18	85.71
		자교 학사	5	5	100.00	2	1	50.00	4	3	75.00	11	9	81.82
		외국인	0	0	-	1	1	100.00	1	1	100.00	2	2	100.00
참여교수 대 참여학생 비율						450.00								

<표 1-7> 교육연구팀 참여교수 지도학생(외국인) 학생 현황

연번	성명	국적	학사출신대학	공인어학성적		비고
				국어	영어	
1	[redacted]	중국	Jilin University	TOPIK(5급)	TOEFL(91)	
2	[redacted]	중국	Tianjin University Renai college	TOPIK(5급)	TOEIC(675)	
3	[redacted]	인도	Daulat Ram College			
4	[redacted]	인도	Ravenshaw University			

2. 교육연구팀의 비전 및 목표

2.1 교육연구팀의 비전 및 목표

기후변화대응형 친환경에너지자원 스마트개발 글로벌리더 양성 교육연구팀 비전과 미션

비전

친환경에너지자원 스마트개발 분야를 선도하는 글로벌 리더 양성

미션

1) 융합형 연구를 선도할 협응형 리더 양성
2) 우리나라의 산업/사회 문제 해결을 위한 전문가 양성
3) 핵심 연구의제를 선도하는 글로벌 리더 양성

방향

융합 Convergence	현장 중심 Field-Oriented	국제화 Globalization
친환경에너지자원 스마트 개발 분야의 융합형 교육/연구 프로그램 개발/활성화	현장중심 협업/연구, 산학연 연계 활성화를 통한 문제해결 전문가 육성	교육연구프로그램의 국제화를 통한 핵심 의제를 선도하는 글로벌 리더 양성

세부추진전략/주요프로그램

C1 4차 산업혁명에 대응한 스마트기술 융합교육
- 스마트개발 기술과의 융합형 교육 프로그램 확대 (AI+X)
- 교육연구팀 특화 스마트 기술 활용 교과목 개발 및 확대

F1 현장 연계 교육/연구 프로그램 도입
- 비전통유가스 생산현장 연계 교육 (미국 Permian 분지, 캐나다 Montney 분지)
- 바이오에너지 생산현장 연계 교육 (대구 바이오 가스 스마트 플랜트)

G1 다국적 인재 유치 강화
- 외국인 우수 학생, 신진연구인력 및 전임교원 확보
- 전주기 외국인 지원 플랫폼(Total Care-E²)

C2 산학연 융합 교육/교류 네트워크 확대
- 글로벌 선도 기업/대학/ 연구소와의 융합프로그램 확대
- 융합연구 인프라 구축

F2 산업/사회 문제해결 위한 소속 연구기관 활용
- 자원개발연구소
- Energy Innovation Institute (EI²)
- Humanity Engineering Center (HEC)

G2 대학원생 국제 교류능력 활성화
- 교육연구팀 특화 영어논문 작성법 강의
- 영어 학위논문 의무화
- 영어전용 강의 확대

C3 다양한 융합형 교육 플랫폼 제공
- Blended-learning
- Cross-listing
- HYPER-E²

F3 현장 전문가와의 인적 교류 활성화
- BK21 FOUR 학술제
- 현장실습 및 멘토링 네트워크 확대

G3 국제 네트워크 강화 및 저변 확대
- 국제 학술 활동
- BC-speaker 프로그램
- 해외 산/학/연 MOU

CF 과학기술/산업/사회 문제해결 복합형 교육
- IC-PBL+ Industry-Coupled Problem-Based Learning+)를 통한 융합형, 현장중심형 교육/연구 프로그램 개발 및 정착

FG 국내외 산업계 외부위원의 자문을 통한 커리큘럼 개선
- 국내외 산업계 외부 자문위원회인 IAB (Industrial Advisory Board)에 Global-IAB를 더해 교과과정의 지속적 혁신

에너지자원분야의 교육연구혁신을 위한 배경 및 벤치마킹

에너지자원분야 교육연구 혁신의 중요성

- 기존의 국내 에너지공급은 에너지 안보를 목표로 한 공급량 확보에 집중해왔음
- 하지만, 과학기술정보통신부와 한국과학기술기획평가원이 제시한 제2차 과학기술 기반 국민생활(사회) 문제 해결 종합계획(2018)에 따르면, 10대 사회문제 분야 중 에너지 안보를 목표로 한 **에너지 수급과 미세먼지 저감, 온실가스 배출량 감축과 같은 지속가능한 친환경 에너지의 중요성 인식 및 이를 위한 문제 해결이 필수적임**
- 특히, 세계경제포럼에 따르면 4차 산업혁명시대에는 지식 전달보다는 **기업/사회/세계의 실전 문제를 해결할 수 있는 역량**을 가르쳐야 한다고 강조함
- 또한, 4차 산업혁명시대에 대응하여 스마트개발 기술과의 융합을 통한 친환경에너지자원 기술의 선진화를 토대로 새로운 사업/패러다임에 대응하여 신성장동력을 확보할 수 있음
- 따라서, **융합형/현장중심형 교육을 바탕으로 뛰어난 문제해결역량을 지닌 전문 인력**의 배출이 절실히 필요하고, 이를 위한 교육연구 혁신이 요구됨

친환경에너지자원 스마트개발 기술 TF를 통한 벤치마킹

- 본 교육연구팀장 [redacted] 교수와 참여교수진은 2019년 친환경에너지자원 스마트개발 기술 TF를 발족, 세계적 연구 중심대학의 교육, 연구, 국제화 등을 벤치마킹하였음
- 벤치마킹 대상은 미국의 Stanford 대학교의 지구・에너지・환경과학부(School of Earth, Energy and Environmental Sciences)와 Penn State 대학교의 에너지자원공학과(Department of Energy and Mineral Engineering)로 선택하였음. 상기 프로그램들은 본 교육연구팀 소속학과와 같이 에너지자원공학, 환경공학을 아우르며, 석유천연가스공학 미국 3, 5위 (US News 기준), 환경공학 세계 1위, 48위 (QS 기준)로 벤치마킹에 적합하다고 판단됨
- 2019년 TF는 두 대학교 방문을 통한 벤치마킹을 수행하였으며, 주요 특징은 아래 표와 같음

- 벤치마킹결과, 세계의 연구중심대학들은 “①4차 산업혁명를 대비한 스마트 기술 융합 교육 및 글로벌 융합연구 활성화”, “②산업계 연계 강화, 문제해결형 연구 플랫폼 구축 등을 통한 산업/사회 문제해결중심교육”, “③학생비전실현중심의 인재육성시스템 구축”, “④경영진과 학과의 강력한 혁신 의지”를 특징으로 하고 있음을 확인하였음
- 이를 위해서 본 교육연구팀은 ①4차 산업혁명 대응 스마트기술 융합을 통한 교육 및 연구, ②현장중심형 교육을 통한 산업/사회문제해결형 IC-PBL+ 정착 및 확대, 현장중심 연구를 위한 소속 연구기관 활용, 에너지 생산현장 연계 교육/연구, Global-IAB자문을 통한 커리큘럼 혁신, ③국제적 능력 배양을 위한 학위 및 학술지 논문 영문작성 의무화, ④학생가치창출을 위한 Bi-annual survey, Leaders-RA+를 활용한 다양한 장학제도 제공, ⑤논문의 질적 우수성 향상을 위한 교원 업적평가 고도화 등을 주요 목표와 전략으로 설정하였음

대학원생 만족도 설문조사를 통한 학생 가치 중심의 비전 수립

① 설문조사 배경

- 본 교육연구팀은 **학생가치창출 중심의 비전 및 발전방향 수립**을 위해 매 학기 대학원 재학생을 대상으로 설문조사를 시행하고 있음 (대상인원 약 45명 중 2019년 8월 33 명 응답, 2020년 2월 38명 응답, 응답률 약 79%)
- 대학원생의 대학원생활 전반의 만족도, 교과과정 만족도 및 개선 필요사항, 교과과정 이외 만족도 및 개선 필요 사항, 인권 관련 사항 등에 대해 조사

② 설문조사 결과 및 해결방안

<대학원생 만족도 조사 및 분석>

설문 문항	설문조사 결과 및 현황 (2019년 1, 2학기 71건 통합 결과)	원인분석 및 해결방안 (본 사업단 세부추진전략)
졸업 후 희망 진로 조사	· 희망 진로: 산업체 38%, 정부출연연구소 39%, 대학 교수 16%, 기타 5% 등 - 산업체/연구소, 대학 등 다양한 진로를 희망하고 있음	· BK21 FOUR 학술제를 통한 선후배 연결 · 멘토링 네트워크 구축/운영
대학원 교육과정 설문	· 대학원 교과과정 만족도: 매우만족 25%, 만족 38%, 보통 23%, 불만족 11% 매우 불만족 1% · 대학원 교과과정 개선요구사항: 세미나식 강의 개선, 실습형 교과과목 필요, 이론 중심 교과과정 부족 등 · 대학원 교과과정 중 추가개설이 필요한 부분: 4차 산업혁명 관련 교과목 28%, 세부전공 심화 교과목 25%, 산업체문제 해결형 교과목 18%, 관련전공 융합 교과목 26% 등	· 4차 산업혁명 관련 기술 융합 교과목 개발 · IC-PBL+를 통한 융합형, 현장중심형 교육연구 프로그램 개발 및 정착 · 관련전공 융합 교과목 Cross-listing을 통한 기본역량 강화
대학원생활 만족도 조사	· 대학원생활전반 만족도: 매우만족 14%, 만족 53%, 보통 26%, 불만족 5%, 매우 불만족 1% · 가장 개선이 필요한 부분: 연구 외 행정업무 과다 36%, 연구실 내 인권문제 4%, 과중한 졸업요건 4%, 장학금 및 인건비의 부족 18%, 취업 진로 관련 가이드 32% 등	· 주기적 설문조사, 면담 등을 활용한 대학원생과의 소통 활성화 및 선순환적 피드백 · 행정업무 경감을 위한 전담직원 채용
재정지원 만족도 조사	· 월 생활비 필요 금액: 50만원 이하 1%, 50-100만원 40%, 100-150만원 39%, 150만원 이상 18%	· 대학원생 연구집중 환경조성을 위한 ‘Leaders - RA+’ 도입

교육연구팀의 미래목표 설정과 달성방안

교육연구팀의 현황 분석과 미래목표 설정

- 본 한양대학교 친환경에너지자원 교육연구팀(Environment-friendly Energy; E^2)은 세계 저명대학들을 벤치마킹하고, △교육 △연구 △제도 측면에서의 현황과 문제점을 분석한 후 "친환경에너지자원 스마트개발 분야를 선도하는 세계적 연구/인재양성" 을 비전으로 선정함
- 과학기술/산업/사회문제 해결을 위한 "융합(Convergence)형", "현장중심(Field-Oriented)형", "국제(Globalization)형" 혁신을 통해 "융합형 교육연구시스템 구축", "현장중심형 전문인력 양성", "글로벌 선도 연구인재 양성" 을 목표로 이를 달성하기 위한 세부 추진전략을 수립함
- 본 교육연구팀은 자체적으로 아래와 같이 **SWOT 분석을 실시**하였고, 4차 산업혁명시대에 대응한 **스마트기술의 융합, 현장중심형 교육, 교육/연구의 국제화**를 추진함
- 세부 추진전략 수립에 앞서 파일럿 프로그램 시행을 통해 혁신의 필요성과 자신감을 확보하였고, 구성원과의 공감대를 형성하였음
- 대학 본부의 전폭적인 지원과 교수/학생의 공감대 및 높은 의지를 바탕으로 단일 학부-대학원 학과 체계로 역량을 집중하여 학생가치 창출을 도모함

〈교육연구팀의 현황분석(SWOT)〉

교육연구팀의 미래목표 달성을 위한 세부 추진전략 및 추진동력(재원 등)확보

- 본 교육연구팀은 △연결형 교육 △융합형 연구 △학생 가치 창출을 위한 제도 혁신을 바탕으로 "문제해결능력 향상", "과학기술난제/산업체/사회 문제해결형 글로벌 선도연구 수행", "학생 가치 창출을 위한 교육연구시스템 정착" 을 목표로 하고 파일럿 프로그램 운영을 통한 공감대 형성과 재원을 확보함으로써 추진동력을 완비함
- 본 교육연구팀은 성공적인 교육/연구/제도 혁신을 위하여 아래와 같이 재원을 확보함

〈교육/연구/제도 혁신을 위한 재원〉

현장 중심형 연구	· Permian 비전통유가스전 현장자료 활용 및 실증시험을 통한 연구를 위한 산업체 지원	10만 달러 - Strata Production Company
지역사회 문제해결	· 지역사회 문제 발굴 및 교육, 연구를 통한 해결	1.5억/3년 - 성동구청 매칭펀드
Leaders-RA+	· 대학원생 연구몰입 환경조성을 위한 선진국형 Stipend 제도	5억원/연 확보 - 기존 학교, 학과, 외부 장학제도 + 참여교수 확보 연구과제 학생인건비
자원 The Leaders Club	· 연결형 교육, 융합형 연구, 학생 가치 창출을 위한 교육연구시스템 철학이 반영된 자원에너지관 확보	총 재원 약 10억원 중 5억원 대학 지원, 학과발전기금 모금목표 5억 중 1.5억 확보

교육연구팀의 미래목표 달성을 위한 추진체계

- 본 교육연구팀은 미래목표 달성을 위한 세부 추진전략 별 프로그램 운영 및 성과관리를 위한 추진체계를 아래와 같이 구성하고 교육/연구/제도 혁신을 추진함

〈교육/연구/제도 혁신 추진체계〉

5대 중점분야 선정

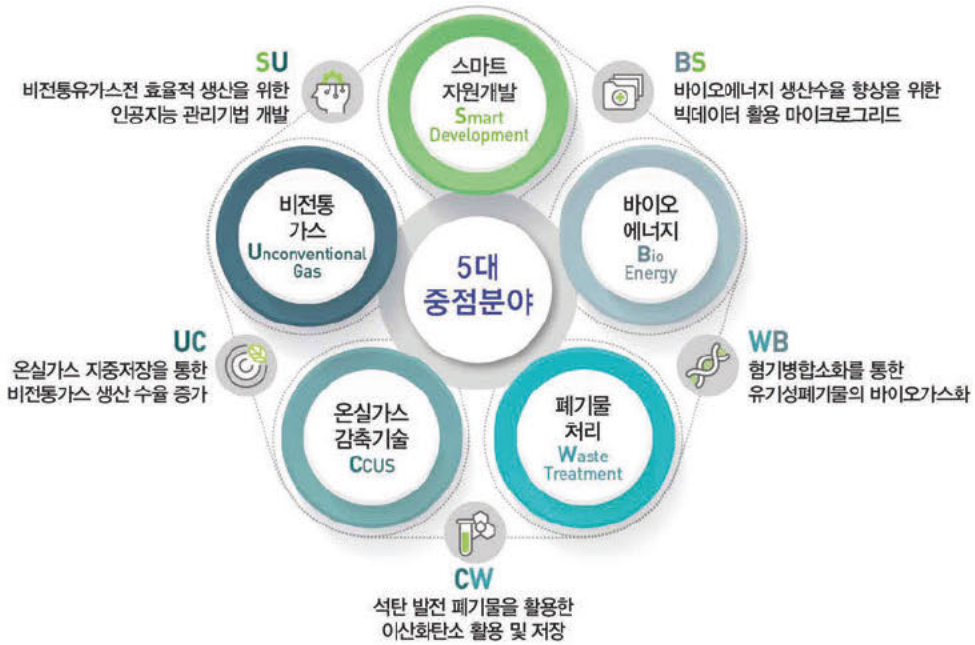
교육연구팀의 5대 중점분야 선정

- 본 교육연구팀은 세계 최고수준의 연구중심학교의 벤치마킹과 대학원생을 대상으로 한 설문조사를 바탕으로, 본 교육연구팀의 현황과 비전에 대하여 고찰하였으며, 그 결과, 아래 그림과 같이 **스마트자원개발, 비전통가스, 바이오에너지, 온실가스 감축기술, 폐기물처리 분야를 5대 중점분야로 선정하였음**

<본 교육연구팀의 5대 중점분야>

스마트자원개발 (S;Smart development)	• 스마트자원개발은 4차산업혁명에 대응하기 위한 스마트기술과 에너지 자원개발 기술의 융합을 의미함. 특히, '20년 5월 7일 관계부처 합동으로 발표된 '한국판 뉴딜 추진방향'에서 주요 목표로 설정된 '전산업으로 AI 융합 확산'과도 정합성을 갖춘 분야임
비전통가스 (U;Unconventional gas)	• 셰일가스로 대표되는 비전통가스는 지정학적리스크가 낮고 기술집약적인 대표적 천연가스 공급원이며, 북미를 중심으로 효율적인 개발기술 개발을 위한 스마트기술 융합이 활발하게 이루어지고 있음
바이오에너지 (B;Bio energy)	• 바이오에너지는 대표적인 신재생에너지 중 하나이며, 유기성 폐기물의 친환경처리와 탄소 중립적인 에너지를 생산할 수 있음
온실가스 감축기술 (C;CCUS)	• 온실가스 감축기술은 파리협정('15)에 의거, '30년까지 평소대비(BAU) 30%의 CO_2를 감축해야하는 우리나라의 주요 연구분야임
폐기물 처리 (W;Waste treatment)	• 폐기물 처리는 폐기물 이용 바이오에너지 생산 분야는 물론, 폐기물 활용 온실가스 감축 등에 적용가능한 대표적인 친환경기술임

- 또한, 5대 중점분야를 기초로, 아래 그림과 같이 **5대 융합 연구분야**를 개척하여, 친환경에너지자원 스마트개발 분야의 국제적 선도 교육연구팀으로 발돋움할 계획임



<본 교육연구팀의 5대 융합 연구분야>

SU	• 비전통유가스전 효율적 생산을 위한 인공지능 관리기법 개발
BS	• 바이오에너지 생산수율 향상을 위한 빅데이터 활용 마이크로그리드
UC	• 온실가스 지중저장을 통한 비전통가스 생산 수율 증가
WB	•혐기병합소화를 통한 유기성폐기물의 바이오가스화
CW	• 석탄 발전 폐기물을 활용한 이산화탄소 활용 및 저장

본부 대학원 혁신방향과의 정합성 확보

교육연구팀과 본부 대학원의 정합성

• 본 교육연구팀은 아래와 같이 본부 대학원과 세부전략방향의 정합성을 확보함

	본부 대학원	교육연구팀
비전	• 학생, 기업, 사회의 가치를 창출하는 혁신대학원	• 친환경에너지자원 스마트개발 분야를 선도하는 글로벌 리더 양성
미션	• 문제해결 능력을 기르는 연결 교육 • 융합적 사고 배양을 위한 융합 연구 • 학생과 사회의 가치 창출	• 현장중심형 문제해결 전문가 양성 • 스마트 기술과의 융합형 교육연구시스템 구축 • 핵심 연구의제를 선도하는 글로벌 리더 양성
교육 전략	• 교육과 사회의 연결성 강화 • 대학원 교육의 전문성 및 학부와 연결성 강화 • 수요자 중심교육을 통한 학생가치창출 극대화	• 산학연 연계 교육 및 교류 네트워크 확대 • 지역사회 문제해결을 위한 교육/연구 모델 창출 • 과학기술/산업/사회문제 해결 복합형 교육 • 국내외 IAB의 자문을 통한 커리큘럼 개선
	• 4차 산업혁명을 준비하는 융복합교육 확산	• 4차 산업혁명에 대응한 스마트 기술 융합
	• 대학교육과 세계의 연결성 강화	• 해외 현장 연계 교육/연구 프로그램 도입
연구 전략	• 세계적 수준의 연구경쟁력 확보	• 다국적 인재 유치 강화 • 대학원생 국제 교류 능력 활성화 • 국제 네트워크 강화로 인적 교류 저변 확대
	• 융합연구를 통한 미래 유망분야 선도 • 개방형 혁신을 통한 연구성과의 가치 고도화	• 스마트 기술의 융합을 통한 선도 연구 수행 • 융합 연구 인프라 구축
	• 연구를 통한 사회기여 확대	• 지역사회 문제해결을 위한 연구 모델 창출

<교육연구팀과 본부 대학원의 혁신방향 정합성>

Ⅱ. 교육역량 영역

1. 교육과정 구성 및 운영

1.1 교육과정 구성 및 운영 현황과 계획

현 교육과정 및 학사 관리 현황

현 교육과정 현황

- 본 교육연구팀의 대학원 교과목 체계는 다음과 같은 핵심역량을 기르도록 구성되어 있음
  - **확고한 학문적 / 기술적 기반**을 갖추어, 신기술을 선도하는 실력과 급변하는 기술적 환경에 지속 가능하게 대응하고 기여할 능력
  - 다양한 분야의 전문가와 소통하여 **산학·학제적 융합 연구를 수행**할 수 있는 능력
  - 산업 및 사회 문제를 해결할 수 있는 실무 능력을 지닌 **현장 밀착형 자원개발 전문 인력 양성**을 통해 고부가가치 미래 산업을 창조하는 능력
  - 세계적으로 우수한 기관과의 협력을 통한 **국제수준 기술개발을 선도**할 수 있는 능력
- 이러한 교육 원칙 아래, 8개의 핵심전공을 구성하여 **글로벌 친환경에너지자원 스마트개발을 선도하는 글로벌 혁신 인재 양성을 목표**로 운영 중에 있음
- 본 핵심전공은 신산업 분야로 구성된 핵심전공그룹 "스마트 자원 개발", "미래 / 전통 에너지 자원", "지속 가능한 지구환경" 으로 구분됨

<교육연구팀의 핵심전공 개요>

그룹	핵심전공	개 요
스마트 자원 개발	암석역학	자원개발을 위한 지하 구조물의 안정성 검토 등 지하 공간 개발에 수치해석, 인공지능 등을 적용하여 연구하는 분야
	물리탐사	석유, 천연가스, 지열과 같은 에너지 자원 및 광물의 탐사를 통하여 부존자원의 구체적 매장정보를 연구하는 분야
	자원경제/정책	자원개발 및 유통의 경제성평가, 파급효과를 분석하며, 경제·경영·정책적 해결책을 연구하는 분야
미래/ 전통 에너지 자원	석유시추	저류층에 부존하는 탄화수소 에너지자원의 개발을 위한 시추, 생산관리 및 완결 기술을 연구하는 분야
	바이오에너지/ 환경복원	바이오연료 및 바이오에너지 생산, 미세조류 기반 온실가스 감축, 환경오염 복원 기술 등을 연구하는 분야
	석유, 천연가스	유가스전의 매장량과 생산성평가, EOR, CBM 개발, 셰일 가스전 개발, CO_2 지중저장 등의 기술을 연구하는 분야
지속 가능한 지구환경	자원순환처리	도시광산 개발, 광물처리, 광물의 고품위화, 부산물의 무해화 처분 및 재활용 기술을 연구하는 분야
	환경지구화학	자원 개발 시 발생하는 지하수 및 지표수의 오염물질 거동을 규명해 확산을 방지 하고 환경적 처리를 연구하는 분야

학사관리 현황

- 본 교육연구팀 소속 학과는 석사학위과정, 석박사통합과정, 박사학위과정의 총 3개 학위과정을 두고 각 과정에 대해 아래와 같은 체계를 가지고 학사관리를 하고 있음
  * 이후 석사과정, 석박사과정, 박사과정으로 지칭

① 입학전형

구분	지 원 자 격	전 형 방 법
입학시험 특별전형	**<석사과정, 석박사과정>** 1. 국내외 대학 학사학위 취득(예정)자 2. 법령에 의한 동등 이상의 학력자 **<박사과정>** 1. 국내외 대학 석사학위 취득(예정)자 2. 법령에 의한 동등 이상의 학력자	**<서류심사>** 1. 학업계획서 2. 대학 및 대학원성적 3. 각 계열 또는 학과 사항 **<구두시험>** 1. 전공에 대한 지식 및 적성 2. 학문에 대한 열정과 진지성 3. 각 계열 또는 학과 사항
조기모집 특별전형	**<석박사/박사 과정>** • 국내외 대학 학사/석사학위 취득(예정)자 또는 법령에 의한 동등 이상의 학력자로서 졸업 평균 평점 3.5 (4.5 기준) 이상 또는 누적 평균 평점 3.5 (4.5 기준) 이상이며, 대학원장이 정한 공인영어성적 기준을 충족한 자 *<석사과정 지원불가>	**<서류심사>** 1. 대학 및 대학원성적 2. 영어성적 3. 각 계열 또는 학과 사항 **<구두시험>** 1. 전공에 대한 지식 및 적성 2. 학문에 대한 열정과 진지성 3. 각 계열 또는 학과 사항

② 대학원 전공 및 지도교수 배정

- 모든 학위과정의 학생은 정해진 기한 내 학과주임교수와 면접 실시 후 학생의 선택권을 최대한 반영하여 전공 및 지도교수를 배정하도록 규정하고 있음

③ 이수학점

- 석사과정에서는 연구학점(5학점)을 포함하여 26학점 이상 취득해야 하며, 박사과정에서는 연구학점(4학점)을 포함하여 37학점 이상을 취득하여야 함. 석박사과정에서는 연구학점(7학점을) 포함하여 58학점 이상을 취득하여야 함
- 최소 핵심전공 이수 기준은 석사과정 11학점, 박사과정 17학점, 석박사과정 26학점임

<과정별 이수학점>

구분		이수학점	세부
석사과정	교과학점	21 학점	핵심전공+공통선택(교양)+타전공일반선택
	연구학점	5 학점	연구선택(3)+석사논문연구(2)
박사과정	교과학점	33 학점	핵심전공+공통선택(교양)+타전공일반선택
	연구학점	4 학점	박사논문연구1(2),박사논문연구2(2)
석박사과정	교과학점	51 학점	핵심전공+공통선택(교양)+타전공일반선택
	연구학점	7 학점	연구선택(3)박사논문연구1(2),박사논문연구2(2)

- 또한 융합전공 이수기준을 설정하여 융합형 인재 양성을 위한 학사 제도를 운영함
  - 융합전공 : 8개 핵심전공 중 세부 핵심전공을 제외한 핵심전공
  - 세부 핵심전공 : 8개 핵심전공 중 학생이 선택한 핵심전공

<핵심 및 융합전공 이수기준>

구분	석사과정	박사과정	석박사과정
핵심전공	11학점 이상 이수	17학점 이상 이수	26학점 이상 이수
융합전공	6학점 이상 이수	3학점 이상 이수	9학점 이상 이수

④ 외국어 자격시험 및 종합시험

- 글로벌 경쟁력이 강조되고 있는 현실을 반영, 본 대학원에서는 학위취득 이전 외국어(영어) 시험 통과기준을 보유하고 있으며 이는 공인 영어 시험 성적으로 대체 가능함
- 본 교육연구팀은 대학원생이 취업 시 필요한 공인 영어 시험 성적을 제출하도록 장려하고 있으며 공인 영어 시험 성적 기준은 TOEIC 730, TOEFL(IBT) 79, TEPS 605 등이 있음
- 입학 후 과정별 해당 기준을 충족한 경우, 종합시험(매년 3~4월과 9~10월 중에 실시) 응시 자격이 부여 되고 학생은 과정별 아래의 기준으로 시험 과목을 선택하고 응시하여 합격(각 과목별 100점 만점에 60점 이상)해야 졸업요건을 충족함

<종합시험 응시자격 및 시험과목 기준>

구 분	석사과정	박사과정	석박사과정
종합 시험 응시 자격	18학점 이상 취득한 자	해당 학기에 졸업이수 학점을 취득 가능한 자	6개 학기를 등록한 자로 해당 학기에 졸업이수학점을 취득 가능한 자
	공통사항 : 핵심전공 및 융합전공 이수를 완료한 자		
시험 과목	심화 : 세부핵심전공 일반 : 융합전공 2과목	심화 : 세부핵심전공 + 융합전공 1과목 일반 : 융합전공 2과목	

⑤ 논문심사

- 학위논문제출 요건
  - 공과대학 내규를 만족하며 SCI, SSCI, 등재학술지, 학술진흥재단 등재지 이상에 2편의 논문게재 실적 및 국제저명학술지에 최소 1편의 주저자 논문을 게재해야 하며, 논문게재 실적이 200% 이상이어야 함
- 논문 지도 교수는 석사, 박사 및 석박사 통합과정 학생의 수강신청 및 계획 지도, 학점관리, 논문 지도 등의 학사 관리를 진행하는 한편, 학생은 논문 제목 선정, 논문 작성에 있어 논문 지도 교수를 포함하는 논문 지도 위원회의 지도를 받아야 함

<학위논문 지도 및 심사를 위한 논문지도위원회 구성>

석사학위 논문지도위원회	박사학위 논문지도위원회
• 논문지도교수를 포함하여 3인으로 구성 • 학위논문의 통과는 심사위원 3분의 2 이상 찬성으로 함	• 논문지도교수를 포함하여 5인으로 구성 • 1인의 외부 심사위원이 포함되어야 함 • 학위논문의 통과는 심사위원 5분의 4 이상 찬성으로 함
• 공통 : 논문지도교수는 심사위원장에서 제외, 심사위원의 자격은 지도교수 자격과 동일 (논문의 심사와 구술시험은 100점 만점 중 70점 이상일 경우 합격)	

교육 과정의 충실성과 지속성

교육연구팀의 교육의 질 제고를 위한 노력

• 교육연구팀은 기 구축된 산학협력체계와 글로벌 네트워크를 바탕으로 “세계 최고수준의 학생중심 교육” 과 “학생 가치창출을 위한 선진화된 교육시스템 구축” 을 위해 노력함

① 교육과정의 충실성과 지속성 확보를 위한 위원회 구성/운영

• 교육연구팀을 총괄하는 팀장, 교육/운영/환류/연구 등 운영을 담당하는 운영위원회, 각종 행정을 담당하는 행정지원실을 구성하여 교육과정의 충실성과 지속성 확보

<교육연구팀의 위원회 구성 및 운영방안>

교육연구팀장	• 공과대학 교육 혁신 위원, IAB 주임교수 겸직으로 교육 과정의 지속적 개선을 위한 다양한 정책 구상 • 교육연구팀 전체 총괄하며 교육 / 연구 / 제도 혁신 추진
운영위원회	• 교육연구팀 목표 달성을 위한 세부 추진전략(IC-PBL+ 운영/내실화) 및 프로그램 운영/환류, 예산 수립/집행, 성과관리 수행 등 • 혁신교육과정 편성/운영, 스마트강좌 운영 및 성과 모니터링/환류 • 산업/사회 문제해결을 위한 산학협력체계 구축/관리 및 지속성 확보 • 글로벌 네트워크 확대/관리, 외국인 교수 및 외국인 학생 유치/관리
행정지원실	• 교육연구팀 사업의 행정적, 재정적 지원 및 애로사항 해결지원

• 교육과정 운영에 있어 산업체, 대학, 사회로부터 다양한 재원을 기 확보함으로써 혁신 교육과정의 지속성을 확보함(연 2회 이상 IAB 회의 실시, Global-IAB 확대 등)

② 혁신교육과정의 질적 수준 확보

• 교육수요자 관점에서 강의평가 기반의 개별교과목 관리, 설문조사 기반의 학과 교육 질 관리, Global-IAB 및 국내 IAB 관점의 교육연구팀 만족도로 구성된 3단계의 환류체계를 구축하여, 혁신교육과정의 질적 수준을 제고

<교육의 질적 수준 확보를 위한 환류체계>

<table>
<tr><td>교육연구팀의
교육과정
환류체계 구축</td><td>• 교과목 강의평가 → 개별교과목 관리
• 만족도 설문조사 → 학과교육질 관리
• IAB 및 Global-IAB → 교과과정 개선</td></tr>
<tr><td>학생교육 만족도
설문조사 및 환류</td><td>• 학생대상 설문조사를 통해 학생 중심 교육과정 개선 (연 2회)</td></tr>
<tr><td>강의평가를 통한
교육의 질 향상</td><td>• 대학은 전체 교과목 대상 강의평가를 실시하고 있으며, 본 교육연구팀 학과의 최근 3년 강의평가(기말기준) 결과는 98.3점으로 대학원 강의에 대해 대다수가 만족하고 있다고 분석함
<table>
<tr><td>학년도</td><td>2017-1</td><td>2017-2</td><td>2018-1</td><td>2018-2</td><td>2019-1</td><td>2019-2</td></tr>
<tr><td>점수</td><td>99</td><td>98.4</td><td>97.9</td><td>98</td><td>98.4</td><td>98.1</td></tr>
</table>
• 교수가 수업 운영 중간에 문제점을 파악 / 개선할 수 있도록 2017년부터 중간 강의 평가제도(학기 시작 4~5주) 도입
• 수강 신청 시 과거 강의평가를 조회 가능</td></tr>
<tr><td>Global-IAB를 통한
혁신교육과정 환류</td><td>• 세계 저명대학 교수진, 해외산업체 인사를 포함한 글로벌 산업 연계자문위원회(Global-IAB)를 구성하고 기존 IAB와 함께 매년 교육연구팀의 교육성과를 평가하고 분석/환류 할 계획에 있음</td></tr>
</table>

현 교과과정의 장단점

현 교과과정의 장점

- 세계적 연구 중심대학인 Stanford와 Penn State를 벤치마킹하여 교과과정을 운영 중에 있음
- 융합 교과과정은 자원의 탐사부터 개발, 생산, 처리, 환경보전, 경제 및 정책까지 자원 확보의 전체 흐름을 구성하고 있는 8개의 핵심전공을 교육하는데 있어 큰 기여를 함
- 산업 / 사회문제를 해결하는 현장중점 인재 양성에 필요한 **IC-PBL+ 교과과정을 2019년 2학기에 처음 도입하여 파일럿 운영 후 이를 2020-2021년 교육과정 개편에 반영함**
- 연 2회의 IAB 회의를 통해 기존 교과목 중 만족도가 낮은 강의를 지속적으로 개선하여 학생의 연구역량 강화에 도움이 되는 교육기회를 제공함
- 학문적, 산업적, 사회적 필요에 맞추어 **2020-2021년 교육과정 개편 시 4차 산업혁명과 연계되는 신규 교과목 개설 등 교육과정의 개선을 위한 지속적인 노력을 기울여 옴**

현 교과과정의 단점

- 학생들의 비인기과목 기피 현상이 전공 융합교육 약화로 이어지는 것으로 파악 되며, 이는 비인기과목에 스마트강좌를 적용하여 학생들의 관심을 유도할 계획 임
- 교육과정 내 타 세부전공간의 연구 / 지식 교류를 위한 교과목 부족으로 상호 연결성이 떨어짐. 연구 및 지식교류를 위한 세미나 교과목 신규 개설 예정

세계적 수준의 대학원 교육과정 학사관리 운영 계획

Stanford의 School of Earth, Energy and Environmental Sciences와 Penn State의 Department of Energy and Mineral Engineering를 벤치마킹 한 결과 본 교육연구팀은 융합교육, 현장중심 교육, 졸업생과의 연계를 통한 교과과정 혁신 등의 필요성을 확인함. 이에 맞춰 4차 산업혁명 융합교육, IC-PBL+, IAB를 교육과정에 적극 반영함

학생가치창출 스마트자원개발 글로벌리더 양성 비전과 미션

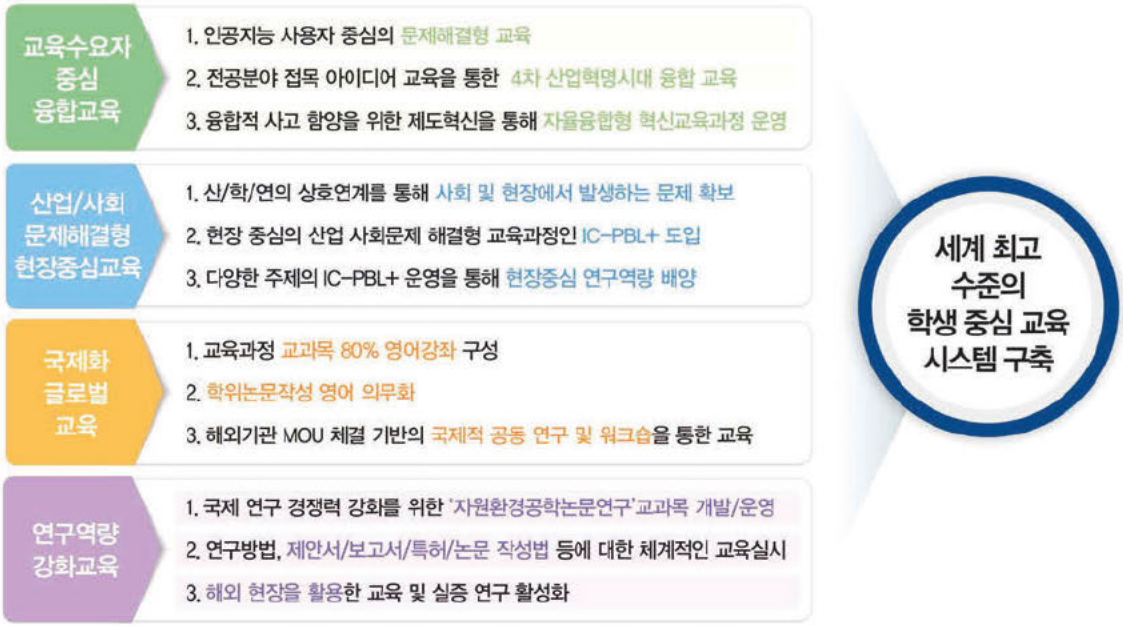
- 본 교육연구팀은 스마트자원개발 글로벌리더를 양성하고자, 산업 및 지식 융합형, 현장 중점형 그리고 글로벌 인재를 위한 교육 시스템 확립하고자 함

<교육연구팀의 전문인력양성 비전과 미션>

교육연구팀 교육과정 및 학사관리 혁신을 위한 세부 추진전략

① 교육연구팀의 교육 : 세계 최고 수준의 학생중심 교육을 통한 문제해결역량 향상

- 정규교육과정을 통해 체계화된 교육을 실시하기 위한 4개의 세부 추진전략을 수립함



<교육과정 혁신의 세부 추진전략>

② 교육연구팀 학생 가치 창출 제도 : 학생 가치 창출을 위해 선진화된 학사관리체계 구축

- 학생 가치 창출을 위한 (1) 안정적 재정 지원 보장, 학생 역량 향상을 위한 (2) 교육 방법 및 교육환경 혁신, 교육의 지속적 개선을 위한 (3) 교육 평가 및 의견 확보 전략을 수립함

<학생 가치 창출을 위한 추진전략>

(1) 교육 몰입 지원제도 고도화	• 대학원생의 교육몰입도 향상을 위해 대학원생의 생활비 의무적 지원 계획 : Leaders-RA+ • 지원 금액 : 석사과정 80만원/월, 박사과정 150만원/월 석박사과정 80만원/월(1~2년차), 150만원/월(3년차 이상) • 대상: BK21 FOUR 참여 대학원생 전원
(2) 교육 방법 / 환경의 혁신적 개선	• 교수자 중심에서 학습자 중심의 교육으로의 전환을 위해 영어전용, IC-PBL+, Blended-learning 수업으로 구성된 영어 / 스마트강좌 운영 • 교육연구팀과 MOU 체결한 기관 및 추가로 체결 예정인 기관의 협조를 통한 현장견학 강의 운영 - 체결현황 : 산업 14건, 연구소 4건, 학교 4건 • 교육연구팀의 교육철학이 반영된 자원에너지관 확보를 위한 자금 모금 중(확보 / 목표 : 1.5억원 / 5억원) * 5억 모금 시 학교 5억 지원 예정
(3) 평가 기초한 지속적 교육 개선	• 세계 저명대학 교수진, 해외산업체 인사를 포함한 글로벌 산업연계자문위원회(Global-IAB)와 국내 산업체 인사 및 연구원, 교수로 구성된 산업연계자문위원회(IAB)의 대학원 교과과정 및 교육에 대한 평가/분석을 통해 환류 • 매 학기 학생 설문조사를 통한 실질적 평가 반영

세계적 수준의 '자율융합형 혁신교육과정' 개편 계획

- 교과 과정을 기본 소양 과정, 전공심화, 역량 강화 과정으로 체계화
- 기계학습, 빅데이터, 연구윤리, 논문작성 교과목을 HYPER-E^{2}로 지정하고 운영
- 밀접히 관련된 타 학과 교과목을 전공 학점으로 인정해 주는 Cross-listing 제도 운영

<자율융합형 혁신교육과정 개편 계획>

기본소양과정 (6과목 16학점)	• 공업수학 핵심교과목, 인공지능 기본교과목, 연구윤리 교과목 • 대학원 공통 교과목으로 구성
전공심화 (52과목 156학점)	• 스마트 자원개발, 미래/전통 에너지자원, 지속가능한 지구환경의 산업분야로 구성된 8개의 핵심전공 교과목 • 세부 분야의 기본역량 강화를 위한 12개의 Cross-listing 구성
역량강화과정 (4과목 9학점)	• 연구방법론, 제안서/보고서/논문 작성법 등 체계적 교육실시 • 석사/박사논문연구를 통한 논문작성 역량 강화

- 문제해결역량 강화를 위한 IC-PBL+ 교과목 운영(교육연구팀 강의 전체의 30% 이상)
- 3개의 신산업 분야 스마트 자원개발, 미래/전통 에너지자원, 지속가능한 지구환경을 편성하여 교육-연구의 연결성 강화, 4차 산업혁명시대와 융합된 교육 실시

자율융합형 혁신교육과정 교과목 리스트(총 62과목 181학점)

기본소양과정			고등공업수학1(미분방정식), 고등공업수학2(선형대수학), 고등공업수학3(확률및통계), 기계학습^H, 빅데이터^H, 연구윤리^H
전공심화그룹	**스마트 자원 개발**	**암석역학**	암석역학특론*, 인공지능의암반공학에의적용, 발파설계특론, 불연속암반공학특론, 터널설계특론, 지하공간공학특론*, 빅데이터마이닝^C, 섬유보강콘크리트특론^C, 첨단콘크리트공학^C, 이론토질역학^C, 인공지능개론^C
		물리탐사	탄성파탐사특론*, 역산이론, 전기전자탐사특론, 이산신호처리, 정량적탄성파자료해석*
		자원경제/정책	첨단자원개발세미나*, 고급자원경제학연구, 자원경제및정책특론, 고급자원경제성평가, 고급자원시장분석론, 자원경제성평가세미나
	미래/전통 에너지 자원	**석유시추**	석유개발모델링*, 천연가스저류공학, 석유생산공학특론, 석유생산공법전공연구, 저류공학특론
		바이오에너지/환경복원	바이오에너지공학특론, 생물복원공학특론, 바이오매스공학특론, 지하수오염학특론*, 환경나노기술^C, 환경분석^C, 유기화학특론^C, 무기화학특론^C, 생태공학^C, 생명공학세미나^C, 생명과학세미나^C
		석유, 천연가스	비재래가스전개발세미나*, 석유개발전공세미나, 유정시험공학, 유가스전평가특별연구
	지속가능한 지구환경	**자원순환처리**	광물입자공학특론*, 자원처리전공세미나, 자원처리모델링, 분리공학특론, 자원순환공학특론*
		환경지구화학	환경지구화학특론1, 환경지구화학특론2, 환경동위원소지구화학, 지질환경공학특론, 시료채취및처리특론
역량강화과정			자원환경공학논문연구^H, 석사 / 박사 논문연구^H

* : IC-PBL+ 교과목 / H : HYPER-E^2 교과목
C : Cross-listing(컴퓨터・소프트웨어학과, 건설환경공학과, 건축공학과, 산업공학과, 화학공학과, 생명공학과, 생명과학과)

스마트강좌 운영 및 교육환경 개선

- 교수자 중심 교육에서 학습자 중심 교육으로의 전환을 위해 영어전용, IC-PBL+, Blended-learning 수업으로 구성된 영어 및 스마트 강좌를 도입(교육연구팀 내 전 과목 상기 사항 중 최소 1개 사항 적용)

<학습자 중심의 교육으로의 전환을 위한 교육환경 개선>

영어전용	• 학생들의 글로벌 역량 함양을 위한 영어전용 강좌
IC-PBL+	• 이론중심 교육에서 벗어나 산업 및 사회와 유기적으로 연계하여 학생이 실제 산업 및 사회 문제를 수업을 통해 해결하는 교육과정 • 파일럿 운영([redacted] 교수, 2019년 2학기) : 2019년 사회적 이슈가 되었던 A터널의 인버트 변상 관련 자료를 학생들에게 제공하여 학생들이 문제의 원인을 파악하고 해결 방안을 도출도록 함 • 산업 전문가들이 IC-PBL+교과목에 참여하여 담당교수와 공동으로 교육하는 제도인 Co-teaching 적용 → A 터널 변상원인 규명 프로젝트를 수행한 지윤이엔씨 이호성 대표가 학생들의 문제해결방안에 대한 평가 및 피드백 제공 • 강의평가 100점으로 학생들의 수업에 대한 높은 만족도를 확인
Blended- Learning	• 미국 대학에서 많이 사용되는 LMS 플랫폼인 블랙보드를 2018년에 도입하여 현재 운영 중이며, 온라인/오프라인 병행 강좌를 운영하여 학생중심의 교육환경 조성

본 교육연구팀 자체 대표 프로그램

- 전문 자원인 커리어개발 : 졸업 후 다양한 진로제공을 위해 석사 / 석박사통합과정 / 박사과정에 대해 커리어개발 교육 실시
  - 대학 본부의 학문후속세대지원센터, Writing Center 강좌와 연계한 전문 교육 / 컨설팅
  - 해외 연구기관 장기파견(15일 이상) 기회 제공
  - 산업 / 학교 / 연구원 선배와의 만남 : 연 1회 시행되는 한양대학교 자원환경공학과의 '학술제 및 멘토링 데이'를 기반으로 산업 / 학교 / 연구원에 진출한 다수의 선배를 만나고, 지속적인 관계 유지 및 만남을 통해 관련 직업이해도 향상 및 사회진출 준비 방법 공유

- 대표 교과목 : 인공지능과 친환경에너지, 자원환경공학 논문연구

인공지능과 친환경에너지	• 인공지능 기초지식 및 융합형 교육(AI+X)으로 학생의 융합적 사고능력 배양, 사회가 요구하는 실용 인재양성을 위해 도입 • 현재 '인공지능의암반공학에의적용' 파일럿 운영 → '인공지능과 친환경에너지'으로 변경 계획
자원환경공학 논문 연구	• 자원공학의 전문성을 반영한 실험계획, 실험방법, 데이터해석 및 영어논문 작성법 • Web of Science 기준 H-index 44의 논문 인용정보를 지닌 [redacted] 교수의 수준 높은 강의이며 졸업필수 과목 • 연구의 질적 향상과 대학원생의 논문 작성에 대한 전문성 증대 및 글로벌 감각을 갖춘 인재양성에 기여

엄격성, 합리성, 연결성을 구현한 학사관리

- 본 교육연구팀의 비전과 교육목표를 성공적으로 달성하고 우수한 대학원생 배출을 위해 아래와 같은 **최적화된 학사관리제도를 운영**할 계획임
  1) 융합 전문성을 지닌 대학원생 양성을 위하여 융합전공 수강 학점 강화
     - 석사과정 : 동결 / 박사과정 : 3학점 → 6학점 / 석박사통합과정 : 9학점 → 12학점
  2) 대학원생들의 연구역량 및 전문성 강화를 위하여 졸업요건을 정비함으로써 대학원생들의 연구 경쟁력을 높이고, 우수 대학원생 배출을 위한 환경을 조성할 계획임. 이는 졸업 후 취업 시의 경쟁력을 높일 수 있는 절대적인 조건으로 이를 달성하기 위하여 **대학원생을 경제적, 학문적으로 적극 지원**하고자 함
     - 석사학위취득 전 국내·외 학술대회 학술발표 또는 학술지 게재 1건 의무화
     - 박사학위취득 위한 논문게재 실적 확대 : 주저자로 최소 1편이 포함된 SCIE 등재 학술지와 1편 이상의 주저자 또는 공동저자 SCIE 논문게재 실적
  3) 박사학위과정생에 한하여 국제 SCIE 논문 편수 조건 및 연구점수 부여
- 융합형 / 현장 중점형 / 글로벌 친환경 에너지자원 인재 양성을 위하여 아래와 같이 학부 3, 4학년부터 대학원 학위 취득까지 학사관리 체계도를 따라 학사관리를 수행
- 한양대학교 친환경에너지자원 교육연구팀(Environment-friendly Energy; E^2)은 매년 1회 이상 학과 학술제 및 IAB 멘토링 데이를 아우르는 BK21 FOUR 학술제를 개최하여, 1) 전문가 초청 세미나 , 2) 대학원생 연구 세미나, 3) 산 / 학 / 연 진출 선배와 학생 간 멘토링 네트워크를 구축/운영을 통해 산업 및 사회가 요구하는 연구방향을 수렴하고, 그에 따른 학업계획 등 지속적 연결을 통해 **학생 가치창출을 도모**하고자함

〈교육연구팀 학사관리 체계도〉

교육과 연구의 선순환 구조 및 연구역량의 교육적 활용 방안

교육을 통한 연구의 수월성 강화

- HYPER-E^2 운영으로 대학원생의 연구 역량 체계적으로 강화하고 연구의 기본덕목 배양

<HYPER-E^2 운영 교과목 특징>

기본소양	• 기계학습, 빅데이터 교과목 수강을 지도함으로써 4차 산업혁명의 인공지능 사용자 역량 제고 및 연구로의 연결 강화 • 연구윤리 교과목을 통한 연구의 부정행위 방지, 윤리의식 제고
역량강화	• 자원환경공학논문연구, 석사/박사논문연구 교과목을 통해 연구의 질적 향상과 대학원생의 논문 작성에 대한 전문성 역량 강화

- 융합지식 교육과정 운영을 통해 4차 산업혁명 인공지능과 타 전공분야 지식 배양
  - 인공지능의 암반공학에의 적용 : 딥러닝의 개념과 사용법을 교육하고, 사회 / 산업 문제 해결 과정을 통해 사용자 중심의 역량 강화 실시(2020년 1학기 파일럿 운영 중)
  - Cross-listing : 타 전공 교과목을 이수학점으로 인정하여 **다각적 연구역량 강화**

교육연구팀 연구역량의 교육적 활용

- 본 교육연구팀은 IC-PBL+ 교과목 운영을 통해 산업 / 사회문제 해결을 위한 교육을 실시하고자 하며 IC-PBL+ 교과목에 보유한 연구역량을 활용한 체계적 교육으로 전환 함
- IC-PBL+를 본 교육연구팀 교수들의 교과목 중 30% 이상에 적용 및 운영을 목표로 함
- IC-PBL+교과목 운영에 있어 아래와 같은 연구역량을 활용, 교육적 효과를 극대화함

<교육적 활용을 위한 연구역량>

2019 연구 현황	• 총 22건, 24.3억원의 프로젝트 진행 • 스마트자원개발, 비전통가스, 바이오에너지, 온실가스 감축기술, 폐기물처리의 5대 중점분야 관련 연구 수행 중
기존연구 역량	• 셰일 저류층 오일회수 증진 메커니즘 연구, 바이오가스 생산 연구, 이산화탄소 저감 연구, 하폐수 신규오염물질 제거 연구, 발파 진동 속도 연구 등을 통해 각종 산업/사회/과학기술 문제를 해결 함

<교육과 연구의 선순환 구조를 통한 산업/사회 문제해결>

1. 교육과정 구성 및 운영

1.2 과학기술산업사회 문제 해결과 관련된 교육 프로그램 현황과 구성 및 운영 계획

과학기술, 산업 또는 사회 문제 해결 교육프로그램 현황

산업 • 사회 연계 문제해결 교육과정 구축 : IC-PBL+

- (IC-PBL+ 도입 배경) 교육의 체질개선 및 혁신을 위해서는 교육 내용, 교육 방법, 교육 환경의 개선이 필요함. 교육환경은 자금 투입으로 혁신이 가능하나, 교육내용과 교육방법은 **교수자의 혁신이 요구됨**
- 이를 위해 2017년부터 산업체의 실제문제를 수업을 통해서 해결하는 교육 과정인 IC-PBL을 학부에 도입하여 성공적으로 운영 중이며, 2019년 2학기부터는 **대학원 전체에 IC-PBL을 고도화한 IC-PBL+ 교과목을 개발하여 활발히 운영** 중임
- IC-PBL+는 Industry-Coupled Problem-Based Learning+ 의 약자로서, 산업체, 지역사회, 학교의 상호연계를 통해 지식 공유의 차원을 넘어 사회 및 현장에서 발생하는 실제적인 문제를 도출하고 해결할 수 있는 **창의 융합형 연구자 육성을 위한 교육모델**임

교육연구팀 IC-PBL+ 운영 현황

- IC-PBL+ 과목 현황

  - IC-PBL+교과목 확대를 통해 학생들의 문제 해결역량 및 융합 연구역량을 배양

대상 학위과정	유형	교과목	연계기업	개설시기	구분
석사/박사	A유형	지하수오염학특론	㈜지앤에스엔지니어링	2019-2	기존교과목 변경
	M유형	지하공간공학특론	㈜아이콘트	2019-2	기존교과목 변경
	M유형	자원순환공학특론	㈜마이크로포어	2019-2	기존교과목 변경
	E유형	정량적탄성파자료해석	㈜Schlumberger	2019-2	기존교과목 변경
	C유형	석유개발모델링	한국가스공사	2020-1	기존교과목 변경
	C유형	암석역학특론	Chicago MWRD	2020-1	기존교과목 변경
	M유형	비재래가스전개발세미나	한국석유공사	2020-1	교과목 신설
	E유형	탄성파탐사특론	㈜SK이노베이션	2020-1	기존교과목 변경
	M유형	광물입자공학특론	㈜마이크로포어	2020-1	기존교과목 변경
	C유형	첨단자원개발세미나	-	2020-1	기존교과목 변경
IC-PBL+ 교과목 비율				10/40 (25%)	

• 교육연구팀 IC-PBL+ 운영 사례

<table>
<tr><td>과목명</td><td colspan="2">지하공간공학특론</td><td>교수자 성명</td><td>[redacted]</td></tr>
<tr><td colspan="5">수업의 핵심역량</td></tr>
<tr><td colspan="5">의사소통능력, 협업능력, 비판적 사고력, 직무능력</td></tr>
<tr><td colspan="5">IC-PBL+ 유형 : Merge (현장통합형)</td></tr>
<tr><td colspan="5">문제 제공: ㈜지윤이앤씨</td></tr>
<tr><td>IC-PBL+
문제해결
교과과정</td><td colspan="4">• (산업현장문제 파악 및 선정): 2019년 인버트 융기가 발생한 “A터널”의 안전성 분석
• (현장문제 제공): ㈜지윤이앤씨, 이호성 대표
• (협업을 통한 문제해결 과정): 제공된 산업체의 현장자료를 통해 각 학습자들이 협업, 토론하여 지하공간 건설의 안전성 문제 해결책 모색
• (상호평가 및 적용): 학습자 최종 보고에 대해 학생들은 개별 의견을 상호 평가하고, 이호성 대표가 강의에 참석하여 학생들의 의견에 대한 현장 전문가의 의견을 제공하며 아이디어를 채택</td></tr>
<tr><td rowspan="5">주차별
IC-PBL+
활동</td><td>문제 인식 및 강의</td><td colspan="3">• 1주~3주: 지하공간 건설 및 안전성 문제 강의</td></tr>
<tr><td>문제해결 활동</td><td colspan="3">• 4주~6주: 팀별 논의 활동 및 보고서 제출
• 8주~11주: 문제 원인 분석 활동
• 13주: 관련 현장 실습
• 13~15주: 문제해결 방안 모색 및 최적 시나리오 도출</td></tr>
<tr><td>중간평가</td><td colspan="3">• 12주: 외부전문가 초청 중간 점검</td></tr>
<tr><td>문제해결 보완</td><td colspan="3">• 14~15주: 피드백을 바탕으로 문제해결 보완 및 최종문제해결안 발표자료 준비</td></tr>
<tr><td>최종평가</td><td colspan="3">• 16주: 외부전문가 초청 최종 점검
학생간 Peer Review 및 최종결과물 제출</td></tr>
<tr><td colspan="5">IC-PBL+ 수업 후 총평</td></tr>
<tr><td>교수자
성찰</td><td colspan="4">• 학생들은 다른 학생들과 팀을 구성하여 지하공간의 안전성에 대해서 고민하고 이해하는 과정을 통해 문제해결을 수행하였으며, 문제해결 역량을 배양하였음</td></tr>
<tr><td>학생들
성찰일지</td><td colspan="4">• [redacted]: 처음 수강한 IC-PBL+수업이었는데, 본격적인 연구에 앞서 좋은 경험을 쌓을 수 있었음. 무엇보다 실제 현장에 종사하고 계신 분들에게 실질적은 피드백을 얻을 수 있어서 유익했음.
• [redacted]: 다른 학생들과 팀을 이루어 문제해결을 고민한 것은 좋은 경험이었음. 무엇보다 현장의 문제를 분석하고, 실제로 현장에서 종사하고 계신 분들께 받은 피드백은 소중한 자산이 될 것 같음.
• [redacted]: IC-PBL+ 강의를 수강하며, 실제 현장에 종사하고 계시는 분들의 도움을 받아 산업현장 문제의 해결책을 찾는 과정은 많은 도움이 되었음. 앞으로도 IC-PBL+ 형식의 수업이 더욱 발전하여 학생들에게 전문적인 도움을 줄 수 있는 경험을 주었으면 좋겠음.</td></tr>
<tr><td>산업체
의견</td><td colspan="4">• 전공 특성상 현장에서 예상치 못한 문제들이 많이 발생함. IC-PBL+같이 학생들이 학교에서 현장 문제에 대해 생각해볼 수 있는 교육과정은 추후 관련 전공에 종사할 때 매우 도움이 될 것이라 생각함</td></tr>
</table>

- IC-PBL+ 전용 강의실을 구축하여 학습환경 개선 및 IC-PBL+ 교육효과 극대화

<자원환경공학과 IC-PBL+ 전용 강의실 (과학기술관 113호)>

산업연계교육자문위원회(IAB) 현황

- IAB란, Industry Advisory Board 의 약자로서, **대학원 교육에 산업현장의 요구를 직접적으로 반영**함으로써, **미래의 산업수요에 능동적으로 대처**하고, **사회문제 해결형 인재 양성**을 위해 출범한 자문조직
- 사회수요 맞춤형 교육을 위해 2017년부터 학과에 IAB를 구성하여 산업체·연구소의 전문가를 자문교수로 위촉
- IAB 주임교수(본 교육연구팀장) 주관 하에 매년 2회 이상 회의 개최, 학과 교육과정 개편 시 외부 산업 수요자 관점에서의 의견 반영 및 IC-PBL+ 교과목 관련 산업계에서 제안된 산업/사회문제를 요약한 IAB Annual Report를 매년 1회 작성하여 제출
- IC-PBL+ 교과목 개설을 위한 산업계 현장중심의 문제를 담은 시나리오 자문 활동
- 현재 본 교육연구팀 소속 학과 IAB 자문위원회 조직 구성은 아래 그림과 같음

• 산업연계교육자문위원회(IAB)를 통한 개선 사례

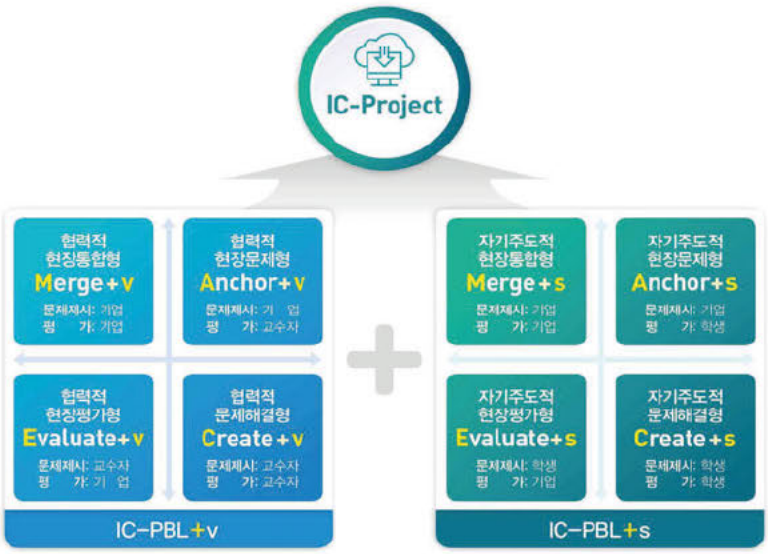
교육연구팀의 IAB 자문 사례			
회의일시	2020.01.31.		
참여자문위원	[redacted]		
회의안건	• 기술보고서, 논문 등의 체계적 작성을 위한 교육이 필요함 • 전공 관련 실무를 경험할 수 있는 인턴제도 활성화가 필요함 • 현장 사례를 통한 구체적이며, 세부화 된 주제의 교육이 필요함 • 과목 주제와 맞는 현장방문 및 관련자 세미나 추진이 지속돼야 함 • 기업, 연구소 등과 MOU를 체결하는 등, 현장 중심 교육 확대가 필요함		
개선사항	위원	주요의견	개선사례
	[redacted]	• 산업체에서 발생하는 실제적인 문제를 기반으로 한 교과목이 필요함	• 기존 교과목의 IC-PBL+ 변경 (지하공간특론, 암석역학특론)
	[redacted]	• 기존 오프라인 수업에서 통합 형태 강좌 (온라인・온-오프라인)로의 전환이 필요함 • 교육 트렌드를 고려하여 머신러닝과 전공의 접목 방법을 소개하는 교과목이 필요함	• 인공지능의 자원환경공학에의 적용 과목 개설

과학기술, 산업 또는 사회 문제 해결 교육프로그램 구성 및 운영 계획

IC-PBL+ 교과목 체계화 및 고도화

• IC-PBL+를 연구 교과목 및 독립 연구까지 확대하여 학생이 문제를 발견하고 사회와 연계하여 해결할 수 있도록 지원

• 본 교육연구팀은 IC-PBL+ 교과목을 교육교과목인 IC-PBL+v로 체계화 및, 연구교과목인 IC-PBL+s와 독립연구를 수행하는 IC-Project로 고도화하여 내실 있는 **문제해결교육과 학생 자기 주도적 문제해결연구**가 이루어질 수 있도록 구성함



<IC-PBL+ 수업유형>

- IC-PBL+v(교육교과목) : 대학원생이 기업과 지역사회의 실제적인 문제를 교수자와 함께 해결해 가는 교육과정임
- IC-PBL+s(연구교과목) : 대학원생이 현장의 문제를 직접 발견하고, 교수자의 도움을 받아 기업연계 프로젝트성과물을 창출할 수 있는 책임자로서의 연구 수행 능력을 배양하여 고급인력을 양성하는 과정임
- IC-Project(독립연구) : 기업 및 지역사회에서 요구하는 산학과제를 교수자가 책임자가 되어 수행하고 고급인력(대학원생 또는 전문인력)을 활용하여 기업과 함께 프로젝트를 수행하는 과정임

• IC-PBL+s와 IC-Project를 융합한 플랫폼인 IC-Connect & Share플랫폼 구축. 기업, 지역사회를 멤버십으로 유치하여 문제 해결과 인력 양성을 동시에 추진

산학연계 기반의 IC-PBL+ 운영

• IC-PBL+ 문제해결교육 실시를 위한 산학연계 체계를 아래와 같이 구성, 확대 운영함

- 산학연계 체계 구성

분류	참여기업/기관	세부내용
스마트 자원개발	㈜아이콘트	• 인공지능 문제해결교육을 위한 문제 발굴 및 교육과정 공동개발 및 운영 (AI솔루션센터) • 대상 교과목: 인공지능의 암반공학에의 적용
비전통 에너지 개발	한국가스공사	• 비전통 자원 관련 교육 및 문제해결 교육과정 운영 • 대상 교과목: 비재래가스전개발세미나
바이오가스	㈜GS건설, 지자체 하수처리시설	• 바이오매스/바이오가스 관련 교육과 문제해결을 위해 기업이 현안을 제공하고, 멘토전문가 제공 • 대상 교과목: 바이오매스공학특론

IC-PBL+ 활성화를 위한 제도적 개선 및 지원

• 대학은 교원인사제도를 운영함에 있어 IC-PBL+ 교과목을 포함한 **스마트강좌 운영을 인사필수요건으로 지정**하여 IC-PBL+ 교과목의 확대를 추진하고 있음

• 교육연구팀 참여교수는 세미나 교과목을 제외한 **모든 교과목에 대해서 IC-PBL+, 영어전용 또는 Blended-learning으로 개설함을 원칙**으로 함

• 제도적 개선 및 지원을 통해 산업체/사회 문제해결역량을 향상시키는 것을 지원함

Global-IAB 추진

• **세계저명대학 및 해외산업체 인사를 포함한 국제적 산업연계교육자문위원회 (Global-IAB)를 구성**하여 산업/사회 문제해결교육의 추진과 운영에 대한 자문, 피드백을 받음. 본 교육연구팀의 관련 업계 국제 인사 구성을 통해 다각화된 시각으로 문제해결교육에 대해 논할 수 있음

<교육연구팀의 Global-IAB 구성>

성명	직위	소속 (국가)	성명	직위	소속 (국가)
[redacted]	대표	MKS Investments (캐나다)	[redacted]	소장	Petroleum Recovery Research Center (미국)
[redacted]	Field Manager	Chevron (미국)	[redacted]		
[redacted]	차장	Fenix Consulting Delf (네덜란드)	[redacted]	교수	King Saud University (사우디아라비아)
[redacted]	팀장	Schlumberger (미국)	[redacted]		
[redacted]	사원	Schlumberger (미국)	[redacted]	교수	Lanzhou University (중국)
[redacted]	Engineer	CMG (캐나다)	[redacted]		

2. 인력양성 계획 및 지원 방안

2.1 최근 3년간 대학원생 인력 확보 및 배출 실적

<표 2-1> 교육연구팀 참여교수의 지도학생 확보 및 배출 실적 (단위: 명)

대학원생 확보 및 배출 실적					
실적		석사	박사	석·박사 통합	계
확보 (재학생)	2017년	5.50	4.00	8.00	17.50
	2018년	3.50	6.50	9.00	19.00
	2019년	4.50	7.50	9.50	21.50
	계	13.50	18.00	26.50	58.00
배출 (졸업생)	2017년	0	1		1
	2018년	3	3		6
	2019년	2	3		5
	계	5	7		12

2. 인력양성 계획 및 지원 방안

2.2 교육연구팀의 우수 대학원생 확보 및 지원 계획

우수 대학원생 확보 계획

본 교육연구팀의 최종 목표인 스마트자원개발 글로벌인재 양성에 있어 필수 요소인 우수 대학원생 확보는 대학원 Fair, 대학원 전공 현장실습, 외국인을 위한 제도 등을 통해 확보하고자 함

우수 대학원생 확보 전략 수립 배경 및 목표

- 우리나라는 자원분포의 편중, 자원부국의 정세 불안과 투자여건 약화, 국제 유가 변동, 에너지 수송로의 불안 등에 의해 자원의 안정된 수급이 절실함
- 공급 안정성 제고를 위한 에너지 안보 강화, 친환경에너지자원 스마트개발 기술 고도화를 위해서는 **우수 대학원생 적극적 확보 및 전문가 양성이 시급함**
- 연구의 국제화와 학문적 수월성 확보를 위하여 우수 외국인 대학원생 확보가 필요함
- 자원환경공학은 그 특성상 학사, 석사, 박사의 전문성 차이가 크게 나타나며, 이에 따라 박사과정 학생의 확보가 매우 중요하며 이를 해결하고자 학과차원의 노력을 지속함
- 그 결과, 교육연구팀의 3년간 총 인원 및 박사/석박사과정 재학생 수는 꾸준히 증가함
  - 2017년 : 석사 5.5명, 박사/석·박사 통합 12명
  - 2018년 : 석사 3.5명, 박사/석·박사 통합 16명
  - 2019년 : 석사 4.5명, 박사/석·박사 통합 17명

- 향후 박사 졸업생 수가 증가할 것으로 예상되며, 석·박사 통합 전형으로의 입학을 더욱 활발히 유도하여 학문의 전문성을 갖춘 우수 대학원생지속적으로 배출할 계획임
- 본 교육연구팀의 대학원생 확보 목표(2027년)는 입학 대학원생 연 평균 6 → 9명, 재학 외국인 유학생 2 → 6명임

학부생과의 Skinship 강화를 통한 우수대학원생 확보

- 소속 학과의 자대 출신 비율은 약 57%로, 자대 우수 학생 확보와 동시에 타 대학 우수학생을 확보하며 다양화를 해왔으며, 다음의 Skinship 강화 전략을 확대할 예정임

<우수대학원생 확보를 위한 Skinship 강화 전략>

대학원 Fair 참석	• 100여개 학과와 1,800명 이상의 학생이 참가하는 대학원 Fair를 통해 연구실 탐방, 랩투어, 학석사연계과정 안내 테이블 운영 • 전국 대학생을 대상으로 진행되는 대학원 Fair는 참가자에게 입학전형료 50% 할인 등 혜택을 제공함
대학원 전공현장실습	• 'Senior Design' 교과목을 통한 연구에 대한 흥미 유발 및 입학 유도 - 4학년 학생들의 졸업논문 작성 시 원하는 연구실에서 논문 작성 • 3, 4학년 위주의 대학원연구실 인턴제도 운영 - 프로젝트에 참여하며 대학원 연구실 현장실습 - 사전 대학원생활 체험을 기반으로 신중한 세부 전공 선택 가능
우수 외국인 대학원생 확보 계획	• 대학 차원 외국인 학생을 위한 한양테크노기숙사, 제1학생생활관, 한누리관, 개나리관의 생활관을 운영 중 • 외국인 학생 입학 수월성 제고를 위한 외국인 교수 임용

	- 전임교수 1 명(Contaminated soil & groundwater remediation 분야, [redacted] 교수) - 연구교수 1명(Bioremediation 분야, [redacted] 교수) • 대학 차원의 외국인 장학금인 한양국제장학금, 이공계활성화 장학금, 산학협력단 석박사통합 이공계활성화 장학금 등 교내 장학금 및 교육연구팀 자체 장학금 Leaders-RA+를 통한 생활비 지원 홍보 • 외국인 교육, 연구, 생활지원 프로그램 Total Care-E^2 운영 • 정부 초청 장학사업(KGSP)을 통해 우수 유학생 전략적 선발 • 학과 홍보를 위한 학과 자체 홈페이지 영문버전 개발

우수 대학원생 지원 계획

본 교육연구팀은 확보한 우수 대학원생의 가치창출을 위해 원활한 우수한 연구환경, 국제화 및 학생 행복 증대 프로그램을 통해 지원하고자 함

본 교육연구팀은 우수 대학원생 가치창출을 위해 우수한 연구 환경을 조성하고 국제적 감각 함양을 위한 글로벌 프로그램을 지원하며 생활 만족도, 행복 향상을 위해 행복증대 프로그램을 제공하고자 세계적 연구 중심 대학의 대학원생 지원 프로그램을 벤치마킹함

<우수 대학원생 지원 프로그램>

우수한 연구환경

1) 장학금 및 장려금 지원 확대
- 본 교육연구팀은 대학차원 장학금 이외에도 Leaders-RA 지원 규정에 맞게 대학원생 인건비를 제공하여 연구환경 조성 및 지원에 노력함
- BK21 FOUR, 다양한 교내/외 장학제도, 소속 교수들의 연구과제를 기반으로 학생 인건비 지원 규정을 Leaders-RA+로 전환시켜 추가 지원할 계획임

- BK21 FOUR 사업을 통해 우수 연구 실적 배출 (SCIE 논문 게재) 시 JCR 기준 분야별 상위 5%이내, 전체 10% 이내 학술지 주저자 게재 시 30만원을 지원할 예정이며, 학술대회 우수 논문 및 포스터 발표상 수상 시 10만 원의 연구장려금을 지원할 계획임
- 각종 R&D 프로젝트와 장학금 간 연계를 위한 제도 구축 과정에 있음
- 교외장학금을 포함, 과정별로 1인당 장학 지원금을 증대시킬 예정
  - 석사과정 : 60만원/월 → 80만원/월
  - 박사과정 : 90만원/월 → 150만원/월
  - 석박사과정 : 1~2년차는 석사과정, 3년차부터는 박사과정과 동일

	2) 논문 게재비 및 학술대회 참가비 지원 확대 • 대학원생의 교육 역량 증대를 위하여 연구 활동 관련 경비를 지원할 예정 - 연구 수행에 필요한 참고문헌 구매비, 논문 교정 및 게재비 지원 - 학술대회 논문 발표 시 등록비용 및 학회 일정을 고려한 출장 여비 지원 • International Energy Agency(IEA), Society of Petroleum Engineers(SPE), International Tunneling and Underground Space Association(ITA), American Chemical Society(ACS) 등의 분야별 저명 국제학회 참석을 적극 권유하고, 대학원생 발표 시 각종 경비를 지원할 계획임 IEA / SPE / ITA / ACS 3) 자원에너지관 확보를 통한 최고의 교육환경 제공 • 본 교육연구팀 [redacted]교수를 중심으로 자원에너지관 확보를 위해 자원 The Leaders Club을 운영, 해당 학과 졸업생들에게 매년 모금 진행(목표: 5억원) - 현재 1.5억 원(목표 대비 30%) 확보 / 학교 매칭 펀드 5억 예정 • 자원에너지관에는 교수, 대학원생의 연구실 및 IC-PBL+ 전용 강의실 추가, 산학협력공간, 실험실, 대학원생 복지시설 등 최고의 교육환경을 구상 중임
국제화 프로그램	• 해외석학 초빙 시 캠퍼스 내외 주거 편의를 제공하고, 대학원생과 세미나 및 토론회 지원을 통해 대학원 교육 및 연구의 국제화 강화 • 한양대학교 국제교육원에서 운영하는 영어 Technical Presentation 강좌를 참석하는 학생을 대상으로 피드백을 진행하고 강의 내용을 보강할 예정 • 한양대학교 국제교육원에서는 원어민 회화과정, 공인어학시험 대비과정 등 영어 교육 지원을 수행하고 있으며 우수 학생에게 수강료를 지원할 계획 • 본 교육연구팀은 글로벌 인재 양성을 위해 기존 국제화 교육 프로그램의 지원 범위를 확대할 예정 - 외국인 전임교원 혹은 박사 후 인력과 대학원생 간의 멘토링 시스템을 활용하여 글로벌 인재 양성을 도모할 계획임 - 본 교육연구팀의 교수진은 각 해당 분야의 top-journal (SPE journal, Rock Mechanics and Mining Sciences, Applied Energy, Bioresource Technology, Chemical Engineering Journal 등) 논문 게재를 목표로 선정, 대학원생을 지도하고, 연구 환경을 다각적으로 개선할 계획임
학생행복 증대 프로그램	• 본 교육연구팀 소속 학과는 2019년 1학기부터 대학원생 만족도 설문조사를 시행하고 있음. 교과과정 및 대학원 생활 전반에 대한 만족도, 교과과정에 대한 개선의견 등을 조사하고 이를 대학원 정책에 반영하고 있음 • 설문조사 결과, 개설이 필요한 대학원 교과목으로 전체의 28%를 4차 산업혁명 교과목이 차지함. 이는 2020-2021 교과목에 반영하여 파일럿 운영 중 • 생활비 지원 만족도 관련하여 보통, 만족, 매우 만족이 90%를 차지하며, Leaders-RA+를 통해 만족도를 더 향상시킬 계획 • 행정 지원 강화 : 교육연구팀은 연구실 행정인력 인건비를 지원하여 행정전담인력 채용을 장려할 예정임 (설문조사 결과, 대학원생 가장 필요한 개선 사항으로 연구 외 행정업무 과다가 36%를 차지) • 복지 및 인권향상 프로그램 : 대학 차원의 자체 복지 및 인권향상을 위한 프로그램을 운영 중에 있으며, 교육연구팀은 이에 대한 적극적인 홍보를 통해 학생들의 이용을 권장하고 있음

2.3 대학원생의 취(창)업 현황

① 취(창)업률 및 취(창)업의 질적 우수성

<표 2-2> 2019.2/2019.8 졸업한 교육연구팀 참여교수의 지도학생 취(창)업률 실적

(단위: 명, %)

구분		졸업 및 취(창)업현황						취(창)업률 (%) (D/C) × 100
		졸업자 (G)	비취업자(B)			취(창)업대상자 (C=G-B)	취(창)업자 (D)	
			진학자		입대자			
			국내	국외				
2019년 2월 졸업자	석사	1	0	0	0	1	1	100.0000%
	박사	0			0	0	0	
2019년 8월 졸업자	석사	1	0	0	0	1	1	100.0000%
	박사	3			0	3	3	
계	석사	2	0	0	0	2	2	100.0000%
	박사	3			0	3	3	100.0000%

2.3 대학원생의 취(창)업 현황

① 취(창)업률 및 취(창)업의 질적 우수성

최근 1년간 졸업생 취업 현황

졸업생 취업 현황 및 전공적합성

- 최근 1년간 석사과정 졸업생 2명, 박사과정 졸업생 1명, 석·박사 통합과정 졸업생 2명을 배출(2019년 2월, 8월 졸업생 기준)하였으며, 석사 졸업생 취업자는 2명(취업률 100%), 박사 졸업생 취업자는 3명(취업률 100%)으로 **전체 취업률은 100%**임
  - 석사 학위 취득자: 자원환경공학 분야 우수 기업체 정규직 100%
  - 박사 학위 취득자: 자원환경공학 분야 연구직 취업
  - 동일한 연구 분야의 직종으로 취업하여 전공적합성이 매우 우수함

분야	학교명	분야	회사명	분야	회사명
바이오에너지 /환경공학	Ocean University of China	유가스자원개발	포스코인터내셔널	바이오에너지	한양대학교
		신재생에너지	Enerideas	온실가스 저감 /환경공학	이화여자대학교

<교육연구팀 졸업생의 전공적합성>

최근 1년간 취업 사례의 질적 우수성

- 최근 1년간 졸업생의 취업사례와 재학 중 참여했던 연구과제, 수강 과목 등을 통합 분석한 결과 **교육연구팀의 프로그램을 통하여 직무에 필요한 전문성을 확보**한 것으로 판단됨
- 국내외 대학 및 글로벌 에너지분야 선도기업에 진출함으로써 본 교육연구팀의 **국제적 경쟁력을 확인**함

산업체 취업 우수사례

[redacted] 석사 (포스코 인터내셔널)	• 지도교수: [redacted] 교수 (2017년 3월~2019년 3월, 석사 과정) • 현재 직장: 포스코 인터내셔널 (미얀마 가스전 사업 등의 해외 자원개발 사업을 통해 지속적인 자원개발 투자를 수행중인 글로벌 종합상사) • 학위 논문: Sensitivity Analysis of Operating Conditions on the Economics of CO_2 Storage with EOR • 경제성 인자를 고려한 CCS 연계 이산화탄소 주입공법 최적 혼화도 조건 설계에 대한 연구를 진행하였음 • 수강과목 - 세부핵심전공: 비재래가스전개발세미나, 유가스전평가특별연구, 석유생산공학특론, 석유개발모델링 - 융합전공: 자원시장분석특론 • 관련연구를 통해 국내학술발표 1편 및 우수논문발표상 수상 - 한국자원공학회, 2018 추계학술발표회 • SCIE 논문 실적 : 2건

[redacted] 석사 (Enerideas)	• 지도교수: [redacted] 교수 (2017년 9월~2019년 9월, 석사 과정) • 현재 직장: Enerideas (에너지 컨설팅회사로 글로벌 에너지 변화에 관한 지식을 제공하며 신재생에너지와 같은 에너지신사업의 연구 개발 업무를 병행하고 있음) • 학위논문: Modeling of CO_2 Injection to Shale Gas Reservoir with Organic/Inorganic Network • 셰일가스 저류층 내 유기물과 무기물의 특성을 고려한 수치모델링을 진행하였음 • 수강과목 - 세부핵심전공: 비재래가스전개발세미나, 유가스전평가특별연구, 저류공학특론, 석유개발모델링, 석유개발전공세미나, 석유생산공학특론 - 융합전공: 지하공간특론 • SCIE 논문 실적 : 2건 • 저서 실적 : 1건 - 저서: Horizons in Earth Science Research. 2019

박사후 과정 우수사례

[redacted] 박사 (이화여자대학교)	• 지도교수 : [redacted] 교수 (2014년 3월~2019년 8월, 석박사 통합과정) • 현재 직장: 이화여자대학교 산학협력단, Post Doc. • 학위 논문: Integrative Modeling of Asphaltene Deposition and Three-phase Hysteresis for CO_2-LPG EOR • 아스팔텐 침전을 고려한 CO_2-LPG WAG 및 LPG 주입이 CCS에 미치는 영향에 대한 연구를 수행하였음. • 수강과목 - 세부핵심전공: 비재래가스전개발세미나, 유가스전평가특별연구, 석유개발모델링 - 융합전공: 에너지기술정책 • SCIE 논문 실적 : 2건 - 대표 논문: Effects of asphaltene deposition-derived formation damage on three-phase hysteretic models for prediction of coupled CO_2 enhanced oil recovery and storage performance. Journal of petroleum science and engineering. 2019 • 저서 실적 : 1건 • 국제 학술대회 발표: 4건

외국인 졸업생 취업 현황 및 우수사례

외국인 졸업생 취업 현황

- 2019년에 본 교육연구팀에서 졸업한 외국인 학생은 총 2명(박사)이며, 취업률이 100%임
- **외국인 졸업생은 모두 외국 대학의 교수직으로 취업** 또는 취업 예정되었으며 본 교육연구팀의 핵심 연구 분야에 재직하여 전공적합성이 우수함을 나타냈음

외국인 졸업생 취업 우수사례

[redacted] (Ocean University of China)	• 지도교수: [redacted] 교수 (2014년 9월~2019년 8월, 석박사 통합과정) • 현재 직장: Ocean University of China, 해양생명과학대학, 부교수 (Biological Science 분야에서 세계 551-600위권, 중국내에서는 60위에 랭크(QS World University Rankings 기준)된 해양학 및 수산학에 강점이 있는 대학) • 학위 논문: Biodegradation of Pharmaceuticals using Microalgae: Toxicity, Metabolism and Removal Approaches • 수강과목 - 세부핵심전공: 바이오에너지공학특론, 생물복원공학특론, 지하수오염학특론, 바이오매스공학특론 - 융합전공: 환경동위원소지구화학, 기기분석론, 수질오염관리, 발파설계특론, 암석역학특론, 탄성파탐사특론, 석유개발전공세미나, 석유생산공학특론, 천연가스저류공학, 막분리담수화공정 등 • SCIE 논문 실적 : 13건 - 대표 논문 1: (IF 13.75) Can Microalgae Remove Pharmaceutical Contaminants from Water? Trends in Biotechnology. 2018 - 대표 논문 2: (IF 7.65) Combined Effects of Sulfamethazine and Sulfamethoxazole on A Freshwater Microalgae, Scenedesmus obliquus: Toxicity, Biodegradation, and Metabolic Fate. Journal of Hazardous Materials. 2019 • 국제 학술대회 발표: 6건
[redacted] (한양대학교 산학협력단)	• 지도교수: [redacted] (2015년 9월~2019년 8월, 박사과정) • 현재 직장: 한양대학교 산학협력단, Post Doc. (세계대학순위 150위에 상위(QS World University Rankings 기준), 추후 중국의 Hefei University of Technology (세계 351-400위권, QS World University Rankings 기준)에 조교수로 임용 예정임) • 학위논문: Recovery of bioenergy from organic wastes through anaerobic digestion and fermentation • 수강과목 - 세부핵심전공:바이오매스공학특론, 지하수오염학특론, 바이오에너지공학특론, 생물복원공학특론 - 융합전공: 생화학특론, 고급분석화학, 수환경화학특론, 대기오염관리기술, 대사공학특론, 자원시장분석특론 등 • SCIE 논문 실적 : 13건 - 대표 논문: (IF 8.36) Microbial Acclimatization to Lipidic-Waste Facilitates the Efficacy of Acidogenic Fermentation. Chemical Engineering Journal. 2019 • 국제 학술대회 발표: 6건

② 졸업자의 대표적 취(창)업 사례 (최근 10년)

<표 2-3> 최근 10년간 교육연구팀 참여교수 지도학생 중 졸업생 대표적 취(창)업 사례

연번	성명	졸업연월	수여 학위 (박사/석사)	학위취득 시 학과(부)명	재학 시 BK21사업 참여 여부 (Y/N)	최종학위 (박사/석사) 및 수여 대학/학과	현 직장 및 직위
	대표 취(창)업 사례의 우수성						
1	[redacted]	2016.2	석사	자원환경공학과	N	동일	"Schlumberger 사원"
	한양대학교에서 석사 학위를 수여받은 후 외국계 기업인 Schlumberger에 취업하였음. 본 취업자는 현재 국내 여러 석유 회사들 및 전문 연구 기관을 아울러 컨설팅과 트레이닝을 제공하는 업무를 맡고 있으며, 또한, 미래 지향적인 연구 개발 업무를 병행하고 있음. 이러한 서비스를 통해 석유 개발 사업의 불확실성을 감소시키고, 최적화된 운영 설계 및 정확한 예측을 이끌어내어, 고객의 운영비용 감소와 이익 극대화를 추구하는 역할을 담당하고 있음						
2	[redacted]	2018.8	박사	자원환경공학과	Y	동일	"한국석유공사 대리"
	대학원 재학 시 BK21 플러스 사업을 통해 장학금, 국내·외 석학 및 현장 전문가 초청 세미나 개최, 국제 학술발표 등의 지원을 받았음. 이를 통해 13편의 SCIE급 논문 게재 및 2권의 저서를 공동저자로서 집필하는 등의 우수한 연구 성과를 이루었으며 비전통가스인 셰일 가스 저류층에 CO2를 주입해 회수율 향상 및 CO2 지중저장을 통한 온실가스 저감의 효과 보였음. 현재 연구개발팀에 합류하여 정부 과제의 관리 및 석유/가스분야의 연구 개발을 주도하고 있음						
3	[redacted]	2016.2	박사	자원환경공학과	N	동일	"Lanzhou University Full Professor"
	석박사 통합 과정을 졸업하고, 관련 연구 실적을 통해“High-Level Talent Recruitment”의 1000인으로 선정되어 중국의 우수 대학에 정교수로 임용됨. 사회문제인 유분폐기물을 활용하여 바이오 가스의 생산 수율을 기존 대비 80% 향상시켰으며, IF 26.47인 PECS 등의 저명한 학술지에 논문을 게재함. 본인의 전공 및 연구 성과와 관련하여 신재생에너지 과목을 개설하여 강의하고 있으며 차세대 연구 지도자로 인재를 배출한 사례임						

최근 10년간 졸업생 수			
	석사	14	3
	박사	8	

3. 대학원생 연구역량

3.1 대학원생 연구 실적의 우수성

① 대학원생(졸업생) 대표연구업적물의 우수성

<표 2-4> 최근3년간 참여교수 지도학생(졸업생) 대표연구업적물

연번	최종 학위 (박사 /석사)	졸업생 성명	세부 전공 분야	졸업 연월	실적구분	대표연구업적물 상세내용
1	박사	[redacted]	석유/가스 /지하유체 공학	2018.8	저널논문	① [redacted] ② Evaluation of CO2 Injection in Shale Gas Reservoirs with Multi-Component Transport and Geomechanical Effects ③ Applied Energy ④ 190, 1195 ⑥ 2017 ⑦ 10.1016/j.apenergy.2017.01.047
2	박사	[redacted]	유기성폐 기물처리	2019.8	저널논문	① [redacted] ② Can Microalgae Remove Pharmaceutical Contaminants from Water? ③ Trends in Biotechnology ④ 36(1), 30 ⑥ 2018 ⑦ 10.1016/j.tibtech.2017.09.003

최근 3년간 졸업생 수	석사	5	2
	박사	7	

3.1 대학원생 연구 실적의 우수성

① 대학원생(졸업생) 대표연구업적물의 우수성

대학원생 대표연구업적물의 우수성

대표 논문의 게재 저널의 우수성

- 본 교육연구팀의 최근 3년 졸업생 수의 10%인 두 명의 논문이 우수한 저널에 게재됨
- 대표적으로 2편이 게재된 저널은 Applied Energy, Trends in Biotechnology로 Q1 저널에 해당하며, 평균 보정 IF는 1.33이고 평균 보정 ES는 1.4846임
- 이와 같은 객관적인 인자를 분석해 논문의 우수성을 나타내었음

연번	졸업생	저널명	게재연월	JCR분야 (순위/해당분야 저널 수)	IF	보정IF	ES	보정ES
1	[redacted]	Applied Energy	201703	Engineering, Chemical (5/138)	8.43	1.13	0.1285	2.9500
2	[redacted]	Trends in Biotechnology	201801	Biotechnology & Applied Microbiology (4/162)	13.75	1.52	0.0192	0.3990
평 균				JCR분야 상위 3.05 %	11.09	1.33	0.0739	1.6745

대표 논문의 창의성/혁신성 및 피인용의 우수성

- 대학원생(졸업생)의 대표 연구업적물인 논문 두 편은 각 분야에서 우수성을 인정받아 **보정 피인용수(FWCI)가 각각 8.4168, 3.9939로 높은 값으로 산출됨**

연번	졸업생	보정피인용수 (FWCI)	피인용 (WoS)	피인용 (Google)
	논문의 창의성/ 혁신성			
1	[redacted]	8.4168	58	81
	• 기존의 셰일가스 저류층 대상 CO_2 주입 공법 연구는 가스 회수증진 향상 및 CO_2 저장에 초점을 맞춰 복잡한 유체의 특성을 고려하지 못했다는 한계가 있음 • 본 연구는 Multi-contact transport와 Geochemical effect를 고려한 새로운 셰일가스 모델을 구축하여 CO_2 주입을 통한 가스회수증진 및 CO_2 저장의 효과를 분석하였음 또한 이에 영향을 미치는 여러 인자 분석을 통해 최적의 회수증진 및 저장 시나리오를 분석하였음. 그 논문의 창의성 및 혁신성을 인정받아 높은 보정피인용수(FWCI)를 기록함			
2	[redacted]	3.9939	53	82
	• 제 3세대 바이오매스로 알려져 있는 미세조류를 활용하여 미생물 컨소시엄 구축, 순응 및 공동 물질 대사 작용에 대한 선진적인 연구를 검토한 종설논문이며 바이오매스의 대량 생산과 더불어 환경복원을 동시에 다루었음 • 기존의 하·폐수 처리공법이 신규오염물질을 효율적으로 제거할 수 없다는 한계점을 극복하기 위하여 미세조류를 이용해 수중 신규오염물질을 제거하는 창의적인 공법과 기후변화 대응 및 에너지 생산 분야에 새로운 접근법을 제시함			

대표 논문 연구분야의 교육연구팀 목표 및 비전과의 부합성

본 교육연구팀은 기후변화대응형 친환경에너지자원 스마트개발 글로벌리더 양성을 위하여 스마트 기술과 중점 에너지자원개발기술의 융합, 현장중심 교육 및 연구 프로그램을 개발/활성화시켜, 융합형 연구를 선도할 협응형 리더 양성, 우리나라의 산업/사회 문제 해결을 위한 전문가 양성, 핵심 연구의제를 선도하는 글로벌리더 양성을 최종 목표로 함

- 제시된 대표논문들은 산업/사회문제 해결 측면에서 온실가스 감축, 환경 복원에 기여하여 본 교육연구팀의 비전에 부합함
- 김태홍 박사의 논문은 셰일가스 생산 중 회수율 증진을 위해 CO_2를 지중에 주입하는 CO_2 공법을 주제로 하였음. 이 논문에서는 CO_2 공법의 효율성과 사례연구를 수행함으로써 **CO_2 격리를 통한 온실가스 감축과 셰일가스의 회수율 향상을 통한 경제성 증진의 융합연구를 수행하였으며, 본 교육연구팀의 5대 중점분야와 정합함**
- 웅구강 박사의 논문은 미세조류를 이용해 온실가스 중 하나인 CO_2를 고정하여 바이오매스를 생산함과 동시에 미량오염물질을 제거하는 융합연구기술을 다룬 국제적 수준의 논문으로 **기후변화 대응 및 바이오에너지 분야에 기여하여 본 교육연구팀의 5대 중점분야에 부합하는 연구임**
- 또한, 상기 졸업생들은 연구의 질적 우수성을 인정받아 **핵심 연구의제를 선도하는 글로벌리더로서 대표논문을 최상위 저널(JCR기준 각 분야 상위 3.6%, 2.5%)에 게재**하였음

<대표 논문의 사회문제 해결 및 국제적 수준 배양>

교육연구팀 비전과 목표	연구 분야 및 성과	대표논문 1저자
사회문제 해결	• 배출원으로부터 포집한 CO_2를 저류층에 주입함으로써 셰일가스를 생산함과 동시에 온실가스인 CO_2를 저장하여 경제성과 에너지 안보 및 기후 변화를 동시에 고려 • CO_2 저장으로 인한 온실가스 감소 효과	[redacted]
	• 환경오염, 온실가스 등 사회문제를 해결하기 위한 연구 • 미세조류의 광합성을 통한 CO_2 고정 효과와 미생물 컨소시엄 분석을 통한 효율적인 에너지 공급구조의 전환	[redacted]
글로벌 연구 역량	• 셰일가스 저류층에 CO_2를 주입해 가스 회수증진을 통한 경제성을 확보하는 동시에 CO_2를 저장하는 CCUS기술 • 비전통 자원인 셰일가스 모델링 연구를 통한 국내 셰일 가스 시뮬레이션 연구 수준을 높여 국제적 경쟁력을 갖춤	[redacted]
	• 친환경에너지자원 스마트개발을 위한 바이오에너지, 환경보건기술, 폐기물, 환경공학 분야의 세계적 연구력 제고 • 바이오에너지 산업과 관련된 기술개발에 필수적인 선행연구를 통해 동 분야의 선도국과 대등한 기술 경쟁력을 갖춤	[redacted]

③ 대학원생(졸업생) 학술대회 대표실적의 우수성

<표 2-6> 교육연구팀 참여교수 지도학생 중 대학원생(졸업생) 학술대회 발표실적

연번	최종학위 (박사/석사)	졸업생 성명	졸업 연월	발표 형식(구두, 포스터)	학술대회 발표실적 상세내용
1	박사	[redacted]	2018.8	구두	① [redacted] ② Modeling of CO2 Flooding and Huff-and-Puff Considering Molecular Diffusion and Stress-Dependent Deformation in ight Oil Reservoir ③ SPE Europec featured at 79th EAGE Conference and Exhibition ⑤ 2017, Paris, France
2	박사	[redacted]	2017.8	구두	① [redacted] ② Complete Exploitation of Carbon for ransforming Microalgal Biomass into Biofuels via Serial Fermentations and ransesterification ③ 254th American Chemical Society National Meeting & Exposition ⑤ 2017, Washington, D.C., USA

최근 3년간 졸업생 수	석사	5	2
	박사	7	

3.1 대학원생 연구 실적의 우수성

③ 대학원생(졸업생) 학술대회 대표실적의 우수성

학술대회 대표실적의 우수성

학술대회 대표실적의 창의성 및 혁신성

• 본 교육연구팀 졸업생들은 창의적/혁신적 연구를 통해 얻은 결과물을 국제적으로 권위 있는 학술대회에 지속적으로 발표해왔으며, 그 중 대표적인 실적 2건을 다음과 같이 제시함

연번	졸업생	학술대회명	발표연도	장소
	내 용			
1	[redacted]	SPE	2017	Paris, France
	• 학술대회: SPE Europec featured at 79th EAGE Conference and Exhibition (2017) • 연구내용: 본 연구는 대상 저류층 CO_2 Flooding과 Huff-n-Puff 공법을 비교하였으며 불확실성 발생시키는 인자를 분석하여 **효과적인 CO_2 주입을 위한 방향성을 제시**하였음 • 창의성 및 혁신성 - 기존 Huff-n-Puff법 중심인 치밀오일저류층 대상 석유 회수증진법에서 더 나아가 다양한 메커니즘을 고려한 CO_2 flooding과의 비교 분석을 통해 CO_2 EOR과 저장 효율을 혁신적으로 증가시킨 지식융합형 기술 개발이며 창의적인 연구로 평가되었음 - 본 졸업생은 석사 및 박사과정 중 친환경 유가스 생산성 향상 연구에 집중한 결과 치밀저류층의 경우에는 이산화탄소 저장 효율의 안정성을 향상시킬 수 있다는 점에 착안하여 CO_2 분자확산이론 및 치밀저류층의 응력의존적 변형특성이 고려된 치밀저류층 맞춤형 수치해석모델을 개발하여 적용한 결과, 뚜렷하게 향상된 EOR과 CO_2 저장효율을 향상시킴으로서 지식융합형 창의적 연구를 수행함			
2	[redacted]	ACS	2017	Washington, D.C., USA
	• 학술대회: 254th American Chemical Society National Meeting & Exposition (2017) • 연구내용: 본 연구는 연구팀이 **세계최초로 자체개발한 미세조류 바이오매스 전처리 및 변환 기술인 '연속적 발효추출공정 플랫폼' 을 활용**하여 바이오에탄올 생산수율(46%) 및 바이오매스 활용율(89%)을 극대화한 연구결과를 발표함 • 창의성 및 혁신성 - 기존 바이오에너지 생산 연구의 문제점은 특정성분만을 이용하여 한가지의 바이오연료를 생산하기 때문에 생산 수율이 낮고 많은 폐기물이 발생하는 것임 - 본 졸업생은 바이오매스의 주요 구성성분(탄수화물, 단백질, 지질)을 모두 활용하는 신개념의 친환경적인 'Simultaneous fermentative bio-pretreatment' 방법을 확립함 - 핵심기술인 '연속발효 추출공정' 을 제 3세대 바이오매스인 미세조류에 적용하여 바이오에탄올, 바이오부탄올, 바이오디젤을 독립적/순차적으로 생산할 수 있음을 증명함 - 또한, 바이오매스의 활용을 극대화하여 폐기물의 발생을 혁신적으로 저감시킨 친환경적인 공법임 - 전 과정에서 위해성이 높은 강산 등의 활용을 배제하고 생물학적 전처리법 등을 활용하여 친환경적으로 바이오매스를 바이오 연료로 전환하는 창의적 연구임 - 미세조류의 프로테인을 활용하여 고급에너지원인 바이오 부탄올을 생산하는 새로운 공법을 제시함			

학술대회 대표실적의 전공분야 기여도

연번	내 용			
1	[redacted]	SPE	2017	Paris, France
	- Huff-n-Puff법은 일반적으로 저류층의 CO_2 EOR에 광범위하게 적용되는 공법으로서, 기존 연구자들은 치밀저류층의 물리화학적 특성을 반영하지 못한 단순한 예측모델을 활용하여 EOR의 효율 및 CO_2 저장 효율 등의 예측 정확도가 미흡한 실정임 - **치밀저류층의 물리화학적 특성을 반영한 '치밀저류층 맞춤형 수치해석모델'**을 개발 및 적용하여, CO_2 flooding을 통하여 온실가스인 CO_2 저장효율 및 에너지자원인 오일 생산성 증대를 동시에 달성할 수 있음을 증명함 - 탐사 개발 및 석유 가스 공학 분야의 가장 권위 있는 협회 중의 하나인 Society of Petroleum Engineering (SPE)은 해당분야의 연구자가 대다수 모이는 저명한 학술대회로, 선진적인 연구 결과 발표를 통해 우수한 학자들과의 활발하고 진보적인 연구 교류를 하였음 - 학술대회 발표 이후 지속적인 연구를 통해 해당 분야의 국외저서 3건 집필 및 SCIE 논문 12건 게재하여 해당 분야의 선도적 연구 발전에 기여하였음 - 본 교육연구팀은 환경과 에너지 안보를 고려하여 CCUS 중 하나인 CCS 연계 CO_2 EOR 연구의 필요성을 인식하여 해당 발표 주제를 지속적으로 연구 및 개발에 반영할 계획임			
2	[redacted]	ACS	2017	Washington, D.C., USA
	- 본 연구 결과는 신재생에너지인 바이오에탄올의 생산 수율을 극대화시키고, 기존의 화학적 처리방법과 달리 독성 부산물이 생성되지 않는 친환경적인 에너지원 개발 공정을 확보함으로써 **미래 친환경 에너지 자원 개발 기술 선진화와 실용화에 기여**함 - 약 11,000~16,000명의 화학자, 학계인사, 학생 및 기타 전문가들이 참여하는 세계 최대 규모의 화학학술회인 미국 화학학회(American Chemical Society, ACS)에 연구결과를 구두 발표함으로써 저명한 학자들과의 활발하고 진보적인 연구교류를 하였음 - 학술대회 발표 이후 지속적인 연구를 통해 해당 분야에서 'Biological conversion of amino acids to higher alcohols'라는 제목으로 Trends in Biotechnology (IF 13.75) 에 게재하였으며 총 14건의 SCIE 논문을 게재함으로써 동 분야의 선도적인 연구발전에 기여하였음			

교육연구팀의 5대 중점분야와의 부합성

- 에너지자원의 생산성 향상과 동시에 기후변화 대응 방안을 고려하여 본 교육연구팀의 5대 중점분야 중 온실가스 지중저장을 통한 **비전통가스 생산 수율 증가(UC)와 정합함**
- 신재생에너지 분야의 새로운 패러다임을 제시하여 본 교육연구팀의 5대 중점분야 중 혐기반응을 통한 **유기성폐기물의 바이오에너지화(WB)와 정합함**
- 상기 졸업생들은 본 교육연구팀의 5대 중점분야와 부합성이 높은 연구를 지속적으로 수행하여 다수의 국제 학회 발표와 논문 연구 업적을 이루어 냄
- 본 교육연구팀은 지속적인 후속 연구를 통해 에너지자원 분야, 환경 및 폐기물 공학 분야의 연구를 선도하여 기후변화 대응형 친환경에너지자원 스마트개발 글로벌리더 양성을 지속하고자 함

④ 대학원생(졸업생) 특허, 기술이전, 창업 실적의 우수성

<표 2 7> 교육연구팀 참여교수 지도학생 중 대학원생(졸업생) 특허, 기술이전, 창업 실적 등

연번	최종학위 (박사/석사)	졸업생 성명	졸업 연월	실적구분	특허, 기술이전, 창업 등 실적 상세내용
1	박사	[redacted]	2018.2	창업	①[redacted]
					② 환경컨설팅 및 관련엔진니어링 서비스
					③ 에스바이오㈜
					④ 1천만원
					⑤ 2018
2	박사	[redacted]	2019.8		

최근 3년간 졸업생 수	석사	6	2
	박사	7	

3.1 대학원생 연구 실적의 우수성

④ 대학원생(졸업생) 특허, 기술이전, 창업 등 실적의 우수성

특허, 기술이전, 창업 등 실적의 우수성

요약

에 스 바 이 오 (주)

- **학위과정 중 충남 청양 퇴비사에서 발생하는 암모니아 가스를 대상으로 연구를 진행하였으며, 이러한 현장 중심의 연구가 성공적인 창업으로 이어짐**
- IoT기반의 스마트 기술과 바이오매스 처리 및 바이오에너지 기술을 융합 적용하여 퇴비사, 축사, 하수처리장 등에서 발생하는 암모니아 저감 기술을 개발하여 창업함
- 암모니아는 악취로 인해 전국적으로 연 2만 건 이상의 민원을 발생시키는 심각한 사회문제이며, 대기 중에서 미세먼지 전구물질로 알려져 있어 환경적으로도 주요한 대기오염물질임
- **지방자치단체의 시범사업에 참여하여 환경 및 에너지 (지역)산업에 기여하고 있음**
- 현재 지속적인 기술 개발을 수행 중에 있고, 암모니아 저감 기술에 대한 환경수요가 많아 시장성이 매우 높으며, 궁극적으로 산업/사회문제 해결에 기여할 것으로 기대됨

창업의 창의성 및 혁신성

- 본 교육연구팀의 졸업생 [redacted] 박사는 2018년 1천만원의 자본금으로 청정 기술 개발 기업인 환경컨설팅 및 관련엔지니어링 서비스를 제공하는 에스바이오㈜를 창업하였으며, **미세먼지 및 악취 저감을 전문으로 함**
- 창업 기업은 유용미생물 개발 및 핵심 배양기술을 보유하고 있으며 최근 심각한 환경문제로 대두되는 미세먼지 등의 대기오염물질의 저감을 위해 플라즈마발생기 및 고정상 스크러버를 이용한 창의적인 미세먼지 저감 시스템을 기술 개발하여 실제 현장의 문제를 해결하는데 적용하고 있음
- 창업한 기업의 궁극적인 목표는 'ICT기반의 3無 (무악취, 무방류, 무오염) 친환경 스마트 축사 공급' 으로 선진적인 친환경 기술을 갖춘 유럽국과 대등한 기술 수준을 갖추기 위해 높은 효율과 독창성을 지닌 혁신적인 기술을 지속적으로 개발하여 꾸준한 특허 실적을 달성하고 있음

교육연구팀의 비전과 목표와의 부합성

- 암모니아 가스의 발생을 줄이고 발생된 가스를 제거하며 **효율적인 바이오매스의 퇴비화를 통해 악취와 미세먼지 전구물질을 제거**함과 동시에 **탄소자원을 재순환하여 궁극적으로 이산화탄소 저감에 기여함**
- 본 기업은 **스마트 기술을 융합하여 기후 변화, 대기오염 등을 유발하는 산업 문제에 효율적 대응 가능한 기술력을 제고**하며, IoT기반의 첨단 기능 시설을 건설하여 '스마트 축사'를 고려한 4차 산업혁명에 대응하는 사업추진전략을 수립 중이며 이는 **본 교육연구팀의 중심 비전인 산업현장과 기술의 융합과 부합함**
- 본 교육연구팀에서 목표로 하는 바이오에너지 및 바이오매스 연구를 연계한 현장 중점형

인재 양성 및 배출 사례이며 연구의 산업화를 통해 후속학문세대 연구자들의 현장 감각을 위한 산학협력의 기회를 제공함

- 인적 네트워크를 활용한 중국, 베트남, 필리핀, 인도네시아 등 해외시장 진출 계획으로 국제시장의 미래 과학기술을 발전시키고 혁신적인 기술개발 국제화를 선도함

지역산업 및 사회문제 해결에의 기여

- 농축산업 부문에서 (초)미세먼지의 전구물질 발생에 대한 관리의 강화, 퇴비 부숙도 관리 및 축사 환경규제 강화에 따라 기존의 설비로 배출농도허용치를 따라가지 못하는 문제를 해결하고, 지자체, 설치 업자, 사용자 간의 분쟁 발생을 최소화하는 환경 친화적이고 경제적인 악취분해 및 미세먼지 저감 기술 개발로 지역산업 및 사회문제 해결에 기여함
- 음식물 쓰레기장, 퇴비제조공장, 액비화 시설 등에서 필수적으로 발생하는 미세먼지 및 악취의 발생 저감, 유해성 바이러스의 무해화를 통해 **인근 주민의 건강 문제, 구성원간의 갈등(님비 현상)을 원만하게 해결하여 지역사회 발전에 기여함**
- 본 기업은 지방자치단체의 악취저감 시범사업에 적극 참여하고 도시재생 뉴딜사업, 지방자치단체에 악취제거를 제안하는 등 사회 문제에 기여하고자 전략을 수립 및 추진함

지역산업 및 사회문제 해결에의 기여 사례

- 본 기업은 대기 미세먼지 및 악취 문제 해결을 위하여 창업진흥원의 창업과제 수행을 통해 미세먼지 및 악취 저감시스템을 개발하여 사회문제해결에 기여한 사례가 있음

대표사례

- 기술개발 목적
  - 사회적 난제인 미세먼지 및 악취의 해결을 위해 미세먼지 및 악취 저감기술의 솔루션 확립을 통해 지역사회에 쾌적한 환경 제공, 해당 종사자 및 인근 주민의 건강증진에 기여, 민원발생을 감소시키고자 함
- 기술개발 목표
  - 미세먼지 및 악취저감 바이오 스크러버 시스템을 생물살수여상식 바이오스크러버 시스템으로 구축하여 미세먼지 유발물질(복합악취) 및 미세먼지를 기존 발생량 대비 제거효율 50%에서 90%로 향상시키고자 하였음
- 기술개발 목표 달성
  - 현장의 실용을 위해 시제품을 제작하여 화성시 소재 음식물쓰레기 처리장에서 한 달 주기로 연속식 저감실험을 수행하였으며 미세먼지 유발물질의 발생율을 약 97%, 98% 감소시키는 결과를 얻어 목표를 초과 달성함
  - 기술개발의 파생실적으로 발명 특허를 1건 등록하고 2건 출원하였음

〈시제품 제작〉

시제품 전면

시제품 후면

〈테스트 현장 시험 결과〉

플랜트 처리 전

플랜트 처리 후

3. 대학원생 연구역량

3.2 대학원생 연구 수월성 증진계획

교육연구팀 대학원생 연구 수월성 증진 목표

본 교육연구팀은 대학원생 연구 수월성 증진전략 수립을 위해 우수 졸업생들의 연구사례와 실적 및 연구력을 비교분석하였음. 그 결과 **융합, 현장중심, 국제화** 3가지 핵심 키워드를 도출하였으며, 이를 중심으로 교육연구팀의 인력 양성 및 연구 수월성 증진계획을 수립하였음. 이러한 체계적 접근을 통해 대학원생 연구업적물(논문, 학술대회발표, 특허/기술이전/창업)의 질적, 양적 우수성을 제고하고, 나아가 교육연구팀의 연구 수월성을 증진하고자 함.

대학원생 연구 현황 및 증진 목표

- 본 교육연구팀 참여교수의 지도학생 중 최근 3년 이내에 졸업한 대학원생의 연구력을 분석한 결과 **총 12명의 졸업생이 63편의 논문을 게재**했으며, 논문 1편당 **평균 보정 IF는 0.81, 평균 보정 ES는 1.1874**로 분석됨
- 2018 JCR 기준 전체 논문 중 **Q1 저널 게재논문의 비율은 52%, Q1+Q2의 비율은 68%**이며, 최정상 저널(Progress in Energy and Combustion Science, 1/129)에 게재한 논문을 포함하여 **JCR 상위 10% 이내 저널에 출판된 논문은 총 23편임**

<참여대학원생 질적 향상 목표>

JCR 기준	상위 10% 저널 비중	상위 3% 저널 비중
현 재	36.5%	12.7%
2027년	40.0%	13.5%

- 체계적인 연구력 증진 전략을 통해 대학원생 게재 논문 중 **Q1저널 논문의 비율을 58%, Q1+Q2의 비율을 80%까지 향상**시키고자 하며, 최정상 저널에 지속적으로 논문을 출판하여 **대표연구업적물의 질적 향상을 도모**하고자 함
- 또한, 친환경에너지자원 스마트개발 분야의 융합형 교육/연구 프로그램을 통해 대학원생 연구업적물(특허/기술이전/창업)의 질적, 양적 우수성을 제고하고자 함

대학원생 연구 수월성 증진 전략

대학원생 연구 수월성 증진 전략: 융합형 교육/연구 시스템 구축

- 친환경 에너지자원 개발과 스마트기술을 접목하여 자원 개발기술을 고도화하며, 지역사회 문제해결을 위한 융합형 교육/연구모델 창출

프로그램	IC-PBL+	• 문제해결 교육과정인 IC-PBL+의 활성화로 산업 및 사회문제에 대한 융합연구역량 제고
	인공지능과 친환경에너지	• 4차 산업혁명 관련 기술의 활용역량 강화 수업
	Cross-listing	• 핵심 전공 외에 타 세부전공 수강 학점 인정
	신산업분야 전공과목	• 비전통자원 등 신산업 교과목 확충
기대효과	• IC-PBL+를 통해 대학원생들의 "문제 해결역량", "융합 연구역량" 배양 • 인공지능 기초지식 및 산업융합형 교육으로 학생의 창의적 사고능력 배양 • 타 세부전공 수강으로 학문적 시야를 넓히는 지식융합형 교육 구축 • 새롭게 부상하는 스마트자원개발 교과목으로 신산업 관련 연구의 수월성 확보	

대학원생 연구 수월성 증진 전략: 현장중심 협업/연구

- 현장 연계 교육/연구 프로그램 도입, 산학연 연계 교육 및 교류 네트워크 확대, 산업계 외부위원의 자문을 통한 교과과정 지속적 개선

프로그램	해외현장 연계 교육	• 산업문제 밀착형 현장방문교육
	BC-speaker	• 초청연사와의 지속가능한 연구교류
	IAB, Global-IAB	• 교육운영과정 자문단
기대효과	• 미국 Permian 분지, 캐나다 Montney 분지, 우즈베키스탄 Almalyk 광산 등의 자원개발현장을 확보하고 있으며 대학원생 연수 프로그램을 통해 현장중심 연구력 함양 • 산학연 전문가 초청 세미나와 더불어 주기적인 영문 뉴스레터 전달 및 연구 동향 교류를 통해 지속가능한 네트워크 시스템 구축 • IAB 자문교수단의 피드백을 통한 학과 커리큘럼의 지속적인 발전	

대학원생 연구 수월성 증진 전략: 국제 교류 및 공동연구 확장

- 다국적 인재 유치 강화, 대학원생 국제 교류 능력 활성화, 국제 네트워크 강화를 통한 인적 교류 저변 확대, 해외 실증현장 활용 교육 및 연구

프로그램	국제 학술대회 지원	• 국제 학회 경비 및 등록비 지원
	자원환경공학 논문연구	• 자원공학의 전문성을 반영한 영어논문 작성법 수업
	해외 MOU 체결	• 국제 네트워크 확장 및 교류 확대
기대효과	• 소속 대학원생의 우수 국제학술대회 참여를 적극 권장함으로써 관련 분야 다양한 연구자들과의 교류를 통한 글로벌 연구의 접근성 확보 • 참여 외국인교수 [redacted] 자원환경공학 영어논문 작성법 강의를 통한 학문 수월성 및 글로벌 역량을 갖춘 인재양성 • 해외 연구기관과의 MOU 체결로 대학원생 파견 등과 같은 인적교류를 진행하고 현장 데이터를 확보, 공유하여 연구 수월성 증진	

대학원생 연구 수월성 증진 전략: 연구환경 조성을 통한 수월성 확보

- 대학원생의 안정적인 연구환경 조성을 위해 Leaders-RA+제도를 도입하였으며, 지원제도의 다각화를 통한 연구몰입도 증대

프로그램	Leaders-RA+	• 기존 제도(Leaders-RA)의 업그레이드
	우수성과 지원제도	• 우수 연구실적 장려
	자원 The Leaders Club	• 동문 장학금 및 자원에너지관 확보
	연구자 지원시스템	• 학교차원의 연구전문성개발 프로그램 확충
기대효과	• BK21 FOUR, 다양한 장학제도 및 소속 교수님들의 연구과제를 기반으로 한 인건비 지원을 통해 연구에 집중할 수 있는 환경 조성 • **우수 논문 게재 시 30만원의 장려금을 지원**하며, 국제 학술대회 우수 논문 및 포스터 발표상 수상 시 10만 원의 장려금을 지원함으로써 연구몰입도 제고 • 자원에너지관 확보를 위한 기금을 조성중이며, 매년 우수 대학원생에게 동문장학금을 지급하고 있음 (현재 1.5 억원 확보 / 목표 5억원) • 영어논문 작성 특강 및 해외학술지 편집인 초청특강 등 대학차원에서 선진국형 연구전문성개발 프로그램 확충	

4. 신진연구인력 운용

4.1 우수 신진연구인력 확보 및 지원 계획

우수 신진연구인력 확보의 중요성 및 현황

우수 신진연구인력 확보의 중요성

- 국제 감각과 연구역량을 갖춘 신진연구인력의 확보는 본 교육연구팀이 친환경 에너지자원 스마트개발분야에서 **국제경쟁력을 강화**시키는 데 있어 중요한 역할을 담당함
- 본 교육연구팀 참여교수진과 **신진연구인력의 상호 보완적인 협동 연구는 교육연구팀의 정성적, 정량적 목표 달성에 커다란 기여**를 할 수 있음
- 본 교육연구팀 대학원생들과 각종 교육 프로그램을 주도적으로 기획 및 진행하며, 대학원생의 교육을 위한 밀착 지도를 수행하여 대학원생의 학문적 성장에 기여할 수 있음
- 신진연구인력은 창의성과 혁신성을 기반으로 연구에 새로운 아이디어를 불어넣으며, 이를 바탕으로 **연구의 질적 도약**을 도모할 수 있음
- 산업/사회문제 해결형 수업인 IC-PBL+에서 학생들의 조력자 및 멘토 역할을 수행하여 **자기주도적 연구자 양성에 기여**할 수 있음
- 우수 신진인력 확보를 통해 확장되는 글로벌 네트워크로 본 교육연구팀의 외연을 확대하고, 다자간 국제 공동연구로 **친환경에너지자원 글로벌리더를 양성함**

최근 3년간 신진연구인력 확보 현황

- 본 교육연구팀이 확보하고 있는 우수 신진연구인력은 친환경에너지자원 스마트개발 관련 분야의 박사학위 소지자들로 구성되어있으며, 3단계 BK21 사업을 통한 친환경 에너지자원 분야 세계 선도 그룹으로의 도약을 뒷받침해옴
- 본 교육연구팀의 5대 중점 분야를 중심으로 교육 및 연구에서의 맡은 바 역할을 수행해왔으며, 특히 학문의 국제화 및 고도화에 결정적 역할을 담당하고 있고, 현재 연간 7명 정도의 신진연구인력 인원을 BK21 FOUR를 통하여 추가적으로 확보해나갈 방침임

신진연구인력 확보 실적 (단위: 명)

실적		Post-Doc. (내국인)	Post-Doc. (외국인)	연구교수	계
확보	2017년	0	3	1	4
	2018년	2	3	3	8
	2019년	3	5	2	10
	계	5	11	6	22

우수 신진연구인력 확보 성과

우수 신진연구인력의 연구 성장

- 본 교육연구팀의 신진연구인력들은 친환경에너지의 생산부터 환경문제처리까지 **스마트 자원개발의 전과정에 걸쳐 기여할 수 있는 연구역량을 확보**해나가고 있으며, 그 역량의 우수성은 평균 H-index 11.0833, 평균 Citations 870.5 이라는 객관적인 지표에서도 잘 드러남 (Web of Science 기준)
- 최근 3년간 본 교육연구팀의 신진연구인력은 총 66편의 SCIE 논문을 게재하였으며, 연구성과를 바탕으로 **해당 분야의 글로벌 신진연구자 및 차세대 지도자로 성장**하고 있음

<우수 신진연구인력의 연구역량 강화>

우수 신진연구인력의 성장 이력	
연구역량 확보 과정	**연구 실적**
[redacted] - 한양대 자원환경공학과 박사 (2017) - (현) Lanzhou University 연구교수	• 연구실적 : SCIE 15편 (주저자 6편) • 보정IF 0.85, 보정ES 1.3260, FWCI 1.73 • 미세조류 바이오매스의 전례 없는 에너지 변환 효율 달성과 연속적 발효추출공정 플랫폼을 개발하여 전 세계의 환경 및 폐기물 공학, 에너지자원 분야에 방향성을 제시하는 연구자로 성장
[redacted] - 한양대 자원환경공학과 박사 (2019) - (현) Ocean University of China 부교수	• 연구실적 : SCIE 12편 (주저자 9편) • 보정IF 0.89, 보정ES 1.5373, FWCI 4.26 • 미세조류를 활용한 하폐수처리 및 신규 오염물질 제거 연구를 수행하였으며, 새롭게 필요성이 부각되고 있는 의약품 오염수 처리의 연구자로 성장
[redacted] - 한양대 자원환경공학과 박사 (2019) - (현) Hefei University of Tech. Post-Doc.	• 연구실적 : SCIE 10편 (주저자 5편) • 보정IF 1.52, 보정ES 1.5935, FWCI 3.27 • 유기성폐기물의 혐기병합소화를 통한 바이오가스 및 에너지화 연구를 수행하여 신재생 에너지분야의 연구자로 성장
[redacted] - 한양대 자원환경공학과 박사 (2018) - (현) 한국석유공사 대리	• 연구실적 : SCIE 15편 (주저자 9편) • 보정IF 0.44, 보정ES 0.5975, FWCI 0.23 • 저염수 응용 회수증진공법 및 최적화에 대한 연구를 수행하였으며 이를 통해 현재 저류층 및 생산 분야 전문 엔지니어로 성장
[redacted] - 한양대 자원환경공학과 박사 (2018) - (현) 한국석유공사 대리	• 연구실적 : SCIE 12편 (주저자 4편) • 보정IF 0.62, 보정ES 1.0500, FWCI 1.41 • 셰일 저류층의 메커니즘 및 다상 거동에 대한 연구를 진행하여 비전통에너지인 셰일 오일 및 가스에 대한 전문 엔지니어로 성장
[redacted] - 한양대 자원환경공학과 박사 (2019) - (현) 이화여자대학교 Post Doc.	• 연구실적 : SCIE 10편 (주저자 6편) • 보정IF 0.60, 보정ES 1.0934, FWCI 1.57 • CO_2-LPG WAG 및 LPG 주입이 CCS에 미치는 영향에 대한 연구를 수행하며 모델링 연구자로 성장

대표 우수 신진연구인력의 연구 기여

- [redacted]
  - 본 교육연구팀의 소속 학과인 한양대학교 자원환경공학과의 졸업생으로 2016년부터 2017년 까지 3단계 BK21 플러스 신진연구인력으로써 우수한 연구역량을 보여왔으며, Progress in Energy and Combustion Science (IF:26.47), Trends in Plant Science (IF: 14.00), Renewable and Sustainable Energy Reviews (IF: 10.55) 등의 우수한 저널에 논문을 게재한 바 있음
  - 현재 H-index 12, Citations 639 (Web of Science기준) 으로 그 양적/질적 탁월성이 매우 높음을 확인할 수 있음

- 유분 폐기물 FOG (Fat, Oil, and Grease)의 혐기병합소화를 통한 고효율 바이오가스 생산 기술을 개발하여 과도시화에 따른 **폐기물 처리문제 뿐 아니라 CO_2 배출 저감에 기여함**
- 특히 병합혐기소화 공정을 구성하는 미생물계에 대한 군유전체 분석(Next generation sequencing) 등 Meta-omics 기반 최신 생물학적 정보 분석기술을 성공적으로 적용하여 군집 기능에 대한 이해도를 높이고, **바이오 신재생에너지 연구의 발전에 기여함**

• [redacted]
- 총 74편의 SCI 논문을 게재해온 대표적인 우수 신진연구인력으로 현재 본 교육연구팀 소속의 연구교수로 활동하고 있으며, 2017년부터 2019년까지 Post Doc., 연구교수로 재직하면서 36편의 SCI 논문을 게재하였음
- 연구의 질적 우수성 또한 H-index 22, Citations 1493 (Web of Science기준)으로 확인 가능하며, Renewable and Sustainable Energy Reviews (IF: 10.556) 에 게재한 논문이 148회 인용되는 등 교육연구팀 연구역량의 질적 향상에 크게 기여함
- 신재생 에너지 중 하나인 바이오에너지 연구에 있어 바이오매스(미세조류)의 재배, 수확, 전처리 및 바이오 연료로의 전환까지 전 과정의 실질적인 활용에 중점을 두고, 미세조류 지질 대사 및 생산에 대한 이해와 고품질 바이오에너지 생산을 위한 지질 함량 향상을 위해 다양한 접근법과 생명 공학 기술을 적용, 관련 연구에 이바지함
- 바이오매스는 성장 과정에서 온실가스를 저감할 뿐 아니라 폐수를 사용한 배양으로 수처리까지 가능하기에 미세조류 생산 및 바이오에너지 전환은 친환경적이고 경제적으로 실현가능한 전략이며, 위 연구를 통해 **산업/사회문제 해결에 기여함**

우수 신진연구인력 확보 및 지원 계획

우수 신진연구인력의 확보는 본 교육연구팀의 연구역량을 증대시키기 위해서만 아니라 미래의 연구를 이끌어나갈 학문후속세대를 육성하고 더 나아가 과학기술/산업/사회 문제 해결에 기여하는 국가적 인적자원/전문가 양성이라는 측면에서 중요한 의의를 지님. 특히 본 교육연구팀의 비전인 온실가스 배출 저감, 에너지 공급구조 개선, 친환경에너지자원개발에 4차 산업혁명시대에 부응하는 스마트 자원개발기술의 실용화 연구 및 성과 도출을 주도적으로 수행하려함

우수 신진연구인력 확보 계획

• 본 교육연구팀은 BK21 FOUR 사업을 통해 우수 신진인력 2명을 추가로 확보할 계획이며, 이들은 교육연구팀의 교육역량 증대 및 연구역량 수월성 확보에 이바지할 것임
- 우수 신진연구인력 선발을 위한 인사위원회 및 평가위원회 규정을 마련하고, 개방형 공모를 통해 해당분야 연구 업적을 중심으로 엄격하고 공정한 심사 과정을 거칠 예정임
- 친환경에너지자원분야의 우수 외국인 신진연구인력을 확보하여 연구역량 향상과 더불어 대학원생 밀착 지도를 통해 내연을 다지고, 글로벌 네트워크를 확대하고자함
- 4차 산업혁명시대에 부응하는 자원개발기술의 혁신을 위해, 인공지능기술에 대한 학생 지도가 가능하고 스마트기술을 자원개발에 적용해 실용화를 주도할 수 있는 스마트자원개발 전문 신진연구인력을 확보할 계획임

대학원 혁신 방향과 지원계획의 정합성

- 신진연구인력은 대학원생과 함께 학문후속세대로써 연구중심대학으로의 체제 개편에 중심축을 이루며, 한양대는 신진연구인력의 연구전문성 강화를 “학문후속세대지원센터”로 일원화하여 지속가능한 전문성 개발을 지원하고 학문 후속세대의 가치 창출을 목표로 학교의 발전계획을 수립하고 있음
- 본 교육연구팀은 학교와의 연계로 신진연구인력의 연구 지속성, 인건비 안정성, 행정 및 생활 편의성을 지원할 예정이며, 나아가 학문후속세대의 성장을 도모할 계획임

	교육연구팀 (Total-Care E^2)	한양대학교
경제적 대우 및 역량강화	• BK21 FOUR, 연구과제 등의 재원을 활용해 안정적 재정환경 지원 • 성과금 제도로 신진연구인력의 우수한 연구를 보상	• 박사 후 과정에게 최대 3000만원까지 1:1 매칭펀드 지원 (Research Fellow) • 강의 기회 제공으로 강의 능력을 제고하며 증명서 및 강사료 지급 (Teaching Fellow)
인프라제공	• 연구, 실험 공간 및 실험/분석 장비 인프라를 제공 • 전문 행정원의 행정 지원 • 신진연구원과 협업을 할 수 있는 대학원학생과의 조직 구성	• 공동기기원을 통한 정밀분석용 연구기자재 지원 및 방대한 학술DB 제공
생활지원	• 우수 인력에게 사택을 제공하여 안정적인 주거환경 조성 • 외국인 전담 학생을 배정하여 비자문제 해결 및 생활/문화에 걸쳐 지속적 지원	• 제 6, 7 기숙사(1240명 규모)를 글로벌 기숙사로 건립 예정이며, 현재 서울시로부터 인허가 완료 • 외국어가 가능한 RA/TA 및 담당직원 배정
교류지원	• 신진연구인력의 심도 있는 연구 추진 및 실용적 성과 도출을 위해 연구 성과물을 공유하고, 다각적으로 논의하는 교류의 장을 제공 • 에너지 관련기술 해외 선도연구그룹과의 상호교류 지원	• 외국인 신진연구인력 간담회를 지속적으로 개최하고, 해외 동문네트워크를 구축하여 외국인 신진연구인력의 모국 취업을 지원 • 교수, 학생들과의 타운홀 미팅 • 학문후속세대 중심의 연구회 구성 지원

신진연구인력 대우 상세계획

- 4단계 BK21의 신진연구인력 인건비인 월 300만 원을 기본으로 하며, 평가위원회를 구성해 매년 연구 성과를 평가하고 그에 걸맞은 인센티브를 지급하고자 함

논문 게재	• 상위 학술지(JCR기준 분야별 상위 3% 이내 & 전체분야 상위 5% 이내)에 논문 게재 시 50만 원의 연구 장려금 지급
국제 특허	• 국제 특허등록 시 출원 과정 지원 및 한양대학교 산학협력단을 통하여 등록 건당 50만 원의 장려금을 지급할 계획임
연구업적 평가	• 한양대학교의 연구업적 평가지표를 적용하여 A등급 평가를 받을 경우 연 최대 200만 원의 인센티브를 지원하고자함

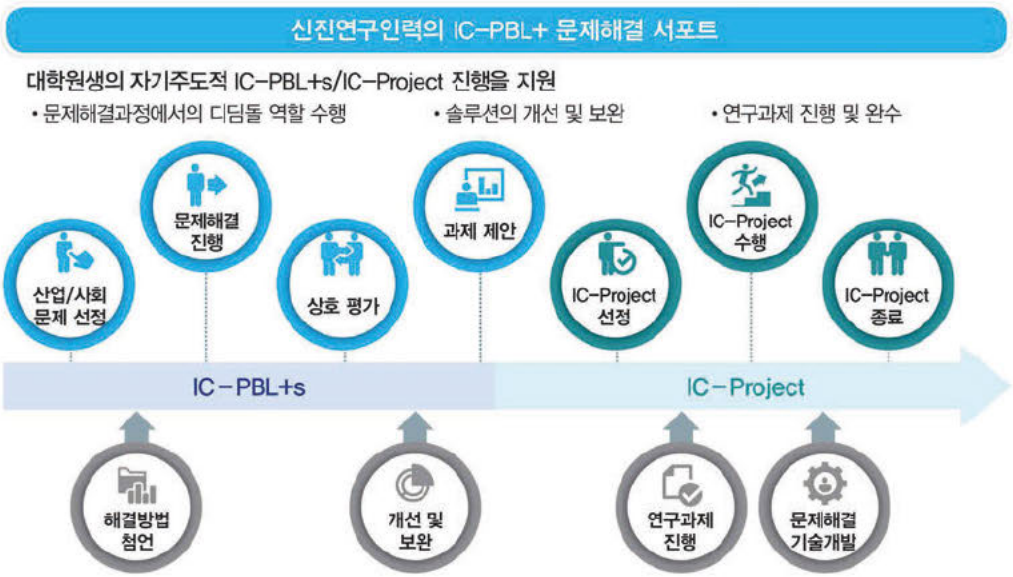
- 평가위원회의 평가 결과를 학과 연구교수 또는 한양대 Research Fellow, Teaching Fellow 채용 시 적극 반영할 계획이며, 계약기간 기준 연간 2편 이상의 논문을 저명 학술지에 주저자로 게재하는 경우 최대 4년까지 계약기간을 보장할 계획임
- 연구 수월성 증진을 위해 신진연구인력의 연구과제 확보를 지원하며, 연구과제의 안정적 수행을 위해 대학원생과 협업할 수 있도록 지원할 예정임

우수 신진연구인력 활용 계획

본 교육연구팀은 우수 신진연구인력을 연구 수월성 증진 측면 외에 스마트기술 융합, IC-PBL+ 고도화 등 다양한 방법으로 활용하여 친환경에너지 스마트개발 분야의 융합형 교육/연구 프로그램을 활성화하고 국제 네트워크를 통해 핵심 의제를 선도하는 글로벌리더를 양성하고자함

IC-PBL+s, IC-Project 서포터

- 산업체, 지역사회와의 연계를 통해 현장의 실제적인 문제를 도출, 해결하는 창의 융합형 연구자 육성 교육프로그램인 IC-PBL+s는 최대한 교수자의 역할을 배제하여 학습자를 자기주도적인 책임자로 성장시키는 교과목임
- 신진연구인력은 이에 서포터역할로써 참여하여 해결과정의 정교함을 더하고 나아가 도출된 결과를 IC-Project로 발전시키는 역할을 수행하려함



교육프로그램 및 연구개발 혁신

- BK21 FOUR에서는 스마트기술 분야의 산학협력중점 신진연구인력을 중심으로 학생들과 스마트자원개발 연구조직을 구성하고 이를 교내 부설 연구소인 **자원개발 연구소와 연계하여 스마트자원개발기술의 완성도 및 실용성을 높이고자함**
- 바이오에너지 분야의 연구혁신을 기반으로 지속가능한 에너지원의 실용화를 위한 중심역할을 수행하고 있는 **에너지혁신연구센터(Energy Innovation Institute, EI²)와의 연계를 통해 우수 신진연구인력의 고용안정성과 연구 지속성을 높이고** 나아가 신재생에너지 분야 연구개발 혁신의 첨병역할을 수행하도록 함

국내외 연구 인프라 및 네트워크 확장

- 신진연구인력의 확보 및 배출은 개개인의 성장을 넘어 연구그룹간의 연결고리 역할을 하며, 이를 통한 국내외 인프라 공유 및 공동연구 활성화는 교육연구팀의 저변 확대와 연구력 증진에 이바지함

5. 참여교수의 교육역량

5.1 참여교수의 교육역량 대표실적

<표 2 8> 교육연구팀 참여교수의 교육역량 대표실적

<table>
<tr><th rowspan="2">연번</th><th>참여교수명</th><th>연구자등록번호</th><th>세부전공분야</th><th>대학원 교육관련
대표실적물</th><th>DOI번호/ISBN/
인터넷 주소 등</th></tr>
<tr><th colspan="5">참여교수의 교육관련 대표실적의 우수성</th></tr>
<tr><td rowspan="2">1</td><td>[redacted]</td><td>[redacted]</td><td>암반공학</td><td>IC-PBL+</td><td>해당시 기입</td></tr>
<tr><td colspan="5">교육연구팀의 팀장인 이[redacted]교수는 2019년 2학기 지하공간공학특론 과목에 IC-PBL+를 접목시켜 강의를 진행함. 해당 과목에서 이승원 교수는 기본적인 기초 이론과 더불어 2019년 사회적 이슈가 되었던 A터널의 변상 문제를 중점으로 강의를 진행 함. 터널 굴착 및 지보방법. 변위 계측 데이터 그리고 유지, 보수, 관리상태 등 상황을 제시하며, 학생들 간 토론을 통해 변상원인을 분석하고 발생한 변상에 대한 대책을 찾아내도록 하고 그에 따른 피드백으로 학생들이 주도적으로 학습을 진행하도록 함. 발생 가능한 실질적 문제 해결 능력을 향상시켰으며 팀워크의 중요성을 가르침. 또한 현업에서 종사하고 있는 렉스엔지니어링 이[redacted]대표와 지윤이엔씨 이[redacted] 대표를 강의에 초청하여 산업에서 실질적으로 사용되는 수치해석 프로그램에 대한 강의 및 실사례 교육, 질의응답을 진행함. 이 강의는 학생들의 업계에 대한 궁금증 해소와 향후 나아가야 할 미래에 대해 생각하는 기회를 제공함.
강의평가 최종점수는 100점(A+)이며 학생들의 평가는 아래와 같이 긍정적임.
- 학생들과의 적극적 소통으로 진행되어 흥미있고 유익함
- 현업 종사하시는 전문가 분들의 다양한 설명과 지도로 공부 방향성을 정립하기 좋았음
- 현장 중심 교육으로 실무에 대해 많이 배울 수 있었음</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2</td><td>[redacted]</td><td>[redacted]</td><td>석유/가스/지하유체
공학</td><td>저서</td><td>ISBN, 9780128167762</td></tr>
<tr><td colspan="5">교육연구팀의 이[redacted] 교수는 석유회수증진기술 분야의 전문가로서 IEA(International Energy Agency)-EOR 의 대한민국 대표자로도 활동하며 석유생산증진기술 발전에 큰 기여를 하고 있음. 또한 세계 최대 규모의 출판사인 Elsevier에서 Hybrid Enhanced Oil Recovery Using Smart Waterflooding의 관련 분야의 저서를 집필하였음. 본 저서는 저염수 및 스마트 워터를 저류층에 주입하는 석유회수증진법에 대한 전반적인 이해를 제공하며 두 공법을 통한 석유 회수율 증가를 설명할 수 있는 정확한 메커니즘을 규명하였음. 또한 저염수 및 스마트 워터를 활용한 기술인 Hybrid Chemical EOR, Hybrid CO2 EOR 및 Hybrid hermal Recovery에 대한 내용을 제시하여 해당 기술 연구 발전에 기여하였음
스마트워터를 이용한 회수증진 기술은 물 이외의 다른 화학물질을 주입하지 않기 때문에 자원개발에 수반하는 환경문제를 줄일 수 있으며 타 회수증진기술보다 친환경적인 기술임. 이러한 점에서 본 저서는 교육연구팀의 목적인 친환경 에너지자원에 대한 다양한 연구 및 에너지자원 개발 분야 리더 양성의 필요에 부합하며 학생들 교육 자료로 활용되고 있음</td></tr>
</table>

6. 교육의 국제화 전략

6.1 교육 프로그램의 국제화 현황 및 계획

① 교육 프로그램의 국제화 현황 및 계획

교육연구팀 국제화 현황

대학원 강의 / 학위논문 외국어 비율 현황 : 70% / 100%

- 본 교육연구팀 교수들의 2020-2021 교육과정에서 **외국어 강의 비율은 전체 16과목 중 11과목으로 약 70%에 해당**하며 학생의 전공 영어 습득 기회를 제공함
- 이 70%의 영어 전용 비율은 외국인 대학원생이 학과 전공으로 졸업 이수학점을 확보할 수 있도록 여건을 제공하며 외국인 대학원생 유치에 많은 기여를 하고 있음
- '자원환경공학논문연구' 강의는 교육연구팀 학과의 졸업필수로, 대학원생의 국제 논문 작성에 대한 전문성 증대 및 글로벌 감각을 갖춘 인재양성에 큰 기여를 하고 있음
- 교육연구팀 참여교수 지도학생의 최근 3년 학위논문 영어 작성비율은 2017년 1편/1편, 2018년 6편/6편, 2019년 5편/5편으로 **모든 학위 논문이 영어로 작성됨(100%)**

우수 해외 대학 및 기업과의 교류 실적

- 본 교육연구팀은 교육, 연구의 다각화를 위해 국제적 공동연구를 추진하고자 친환경에너지자원 관련 우수 해외 대학, 산업체 및 연구소와의 MOU 체결을 해왔음
- 교육 프로그램 국제화를 위한 MOU 체결 실적은 학교 5건, 산업체 1건 연구소 2건임
- MOU 체결 해외 대학, 산업체 및 연구소의 국가들은 미국, 중국, 캐나다, 우즈베키스탄, 몽골 등의 자원 부국들로 **이 국가들과의 MOU는 현장중심 교육에 있어 큰 기여를 함**

<교육연구팀의 MOU 체결 현황 및 향후 체결 계획>

- 해외 우수 석학 및 현장 전문가의 강연을 통해 교육연구팀 소속 학과 대학원생들의 전문성을 제고하고 국외 친환경 에너지자원개발 산업과 시장에 대한 최신정보 획득할 수 있었음.
- 최근 3년간(2017. 3. ~ 2020. 2.) 총 11건 해외 우수 석학 및 글로벌 현장 전문가를 초청하였음

외국인 연구자(전임교수, 초빙교수, 객원교수 등 포함) 현황

- 현재('20년 2월) 본 교육연구팀의 외국인 전임교수 비율은 학과 기준 10%(1명/10명)이며 팀 기준 25%임(1명/4명) : Sanjay Prabhu Govindwar(Web of Science 기준 H-index 44) - '자원환경공학논문연구' 강의 → 학생들의 연구 전문성 및 국제화 감각 증대
- 최근 3년 (2017 ~ 2019년), 본 교육연구팀에서 Shouvik Saha 등 9명의 박사 후 인력을 고용했으며 동기간, 이들은 총 40건의 논문을 게재하였음

우수 외국인 학생 유치 현황

- 현재('20년 2월) 교육연구팀 교수의 외국인 학생은 2명(박사과정 1, 석박사 통합과정 1)이 재학 중이며 이는 전체 학생의 11%임(2명/18명)
- 최근 3년 (2017년 ~ 2019년) 동안 박사 2명, 석·박사 통합 2명, 석사 1명 총 5명의 외국인 유학생을 확보하였으며 2명의 외국인 박사를 배출함
- 본부의 외국인 학생 지원 프로그램(1:1 어학 튜터링, 한양국제장학금 등) 연계 지원

교육연구팀 국제화 계획

(1) 교육 / 시스템 국제화	• 교육연구팀 대학원 강의 80% 2027년까지 영어전용으로 변경 • 석박사 학위 논문의 외국어 작성 비율 유지를 통해 학생들의 외국어 역량 강화 및 글로벌 인재 양성 • 해외학자(전임교수 및 박사 후 인력) 및 외국인 학생과 한국 학생의 1:1 상호 멘토링 시스템을 구축하여 글로벌 인재 양성 • 연 1회 이상 장·단기 해외 프로그램 지원을 통한 국제적 연구능력 함양
(2) 외국인 연구자 지원 시스템 고도화	• 외국인교수 지원: 학과 전임교원의 10% 수준으로 지속 유지. 외국인 연구자 교육 진행, 외국인 교수 전담 연구부서, 외국인 RA/TA 배정, 사택 제공 등 해외학자 지원 • 외국인 저명학자 논문 공동지도: MOU협약을 적극 활용하여 국제 저명학자를 대학원생 논문 지도 Committee로 초빙
(3) 외국인 학생 지원, 관리시스템 구축	• 외국인 학생 모집 및 지원 프로그램 : 학과 영문 홈페이지 제작, 해외기관 설명회, 랩 인턴쉽 등 모집 프로그램과 Leaders-RA+, 한양국제장학금, 생활관, 1:1 어학 튜터링 등 생활 지원 프로그램(Total Care-E^2)을 통한 외국인 학생 모집 • 외국인 학생의 한국 생활 적응을 위한 학과 내 한국 학생 1:1 멘토링 시스템 구축(어학, 학업, 생활, 문화 등 운영)
(4) 연구 국제화 위한 MOU 체결	• 교육연구팀 소속 교수진이 보유한 인적 네트워크를 활용하여 공동연구 및 대학원생 단기 또는 장기 파견 등과 같은 인적 교류에 대한 MOU 체결 및 국제 연구자 교류 세미나 프로그램 BC-speaker 추진 • 계획 대상 : (1) University of Illinois at Urbana-Champaign, (2) Texas A&M University, (3) New Mexico Tech, (4) Ove Arup & Partners, (5) New Mexico Petroleum Research Recovery Center, (6) University of Minnesota at Duluth, (7) King Fahd University of Petroleum and Minerals

② 대학원생 국제공동연구 현황과 계획

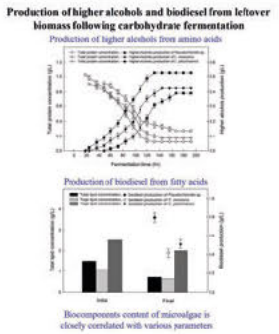
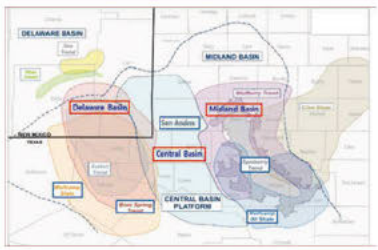
<표 2-9> 교육연구팀 참여교수 지도학생(재학생 및 졸업생) 국제공동연구 실적

연번	공동연구 참여자			상대국/소속기관	연구주제	연구기간 (YYYYMM-YYYYMM)
	교육연구팀		국외 공동연구자			
	대학원생	지도교수				
1	[redacted]	[redacted]	[redacted]	캐나다/Computer Modeling Group Ltd.	UAE 탄산염암 저류층 생산증진 기술개발	9일, (201712-201712, 종료)
2	[redacted]	[redacted]	[redacted]	캐나다/Computer Modeling Group Ltd.	CMG STARS 소프트웨어 시뮬레이션	5일, (201704-201704, 종료)
3	[redacted]	[redacted]	[redacted]	우즈베키스탄/Institute of Mineral Resources	유용자원 회수연구 및 기술 개발	3년, (201805-202104, 진행 중)
4	[redacted]	[redacted]	[redacted]	캐나다/Polytechnique Montréal	최신 분석 기법을 이용한 자원 회수를 위한 응용연구	2개월, (201904-201905, 종료)

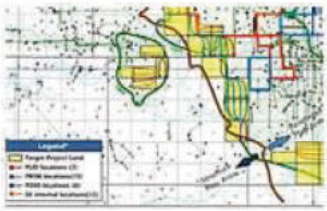
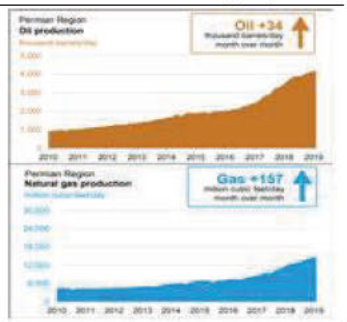
6.1 교육 프로그램의 국제화 현황 및 계획

② 대학원생 국제공동연구 현황과 계획

대학원생의 국제공동연구 현황

연번	연구내용 및 기타사항	
1	• 2017년 12월 2명의 학생은 CMG 사의 GEM 소프트웨어를 사용한 Low Salinity Water Flooding 연구 프로그램에 참여함 • 치밀 및 전통 저류층 시뮬레이션 소프트웨어를 활용한 생산증진 기술개발 및 실증연구	
2	• 2017년 4월 2명의 학생은 CMG 사의 STARS 소프트웨어를 사용한 Chemical EOR Simulation 연구 프로그램에 참여함 • Chemical EOR 시뮬레이션을 통한 에너지자원 생산증진 기술개발 및 실증 연구	
3	• 고부가가치 바이오매스를 이용한 바이오에너지 회수 효율 향상 연구 → SCI (IF 6.67) 게재 • 중국 Lanzhou university와 최신 연구동향 공유 및 논문작성 지도로 지속적 교류 중 • 논문 제목 : “Biocomponent-based microalgal transformations into biofuels during the pretreatment and fermentation process.” Bioresource Technology (2020)	
4	• 인공지능 / 딥러닝 기법을 적용한 미국 Permian 분지인 비전통유가스전의 스마트 관리기술 개발 연구를 New Mexico Tech, Strata Production Company와 소속 학과에서 공동연구 중에 있음 • 스트라타 사가 전체 연구비용중 10만 달러를 부담하기로 한 협약을 체결	
5	• 바이오가스 생산성을 위한 미세조류 활용 연구 • Lanzhou University의 Marwa 연구교수와 지속적 연구 교류로 SCI 논문(IF 6.67) 1건 게재 진행 중 • “Energy-efficient pretreatments for the enhanced conversion of microalgal biomass to biofuels.” Bioresource Technology (2020)	
6	• 우즈베키스탄 Institute of Mineral Resources와 산업문제 해결 및 유용자원회수 공동연구 • 우즈베키스탄 Almalyk 광산현장 시찰 및 플랜트 설계를 위한 대책 논의 • 지질, 자원, 신규기술 등에 대한 컨퍼런스 / 워크숍 개최	

대학원생의 국제공동연구 계획

연번	연구내용 및 기타사항	
1	상대국 / 소속기관 : 캐나다 / Computer Modeling Group(CMG)	
	• 대표적인 저류층 시뮬레이션 기술 개발 기업인 CMG에서는 자체적으로 연구 프로그램을 진행 중에 있으며, 본 교육연구팀에서는 주기적으로 방문하여 프로그램에 참가하고 있음 • 계획 - CMG 연구 프로그램 참여를 통해 비전통에너지인 셰일 저류층모델링과 같은 실제 현장에서 사용되고 있는 시뮬레이션 기법에 대한 공동 연구를 진행할 예정임	CMG COMPUTER MODELLING GROUP LTD.
2	상대국 / 소속기관 : 캐나다 / MKS Investment Ltd.	
	• 2018년 유가스개발 컨설팅 및 투자 기업인 MKS Investment Ltd.와 MOU 체결 • 계획 - MKS Investment Ltd. 보유 유가스전 현장교육 계획 - 현장 자료 기반 유가스전 평가/분석 IC-PBL+ 교육 - 문상호 대표 초청강연을 통한 학생들 전문성 증진	
3	상대국 / 소속기관 : 미국 / New Mexico Tech, Strata Production Company	
	• 비전통 유가스전의 비중이 매우 높은 Permian 분지는 인공지능/딥러닝 등 스마트자원개발과의 융합적 접근 기법이 활발하게 적용되고 있음 • 현재 교육연구팀 소속 학과와 공동연구를 진행중 • 계획 - 뉴멕시코 공대와 스트라타 사와 MOU 체결 - 공동연구 지속 유지, 퍼미안 분지 유가스전 현장교육 및 연 1회 워크샵 개최	
4	상대국 / 소속기관 : 우즈베키스탄 / Institute of Mineral Resources	
	• 2018년 우즈베키스탄 광물자원연구소와 MOU 체결 • 계획 - ICT/IoT 기반 빅데이터/인공지능 기술을 활용한 최적화된 고효율 지능형 공정 기술 개발 연구 - 파일럿 플랜트인 Almalyk 광산 운용 현장교육	
5	상대국 / 소속기관 : 다국적 / Ove Arup & Partners(OAP)	
	• 글로벌 종합 엔지니어링 사 OAP는 런던, 뉴욕, 홍콩 등 전 세계적으로 오피스 보유(기본 근무 언어 : 영어) • 매년 교육연구팀장인 이승원 교수에게 인턴 후 정직전환 또는 인턴 수행 학생 요청 • 계획 - 학생들의 현장실무 역량강화, 글로벌 인재 양성을 위한 인턴제도 적극 활용	ARUP

Ⅲ. 연구역량 영역

1.2연구업적물

① 참여교수 대표연구업적물의 우수성

<표 3 2> 최근 5년간 참여교수 대표연구업적물 실적

<table>
<tr><th rowspan="2">연번</th><th>참여교수명</th><th>연구자 등록번호</th><th>이공계열/ 인문사회 계열 (간호/ 보건/ 체육/ 기타 분야에 한함)</th><th>세부 전공 분야</th><th>실적 구분</th><th>대표연구업적물 상세내용</th><th>증빙</th></tr>
<tr><td colspan="7">대표연구업적물의 우수성</td></tr>
<tr><td rowspan="8">1</td><td rowspan="8">[redacted]</td><td rowspan="8">[redacted]</td><td rowspan="8">이공계열</td><td rowspan="8">암반공학</td><td rowspan="8">저널논문</td><td>① [redacted]</td><td></td></tr>
<tr><td>② Numerical model for shaley rock masses displaying long-term time dependent deformation (TDD) behavior and its application to a pedestrian tunnel constructed under Lake Ontario</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>③ KSCE Journal of Civil Engineering</td></tr>
<tr><td>④ 21(7), 2919</td></tr>
<tr><td></td><td>URL입력</td></tr>
<tr><td>⑥ 2017</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>⑦ 10.1007/s12205-017-1359-2</td></tr>
<tr><td colspan="7">교육연구팀 팀장 이[redacted]교수는 캐나다 대표도시 토론토의 주 공항인 Billy Bishop의 보행자 터널 개발을 성공적으로 완료하며 지역의 성장이 정체되어 있는 사회적 문제를 해결 함, 이에 캐나다 수상 Stephen Harper로부터 감사인사와 함께 국제터널공학회로부터 수여되는 2014년 “Specialist Tunnelling Project of the Year”에 선정되고 수상함.
캐나다 온타리오 주의 남부지역은 전세계 어느 지역보다 비정상적으로 높은 수평응력을 가졌고 이 지역의 셰일지반이 보이는 시간 의존적 변형 작용으로 과거 여러 지하 개발 사업들이 완공되어 단기간 사용 후 사용이 불가하도록 과대 변형이 일어나고 최종적으로 구조물이 붕괴하는 상황이 발생함. 이는 캐나다 전체의 메인허브인 토론토의 사회적 문제로 이의 해결을 의뢰받은 이승원 교수는 기존에 사용되던 알고리즘이 아닌 새로운 장기적 시간 의존 변형 예측 알고리즘을 실험과 수치해석모델을 통해 개발함. 이를 건설에 적용하여 시간의존적 변형 예측 결과와 계측 및 모니터링으로 확인한 건설 중 실제 움직임과 비교하며 일련의 수치 분석 및 시공 순서를 구축함. 이러한 과정을 통해 성공적으로 새로운 공항 및 지하공간 개발을 완료하여 토론토가 지닌 사회적 산업적 문제 해결에 이바지 함.</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th rowspan="2">연번</th><th>참여교수명</th><th>연구자 등록번호</th><th>이공계열/ 인문사회계열 (간호/ 보건/ 체육/ 기타 분야에 한함)</th><th>세부 전공 분야</th><th>실적 구분</th><th>대표연구업적물 상세내용</th><th>증빙</th></tr>
<tr><td colspan="7">대표연구업적물의 우수성</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2</td><td rowspan="7">[redacted]</td><td rowspan="7">[redacted]</td><td rowspan="7">이공계열</td><td rowspan="7">암반공학</td><td rowspan="7">저널논문</td><td>① [redacted]</td><td></td></tr>
<tr><td>② Finite Element Steady-State Vibration Analysis Considering Frequency-Dependent Soil-Pile Interaction</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>③ Applied Sciences-Basel</td></tr>
<tr><td>④ 9(24), 5371</td></tr>
<tr><td></td><td>URL입력</td></tr>
<tr><td>⑥ 2019</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>⑦ 10.3390/app9245371</td></tr>
<tr><td colspan="7">교육연구팀 팀장인 이[redacted] 교수는 본 논문을 통해 전체 스펙트럼 정상 상태 진동 솔루션을 제공하여 기초 구조 설계의 신뢰성을 높이는데 기여함. 원자력 발전소를 비롯하여 다양한 발전소를 구성하는 핵심장비들의 기초 구조물 진동반응에 대한 평가는 구조적 강도와 질량뿐만 아니라 토양 기초 구조 상호 작용의 정도에 의해 크게 영향을 받음. 더욱이, 말뚝 시스템에 의해 지지되는 발전 장비의 기초구조물에 대한 진동 성능은 토양-파일 역학 강성 및 감쇠에 크게 좌우되는데, 이는 기계가 작동하는 속도 범위 내에서 본질적으로 가변적임. 이러한 중요성에도 불구하고 이를 제대로 평가할만한 이론이 부재한 상황에서 세계적 엔지니어링 회사 Worley의 에너지 발전부서와 본 연구교육팀 팀장인 이승원 교수가 공동으로 연구를 진행하여 효과적인 토양-파일 강성 및 감쇠를 평가하는 새로운 방법을 개발함. SAP2000을 사용한 일련의 유한 요소 (FE) 시간 이력 및 정상 상태 분석을 수행하여 대형 압축기 기초 및 증기 / 가스 터빈과 같은 장비 기초의 진동 성능에 대한 동적 토양-파일 기반 상호 작용의 영향을 조사했으며 기초. 주파수 의존 강성은 일반적으로 주파수 독립적 강성보다 높은 것으로 추정되므로 진동 계산에 주는 영향을 분석함. 이 논문을 통해 전체 스펙트럼 정상 상태 진동 솔루션을 제공함.</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th rowspan="2">연번</th><th>참여교수명</th><th>연구자 등록번호</th><th>이공계열/ 인문사회계열 (간호/ 보건/ 체육/ 기타 분야에 한함)</th><th>세부 전공 분야</th><th>실적 구분</th><th>대표연구업적물 상세내용</th><th>증빙</th></tr>
<tr><td colspan="7">대표연구업적물의 우수성</td></tr>
<tr><td rowspan="2">3</td><td rowspan="6">[redacted]</td><td rowspan="6">[redacted]</td><td rowspan="6">이공계열</td><td rowspan="6">암반공학</td><td rowspan="6">저널논문</td><td>① [redacted]</td><td></td></tr>
<tr><td>② An analysis of excavation cycle time for Korean tunnels and the comparison with the Standard of Construction Estimate</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>③ Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association</td></tr>
<tr><td>④ 21(1), 137</td></tr>
<tr><td></td><td>URL입력</td></tr>
<tr><td>⑥ 2019</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>⑦ 10.9711/KTAJ.2019.21.1.137</td></tr>
<tr><td colspan="7">자원 및 지하공간 개발에 있어 기존에 활용하던 개발기간 예측 기법을 발전시키기 위해 교육연구팀 팀장인 이승원교수는 지하공간 중 하나인 터널의 개발기간 예측 모델을 구축함.
터널의 공사 시간 및 비용의 예측은 터널공사를 계획하는데 있어 가장 기본적인 사항이며, 우리나라에서는 결정론적 방법에 따라 체계화된 표준품셈으로 계산하고 있음. 본 연구에서는 국내 터널 공사기간 또는 사이클타임의 신뢰성 있는 예측모델 구축이라는 장기적인 목표를 위하여, 국내 터널 3개의 현장에 대한 터널굴착시간을 세부공종별로 분석하고, 터널설계 시 공사기간을 추정하는 공식적 방법인 표준품셈에서의 사이클타임과 비교함. 그 결과, 실제 굴착 사이클타임은 표준품셈대비 3개의 터널 각각 50%, 7%, 31% 수준의 차이를 보였고, 특히 숏크리트와 록볼트 타설 시간에서는 각각 171%, 88%로 매우 큰 차이를 보임. 이에 대한 가장 큰 이유는 표준품셈은 주된 작업공종별로만 작업시간이 분류되어 있어 터널 작업자들의 숙련도, 각종 시공장비의 종류 및 사양, 또는 터널굴착작업에서 발생하는 다양한 시공조건을 고려하고 있지 않기 때문으로 판별 됨. 기존보다 근접한 현실을 반영한 본 예측 모델은 자원 및 지하공간 개발에 적용가능하며 이는 개발기간 예측에 있어 높은 신뢰도를 확보할 것으로 기대 됨.</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th rowspan="2">연번</th><th>참여교수명</th><th>연구자 등록번호</th><th>이공계열/ 인문사회계열 (간호/ 보건/ 체육/ 기타 분야에 한함)</th><th>세부 전공 분야</th><th>실적 구분</th><th>대표연구업적물 상세내용</th><th>증빙</th></tr>
<tr><td colspan="6">대표연구업적물의 우수성</td></tr>
<tr><td rowspan="8">4</td><td rowspan="7">[redacted]</td><td rowspan="7">[redacted]</td><td rowspan="7">이공계열</td><td rowspan="7">석유/가스/지하유체공학</td><td rowspan="7">저널논문</td><td>① [redacted]</td><td></td></tr>
<tr><td>② Evaluation of CO2 Injection in Shale Gas Reservoirs with Multi-component Transport and Geomechanical Effects</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>③ Applied Energy</td></tr>
<tr><td>④ 190, 1195-1206</td></tr>
<tr><td></td><td>URL입력</td></tr>
<tr><td>⑥ 2017</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>⑦ 10.1016/j.apenergy.2017.01.047</td></tr>
<tr><td colspan="7">본 논문이 출판된 Applied Energy는 8.426의 영향력지수 (IF)를 갖는“ENGINEERING, CHEMICAL”분야의 138개 저널 중 5위 저널임.
저류층 대상 기존 CO2 주입 공법 연구는 multi-component transport와 geomechanical effects를 고려하지 않았음. 본 논문은 셰일 저류층에 CO2 주입 시 multi-contact transport와 geochemical effect를 고려한 새로운 셰일 가스 모델을 생성하였으며 모델을 사용해 CO2 주입 공법이 가스 회수증진 및 CO2의 지중 저장에 미치는 효과를 분석하였음. CO2 저장에만 초점을 맞춘 기존의 CCS는 경제성을 확보할 수 없다는 단점이 있지만 포집한 CO2를 저류층에 주입하여 셰일가스를 생산함과 동시에 CO2를 저장하는 CCUS는 가스 회수증진의 경제성을 확보하는 동시에 CCS 효율을 높여 온실가스를 감축시켜 기후변화 대응 방안이 될 수 있음. 따라서 본 논문은 에너지 안보뿐만 아니라 기후변화를 고려한 연구로 교육연구팀의 비전 및 목표와의 부합성이 뛰어남. 또한 세계적으로 미개척된 분야였던 셰일 가스를 추출 및 이산화탄소 격리에 대한 연구를 통해 CCS 연계 가스 회수증진 분야에 큰 기여를 하였음.</td></tr>
</table>

연번	참여교수명	연구자 등록번호	이공계열/인문사회계열 (간호/보건/체육/기타 분야에 한함)	세부 전공 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	증빙
	대표연구업적물의 우수성						
5	[redacted]	[redacted]	이공계열	석유/가스/지하유체공학	저널논문	① [redacted]	
						② Effects of asphaltene deposition-derived formation damage on three-phase hysteretic models for prediction of coupled CO2 enhanced oil recovery and storage performance	
						③ Journal of Petroleum Science and Engineering	
						④ 172, 988-997	
							URL입력
						⑥ 2019	
						⑦ 10.1016/j.petrol.2018.09.006	
	본 논문을 게재한 학술지는 Journal of Petroleum Science and Engineering으로, IF 2.886의“ENGINEERING, PETROLEUM”분야 2위 학술지임. 석유공학 분야의 저명한 국제 학술지에 전공 분야의 우수한 논문을 게재하였음을 보여줌. 유전에서 아스팔텐이 압력, 온도 또는 오일 조성 변화로 인해 오일로부터 침전되면 공극률과 투과도를 감소시키고 습윤도의 변화를 야기하여 저류층 생산에 영향을 미침. 본 연구는 아스팔텐 침전의 메커니즘에 대해서 연구하고 구성 성분을 고려한 시뮬레이션을 기반으로 아스팔텐 퇴적과 관련된 문제를 완화시킬 수 있는지에 대한 연구를 체계적으로 진행하였음. 흡착, 공극 통로 막힘 현상, 암석의 젖음성 변화 등을 포함하는 새로운 아스팔텐 탈착 모델을 생성하였으며, 아스팔텐 침전 현상이 CO2-EOR 에 미치는 영향뿐만 아니라, CO2 지중 저장에 미치는 영향 또한 보여주었음. 전 세계적으로 각광받고 있는 기술인 CO2-EOR 연계 CCS인 Carbon Capture Utilization, and Storage(CCUS)를 연구함으로써, 오일 생산성 증진 및 CO2 동시 저장 기술의 발전을 선도하여 기후변화와 같은 환경 문제를 고려한 연구라는 의의가 있음.						

<table>
<tr><th>연번</th><th>참여교수명</th><th>연구자 등록번호</th><th>이공계열/인문사회계열 (간호/보건/체육/기타 분야에 한함)</th><th>세부 전공 분야</th><th>실적 구분</th><th>대표연구업적물 상세내용</th><th>증빙</th></tr>
<tr><td></td><td colspan="7">대표연구업적물의 우수성</td></tr>
<tr><td rowspan="2">6</td><td>[redacted]</td><td>[redacted]</td><td>이공계열</td><td>석유/가스/지하유체공학</td><td>저널논문</td><td>① [redacted]</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="6">② Incorporation of Multi-Phase Solubility and Molecular Diffusion in a Geochemical Evaluation of the CO2 Huff-n-Puff Process in Liquid-Rich Shale Reservoirs
③ Fuel
④ 247, 77-86

⑤ 2019
⑦ 10.1016/j.fuel.2019.03.033</td><td>URL입력</td></tr>
<tr><td colspan="8">본 논문이 출판된 Fuel는 5.128의 영향력지수(IF)를 갖고 있으며,“ENGINEERING, CHEMICAL”분야에서 138개의 저널 중 13위에 해당하는 저명한 저널로 평가받음.
세계적으로 CO2 huff-n-puff 공법에 대한 연구는 기존에도 활발히 진행되었지만, 복잡한 유체 유동에 대한 명확한 이해가 부족하였음. 본 논문은 탄산염이 풍부한 셰일 오일 저류층에 CO2 huff-n-puff 공법 적용 시 유체 유동에 영향을 미치는 인자(aqueous solubility, molecular diffusion 및 geochemistry)를 분석하여 저류층 모델을 생성하였으며, 이를 통해 복잡한 셰일 오일 저류층에서의 유체 유동을 예상하였음. 또한 시뮬레이션을 사용해 본 인자가 셰일 오일 회수율과 CO2 저장 효과에 미치는 영향도에 대한 연구를 진행하였음. Aqueous solubility, molecular diffusion 및 geochemistry와 같은 인자를 고려한 모델링을 통해 탄산염이 풍부한 셰일 저류층대상의 오일 회수율 및 CO2 지중 저장에 대한 명확한 평가 기준을 제시하였음. 본 논문은 석유 가스 분야의 산업 실무자뿐만 아니라 저류공학 분야의 학자 및 대학원생에게도 매우 유용함.</td></tr>
</table>

연번	참여교수명	연구자 등록번호	이공계열/인문사회계열 (간호/보건/체육/기타 분야에 한함)	세부 전공 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	증빙
	대표연구업적물의 우수성						
7	[redacted]	[redacted]	이공계열	유기성폐기물처리	저널논문	① [redacted]	
						② Acetoclastic Methanogenesis Led by Methanosarcina in Anaerobic Co-Digestion of Fats, Oil and Grease for Enhanced Production of Methane	
						③ Bioresource Technology	
						④ 272, 351	
							URL입력
						⑥ 2019	
						⑦ 10.1016/j.biortech.2018.10.047	
	해당 논문이 게재된 Bioresource Technology는“AGRICULTURAL ENGINEERING”분야에서 1위를 기록하는 영향력 있는 논문집으로 본 논문은 우수성을 인정받아 현재 30회 피인용 실적(Scopus 기준)을 기록하고 있음. 본 연구는 Fats, Oil and Grease (FOG)을 첨가한 혐기병합소화로 인한 바이오가스 생성에 대해 분석하여 Methanosaeta와의 상관관계를 도출하였고, 이러한 연구 결과로부터 고강도 유기 공급 원료의 Anaerobic Digestion (AD) 공정에서 복잡한 미생물 군집 기능에 대한 더 나은 이해를 제공함. 본 연구를 통해 본 교육연구팀의 비전인 친환경 에너지 자원 스마트개발 연구의 수월성을 확보하고 활발한 후속연구를 수행 중에 있음. 특히 해당 논문은 중국의 Lanzhou University의 연구진과 함께 공동으로 수행하여 국제적 기술력을 갖추고 연구의 수월성을 확보하여 질적으로 우수한 성과를 보였음. 본 교육연구팀의 연구의 질을 향상하고 전문성 보강을 위해 International research collaboration을 형성하였으며 이를 통해 본 교육연구팀의 목표 중 하나인 연구자간의 글로벌 인적교류의 수월성을 확보하였음.						

<table>
<tr><th>연번</th><th>참여교수명</th><th>연구자 등록번호</th><th>이공계열/ 인문사회계열 (간호/ 보건/ 체육/ 기타 분야에 한함)</th><th>세부 전공 분야</th><th>실적 구분</th><th>대표연구업적물 상세내용</th><th>증빙</th></tr>
<tr><td></td><td colspan="7">대표연구업적물의 우수성</td></tr>
<tr><td rowspan="2">8</td><td rowspan="6">[redacted]</td><td rowspan="6">[redacted]</td><td rowspan="6">이공계열</td><td rowspan="6">유기성폐기물처리</td><td rowspan="6">저널논문</td><td>① [redacted]</td><td></td></tr>
<tr><td>② Biological Conversion of Amino Acids to Higher Alcohols</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>③ Trends in Biotechnology</td></tr>
<tr><td>④ 37(8), 855</td></tr>
<tr><td></td><td>URL입력</td></tr>
<tr><td>⑥ 2019</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>⑦ 10.1016/j.tibtech.2019.01.011</td></tr>
<tr><td colspan="7">해당 논문이 게재된 Trends in Biotechnology는 JCR기준 IF 13.747 (SNIP 2.63, SJR 3.482),“BIOTECHNOLOGY & APPLIED MICROBIOLOGY”분야의 상위 2%이내의 저널이며, 본 논문은 현재 4회 피인용 실적(Scopus 기준)을 기록하고 있음. 본 연구에서는 고부가 물질인 고급알코올 생산을 위해 아미노산 Bioprocessing 에 관련된 메커니즘을 규명하고 질소원인 아미노산 첨가로 인한 에너지원 생성 효과를 설명하였음. 더하여, 세 가지 미생물에 대한 유전 공학 기술을 통해 고급알코올 생산성을 개선하는 가장 최신의 접근법에 대해서 논의하였으며 바이오 연료 생산에서의 최대 활용을 위한 가용성 및 접근성을 강조하였고 상업적 생산을 위한 연구의 필요성과 방향성을 제시하였음.
본 연구는 미국의 Biotechnology Institute의 연구진과 함께 공동으로 수행하여 세계적 수준 연구의 수월성을 확보하였으며 창의적이고 혁신적인 연구결과를 나타냄. 국제적 공동연구를 통해 International research collaboration을 형성하고 본 교육연구팀의 후속 학문세대의 연구의 질을 향상시키고 전문성을 보충하는데 기여하였음.</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th>연번</th><th>참여교수명</th><th>연구자 등록번호</th><th>이공계열/ 인문사회계열 (간호/ 보건/ 체육/ 기타 분야에 한함)</th><th>세부 전공 분야</th><th>실적 구분</th><th>대표연구업적물 상세내용</th><th>증빙</th></tr>
<tr><td colspan="8">대표연구업적물의 우수성</td></tr>
<tr><td rowspan="7">9</td><td rowspan="6">[redacted]</td><td rowspan="6">[redacted]</td><td rowspan="6">이공계열</td><td rowspan="6">유기성폐기물처리</td><td rowspan="6">저널논문</td><td>① [redacted]</td><td></td></tr>
<tr><td>② Microbial acclimatization to lipidic-waste facilitates the efficacy of acidogenic fermentation</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>③ Chemical Engineering Journal</td></tr>
<tr><td>④ 358, 188</td></tr>
<tr><td></td><td>URL입력</td></tr>
<tr><td>⑥ 2019</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>⑦ 10.1016/j.cej.2018.09.220</td></tr>
<tr><td colspan="8">해당 논문이 게재된 Chemical Engineering Journal은 JCR기준 IF 8.355 (SNIP 1.941, SJR 2.066),“ENGINEERING, ENVIRONMENTAL”분야에서 2위의 저널로 저명하며, 본 논문은 현재 9회 피인용 실적(Scopus 기준)을 기록하고 있음. 본 연구는 Fats, Oil and Grease (FOG)와 같은 지질 폐기물을 산성 발효에서의 더 높은 바이오 에너지 수율을 달성하기 위한 순차적 증분의 효과를 분석하였음. 이러한 연구 결과로부터 FOG에 순응된 Microbiome을 이용한 수소 생산의 개선과 고농도의 유기물의 동시 생산이 산성 발효의 큰 효능을 촉진할 수 있음을 제안함. 이는 폐기물 처리 및 바이오 에너지원 창출과 같이 사회문제를 동시에 해결하는 연구로 실용화 여부가 주목되는 사회적 난제 해결형 연구로 평가되고 있음. 인도의 연구기관 CSIR Central Mechanical Engineering Research Institute, Theragen ETEX Bio Institute와 공동연구한 결과물로 국제적 연구의 수월성을 확보하고, 연구의 질적 향상과 전문성 보충을 위해 상호 연구 협력관계를 형성하여 글로벌 네트워크 구축에 기여함.</td></tr>
</table>

연번	참여교수명	연구자 등록번호	이공계열/인문사회계열 (간호/보건/체육/기타 분야에 한함)	세부 전공 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	증빙
	대표연구업적물의 우수성						
10	[redacted]	[redacted]	이공계열	오염토양/지하수복원	저널논문	① [redacted]	
						② Whole Conversion of Microalgal Biomass into Biofuels through Successive High-Throughput Fermentation	
						③ Chemical Engineering Journal	
						④ 360, 797	
							URL입력
						⑥ 2019	
						⑦ 10.1016/j.cej.2018.12.042	
	해당 논문이 게재된 Chemical Engineering Journal은 JCR기준 IF 8.355 (SNIP 1.941, SJR 0.108),“ENGINEERING, ENVIRONMENTAL”분야에서 2위(상위 3%이내)의 저널이며, 본 논문은 혁신성을 인정받아 현재 13회 피인용 실적(Scopus 기준)을 기록하고 있음. 본 연구는 미세조류 바이오매스 기반 발효공정별 전처리 발효 추출 원천기술 및 공법을 개발 적용하여 바이오매스 구성성분(탄수화물, 단백질, 지질)을 최대한 활용한 고급 바이오에너지원 생산의 독립 공정을 확립하였고, 친환경적인 탄수화물-단백질-지질의 전 과정 연속 에너지 발효 추출생산 시스템을 개발하였음. 단백질 동시 가수분해 발효공정이 새로이 보고되는 신개념인 동시에 바이오 전처리 공정으로 단백질의 바이오에너지 전환 연구 분야로 가치가 있으며, 미세조류 이용 전과정 발효공정은 처음 학계에 보고된 신기술로 신재생 에너지 분야의 새로운 패러다임을 형성하였음. 국내외 새롭게 시도되는 도전적인 연구결과들을 통해 전 세계의 환경 및 폐기물 공학, 에너지자원 분야에서 방향성을 제시한 혁신적인 논문으로 평가되고 있으며 본 교육연구팀의 핵심가치인 과학기술 문제 해결형 연구 개발의 수월성을 확보함.						

<table>
<tr><th>연번</th><th>참여교수명</th><th>연구자 등록번호</th><th>이공계열/ 인문사회계열 (간호/ 보건/ 체육/ 기타 분야에 한함)</th><th>세부 전공 분야</th><th>실적 구분</th><th>대표연구업적물 상세내용</th><th>증빙</th></tr>
<tr><td colspan="8">대표연구업적물의 우수성</td></tr>
<tr><td rowspan="7">11</td><td rowspan="7">[redacted]</td><td rowspan="7">[redacted]</td><td rowspan="7">이공계열</td><td rowspan="7">오염토양/지하수복원</td><td rowspan="7">저널논문</td><td>① [redacted]</td><td></td></tr>
<tr><td>② Phytoremediation of Textile Dyes and Effluents: Current Scenario and Future Prospects</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>③ Biotechnology Advances</td></tr>
<tr><td>④ 33(8), 1697</td></tr>
<tr><td></td><td>URL입력</td></tr>
<tr><td>⑥ 2015</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>⑦ 10.1016/j.biotechadv.2015.09.003</td></tr>
<tr><td colspan="7">해당 논문이 게재된 Biotechnology Advances는 JCR기준 IF 12.831 (SNIP 3.739, SJR 3.170),“BIOTECHNOLOGY & APPLIED MICROBIOLOGY”분야 상위 3%이내 우수한 저널이며, 본 논문은 현재 96회 피인용 실적(Scopus 기준)을 기록하고 있음. 본 연구는 산업사회문제를 유발하는 자연적으로 생분해 되지 않고 독성을 띠며 오래 잔존하는 유기오염물질의 생분해를 시도하여 우수한 성과를 달성하였음. Phytoremediation기법을 개발 적용하여 폐수의 난분해성 유기오염물질을 정화하고 생분해 과정의 미생물 컨소시엄 규명에 성공하였음. 본 기법은 태양 에너지에 의해 구동되며 식생을 이용한 고속 증산 시스템으로 방대한 양의 방류수를 처리 가능함을 제시하며 환경 친화적이고 비용 효율적이기 때문에 미래의 산업 환경 복원에 유망한 기술임을 서술하였음. 또한, 식물이 유기오염물질을 생분해하면서 나타나는 유전자 변형과 정화기법을 결합한 바이오에너지 생산의 미래 가치를 전망하며 식물에 의한 유기오염물질 제거 원리 규명의 필요성을 제시하였음. 본 교육연구팀이 추구하는 산업문제 해결형의 연구결과 중 하나로 후속학문세대의 우수 연구인력 양성에 기여도가 높음.</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th rowspan="2">연번</th><th>참여교수명</th><th>연구자 등록번호</th><th>이공계열/인문사회계열 (간호/보건/체육/기타 분야에 한함)</th><th>세부 전공 분야</th><th>실적 구분</th><th>대표연구업적물 상세내용</th><th>증빙</th></tr>
<tr><td colspan="6">대표연구업적물의 우수성</td></tr>
<tr><td rowspan="2">12</td><td rowspan="2">--
--
S--
--
--</td><td rowspan="2">--</td><td rowspan="2">이공계열</td><td rowspan="2">오염토양/지하수복원</td><td rowspan="2">저널논문</td><td>① [redacted], [redacted]</td><td></td></tr>
<tr><td>② Sequential Photocatalysis and Biological Treatment for The Enhanced Degradation of The Persistent Azo Dye Methyl Red
③ Journal of Hazardous Materials
④ 371, 115

⑥ 2019
⑦ 10.1016/j.jhazmat.2019.03.004</td><td>URL입력</td></tr>
<tr><td colspan="8">해당 논문이 게재된 Journal of Hazardous Materials는 JCR기준 IF 7.650 (SNIP 2.055, SJR 1.958),“ENVIRONMENTAL SCIENCES”분야의 상위 5%이내의 저널이며, 본 논문은 현재 13회 피인용 실적(Scopus 기준)을 기록하고 있음. 본 연구는 폐수의 이종 유기 화합물을 제거하기 위해 분자를 더 간단한 중간체로 절단한 후 미생물에 의해 광물화시키는 광촉매와 생분해 기술을 융합하는 창의적이고 유망한 접근법을 제시 및 적용하였음. 연구 결과, Sorghum vulgare 및 Phaseolus mungo를 사용한 순차적 광촉매 및 생물학적 처리법(SPABT) 적용 시 식물 독성이 없음을 나타내는 우수한 성과를 보였음. 비전통가스 개발 현장의 wetland 등 실제 유전 현장의 부지에서 필연적으로 오염되는 수질을 친환경적으로 정화하는 유망한 기술로 본 교육연구팀의 스마트 에너지자원 개발의 친환경적 처리를 뒷받침하고 있음. 본 연구는 국외 우수연구진과 공동연구하여 실용적인 연구 성과를 냈으며 본 교육연구팀의 후속학문세대의 글로벌 역량을 강화하고, 산업현장의 오염에 대해 효율적이고 친환경적인 환경복원 방법을 제시하는 산업문제 해결형 연구 모델 창출에 기여함.</td></tr>
</table>

③ 참여교수 저서, 특허, 기술이전, 창업 등 실적의 우수성

<표 3-4> 최근 5년간 참여교수 저서, 특허, 기술이전, 창업 실적 등

<table>
<tr><th rowspan="2">연번</th><th>참여교수명</th><th>연구자 등록번호</th><th>세부전공분야</th><th>실적 구분</th><th>저서, 특허, 기술이전, 창업 등 상세내용</th><th>증빙</th></tr>
<tr><td colspan="6">저서, 특허, 기술이전, 창업 실적의 우수성</td></tr>
<tr><td rowspan="2">1</td><td rowspan="5">이--</td><td rowspan="5">--</td><td rowspan="5">석유/가스/지하유체공학</td><td rowspan="5">저서</td><td>· -- Lee, --Kim</td><td></td></tr>
<tr><td>· Integrative Understanding of Shale Gas Reservoirs</td><td></td></tr>
<tr><td>· Springer</td><td>URL입력</td></tr>
<tr><td>· 978-3-319-29295-3</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>· 2016</td></tr>
<tr><td colspan="6">본 사업팀의 이근상 교수는 석유회수증진기술 분야의 전문가로서 세계 3대 과학서적 전문 출판사인 스프링거(Springer)에 관련 분야의 저서“Integrated Understanding of Shale Gas Reservoirs”를 집필하였음. 본 저서는 해당 교육연구팀의 핵심 주제 중 하나인 비전통가스인 셰일 가스에 대한 종합적 이해를 돕기 위한 저서로, 2300부 이상 판매되었으며 전자책으로도 출간되어 해당 분야의 교육 선도에 큰 기여를 함. 본 저서는 셰일의 특징에 대한 전반적인 내용을 서술하며, 저류층 시뮬레이션을 이용한 수치 모델 개발 및 이를 활용한 셰일가스 의 거동을 분석하였으며 복잡한 유동 메커니즘에 대해 서술함. 또한 수치모델을 이용하여 셰일가스 저류층에 CO2 주입을 통한 가스 회수증진의 효과뿐만 아니라, CO2를 지중 저장하는 향후 기술에 대한 내용을 담았음. 가스회수증진기술 연계 CCS 기술의 발전에 기여하였으며, 이는 온실가스의 주범인 이산화탄소를 감축시키며 자원으로 활용하는 것이기에 에너지안보와 기후변화를 고려한 것임. 본 저서는 기존 타 화석연료에 비해 온실가스 배출량이 적어 신재생에너지로 주목받고 있는 친환경 에너지 자원인 셰일에 대한 전반적인 이론 및 관련 최신 기술 연구를 집대성한데에 의의가 있음.</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th rowspan="2">연번</th><th>참여교수명</th><th>연구자 등록번호</th><th>세부전공분야</th><th>실적 구분</th><th>저서, 특허, 기술이전, 창업 등 상세내용</th><th>증빙</th></tr>
<tr><td colspan="6">저서, 특허, 기술이전, 창업 실적의 우수성</td></tr>
<tr><td rowspan="2">2</td><td rowspan="5">이--</td><td rowspan="5">--</td><td rowspan="5">석유/가스/지하유체공학</td><td rowspan="5">저서</td><td>· -- Lee, --Kim</td><td></td></tr>
<tr><td>· Transport in Shale Reservoirs</td><td></td></tr>
<tr><td>· Elsevier</td><td>URL입력</td></tr>
<tr><td>· 978-0-12-817860-7</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>· 2019</td></tr>
<tr><td colspan="6">본 사업팀의 [redacted] 교수는 석유회수증진기술 및 셰일 분야의 전문가로서, 세계적으로 저명한 과학, 기술 분야의 학술 전문 출판사인 엘스비어(Elsevier)에 관련 분야의 저서인 “Transport in Shale Reservoirs”를 집필하였음. 본 저서에서는 전통자원과는 구별되는 복잡한 특성을 가진 셰일 저류층 내에서의 유체 거동에 대한 기본적인 이론을 제공하며 셰일 저류층의 복잡한 석유물리학적 특성, 유체 이동 메커니즘 및 field-scale에 적용을 위한 시뮬레이션 관련 내용을 서술함. 이는 전 세계적으로 활발히 진행중에 있는 셰일 자원 개발에 비해, 부족한 석유물리학 이론에 대한 내용을 제시하여 해당 분야의 발전에 큰 기여를 한 저서로 평가됨.
또한 본 저서는 본 교육연구팀 소속학과 대학원의 2019년도 2학기 수업인‘저류공학특론’의 참고 교육 자료로 활용되었음. 학생들은 본 저서를 활용하여 비전통자원인 셰일저류층 내의 석유물리학적 특성과 복잡한 유체 유동 및 수치 시뮬레이션에 대해 학습하였으며 향후 교육과정에서도 사용될 예정임. 이는 전통자원의 고갈과 세계 에너지 소비량 증가로 인해 높아진 비전통자원에 대한 관심에 대응하고 수압파쇄 및 수평정 기술의 발달로 인한 셰일 산업의 확장에 대응하는 우수 인력 양성에 도움이 되었음.</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th rowspan="2">연번</th><th>참여교수명</th><th>연구자 등록번호</th><th>세부전공분야</th><th>실적 구분</th><th>저서, 특허, 기술이전, 창업 등 상세내용</th><th>증빙</th></tr>
<tr><td colspan="6">저서, 특허, 기술이전, 창업 실적의 우수성</td></tr>
<tr><td rowspan="2">3</td><td rowspan="5">전--</td><td rowspan="5">--</td><td rowspan="5">유기성폐기물처리</td><td rowspan="5">특허</td><td>· 전--, 엘--, 지--, 이--, 김--</td><td></td></tr>
<tr><td>· 식물성장 조절제를 이용한 미세조류 바이오매스 생산방법</td><td></td></tr>
<tr><td>· 대한민국</td><td>URL입력</td></tr>
<tr><td>· 10-1844995</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>· 2018</td></tr>
<tr><td colspan="6">바이오에너지 생산의 문제는 그 원료인 바이오매스의 확보에 있어 본 발명은 식물성장 조절제를 이용한 미세조류의 대량 배양 방법에 관해 발표하였음. 본 발명의 미세조류 배양 배지 첨가 조성물 및 미세조류 바이오매스 생산 방법을 이용하는 경우, 미세조류의 생장 및 지방산 함량을 크게 증대시킬 수 있고, 그 활용 가능성을 크게 높일 수 있음. 최근 천연가스/바이오가스의 혼합연료를 사용하여 이산화탄소 20% 감축률을 보인 사례가 생기며, 바이오연료의 생산이 주목 받고 있음. 광합성 생물인 조류로부터 생산되는 바이오연료는 1, 2 세대 원료보다 단위 면적당 바이오디젤 생산량이 약 130배에 달하며, 이에 기존 일반 식물성장 호르몬을 이용한 재배 촉진 기술을 미세조류 대량배양 방법으로 접목하였음. 식물성장 호르몬을 이용한 미세조류 바이오매스 생산은 제품 가격대비 바이오매스 생산효율이 높아 유망한 기술로 판단되며, 그 방법이 용이하여 반응기 배양연구에 쉽게 접목될 수 있음.
본 발명은 바이오가스를 효과적으로 생산하는 독창적인 방법을 제시하였으며 국내 바이오에너지 분야에서 전례가 없는 에너지 공급 구조의 전환을 제안하여 바이오가스를 중점적인 개발 재생에너지 자원으로 도약시켰음. 결과적으로 바이오에너지 선진국과 대등한 기술 수준을 갖출 수 있는 토대를 마련하였음.</td></tr>
</table>

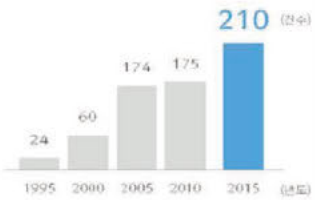
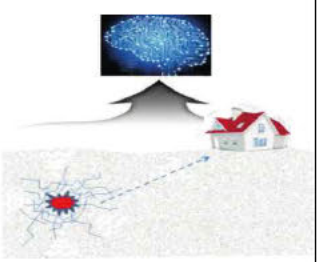
<table>
<tr><th rowspan="2">연번</th><th>참여교수명</th><th>연구자 등록번호</th><th>세부전공분야</th><th>실적 구분</th><th>저서, 특허, 기술이전, 창업 등 상세내용</th><th>증빙</th></tr>
<tr><td colspan="6">저서, 특허, 기술이전, 창업 실적의 우수성</td></tr>
<tr><td rowspan="2">4</td><td rowspan="5">전--</td><td rowspan="5">--</td><td rowspan="5">유기성폐기물처리</td><td rowspan="5">저서</td><td>· B. --, M--. K--, A--, B--, S--</td><td></td></tr>
<tr><td>· Algal Biofuels: Recent Advances and Future Prospects of Microalgal Lipid Biotechnology</td><td></td></tr>
<tr><td>· Springer</td><td>URL입력</td></tr>
<tr><td>· 978-3-319-51010-1</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>· 2017</td></tr>
<tr><td colspan="6">본 교육연구팀의 전-- 교수는 유기성폐기물처리 분야의 전문가로서 세계 3대 과학서적 전문 출판사인 스프링거(Springer)에“Alga Biofuels: Recent Advances and Future Prospects of Microalgal Lipid Biotechnology”를 집필하였음. 조류의 재배 및 수확, 바이오매스 처리 및 바이오가스 생산의 실질적인 측면에 대한 포괄적인 최신 정보에 중점을 두고, 미세 조류 지질에 대한 현재의 지식과 그 대사 및 지질 함량 향상을 위한 다양한 접근법과 생명 공학의 응용에 대해 논의하였음. 미세 조류 연구는 바이오 디젤 생성을 위한 바이오매스를 생산하는 친환경적이고 경제적 실행이 가능한 전략으로 대기 중 CO2를 흡수하고 폐수에서 생존하여 수질을 정화할 수 있는 강점을 가지고 있어 온실가스 저감 및 수질오염 정화를 통해 산업·사회문제 해결에 기여함. 미세조류는 상업적 규모로 신재생에너지원생산이 가능하게 하여 이론 및 연구결과를 바탕으로 산업체에 적용하고 현장 중심의 산학협력 우수 연구인력 양성을 실현할 수 있음. 미세조류에 대한 최신 연구동향 및 산업부문 활용의 우수성을 저서를 통해 집필하여 후속연구에 참고저서로 활용되며 글로벌 선도 고급 인재를 양성하는데 기여하였음.</td></tr>
</table>

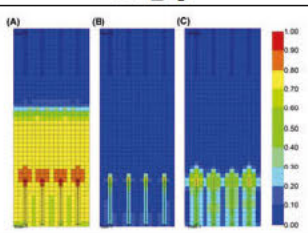
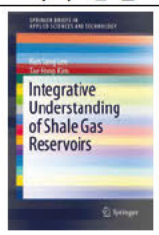
1.2 연구업적물

④ 교육연구팀의 학문적 수월성을 대표하는 연구업적물 (최근 10년)

<표 3-5> 최근 10년간 교육연구팀의 학문적 수월성을 대표하는 연구업적물

연번	대표연구업적물 설명
1	**이-- 교수 : 자원 및 지하공간 개발현장 관련 산업/사회문제 해결을 위한 인공지능 활용 진동예측 소프트웨어 개발** • 대표 연구 업적물의 의미 - 자원 및 지하공간 개발에서 활용되는 발파는 항상 진동, 소음, 분진 등을 수반하며 이로인한 사회적 대립 및 분쟁이 해마다 증가되는 추세임 - 진동속도는 인근 보호대상 구조물에 따라 제한속도가 있으나 자원 및 지하공간 개발현장의 기술자들은 각자 경험에 의존해 설계 및 시공을 수행하는 실정임. 이로 인해 주어진 현장상황에서 체계적인 진동속도 관리가 어려움 - 이-- 교수는 자원 및 지하공간 개발현장에서 발생되는 **진동, 소음, 분진 등의 산업/사회 문제 해결을 위하여 진동의 정확하고 체계적인 예측의 한 방안으로 인공지능을 활용한 소프트웨어를 개발함** • 대표 연구 업적물의 우수성 - 본 교육연구팀의 이승원 교수는 중소벤처기업청 과제를 스마트 자원개발 업체 ㈜아이콘트와 컨소시엄을 이루어 공동연구를 진행 - 국내 50개 현장 2375개의 진동속도 데이터로 전 국가적 범주 활용 가능 - 기존 전문가들이 활용하던 진동추정식보다 약 47% 높은 정확도 확보 - 중소벤처기업부 연구과제로 발파진동속도 예측 프로그램(PoBA : Prediction of Blast vibration by ANN)을 개발, 대한화약발파공학회에 공인인증평가를 받고, 한국저작권위원회에 저작권등록을 함으로써 그 신뢰성을 입증 - 개발된 인공신경망 프로그램은 사용자 편리성을 강조한 GUI 디자인과 프로그램 매뉴얼은 인공신경망에 대해 비 전문가조차 쉽게 사용할 수 있도록 함 • 대표 연구 업적물의 산업/사회 문제 해결 기여도 - 진동속도의 정확한 예측으로 인근 보안물건 규정 진동속도를 준수하며 최대한의 개발효율을 낼 수 있는 산업적 문제 해결 기여 - 현장 인근 지역 주민들의 불안감 해소를 통해 사회적 문제 해결 기여 • 대표 연구 업적물의 학문적 수월성 - **4차 산업혁명의 중심인 인공지능을 자원 및 지하공간 개발현장에서 복잡한 요인으로 발생하는 진동속도 예측을 함으로 스마트 자원개발이 가능함을 시사함** - 본 연구는 IC-PBL+ 강의와 연계하여 학생들의 융합교육에 기여 예정

사회문제	문제해결 전략	문제해결 우월성
지속적인 분쟁 증가	AI를 융합한 진동예측	협회 평가인증
		

<table>
<tr><th>연번</th><th>대표연구업적물 설명</th></tr>
<tr><td>2</td><td>
이-- 교수 : 셰일가스 저류층에서의 유체유동 시뮬레이션 최신 기법을 정립한 저서 출간
• 대표 연구 업적물의 의미
- 이-- 교수는 유가스 회수증진 분야의 전문가로서 시뮬레이션을 이용한 셰일가스 저류층 모델링의 선도적인 연구를 통해 국내의 셰일 가스 저류층 시뮬레이션 연구 수준 향상에 크게 기여하여 동 분야 선도국과 대등한 수준의 경쟁력을 갖추게 함. 또한 이러한 시뮬레이션 연구를 집대성하여 셰일가스 저류층 모델링의 주요 메커니즘에 대한 기본 이론, 선행연구 및 수치모델 등에 대한 내용을 담은 저서를 해외 저명 출판사에 출간하였음 (Integrative Understanding of Shale Gas Reservoirs (2016), Springer)
• 대표 연구 업적물의 우수성
- 이-- 교수는 셰일가스 저류층의 복잡한 특성과 유동 분석에 대한 연구 및 향후 기술에 대한 내용을 담은 저서를 세계적으로 저명한 출판사인 스프링거(Springer)에 출간하였음
- 셰일 저류층은 미국이나 캐나다와 같은 선도국의 경우에도 정확한 생산거동을 예측하기 어렵고 현재 관련기술들이 활발히 개발되고 있는 단계임
- 본 저서에서는 현장 데이터 및 이력일치법을 이용하여 셰일가스 모델을 검증하였으며 개발된 모델 및 관련 시뮬레이션 기법은 선도국에 대등한 수준으로 국내의 유가스개발 사업 발전에 기여하였음
- 본 저서에서 소개된 개발 모델은 다양한 저류층 환경에서의 CO_2 지중저장 공법 연구 및 다양한 물질을 이용한 회수증진 공법 연구를 위한 기본 모델로 활용할 수 있으므로 연구 확장성이 큼
• 대표 연구 업적물의 산업/사회 문제 해결 기여도
- 본 저서는 Carbon Capture Utilization, and Storage (CCUS)의 연구를 위한 시뮬레이션 지침서로써 활용될 수 있어 CO_2 지중저장 기술 고도화에 기여할 것임
• CO_2 지중저장 기술을 이용해 온실가스 감축에 기여할 수 있으며, 이는 2030년까지 온실가스의 37% 감축을 목표로 하는 정부의 '기후변화 기본계획' 에 큰 기여를 할 것으로 기대
• 대표 연구 업적물의 학문적 수월성
- 본 업적물은 셰일가스 저류층에 대한 기본 이론부터 복잡한 유동 메커니즘과 수치모델까지 소개한 저서로, 비전통 자원 분야의 학자뿐만 아니라 산업 전문가에게도 매우 유용한 기본서 및 실무 활용서로 사용되고 있음
<table>
<tr><th>사회문제</th><th>문제해결 전략</th><th>문제해결 우월성</th></tr>
<tr><td>온실가스</td><td>모델링</td><td>저서 출간</td></tr>
<tr><td>
</td><td> 
</td><td> 
</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

연번	대표연구업적물 설명
3	**전--교수: 유분 폐기물 FOG (Fat, Oil, and Grease)의 혐기병합소화 기술개발을 통한 고효율 바이오에너지 생산 기술 우수 학술지 (IF 26.47) 게재** • 대표 연구 업적물의 의미 - 본 논문이 게재된 Progress in Energy and Combustion Sciences는 에너지 및 연소 분야 세계 최고 수준의 종설 논문을 집대성하여 심층적인 내용을 전달하며, 최근 개발되는 성공적인 사례나 미래 전망에 대해 강조하는 권위 있는 학술지로 해당 연구업적물을 통해 전병훈 교수는 바이오에너지 분야에 선도적인 연구자로 자리매김하여 국제적 바이오에너지 기술 함양에 기여하고 있음(Recent trends in anaerobic co-digestion: Fat, oil, and grease (FOG) for enhanced biomethanation, 2019) **- 기후변화로 인한 화석연료 사용 절감, 폐기물 감축 및 신재생에너지의 개발이 시급한 상황에서 세 가지 문제를 해결 가능한 유분 폐기물 FOG의 바이오가스화를 통한 에너지 회수를 통해 국가 및 (산업)사회 문제의 해결에 기여함** - 각 지역에서 발생하는 폐기물의 부피를 줄이고 에너지를 확보할 수 있는 독립적인 기술 특성으로 지역 균형 발전 및 국가 에너지 자립도 향상에 기여함 • 대표 연구 업적물의 우수성 - 해당 연구업적물은 바이오에너지 분야의 국제화 측면에서 우수하며 관련 연구로 SCI(E) 15건(평균 IF 5.84)을 게재하고 실용화를 위한 특허 출원 7건, 등록 1건의 우수한 파생 성과를 달성하였음 **- 해당 연구업적물은 개발 및 축적한 현장 혐기소화조의 고도 미생물학적 분석 기술 지식을 활용하여 민간 기업체의 수요에 대한 Know-how 기술이전 성과를 달성하며 실용성 및 현장중점 연구 측면에서 우수성을 나타냄** • 대표 연구 업적물의 산업/사회 문제 해결 기여도 - 해당 논문을 통해 획득된 요소 기술이 유관 실규모 민자사업 플랜트 설계에 도입되었으며, 국내 바이오가스 산업의 신속한 발전과 기술 혁신에 기여함 - ㈜GS건설, ㈜티지이앤이 등의 기업체와 산학협력 연구 개발하여 국내 지자체 하수처리시설 내에 3톤/일 급 Pilot Plant를 성공적으로 건설하고 연속 현장 실증 운영을 성공적으로 수행하여 실제 산업 현장의 문제를 탁월하게 해결함 • 대표 연구 업적물의 학문적 수월성 - 혐기병합소화 공정 중 학문적으로 고도화된 생물학적 정보 분석기술을 연구 및 적용하여 바이오에너지 생산 효율 증대를 위한 기술개발을 수월하게 함 - 본 논문에서 파생하여 전국에 존재하는 다양한 혐기소화 시설의 Mapping을 바탕으로 4차 산업혁명에 대응하는 Database를 구축하는 연구를 수행 중에 있으며, 공적 시설의 운영에 도움을 주는 선순환 관계를 구축하고 있음

사회문제	문제해결 전략	문제해결 우월성
폐기물 처리의 곤란	FOG의 혐기병합소화공정	바이오에너지 자원 창출
대구시 신천하수처리장		

Ⅲ. 연구역량 영역

1. 참여교수 연구역량

1.3 교육연구팀의 연구역량 향상 계획

교육연구팀의 연구역량 향상 비전과 목표

본 교육연구팀의 비전인 "친환경에너지자원 스마트개발 분야를 선도하는 글로벌리더 양성" 을 바탕으로 연구역량 목표를 다음과 같이 마련하였으며, 세분화된 향상 전략을 통해 "스마트 자원개발기술의 융합과 연구현장중심, 산업/사회문제 해결형 연구 시스템 확립을 통한 글로벌 연구리더를 양성" 을 이루고자 함

교육연구팀 비전	친환경에너지자원 스마트개발 분야를 선도하는 글로벌 리더 양성
연구역량 목표	4차 산업혁명에 대응한 스마트 자원개발기술과 친환경에너지 개발기술의 융합 연구

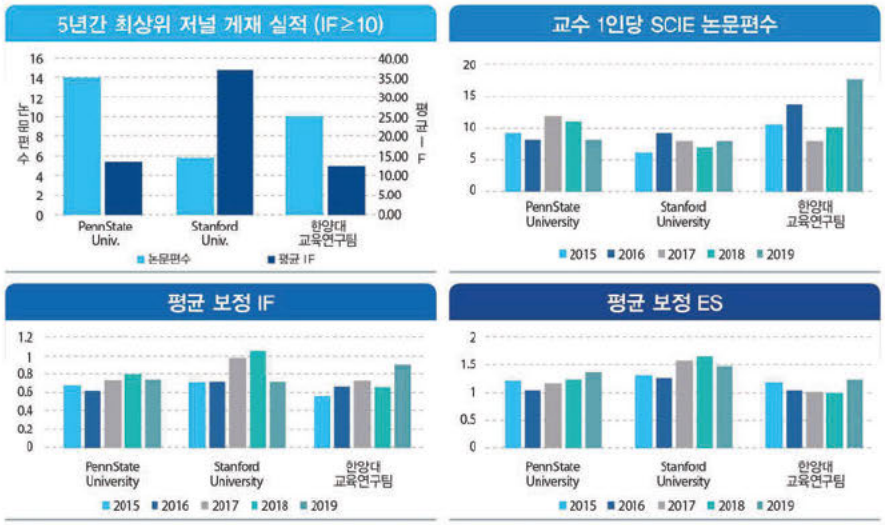
대학원 연구역량 향상 전략	연구역량 향상 계획
가) 스마트 기술 융합 연구의 인프라 구축	• 교육연구팀의 인적 구성: 융합형 연구 강화를 통한 글로벌 연구 역량 향상 • IC-PBL+ 문제해결 컨소시엄: 산업체/사회문제 해결을 위한 산학교류 협력체 구축
나) 교육연구팀의 물적 인프라 구축	• 연구기자재의 공동 활용 및 관리: 관련 연구 기자재들을 공동 운영하여 합리적이고 효율적인 물적 인프라 구축 및 한양대학교 전문 관리시스템을 통해 중앙관리 강화
다) 교육프로그램 국제화 및 국제 네트워크 강화	• 국제교류 확대: 국제 공동연구를 위하여 해외 석학 초청 및 신진연구인력 및 교육연구팀 소속 학생들이 해외 공동연구팀에 참가할 수 있는 인적 교류 제도를 MOU 체결을 통해 구축 • 대학원생의 국제학회 참여 강화: 국제 학회 참여를 적극 권장 및 지원하여 관련 분야의 다양한 연구자들과의 교류를 통하여 글로벌 리더십을 가질 수 있도록 지원
라) 제도 개선을 통한 연구 효율성 향상	• 연구지원 체계 구축: 연구구상-연구성과 창출-연구성과 발표 및 평가를 통한 연구의 선순환 단계로 나눠서 단계별 전담부서를 통해 체계적으로 지원 • 연구몰입도를 위한 장학금, Fellowship 고도화: RA 및 TA 장학, Research Fellow, Teaching Fellow 등의 지원 • 연구실 안전 환경 조성을 위한 제도 구축 및 운영: 안전관리 표준모델 제시로 연구실의 안전 관리 업무 경감을 통한 연구지원

<교육연구팀의 연구역량 향상 목표와 전략>

교육연구팀의 연구역량 현황 분석 및 정량·정성적 목표

① 교육연구팀의 연구역량(양적/질적 수준) 현황

- 본 교육연구팀의 연구역량 수준을 파악하기 위하여 **석유천연가스 공학 미국 3, 5위(US News 기준), 환경공학 세계 1위, 48위(QS 기준)에 해당하는 미국의 Stanford 대학교의 지구·에너지·환경과학부(School of Earth, Energy and Environmental Sciences)와 Penn State 대학교의 에너지자원공학과(Department of Energy and Mineral Engineering)를 벤치마킹** 대상으로 설정하고, 관련 분야를 전공한 본 교육연구팀 교수진들의 업적을 비교분석함



<교육연구팀과 비교대학의 양적/질적 연구역량 현황>

* 논문 지수 데이터 출처 / 분석 방법 : 논문 지수 분석은 최근 5년동안 발표된 논문들을 대상으로 Web of Science를 기준으로 추출함

② 교육연구팀 연구역량의 정량·정성적 분석(최근 5년 기준) 및 목표

- 논문 양적 수준 : 본 교육연구팀 **참여교수의 1인당 연간 논문게재 수는 11.35편으로 벤치마킹 대학들보다 약 1.5배 높은 수준임**. 또한, 5년간 최상위 저널(IF > 10)에 게재한 논문 수는 10편이며, 이는 두 개 대학의 평균 편수와 같음
- 논문 질적 수준 : 본 교육연구팀 참여교수 게재 논문의 평균 보정 IF, 평균 보정 ES 값은 각각 0.67, 1.0445로 벤치마킹 대학들과 동등한 수준인 반면 최상위 저널 게재 논문들의 평균 IF는 14.32로 벤치마킹 대학들에 비하여 제고의 여지가 있음
- 연구역량의 정량·정성적 목표 : 위의 연구역량 현황 분석을 통해 본 교육연구팀에서는 현재 SCIE 논문의 양적 수준은 세계적 연구중심 대학과 견줄 만큼 향상되었다 판단하였으며, **논문의 질적 수준 향상을 위해 Q1 저널 게재 비중 증가, JCR 기준 상위 3% 저널 게재 비중 증가에 대한 목표**를 아래 표와 같이 설정함

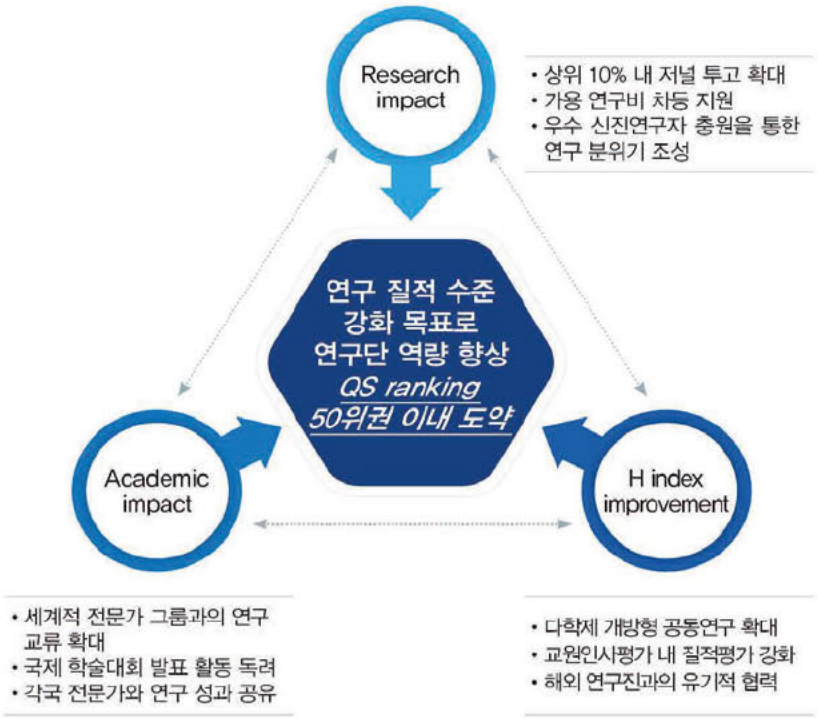
<교육연구팀의 양적/질적 연구역량 향상 목표>

시 점	교수 1인당 논문 편수 (편수/년·인)	JCR 해당분야 Q1 저널 비중	JCR 해당분야 상위 3% 저널 비중
현 재	11.35	49.5%	7.1%
2027년 (사업 종료시점)	12.50	55.0%	10.0%

교육연구팀의 연구역량 향상 계획

교육연구팀 연구역량 현황에 기반한 학술 및 연구 활동 계획

- 위의 연구역량 현황 분석을 통해 본 교육연구팀에서는 **QS World Ranking (Mineral & Mining Engineering 분야) 50위권 내 진입을 연구역량 강화의 중점 목표**로 추진함. 매년 세계의 대학교를 평가하는 QS 대학평가에서는 총 4가지 기준으로 Mineral & Mining Engineering에 대하여 평가하고 있으며, 이는 (1) Academic reputation (학계평가), (2) Employer reputation (고용자 평가), (3) Citations per paper (논문 당 인용 수), 그리고 (4) H-index, citations임
- 위의 4가지 기준 중 연구역량에 해당하는 것은 (1), (3), (4) 항목으로 이들은 연구역량의 간접적 지표인 학계평가와 논문의 질적 수준에 해당하는 인용지수에 의해 평가됨. 이에 본 교육연구팀은 QS World Ranking 향상에 적합한 추진 전략을 세우고 목표 달성을 위해서 노력할 예정임



<교육연구팀 역량 향상을 통한 연구 질적 수준 강화>

- QS 대학평가 시스템에서 제시하고 있는 3가지 연구 분야 관련 지표들은 결국 연구 활동성과 질적 우수성에 연관되어 있으며, 학계평가는 이러한 연구의 질적 활동을 바탕으로 평가되기 때문에 3가지 지표 모두 유기적으로 연결이 되어있음
- 따라서 본 교육연구팀에서는 **QS World Ranking (Mineral & Mining Engineering 분야) 50위권 내 진입을 목표**로 H-index 향상에 대한 목표를 설정하여 QS 세계대학평가에서 요구하는 기준을 충족하고자 함
- 최근 5년간 본 교육연구팀 구성원의 평균 H-index는 9.75로 Penn State University의 9.8, Stanford University의 10.7와 유사한 상황임. 따라서 본 교육연구팀의 현재 H-index인 9.75를 사업이 종료되는 **2027년까지 12로 향상시키는 것을 목표로 설정함**

교육연구팀의 연구역량 강화 세부 계획

현장중점 산업/사회문제 해결 가능한 글로벌 융합연구인재 육성

<글로벌 융합연구인재 육성을 위한 세부 계획>

1	**스마트 기술 융합 연구를 위한 연구 인프라 구축**
	• (교육연구팀의 인적구성) 본 교육연구팀은 석유/가스개발, 바이오에너지, 스마트자원/지하공간개발, 오염물질 제거 및 환경복원 관련 전문가 등으로 구성되어 있음. 본 교육연구팀은 융합형 인재양성 및 연구의 국제화를 위하여 **에너지자원 및 친환경분야 전임교원을 2021년 1명, 2023년 1명을 초빙할 예정이며, 기존 구성원과 함께 "친환경에너지자원 스마트개발" 이라는 연구 기조 아래 융합형 공동 연구를 수행할 예정임** • (자원개발연구소와 연계) 한양대학교 자원환경공학과는 자원개발연구소 운영을 통해 스마트자원개발 기술 개발 및 관련 연구를 위한 인적 인프라를 구축하고 있음. 이에 **자원개발연구소와 BK21 FOUR 사업 간의 연계**를 통해 산학연 및 국제 협동 연구 능력 향상을 도모하며 우수 연구인력을 확보할 예정임 • (에너지혁신연구센터와 연계) 바이오에너지 분야의 연구혁신 기반 지속가능한 에너지원의 실용화를 위한 에너지혁신연구센터(Energy Innovation Institute, EI^2)와의 연계를 통해 우수 신진연구인력의 고용안정성과 연구 지속성을 높이고, 연구개발 혁신을 도모함 • (대학간 공동연구 활성화) 대학간 융합연구 활성화를 통해 과학기술, 신산업창출, 산업체 문제해결을 수행하기 위한 대학간 연구 인프라 구축 및 글로벌 연구 발굴을 국내 최고 연구팀간의 학술/인적교류 지원할 예정임
2	**교육연구팀의 물적 인프라 구축**
	• (연구기자재의 공동활용) 교수별 중복된 연구 기자재의 구매 및 제한적 활용을 지양하고 관련 연구 기자재들을 공동 운영하여 합리적이고 효율적인 물적 인프라의 구축 및 활용을 원칙으로 함. 또한, 체계적이고 위생적인 관리가 중요시되는 실험실은 연 2회 이상 한양대학교 전문 관리시스템을 통해 중앙관리를 강화함 • (위험물 저장소 설치 운영) 위험물 저장소 공동 운영을 통해 위험한 시약 또는 화재 시 폭발성 있는 시약들을 저장소에 따로 보관함으로써 안전한 연구환경 확보 및 각종 사고 시 피해를 최소화할 수 있는 여건을 마련함
3	**국제 연구 네트워크 강화**
	• (국제교류 확대) 박사과정 해외연수를 적극 장려하고, 국제 학술대회 참가를 지원하고, 국제 공동연구를 위하여 해외 석학 초청 및 신진연구인력 및 교육연구팀 소속 학생들이 해외 공동연구팀에 장·단기 파견될 수 있는 인적 교류 제도를 MOU 체결을 통해 강화하고자 함 • (대학원생의 국제학회 참여 강화) 대학원생들의 국제 학회 참여를 적극 권장하여 연구내용의 영어 발표 능력을 향상하며 관련 분야의 다양한 연구자들과의 접촉을 통해 글로벌 리더십을 가질 수 있도록 유도함

	제도 개선을 통한 연구 효율성 향상
4	• (우수 대학원생 지원) 글로벌 경쟁력 있는 우수 대학원생 확보를 위해 **해외 최우수 대학의 우수한 교육 및 장학시스템을 벤치마킹**하고, 학부 교육제도 개편 및 대학원 연계 강화 프로그램을 통해 한양대학교 학부생의 대학원진학을 적극적으로 장려하고자 함 • (연구관련 안전관리 교육) 정기적인 안전관리 교육의 이수가 제도화되어 있으며 1년 1회 건강검진이 의무화되어 있음. 위험물질, 방사선 동위원소 사용 등에 관한 관리 시스템이 확립되어 있음 • (우수 여성과학자 지원) 박사 후 과정 및 박사과정에 있는 우수한 여성인력에 대해서는 보육부담을 완화하고 여성과학기술인으로서 경력 개발 활성화를 통한 자긍심을 고취하기 위해 자원공학과 자체 내규를 통해 출산 시 휴가보장 및 장려금 지원을 확충하고, 장기간 경력이 단절되거나 지연된 여성과학 기술 인력의 적극적 외부 영입을 통해 우수 인재를 확보하고자 함

최고 수준의 연구성과 도출을 위한 교원업적평가 제도 개편

① 질 중심의 업적평가로의 전환

- 질 중심의 연구 정착을 위해서 IF에 따른 업적 차등적용을 추진

<질 중심의 교원업적평가 전환>

연구 업적 평가	• 연구업적평가시 학문별 보정 IF 반영하되 상위 IF 저널 논문에 대하여 우대(기준값 대비 최대 15배까지 차등해서 우대) • 타 업적 계열과 공동연구시 참여율 우대 • IF 10% 이내는 가중치를 더욱 우대하고, IF 50% 초과 시에는 가중치를 더욱 낮춤 ⇨ "장기적으로 일정 Quartile 이상만 인정"
승진/ 승급	• 승진/승급시 반드시 IF 25%이내 논문게재실적 요구 • 대상기간 동안 외부기관으로부터 연구재원 확보실적이 1건 이상 있어야 승진/승급의 대상 충족 • 특별승진, 승급, 호봉승급 평가 시 HCP (Highly Cited Paper)와 IF 10% 이내 학술지 게재 논문을 우선적으로 평가

② 최고 수준의 연구성과 도출을 위한 Reference 정년심사보장 제도 도입

- 정년보장 심사 시 해외 또는 국내 저명 학술지의 편집위원 등을 Referee로 구성하여 심사하는 Reference 심사 제도를 도입하여 대표업적 중심으로 평가

③ 연구자 논문인센티브 제도 개선

- 학교차원에서 기계적으로 1편당 지급하는 논문장려인센티브가 아닌 연간 인센티브 총액(25억)을 정하고 학문분야별 보정과 함께, 학과별로 "경쟁대학 논문 평균 편수"를 정한 후 초과분에 대해서만 지급하는 형태의 장려금 제도를 시행

> * 대표사례: 논문 게재 인센티브 계산시 [① (학교 기준값 대비 초과실적/학과기준 값)x60% + ② (업적계열 평균 기준값 대비 초과실적/업적계열 평균기준값)x40%] 로 계산, 특히 이공계열의 경우 ②의 업적계열 기준 초과분에 대해서는 Q1(계열별 IF 상위 25%저널) 게재실적만 인정하고 있음

- 피인용에 따른 인센티브 제도 도입(FWCI 값을 활용하여 높은 FWCI 값을 가진 논문을 쓴 연구자를 시상)
- 피인용 상위 1% 논문 또는 분야별 TOP 5 저널 논문 우대

2. 산업사회에 대한 기여도

2.1 산업사회 문제 해결 기여 실적

산업 문제 해결 실적

교육연구팀의 산업문제 해결 기여

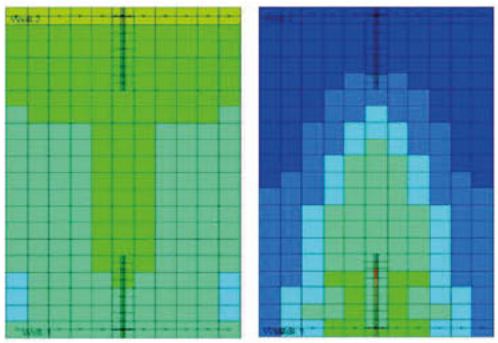
- 본 교육연구팀의 연구 과제를 통한 기여 철학은 단순 연구과제로 그치지 않고 ① 산업 문제해결을 위한 과제 발굴, ② 과제 수행을 통한 문제 해결책 제시, ③ 환류를 통한 추가 연구 및 동반 기업성장, ④ 사회 혁신을 통한 국가 기여라는 지속 가능 선순환 구조에 기반 함
- 산업 문제 해결을 위해 국가 및 산업체와 과제를 수행 중이며 관련 연 평균 정부 및 산업체 연구비 수주액은 1인당 3.9억 원 수준임. 최근 3년간의 참여교수 1인당 연구비 수주액을 비교하면 친환경 스마트 에너지의 필요성 및 환경문제와 맞물려 상승하고 있음(2017년 3.4억→2019년 6.1억)

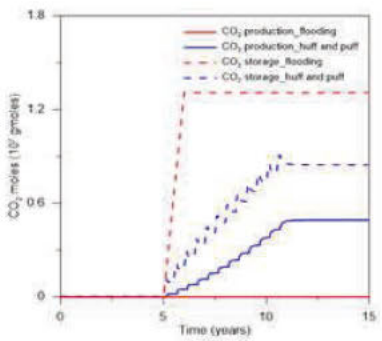
CCUS 기술을 활용한 산업문제 해결 기여

- 2019년 기준 에너지 소비 세계 9위인 우리나라는 세계 7위의 온실가스 배출국가임. 특히 1인당 CO_2 배출량은 연간 11.66톤으로 OECD 평균인 8.9톤보다 훨씬 높은 것으로 나타났으며, 2017년 온실가스의 배출량은 7억 9백만 톤으로 전년대비 2.4% 증가함
- 우리나라는 2015년 파리협정을 체결하였고, 그에 따라 2030년까지 이산화탄소 배출량을 배출 전망치(BAU; Business As Usual) 대비 37% 감축을 약속하였으며, 현재 이산화탄소 포집, 활용 및 저장(CCUS, Carbon Capture, Utilization, and Storage) 기술이 실현가능한 이산화탄소 저감기술로 평가받고 있음

대표사례 1

- 본 교육연구팀의 이-- 교수는 **셰일 저류층에 CO_2를 지중 저장함과 동시에 가스 생산성 극대화를 위한 연구**를 성공적으로 수행하였음
- 셰일가스의 대두와 함께 가스전 개발을 위한 셰일 저류층의 정교한 모사의 필요성이요구되어왔으나, 수압 파쇄에 의한 균열과 메탄 흡·탈착 및 응력 변화 등 복합적 요인에 의해 저류층 유동 예측에 한계가 있었음
- 다년간의 연구를 통해 CO_2 주입 공법 메커니즘을 정립하고 저장성 및 생산증진 영향성을 평가하였으며, Bakken, Barnett, Eagle Ford 등 실제 현장 모델에 CO_2 주입 공법을 적용한 민감도 분석으로 **저류층별 생산성 극대화 및 최적 CO_2 주입 설계 최적화 모델을 제시함**
- 실제 현장 모델을 활용한 셰일 저류층 연구를 통해 다상 다성분 유체 유동 모델을 개발하였으며, 향후 다양한 환경의 CO_2 지중저장 및 생산성을 동시에 고려한 기본 모델로활용될 것으로 기대됨





대표사례 2

- 본 교육연구팀의 전-- 교수는 한국지질자원연구원, 한일시멘트㈜, Harvard Univ. 등 총 33개의 산학연 기관이 국제컨소시엄을 이뤄 진행한 탄소자원화 국가전략프로젝트에 참여하여 연구를 진행함
- 석탄발전 폐기물인 발전회에 발전과정에서 배출된 CO_2를 광물화하여 온실가스 저감 및 폐기물 처리를 동시에 성취하는 연구를 진행함
- 위 과정으로 생산된 복합탄산염을 폐광산 채움재로 적용할 경우 지반안정화 및 폐기물 처분 문제를 동시에 해결 가능하며, 실제 강원지역의 광산(대성MDI 동해사업소 505갱)에서 실증연구를 진행함
- 이러한 실적을 통해 본 교육연구팀은 발전산업의 **이산화탄소및 폐기물 배출문제 해결에 기여하였으며, 나아가 국가 온실가스 감축 및 신시장 창출에 이바지함**

유기성폐기물의 바이오 에너지화를 통한 산업문제 해결 기여

- 유기성폐기물(바이오매스)의 사회적 심각성과 폐자원에너지의 활용 실효성 제고가 시급하며, 사회의 각 분야에서 다양하게 발생하는 바이오매스의 처리와 친환경 재생에너지의 생산을 동시에 달성할 수 있는 기술의 필요성이 증대되고 있음
- 유분을 고농도로 함유하는 유기성 폐기물을 활용한 혐기병합소화는 전 세계 차원에서는 미국 Douglas L. Smith Middle Basin 하수처리장 등 일부 실용화된 예시가 있으나 사례가 드문 선진 하수처리 및 바이오가스 생산 공정이며 본 교육연구팀에서 실용화연구를 수행하여 바이오가스 산업의 기술 혁신을 주도한 사례가 있음

대표사례

- 본 교육연구팀의 전-- 교수는 ㈜GS건설, ㈜티지이앤이 등의 민간 기업체 및 환경관리공단 등의 공공기관과 협력하여 산업통상자원부의 신재생에너지기술개발사업 수행을 통해 국내 발생 **바이오매스를 활용한 혐기병합소화 바이오가스 생산 기술을 개발**하였음
- 국내 유분 폐기물을 활용, 기존의 저부하 단일기질 혐기소화 공정을 병합공정화하여 병합 기질에 대한 전처리 공정 최적화 및 균주 순화 처리에 따른 완전한 분해 및 바이오가스 생산을 90톤 규모의 대형 Pilot 규모로 실증하였으며 축적된 고도 미생물학적 분석 기술 지식을 활용해 민간기업체의 Know-how 기술이전 성과를 달성함
- 전국의 다양한 혐기소화 시설 Mapping을 바탕으로 기술 혁신을 위한 Database를 구축하는 연구를 개시하여 수행중이며, 하수처리장 등의 공공기관에는 분석 결과 등을 공유하여 공적 시설의 운영에 도움을 줄 수 있는 선순환적 관계를 구축해 나가고 있음

사회 문제 해결 실적

교육연구팀의 사회문제 해결 기여

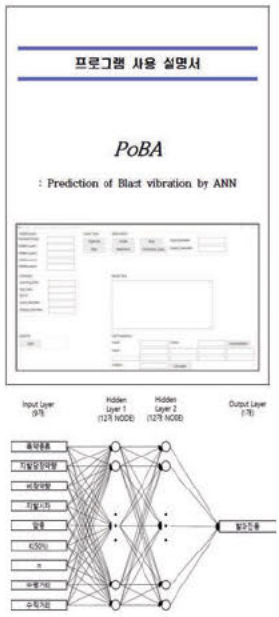
- 연구를 통한 사회문제해결은 '14년 5월 제정된 과학기술 기본법 제 16조의 6(과학기술을 활용한 사회문제의 해결)을 근거로 본격 추진되었으며 본 교육연구팀의 참여교수진 역시 '생활양식 변화, 사회구조 급변 등' 의 주요 생활환경 변화와 함께 대두되는 여러 사회문제 해결에 기여함
- 본 교육연구팀은 연구를 통한 사회문제 해결은 사회 및 산업의 발달과 함께 발생해온 다양한 측면의 문제들을 해소해 인류의 삶의 질 향상에 기여해왔으며, 사회문제 해결 실적 중 대표사례 두 가지를 다음과 같이 제시함

인공지능을 활용한 자원 및 지하공간 개발 현장 문제 해결 기여

- 자원 및 지하공간 개발현장에서 암반을 굴착하기 위해 적용되는 발파공법은 항상 소음, 진동, 분진 등을 수반하며 다수의 민원 및 사회적 분쟁을 야기하고 이는 해마다 증가되는 추세임. 따라서 사전 설계 및 시공 시 이를 최소화하기 위한 대책마련이 필수적임
- 자원 및 지하공간 개발현장에서 필연적으로 발생하는 진동을 최소화시키고 시공의 경제성과 효율성을 향상시키기 위하여 정확한 진동예측 프로그램 개발이 필요함

대표사례

- 본 교육연구팀의 이-- 교수는 중소벤처기업부 과제를 ㈜아이콘트와 컨소시엄을 이루어 공동연구를 진행함. 인공신경망의 학습 및 검증을 위한 데이터 수집, 인공신경망 프로그램 개발을수행하였으며 전문가 평가인증을 통해 검증함
- 개발한 인공신경망 프로그램은 특별한 프로그램 설치가 불필요하며, Graphic User Interface는 사용자에게 편리성을 줌. 또한 프로그램 매뉴얼을 작성하여 인공신경망에 대해 무지한 사람조차 쉽게 사용할 수 있도록 함
- 발파로 인한 진동은 불확실한 정보를 내포한 지반을 매개체로전파되며, 화약의 종류, 발파 패턴 등 다양한 요인에 의해 진동속도가 결정 됨. 복잡한 요인으로 발생하는 진동속도 예측에 인공지능이 활용되어 기존 활용하던 추정식보다 약 47% 높은 예측률을 확보 함
- 민원 발생 방지 및 인근 안전 문제 예방에 기여함
- **본 연구는 4차 산업혁명을 활용하여 스마트 자원개발이 가능함을 시사함**



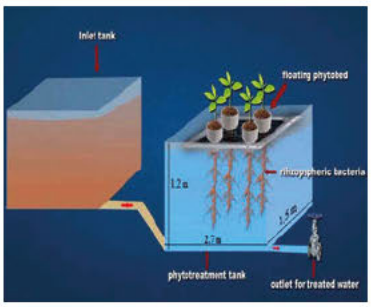
신규오염물질 친환경 정화공법을 통한 사회문제 해결 기여

- 유기 및 무기 독성물질로 인한 수질 오염으로 전 세계 인구의 40%가 오염된 위생 환경에 노출되어있으며, 약 20%는 깨끗한 물에 접근조차 못하는 실정임

- 자원개발 현장 및 산업현장 등에서 발생하는 유출수 등의 수질오염은 인근 지역 주민의 삶의 질을 위협하는 사회적 문제로 대두되어 이를 해결하기 위한 연구개발이 요구됨
- 셰일 가스 및 유전 개발현장의 규정상 $1/bbl 의 배출수 처리비용이 발생하여 방대한 양의 용수 재사용 및 배출수의 재처리가 요구되어 수질 정화 연구개발이 필수임
- 본 교육연구팀은 **사회 및 산업의 발달로 인해 발생하는 다양한 측면의 문제들을 해소해 인류의 삶의 질 향상에 기여**하며 친환경적 공법을 성공적으로 수행한 사례를 제시함

대표사례

- 본 교육연구팀의 S--교수는 오염 정화를 위한 사회문제 해결에 기여를 위해 '하폐수로부터 신규오염물질 제거를 위한 첨단 식물반응기(APR) 개발' 국가 연구 과제를 수행하였음
- 식물 정화기법 중 친환경적이고 비용효율적인 HRTs (High Rate Transpiration system)를 개발 하고 실제 오염 현장에 적용하여 **사회적 문제인 독성 폐기물 및 폐수의 자연정화를 이례적으로 성공**하였음



- 특히 사회문제해결에 취약한 사회적 장치 및 제도가 부족한 개발도상국의 경우 현재까지도 독성폐수 및 폐기물에 노출된 채 생활하고 있는 실정이며 세계적으로 유용하게활용되는 HRTs를 적용한 식물정화공법 개발로 현장의 사회문제해결을 도울 수 있음
- 현장에 성공적인 적용을 위하여 토착 식생을 이용한 정화효율을 비교하여 최적의 효율적인 방법으로 정화효율 향상 증진과 비용 절감을 최대화하여 우수성을 지님
- **비전통가스 및 유전 개발 시 현장에서 오염된 지표수 및 지하수 수질의 친환경 복원을 위해 Sanjay P. Govindwar교수가 개발한 공법을 적용하여 wetland로 실용화할 수 있으며 현장 문제 해결형 연구의 수월성을 확보하였음**
- 관련 연구 및 실제 현장정화 수행을 통하여 SCIE 논문 8건을 게재함으로 해당 연구의 기술 성공사례를 널리 알리고 현장중심의 실용성을 높이는데 기여함

Wastewater | Floating phyto-bed reactor | HRTs applying site

과학기술 문제 해결 실적

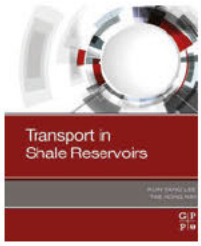
교육연구팀 참여교수들의 과학기술 문제 연구 분야

- 본 교육연구팀의 4명의 참여 교수는 암반공학, 유가스 지하유체공학, 폐기물처리, 오염토양 및 지하수 복원 분야의 전문가로 이 분야를 활용하여 과학기술 문제 해결의 기여를 하고 있음

셰일 저류층의 신뢰도 높은 시뮬레이션을 위한 설계인자 정립

- 셰일 저류층에 대한 시뮬레이션 연구가 활발히 진행되고 있으나 셰일 저류층의 복잡한 구조 및 유동 메커니즘으로 인해 정확한 시뮬레이션 모델이 구현되지 못하고 있음

대표사례 1



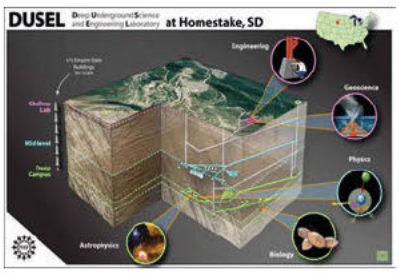
- 본 교육연구팀의 이-- 교수는 연구재단의 이공분야기초연구사업을 통해 더 높은 신뢰도와 정확도를 지니는 셰일 저류층 시뮬레이션 모델을 개발함
- 셰일 저류층의 유가스 회수증진 주요 메커니즘을 연구하였으며, 생산성향상 공법 시뮬레이션 및 영향성 평가, 셰일 저류층 물성 및 메커니즘 변수별 민감도 분석을 통해 셰일 저류층 물성의 핵심 설계인자를 정립하여 보다 정확한 시뮬레이션 모델을 제시를 통해 비전통자원 개발에 기여함
- 해당 연구를 통해 에너지 분야의 저명 저널인 Applied Energy에 논문을 게재 하였으며셰일 저류층 연구에 대한 노하우를 담은 저서를 저술하였음

지구적 난제해결을 위한 폐광산 활용 심부지하 실험실 개발

- 다수의 방치된 폐광산에 의해 지반침하 및 중금속 오염과 같은 광해가 끊임없이 발생되고 있어 지반침하 및 침출수 유출의 방지의 중요성이 커지고 있음

대표사례 2

- 폐광산의 광해방지를 위한 재활용 방법으로 이승원교수는 미국 South Dakota의 폐금광산을 지하 심부 실험실로 변경하는 프로젝트를 수행하여 광해방지에 기여함
- 이승원 교수는 **2006년부터 2017년까지 US Department of Energy의 발주로 Deep Underground Science and Engineering(DUSEL)의 계획, 설계, 개발까지 전 과정에 참여하며 지하연구시설 안정성 검토, 디자인 설계 및 전체 프로젝트 관리를 수행함**
- 암흑물질 탐지 전자파나 우라늄 분석 장비는 외부영향이 거의 없는 곳에 설치되어야 한다는 과학적 난제를 지하연구시설 DUSEL 개발로 해결함
- DUSEL은 **세계 최대규모의 다목적 연구 및 실험실로, 이산화탄소 포집, 천체물리학, 환경학, 생물학, 지구과학 등의 연구를 진행**하고 있음



2. 산업사회에 대한 기여도

2.2 산업사회 문제 해결 기여 계획

교육연구팀의 산업/사회/과학기술 해결을 위한 연구 계획

본 교육연구팀은 5대 중점분야를 기반으로 친환경에너지자원 개발에 스마트기술을 활용하는 산업/지식 융복합 연구를 통하여 친환경에너지자원 분야의 대표적 해결과제인 에너지 수급 안정화, 생산효율성제고, 온실가스 감축, 미세먼지 저감 등 산업/사회문제 해결에 기여하고자함

〈에너지자원 및 환경 산업, 사회 및 과학기술 문제 해결의 필요성〉

비전통유가스전 효율적 생산을 위한 스마트 관리기법 개발

- 미국 남서부에 위치한 Permian 분지는 **1일 475만 배럴의 석유와 160억 입방피트의 가스를 생산중인 단일 지역 기준 세계 최대 유가스 생산지역**이며 이 지역은 생산 단가가 높은 비전통 유가스전의 비중이 크기 때문에, 비용 절감을 위한 인공지능/딥러닝 등의 스마트기술과의 융합적 접근기법 연구 및 실증이 활발하게 이루어지고 있음
- **본 연구를 통해 비전통유가스정 생산관리에 스마트기술을 융합하여, 생산시설 스마트 관리, 스마트튜빙 개발, 인공지능을 활용한 ESP(Electric Submersible Pump) 고장진단 기술 개발 등을 목표로 Permian 분지에서 실증연구를 수행중임**
- 비전통 유가스전의 높은 생산단가를 효율적으로 관리하기 위하여 인공지능/기계학습 기법을 융합한 스마트 관리 기법을 개발하고 Permian 현장에서 실증 수행 후 개발 기술의 인근 유가스전 적용 및 실용성 확보하고자함
- 인공지능/기계학습을 활용하여 생산정 내 물성을 실시간으로 취득 및 분석하는 스마트 관리 기법 개발 및 스마트 관리 기법을 활용하여 ESP의 수명을 연장하고 고장을 미리 진단함으로써 운영비용 최소화

기 대 효 과	
산업적 측면	• 현장 실증을 통한 검증 및 국내 기관이 보유한 해외 유가스전 현장에 적용함으로써 효율성 증대
사회적 측면	• 비전통 유가스전의 높은 생산단가를 절감함으로써 효율적인 생산을 통해 에너지 안보에 기여할 수 있음
과학기술적 측면	• 스마트 기술의 비전통유가스전으로의 적용을 통해 최적 운영 및 관리 기법 개발을 개발하고 동 기술의 관련 분야 확대 적용 가능

주거 및 산업 지역의 폐기물 문제 해결을 위한 바이오에너지 생산수율 향상 연구

- 기존의 바이오가스 생산은 하수처리장의 혐기소화 공정을 기반으로 추가적 유기성 폐기물을 같이 처리하는 방식을 사용하였음
- 전통적 혐기소화 공정에 투입될 수 있는 음식물류폐기물 등의 일부 유기성 폐기물만이 제한적으로 병합 투입되어 처리가 이루어져 왔으며, 이 외의 폐기물들은 소각 및 매립 등의 소극적 처리만이 이루어짐
- 최근 다양한 전처리 기술의 발달로, 매립 혹은 소각하여 처리하여 온 여러 폐기물류에 대한 다양한 친환경적 처리 및 재생에너지 회수 기법이 연구되고 있음
- 소각 및 매립 처리되던 기존 폐기물에 대한 자원화 방안을 도출하고, 추가적으로 발생 지역 단위로 특화된 처리 체계를 고안하여 처리 비용을 절감함과 동시에 차세대 마이크로그리드 전력망에 대한 융합 등을 고려할 수 있음
- **기존 혐기병합소화 처리에 사용되던 유기성폐자원의 생산효율을 극대화하고, 추가적으로 첨단 전처리 기술 등을 통해 활용할 수 있는 폐기물의 종류를 다양화하는 연구를 수행함으로써 폐자원의 활용도와 바이오가스의 생산효율을 증진하는 연구를 수행하고자 함**

기 대 효 과	
산업적 측면	• 주거 및 산업 지역에서 발생하는 폐기물의 에너지 회수 공정 처리를 통해 운송 및 매립 등에 드는 처리 비용을 절감하고, 분산형 바이오가스 발전을 통한 차세대 마이크로그리드 등에 기여 가능
사회적 측면	• 주민들의 생활환경을 저해할 수 있는 저활용 유기성 폐기물 바이오매스를 적극 회수하여, 쓰레기 발생을 저감시키고 저비용 전처리를 적용한 재생에너지 생산을 병행하여 사회적 비용을 절감하며 지역주민들의 삶의 질을 제고할 수 있음
과학기술적 측면	• 전통적 혐기소화 처리에 사용되는 공정에서 진보된, 다양한 주거 및 산업 지역 발생 폐기물을 대상으로 하는 첨단 처리기술의 개발로 폐기물 처리 및 바이오에너지 생산 기술의 기술적 유연성 증대

온실가스 지중저장의 경제성 향상을 위한 최적 설계

- 가스전과 유전의 생산성 향상을 위한 공법에 CCUS 기술을 접목하여 이산화탄소 감축과 동시에 유가스 회수를 증대할 수 있음
- CH_4는 CO_2에 비해 온실효과가 23배 이상 높아 필수적으로 저감해야하는 온실가스 중 하나로, 성숙유전에서 오일과 함께 생산되는 가스이기 때문에 현장에서 직접 격리할 수 있어 지중저장 효율성을 극대화할 수 있음
- 기존 CO_2 EOR 기술은 오일 생산성 증대를 주요 목표로 연구개발이 이루어져 왔으며, CO_2 저장을 통한 온실가스 저감 효과는 크게 기대하기 어려움
- **해당 연구를 통해 오일 회수량 증대와 CO_2/CH_4 혼합 유체의 저장량 증대를 복합적으로 고려한 CCUS기술 적용 모델을 개발하고자함**
- 탄화수소 상거동 성분 모델링 및 복잡한 성분계 거동 분석을 통한 다성분 시스템의 상거동 모델을 구축하여 지중 저장 효율 및 경제성을 극대화하는 CCUS 시나리오 도출
- CCUS 효율성 제고와 경제성 최대화를 위한 CO_2와 CH_4의 최적 주입비가 존재하므로 대상 유전에 맞는 맞춤형 기술에 대한 연구를 수행하고자 함

기 대 효 과	
산업적 측면	• 최적의 CCUS 시나리오를 설계함으로써 CCUS 비용 절감 및 추가적인 CH_4 처리 및 활용을 통한 효율성 향상을 기대할 수 있음
사회적 측면	• 기후변화로 인한 온실가스의 감축의 필요가 중요해지고 있으며, 온실가스 감축 효과뿐만 아니라 온실가스를 활용한유가스 회수 증대 기술의 개발로 에너지 안보에 기여 할 수 있음
과학기술적 측면	• 기존 CCS 기술과 비교할 때 유전을 대상으로 오일 회수증진을 통하여 경제성을 확보하는 동시에 CO_2/CH_4의 감축을 통해 기후변화에 대응 할 수 있음

지하공간 안정성 확보를 통한 자원 및 지하공간 개발에 대한 불안감 해소

- 자원 및 지하공간 개발 시 발생하는 진동으로 인한 건물손상과 지하 구조물 안정성 미확보에 따른 지반침하 우려 등에 의해 사회적 대립 및 첨예한 소송 발생
- 보호물건 별 진동허용치 기준을 준수하기 위해 진동제어공법을 적용하나 연구가 부족한 실정이며 또한 자원 및 지하공간 개발 중의 안정성 확보에 대한 연구가 미흡한 실정
- 자원 및 지하공간 개발의 효율성 증대 및 정확한 진동 저감 효율 분석을 위한 설계패턴 연구와 안전 저해 요소 사전 발굴 및 예방을 위한 안정성 분석기법 연구 수행 계획
- Test-Bed를 통한 현장중심 연구 결과 검증으로 연구의 신뢰도 향상
- **이 연구는 자원개발에 접목 가능하며 자원개발 시 수반되는 소음, 진동 및 지반침하를 예방하는 친환경적 스마트자원개발에 기여**

기 대 효 과	
산업적 측면	• 연구결과를 자원 및 지하공간 개발 설계에 반영하여 합리적 설계를 수행하고 이로 인한 자원 및 지하공간 개발비용 절감가능 • 안전 저해 요소 사전 발굴 및 예방을 위한 안정성 분석 기법을 통해 시공 안전성 확보
사회적 측면	• 합리적이고 안전한 자원 및 지하공간 개발 설계로 진동에 의한 구조물 파손 방지 및 지반침하 방지 등 국민 불안감 해소 • 자원 및 지하공간 개발의 원활한 수행으로 일자리 창출 효과 및 작업기술자 및 기능사 인력 확충 가능
과학기술적 측면	• 국내 연구가 미흡한 진동제어공법의 효율성 및 진동저감율을 수치해석적 연구 및 현장검증을 통해 수치 제공함으로써 자원 및 지하공간 개발에 적용가능하며 타 연구의 비교 대상으로 활용 가능

교육연구팀의 산업/사회/과학기술 해결을 위한 차별화된 활동 계획

본 교육연구팀은 Humanity Engineering Center(HEC)를 설립하여 지역사회 문제를 발굴/해결하는 교류를 활성화 하고 있음. IC-PBL+ 교과목을 도입하여 학생들의 주도적인 산업/지역사회 문제해결 참여를 유도 하며 효율적인 IC-PBL+ 운영을 위해 지역사회, 기업과 상시적인 협력 플랫폼인 IC-Connect & Share를 구축함. 또한, 현장중심 교육을 통한 국제 융합형 인재 양성을 위해 적극적으로 국외기관과 MOU를 맺어왔으며, 해외 석학 및 현장 전문가의 세미나를 지속적으로 열고자 함.

Humanity Engineering Center(HEC)와 연계하여 지역사회 문제해결 교류 활성화

- **본 교육연구팀 전-- 교수, 이-- 교수 등의 주도로 한양대학교와 성동구청은 2020년2월 27일 한양대학교-성동구청 지속가능한 도시를 위한 관학협력 업무협약(MOU) 체결,**등 성동구 지역사회에서 포괄적 분야에서의 장기적인 산학협력의 확산과 **지속가능성 확보를 위한 기반을 구축함**
- 업무협약서의 제 2조는 협력의 범위와 내용에 대해 명기하였으며, 한양대 자원환경공학과는 **학과보유 우수기술을 지역사회 문제해결에 활용하기 위해, Humanity Engineering Center(HEC)를 설립하여 본 교육연구팀과 공동운영의 기반 구축**

한양대학교-성동구청 지속가능한 도시를 위한 관학협력 업무협약 (MOU) 제2조 (협력 범위 및 내용) : 1. 지역사회 혁신과 도시재생 활성화를 위한 리빙랩 프로젝트 운영 협력지원 2. 대학보유 우수기술 및 Humanity Engineering Center (HEC) 사업화 협력 및 기술사업화 협력 네트워크 구축 3. 낙후된 생산기술을 혁신적 기술로 변화시키는 산업재생 구축 및 활성화를 위한 사업발굴, 추진, 지원 및 관련 교육분야 협력 4. 창업교육, 현장실습 및 인력양성 교육 프로그램 협력, 5. 성동구 관내 산업체의 산업재생 및 신산업 육성지구 조성을 위한 창의적 아이디어 발굴과 사업화 지원

<Humanity Engineering Center과의 공동운영 기반 구축>

IC-PBL+ 고도화 및 산업/사회 연계형 IC-Connect & Share 플랫폼 구축

- 본 교육팀은 기업이나 지역 사회에서 요구하는 현장 문제를 활용한 교육과정인 IC-PBL+ 및 기업 및 지역사회에서 요구하는 과제를 대학의 자원을 활용하여 함께 프로젝트를 수행하는 IC-Project를 진행할 계획임
- IC-Project은 대학원 석박사 수료자 혹은 졸업자가 기업 및 지자체로부터 산학 연구를 받아서 수행하며 자기 주도적인 산학연구과제를 수행하고 기업은 연구비와 장학금을 지원하며 결과물을 소유하는 연구과제임

- 효율적인 IC-PBL+ 운영을 위해 지역사회, 기업과 상시적인 협력 플랫폼인 IC-Connect & Share를 구축. 기업이나 지역 사회와 MOU를 체결하여 멤버십 기업/기관으로 등록하고 대학-기업/기관간에 IC-PBL+를 통한 다양한 협력 프로그램을 운영할 예정임

현장 연계 교육 연구 프로그램 도입을 통한 현장실무에 적합한 인재 육성

- 본 교육연구팀은 캐나다 MKS Investment Ltd.와의 MOU를 통해 회사에서 보유하고 있는 유가스전에 대한 현장데이터를 제공받았으며, 이를 유가스전 평가/분석 및 연구에 활용하여 현장실무에 적합한 인재를 육성할 예정임
- 미국 남서부 Permian 분지의 비전통 유가스전에서는 가스 생산에 인공지능/딥러닝 등 스마트기술을 연계한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 본 교육연구팀은 네트워크 및 MOU를 기반으로 해당 현장에 직접 학생을 파견하여 현장중점교육 및 공동연구를 수행할 예정임

기업 연계 교육 및 교류 네트워크를 통한 멘토링 및 세미나개최

- 해외 산업체의 전문가를 초청하여 글로벌 전문가 세미나를 개최함으로써 참여 대학원생들에게 해외 산업체의 기술 개발 동향을 알려주고 국제 경쟁력이 갖춰진 글로벌 인재 양성 배출을 하고자 함
- 매년 1회 이상의 BK21 FOUR 학술제를 통해 산/학/연에 진출한 선배와 학생간의 들과의 멘토링 네트워크를 구축하여 지속적인 관계 유지를 통해 산업 및 사회가 요구하는 연구방향을 수렴하고, 현장의 문제점을 적극적으로 발굴 하고자 함

Chevron	Schlumberger	CMG COMPUTER MODELLING GROUP LTD.	MKS INVESTMENTS LTD. Oil & Gas, Power, Mid-Stream, PetChem Investments and Advisory

국제 네트워크 강화로 인적 교류 저변 확대

- 캐나다, 미국, 중국, 인도네시아, 몽골, 우즈베키스탄 등 여러 국가의 연구소 및 대학과의 MOU를 기반으로 인적, 물적 교류를 통해 국제사회의 니즈에 맞는 글로벌 인재 양성
- 세계저명대학 및 해외 산업체 인사를 포함한 Global-IAB(Global Industry Advisory Board)를 통해 산업/사회 문제해결교육의 추진과 운영에 대해 자문을 받고자 함

PennState	LANZHOU UNIVERSITY 1909	XI'AN UNIVERSITY	ERDENES NATIONAL CENTER R&D

3. 연구의 국제화 현황

3.1 참여교수의 국제화 현황

① 국제적 학술활동 참여 실적 및 현황

국제학회/학술대회 활동

국제학회/학술대회 활동: 국제학회/학술대회 위원회

대표사례

본 교육연구팀의 이-- 교수는 저명한 국제 에너지 기구 회의인 IEA-EOR에서 대한민국 대표로 참가해왔으며, 그 결과, 2016년 IEA-EOR분과에 한국이 정식 가입국으로 승격되었음. 매년 IEA-EOR에서 발표를 통해 대한민국의 오일생산 증진 기술 발전 현황을 발표함과 동시에 세계 각국과의 연구 내용 교류를 통해 국제적인 협력 방안 및 인적 네트워크 구축을 수행하고 있음.

연번	참여교수	해당연도	내 용
1	이---	2015~2017	Geotechnical committee, Metropolitan Section, American Society Civil Engineers (ASCE), New York, USA
2	이---	2018	Delegate of Korea, The 39th Annual IEA EOR Workshop and Symposium, Copenhagen, Denmark
3	이---	2019	Delegate of Korea, The 40th Annual IEA EOR Workshop and Symposium, Cartagena, Colombia
4	전---	2018	Scientific Committee member, the 4th International Conference on Contaminated Land, Ecological Assessment and Remediation (CLEAR), The Hong Kong polytechnic university, Hong Kong, China

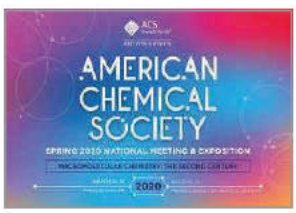
국제학회/학술대회 활동: 국제학회/학술대회 초청강연, 기조연설

대표사례 1

본 교육연구팀의 이--- 교수는 2014년부터 Carbon Capture & Storage (CCS) 국제학회에 초청받아 CO_2 수송 및 저장 기술의 응용을 주제로 강연을 펼치며, 국제적 산학 협력 연구에 기여하고 있음

대표사례 2

본 교육연구팀의 전-- 교수는 매년 국제 바이오에너지 관련 학술대회에서 바이어에너지 및 바이오배스 생산 효율을 주제로 초청강연을 하였으며 외국인 대학원생 유치 성과에도 기여하고 있음



연번	참여교수	일시/기간	내 용
1	이---	2015.02.09	The 5th Korea CCS International Conference, Jeju, Korea, Fundamentals and Applications of CO_2 Transport and Storage Technology

2	전---	2016.09.26.	The 13th U.S.-Korea Forum on Nanotechnology: Neuromorphic computing and Water & Energy Sustainability, Seoul, Korea, Recent progress in microalgal biomass production coupled with wastewater treatment for biofuel generation
3	전---	2017.02.08.~ 10.	The 7th Korea CCUS international conference, Jeju, Korea, Serial fermentation of carbohydrate and protein from microalgal biomass for bioalcohol production and subsequent conversion of lipid into biodiesel: A new approach
4	전---	2018.08.16.~ 18.	The 4th international conference on contaminated land, ecological assessment and remediation (CLEAR), Hongkong, China. Microalgal remediation of pharmaceutical contaminants from water
5	전---	2019.11.20.~ 24	International Conference on New Horizons In Biotechnology, Kerala, India, Whole conversion of microalgal biomass to biofuels through energy efficient pretreatment and fermentation
6	S--- ---	2016.12.08.~ 10.	International conference on current trends in biotechnology (ICCB-2016), Vellore, India, Phytoremediation technologies for cleaning textile dyes from industrial effluents and contaminated sites
7	S--- ---	2018.08.19.~ 23.	256th ACS National Meeting in Boston, MA, USA, In situ phytoremediation of organic contaminants from textile wastewater using garden ornamental plants in a constructed wetland
8	S--- ---	2019.03.31.~ 2019.04.04.	257th ACS National Meeting in Orlando, FL, USA, In-situ phytoremediation of textile effluent using Vetiveria zizanioides in constructed wetland/phytobeds

국제학회/학술대회 활동: 국제학회/학술대회 좌장

연번	참여교수	일시/기간	내 용
1	이---	2015.06.24.~ 25.	The 25th International Ocean and Polar Engineering Conference, Kona, USA, Chairman of Carbon Capture Sequestration (CCS) Session
2	이---	2016.09.18.~ 11.	The 37th Annual IEA EOR Workshop and Symposium, France
3	이---	2017.09.26.~ 30.	The 38th Annual IEA EOR Workshop and Symposium, Mexico
4	이---	2018.09.03.~ 07.	The 39th Annual IEA EOR Workshop and Symposium, Denmark
5	이---	2019.09.16.~ 20.	The 40th Annual IEA EOR Workshop and Symposium, Colombia

6	전---	2017.04.02.~ 06.	253rd American Chemical Society National Meeting & Exposition, San Francisco Marriott Union Square, San Francisco, CA, United States, Organizer of Geochemistry Session,
7	전---	2018.03.18.~ 26.	255th American Chemical Society National Meeting in Exposition, New Orleans, United States, Organizer of Geochemistry Session
8	전---	2018.08.16.~ 18.	4th International Conference on Contaminated Land, Ecological Assessment and Remediation, Hong Kong, China, Chair of Bioavailability/Bioaccessibility of Contaminants Session
9	전---	2018.08.19.~ 23.	256th ACS National Meeting and Exposition, Boston, USA, 2018.08.19. ~ 23.
10	전---	2019.03.31.~ 2019.04.04.	257th ACS National Meeting and Exposition, Orlando, Florida, USA, Organizer of the Division of Geochemistry

국제학회/학술대회 참석 및 발표

- 본 교육연구팀의 참여교수진은 최근 5년간 아래와 같이 국제학회 및 학술대회 참석 및 발표를 하여 세계적 수준의 전문가 및 연구 인력과 최신 연구 동향에 대한 활발한 교류를 이어오고 있음(**총 참석건수 37건, 발표건수 70건**)

연번	참여교수	참석 및 발표건수	주 요 학 회
1	이---	3	George Fox Conference-Wine and Cheese Event, New York, USA, Host로 참여
2	이---	23	18th European Symposium on Improved Oil Recovery, Dresden, Germany 외 22건
3	전---	29	257th ACS National Meeting & Exposition, Orlando, Florida, USA 외 28건
4	S--- - - -	18	International Conference on Biotechnological Research and Innovation for Sustainable Development (BioSD-2018) & XV Annual Convention of the Biotech Research Society, India 외 17건

국제 학술 활동

국제 학술활동 요약

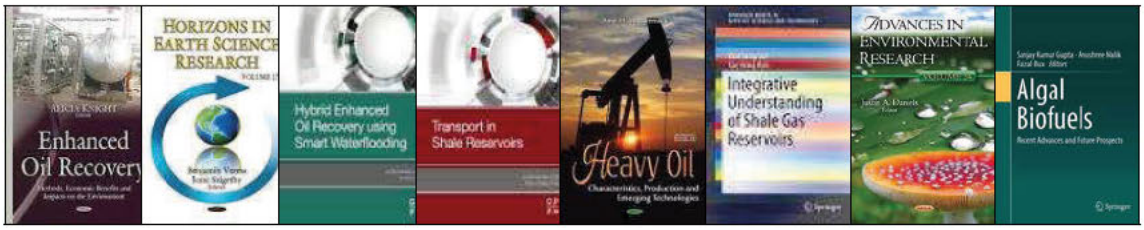
- 본 교육연구팀의 최근 5년간 국제학술 관련 활동 내역은 아래와 같음

항 목	저 서	학술지 편집위원	학술지 심사위원
건 수	9 건	13 건	38 건

국제 학술활동: 저술 활동

대표사례

본 교육연구팀의 이근상 교수는 석유회수증진기술 분야의 전문가로서 관련 분야의 우수 석학들과 공동으로 총 8편을 집필하여 세계적 수준의 전문가들과 국가, 세계의 연구력에 기여하며 학생들의 교육용으로 활용되며 본 교육연구팀의 목표인 글로벌 선도 인재 양성의 수월성을 확보함



연번	참여교수	일시	출판사	출판 제목	ISBN
1	이---	2015	Nova Science Publishers	“Numerical Simulation of CO_2 Sequestration in Saline Aquifer Influenced by Heterogeneous Capillary Pressure and Wettability” in Advances in Environmental Research	9781634828857
2	이---	2015	Nova Science Publishers	“Optimization of Polymer Flooding in Reservoirs under Bottom-Water Condition to Maximize Economic Profit” in Enhanced Oil Recovery: Methods, Economic Benefits and Impacts on the Environment	9781634639439
3	이---	2015	Nova Science Publishers	“Optimized Design of Water-Alternating-Gas Enhanced Oil Recovery (EOR) Projects in Heterogeneous Reservoirs” in Enhanced Oil Recovery: Methods, Economic Benefits and Impacts on the Environment	9781634639439
4	이---	2016	Nova Science Publishers	Heavy Oil: Characteristics, Production and Emerging Technologies	9781536108675
5	이---	2016	Springer	Integrative Understanding of Shale Gas Reservoirs	9783319292953
6	이---	2019	Nova Science Publishers	Horizons in Earth Science Research	9781536158274
7	이---	2019	Gulf Professional Publishing	Hybrid Enhanced Oil Recovery using Smart Waterflooding	9780128167762
8	이---	2019	Gulf Professional Publishing	Transport in Shale Reservoirs	9780128178607
9	전---	2017	Springers	Algal Biofuels : Recent Advances and Future Prospects of Microalgal Lipid Biotechnology	9783319510101

국제학술 활동: 편집위원, 심사위원 활동

- 국제학술지 편집위원 활동
  - 본 교육연구팀의 참여교수진은 **총 13건**의 국제학술지 편집위원직을 역임하며 석유가스, 바이오에너지, 환경복원 분야의 연구력 발전에 널리 기여하고 있음

연번	참여교수	일시/기간	내 역
1	이---	2013.09~2020.02	Editor in Chief, Geosystem Engineering
2	이---	2017.3-현재	Co-Editor, International J. of Oil, Gas and Coal Technology
3	이---	2020.3-현재	Guest Editor, Applied Sciences
4	전---	2015-2019	Co-editor, Chemical and Environmental Research
5	전---	2017-2019	Co-editor, Disaster Advances
6	전---	2015-현재	Co-editor, Pollution
7	전---	2016-현재	Co-editor, Geosystem Engineering
8	전---	2016-현재	Co-editor, Research Journal of Chemistry and Environment
9	전---	2018-현재	Co-editor, Energies
10	S--- ---	2016-2019	Co-editor, Journal of Microbiology and Biotechnology
11	S--- ---	2008-현재	Co-editor, Journal of Biotechnology
12	S--- ---	2012-현재	Co-editor, Journal of Krishna Institute of Medical Sciences
13	S--- ---	2013-현재	Co-editor, The Scientific World Journal

- 국제 학술지 심사위원 활동
  - 본 교육연구팀의 참여교수진은 다음과 같이 다양한 국제 학술지 심사위원직을 수행 중이며, 우수 리뷰어로 다수 선정되는 등 국제 연구 학술지의 질적 향상에 크게 기여함

연번	참여교수	내 역	비 고
1	전---	Algal Research 등 총 18건	2017년 우수 리뷰어 선정
2	전---	Energy & Environmental Science	2017년 우수 리뷰어 선정
3	전---	Energy Conversion and Management	2016년 우수 리뷰어 선정
4	전---	Water Research	2018년 우수 리뷰어 선정
5	S--- ---	Trends in Biotechnology 등 총 25건	
6	S--- ---	Applied Microbiology and Biotechnology	

② 국제 공동연구 실적

<표 3-6> 최근 5년간(2015.1.1.-2019.12.31.) 국제 공동연구 실적

연번	공동연구 참여자		상대국/ 소속기관	국제 공동연구 실적	DOI 번호/ISBN 등 관련 인터넷 link 주소
	교육연구팀 참여교수	국외 공동연구자			
1	이---	Song,--- ---	미국/Worley	Song, S. H., & Lee, S. S. (2019). Finite element steady-state vibration analysis considering frequency-dependent soil-pile interaction. Applied Sciences, 9(24), 5371.	10.3390/app9245371
2	전---, S--- ---	T--- ; R--- ; --- ---	인도/Shivaji University; 중국/Chinese Academy of Sciences	Waghmode, T. R., Kurade, M. B., Sapkal, R. T., Bhosale, C. H., Jeon, B. H., & Govindwar, S. P. (2019). Sequential photocatalysis and biological treatment for the enhanced degradation of the persistent azo dye methyl red. Journal of hazardous materials, 371, 115-122.	10.1016/j.jhazmat.2019.03.004

연번	공동연구 참여자		상대국/ 소속기관	국제 공동연구 실적	DOI 번호/ISBN 등 관련 인터넷 link 주소
	교육연구팀 참여교수	국외 공동연구자			
3	전----	R--- ---	이집트/City of Scientific Research and Technology Applications	Salama, E. S., Kurade, M. B., Abou-Shanab, R. A., El-Dalatony, M. M., Yang, I. S., Min, B., & Jeon, B. H. (2017). Recent progress in microalgal biomass production coupled with wastewater treatment for biofuel generation. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 79, 1189-1211.	10.1016/j.rser.2017.05.091
4	S--- ---	P--- ; A--- ---	나이지리아/Federal University of Agriculture; 나이지리아/University of Lagos	Bankole, P. O., Adekunle, A. A., & Govindwar, S. P. (2018). Enhanced decolorization and biodegradation of acid red 88 dye by newly isolated fungus, Achaetomium strumarium. Journal of Environmental Chemical Engineering, 6(2), 1589-1600.	10.1016/j.jece.2018.01.069

3.1 참여교수의 국제화 현황

③ 외국 대학 및 연구기관과의 연구자 교류 실적 및 계획

외국 대학 및 연구기관과의 연구자 교류 실적

우수 대학 및 연구기관과의 MOU현황 및 연구자 글로벌 장단기 연구교류

- 외국 대학 및 연구기관과 MOU 현황
  - 외국 대학 및 연구기관과 본 교육연구팀간의 MOU 체결을 통해 긴밀한 협력으로 공동연구, 교육, 연수 및 출판 수행 등의 지속적인 관계를 발전시켜 옴
  - 최근 5년간 본 교육연구팀은 연구자 교환연수, 연구교류, 협력연구 등의 내용으로 **외국의 우수 대학 및 연구기관과 체결한 8건의 MOU를 보유**하고 있음
    (△2014년 King Saud Univ.; Shivaji Univ. △2015년 Penn State Univ. College of Earth and Mineral Sciences; Penn State Univ. College of Engineering △2018년 Institute of Mineral Resource △2019년 Xi' an Univ.; Lanzhou Univ.; Erdenes National Research Development Center)
- MOU 및 인적 네트워크를 활용한 장·단기 연구자 교류

참여교수	일시	연구자 교류 목적
이----	2017.08.05.~08.	CMG 지사 방문 컨설팅 (Polymer flooding 공법 기술 습득)
이----	2018.02.07.~13.	인도네시아 스마트워터 현장 방문
전----	2018.02.27.~2018.03.03	우즈베키스탄 에너지사업 네트워크 구축 논의
전----	2018.06.19.~27.	자원개발 현장 부지 선정 및 실험 시료 확보
전----	2018.12.18.~21.	자원개발 현장 부지 답사 및 Goscom Geology와의 기술회의

- 외국 대학 및 연구기관 연구자의 방문 공동연구 및 인턴십 프로그램 참여
  - 본 교육연구팀의 연구실을 외국 대학 및 연구기관의 연구자가 방문하여 연구를 공동으로 수행 및 공유하고, 미국 미네르바 대학 등의 학생이 참여하는 리서치 프로젝트에 참여하여 외국 우수 연구자들과 연구 교류하였음

연구기관 및 연구자	일 시	기 간	교류 내용
Prof. A----	2016년 2학기	6개월	Iran Isfahan Univ. 정교수로서 Visiting scholar로 방문 및 연구 수행
Minerva School	2018년 2학기	4개월	학생 두 명의 방문 및 인턴십 수행
L----	2018년 1학기	2개월	중국의 Jilin University에서 연구실 인턴십 및 방문 프로그램 참여
Prof. T----	2019년 1학기	1주일	Canada Polytechnique Montréal 정교수로서 연구실 방문 및 연구 수행
Minerva School	2019년 2학기	4개월	학생 세 명의 방문 및 인턴십 수행

국외 대학 및 연구기관과의 연구자 교류를 위한 초청강연 및 세미나

- 참여교수의 외국 대학 및 연구기관에서의 초청 강연
  - 외국 대학 및 연구기관에 초청 받아 최신 연구동향을 공유하고, 미래 발전 방향에 대해 모색하여 공동연구의 방향성을 정립하였음

참여교수	연구기관 및 방문일시	연구동향
전----	The Penn State University, 2016.08.26.	Influence of As(V) on the oxidation of Fe(II) by low concentration of dissolved oxygen
전----	Lanzhou University, 2019.01.15.	Microalgal remediation of pharmaceutical contaminants from water

전---	Xi'an University 2019.01.17	Microalgal remediation of pharmaceutical contaminants from water
S---- ----	Lanzhou University, 2019.09.15.	Phytoremediation technologies for cleaning textile effluent

- 외국 우수 연구자 초청 세미나 개최 **(총 21건)**
  - 최근 5년간 본 교육연구팀은 세계적 수준의 현장전문가와 연구자의 초빙강연을 통해 스마트 기술의 융합과 최신 연구동향 교류를 통한 글로벌 선도 인재 양성을 추구해 옴
  - 연구자 네트워크를 기반으로 관련한 다양한 분야의 최신 국제 연구동향을 공유하여 연구력 향상에 기여함 **△이산화탄소 저감 및 석유공학 관련 분야 7건 △바이오에너지 관련 분야 4건 △친환경 자원 에너지 개발 공학 분야 5건 △환경 공학 관련 분야 1건 △암반 공학 분야 1건 △기타 관련 분야 3건**

대표사례

2016년에 본 교육연구팀의 인적네트워크를 기반으로 Penn State Univ.의 William Burgos교수를 초청하여 Impact of shale gas wastewater disposal on lake sediments라는 주제로 강연을 진행하였음. 비전통가스인 셰일가스 공학 분야와 관련하여 연구내용을 교류 및 제시하여 본 교육연구팀의 연구 가이드라인 제시와 연구력 증진에 기여하였음

국제 인적자원 및 연구자 교류를 통한 연구 실적

- 학술교류를 통한 외국인 교수 및 신진연구인력 임용
  - 본 교육연구팀은 최근 5년간 다수의 국제 학술대회 참가, 국제학회 session organizer 수행 등 학술교류를 기반하여 **외국인 전임교수 2명, 연구교수 2명, 신진연구인력 8명을 임용**하여 창의 및 혁신적인 세계적 수준의 연구를 제안하고 수행하였음
  - 신재생에너지 분야의 전문 인력 추가 임용을 통하여 대학원생들의 국제 선진적 연구력 증진 및 국제 감각 함양과 외국어 능력 강화에 기여하였음
  - 에너지자원 개발 분야의 외국인 연구교수와 신진연구인력을 채용하여 본 교육연구팀의 비전과 목표에 부합하는 연구의 기반을 마련하였음
- 국제 연구 교류를 통한 논문 게재 실적
  - 본 교육연구팀은 꾸준한 외국인 교수 및 신진연구인력을 임용하여 네트워크 저변을 확장하고 국제공동연구를 양적, 질적으로 향상시키며 수행해옴
  - **최근 5년간 국외 23개국의 21개 기관, 54개 대학과 MOU 협약 및 연구자 연구교류를 기반으로 총 82건의 SCIE 논문을 게재하여 활발한 연구자 교류 실적을 달성하였음**

외국 대학 및 연구기관과의 연구자 교류 계획

국제 네트워크 강화 및 글로벌 연구 선도 인재 양성

- 지속적인 MOU체결 추가 및 인적/물적 네트워크 확장
  - 미국 5건, 사우디아라비아 1건 등 6건 이상 외국의 우수 대학 및 연구기관과의 MOU를 추가적으로 체결하여 연구자 교류를 통한 글로벌 인재 양성을 목표로 함
  - 외국인 저명학자 논문 공동지도: MOU협약을 적극 활용하여 국제 저명학자를 대학원생 논문 지도 Committee로 초빙하고 공동지도하여 논문의 질적 향상을 목표로 함

- 외국 우수 대학 및 연구기관으로 진출하는 차세대 지도자형 인력을 양성 및 배출하여 관련분야의 연구자 교류 확대 및 새로운 인적 네트워크 형성할 수 있음

• 외국 장·단기 연수를 통한 현장 중심형 국제 공동 실증 연구 계획

- Global Study Fund사업 신설을 통해 공동 연구 및 인력파견을 교수 중심으로 운영하는 경우 교육연구팀은 2천만원, 개인은 1천만원 한도에서 지원할 계획임
- 학교 차원에서 기존의 스터디 투어 프로그램을 확대하여 현지방문을 통한 특강, 산업체 견학, 실습 및 연구를 수행하는 스터디 프로그램을 시행하고 프로그램 진행에 필요한 경비 지원할 계획으로 지속적인 국제 현장 방문과 공동연구를 수행할 수 있음
- 국제 공동 연구 논문 출판을 조건으로 국제 공동 연구를 수행하는 연구실별 파견 연구비 추가 지원할 계획이며 다음과 같이 **3건 이상의 국제 공동연구 계획** 중에 있음

연도	기간 구분	횟 수	내 용
2020년~	단기 방문연구	연 1회	우즈베키스탄의 Almalyk 광산 현장에서 IoT/ICT기술의 적용으로 4차 산업혁명에 대응하는 전공에 대한 융합 연구를 수행
2021년~	단기 방문연구	연 1회	캐나다에 위치한 MKS Investment Ltd. 소유 유가스 개발 현장을 방문하여 산업 현장 실증을 위한 공동 연구 수행
2021년~	장기 방문연구	연 1회	미국 New Mexico Tech의 Permian 분지 현장을 방문하여 유가스전 현장교육 및 공동연구를 수행

• 글로벌 연구자 방문 등 공동연구 지원을 위한 국제화 프로그램 확대

- 기존 Global Research Fund를 연간 15억까지 확장하여 해외석학초청 및 방문 지원
- 외국 저명한 연구자의 방문 시 주거 제공으로 연구 생활의 편의 및 안정성 보장
- 노벨상 수상자(또는 준비하는 연구자) 초청 시 체재비 및 항공료 지원하고 국제 저명 Editor 초청 시 항공료 지원하여 공동연구의 질적 향상을 도모할 계획임
- 기존의 국제화 프로그램인 스터디투어, 리서치 프로젝트를 개편하여 역량 있는 외국대학의 석사학생을 연구실로 초청하여 인턴십 프로그램으로 공동연구를 수행하고 박사과정 입학 시 장학금, 생활비, 기숙사를 지원하는 패키지 서비스를 제공할 계획임

Beyond Connection(BC)-speaker 프로그램 신설을 통한 글로벌 역량 고도화

• BC-speaker 프로그램 신설

- MOU 및 인적 네트워크를 통해 초청하는 연사와의 단순한 연구교류를 위한 세미나를 넘어 **지속적이고 점진적인 연구자 교류 시스템을 구축**할 계획임
- 한국과 외국의 상호 초청연사는 본국으로 귀국한 후 연구자의 최신 연구 성과에 대한 영문 뉴스레터를 제작 및 해외 연구자에게 해마다 배포하여 지속적인 연구 동향 교류
- 세미나 참여 대학원생은 연간 e-mail 등의 수단을 이용하여 우수 연구자와 교류 기회를 제공하고 향후 공동연구의 수월성을 확보하여 글로벌 역량 고도화를 추진

다국적 우수 인재 유치 강화 및 국제공동연구의 질적 향상

• Total Care-E^{2}를 통한 지원을 바탕으로 세계적 수준의 경쟁력 있는 우수한 외국인 교수 및 신진연구인력을 3명 이상 추가 임용하여 국제협력 연구에 활용할 계획임

• 외국인 교수 및 신진연구인력 임용 전략을 통해 인적네트워크의 저변을 확대할 계획이며 **연간 10건 이상의 양질의 공동연구 실적 달성을 목표로 함**