



### 비전통오일 생산플랜트 건설 핵심기술 개발 사업단

Untraditional Oil Production Plant with an Innovative Construction Technology and Enhanced Engineering Research (U-TOP PIONEER)

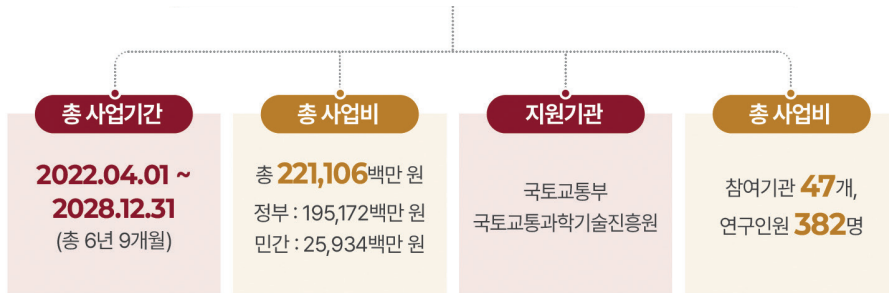
신수교 · 주경훈 · 이혜진 · 박정원 · 김현진 · 장암 / 성균관대학교 비전통오일 사업단, amjang@skku.edu

<https://www.utop.kr>

#### 사업단 개요

비전통오일 생산플랜트 건설 핵심기술 개발 사업단(이하 비전통오일 사업단)은 국토교통부와 국토교통과학기술원(KAIA)의 지원으로 지난 2022년 4월에 출범했습니다. 캐나다 오일샌드 생산-처리-이송 플랜트 핵심기술 개발 및 실증을 목표로 연구하고 있으며, 사업단 총괄 및 5개의 중점분야로 구성되어 있습니다. 오일 샌드 관련 중점별 핵심기술 개발을 통해 기술의 완성도와 상용화를 위한 전략적 발판을 갖추도록 구성되어 있습니다.

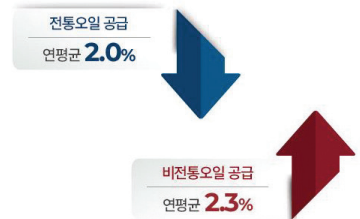
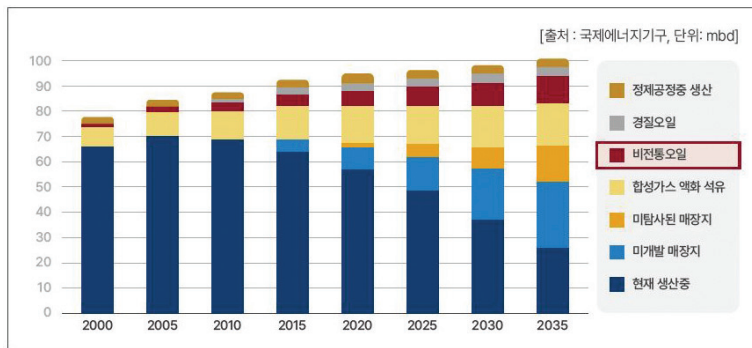




### 비전통오일의 기대가치

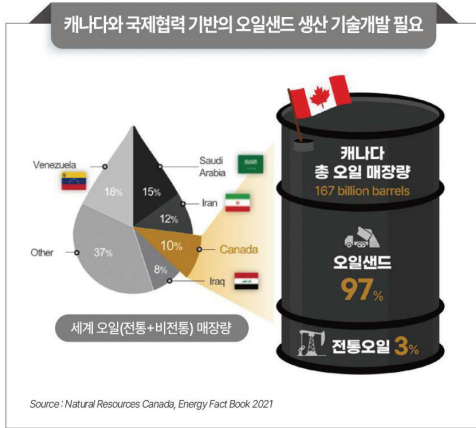
비전통오일은 2000년도 이후 생산되기 시작했으며, 향후 국제 석유 시장에 미치는 파급력이 매우 높을 것으로 전망되나, 생산비용, 환경문제 등 여러 가지 해결과제가 남아있습니다. 전통오일 자원의 고갈이 예상됨에 따라 비전통오일 시장의 확대는 불가피해 보이며, 오일시장의 주도권이 기존 중동국과 러시아에서 미국, 캐나다, 중국, 유럽 등으로 이동할 것으로 전망됩니다. 비전통오일은 약 9조 배럴의 가채매장량을 보유하고 있으며 이는 전통오일의 약 4조 배럴 대비 2배 이상이라고 보고되고 있습니다(IEA, 2022). 비전통오일 생산에 대한 기술 개발을 통해 경제성과 효율성이 확보된다면 향후 전세계 오일시장을 선도하고 국제유가 안정화를 이끌 수 있을 것으로 전망되고 있습니다.

### 원유별 세계 오일 공급 전망



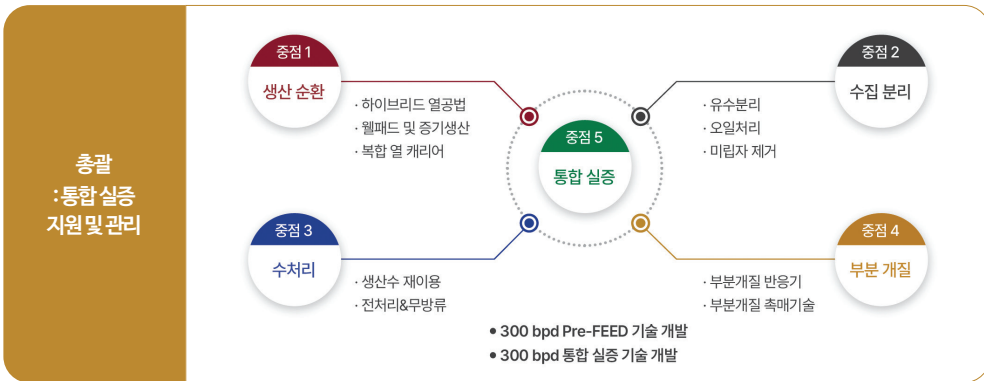
### 국제협력 기반의 오일샌드 생산기술 개발

비전통오일 중 캐나다의 오일샌드 매장량은 전 세계매장량의 71.6%에 달하며, 베네수엘라의 초중질유는 전 세계매장량의 97.9%에 달합니다(Natural Resources Canada, 2021). 하지만 베네수엘라 정부는 개발을 제한하고 있어 접근이 어려운 반면에, 오일샌드 개발이 개방된 캐나다와는 국제협력이 가능합니다. 따라서, 비전통오일 사업단은 캐나다와의 국제협력을 바탕으로 경제성과 효율성이 확보된 친환경 오일샌드 생산기술을 개발하고자 합니다.



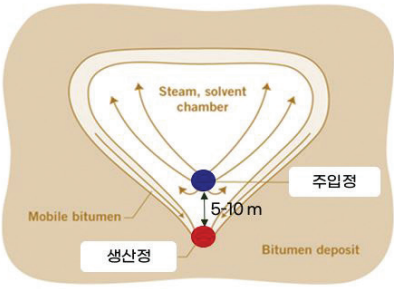
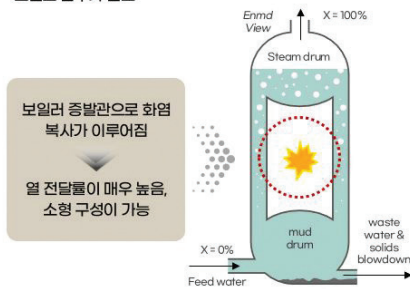
**중점분야별 소개 및 세부 핵심기술**

본 사업단은 오일샌드로부터 오일을 추출하기 위한 생산·순환, 수집·분리, 수처리, 부분 개질 부분의 핵심기술을 개발하고 캐나다 현지 통합 실증을 통한 상용화 기반을 마련하고자 합니다. 특히, 고부가가치 영역인 중상류 부문의 설계기술을 확보하고, 플랜트 건설경쟁력 증대를 통해 해외 플랜트 수주를 확장하고자 합니다.




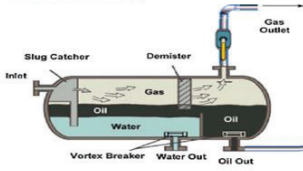
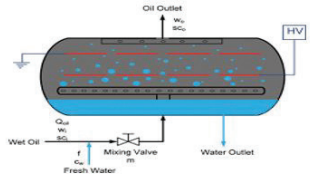
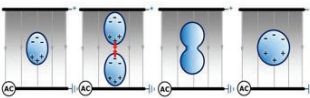

**1) 중점분야 ① - 생산·순환**

중점분야 1에서는 주관연구기관인 한국건설기술연구원을 중심으로 11개의 공동연구기관과 1개의 위탁연구기관이 함께 온실가스 배출 저감과 회수율 증진을 위한 친환경·고수율 열공법, 유동·순환설비 자립 기술을 개발하고 있습니다. Expanding Solvent-Steam Assisted Gravity Drainage (ES-SAGD) 공법은 탄화수소 용매를 생산된 고온·고압의 고순도 증기와 함께 주입하여 솔벤트의 특성과 시추공의 배열구조 및 열손실층에 대한 보안을 결합한 공법입니다. SAGD 공법에 비해서 스팀 챔버 확장 능력이 좋으므로 불균질 저류층에서도 경제성 확보가 가능하며 실증광구의 불균질성을 반영한 ES-SAGD 운영조건 최적화를 통해 오일 회수율을 극대화할 수 있습니다.

최종 목표		친환경·고수율 열공법 및 유동·순환 설비 자립기술 실증 개발	
ES-SAGD 공법 (주입정/생산정)	<ul style="list-style-type: none"> <li>수직 방향 약 5~10m 간격으로 시추된 두 개의 유정을 통해 스팀+Solvent 챔버 형성 → 중력배유를 통한 원유 생산</li> </ul>	보일러 (스팀생산)	<ul style="list-style-type: none"> <li>원유 회수 증진용 스팀의 생산</li> <li>Drum type 보일러를 이용하여 높은 건조(~100%)의 스팀 생산이 가능</li> <li>긴 체류시간을 이용한 고체분리에 효과적</li> <li>고순도 급수가 필요</li> </ul>
			

## 2) 중점분야② - 수집·분리

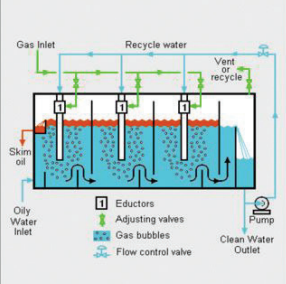

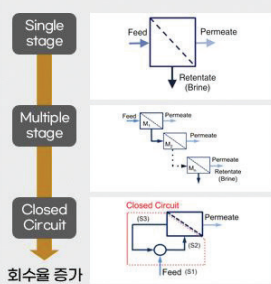
중점분야 2에서는 성균관대학교와 7개의 공동 연구기관들이 함께 오일 함유 다상 혼합물질 수집 및 분리 설비 기술을 개발하고 있습니다. 미립자 제거 단계에서는 싸이클론을 이용하여 모래 등 원유에 남아있는 이물질질을 제거합니다. 고효율의 유수분리가 가능한 3상 유수분리기로 밀도 차이에 의한 물과 오일의 분리가 이루어집니다. 분리된 오일은 3상 유수분리기에서 정전기 유착 방법을 이용한 탈염 기술을 적용하여 오일의 품질의 향상과 비전통오일 생산·운영의 경쟁력을 확보하게 됩니다. 또한 고품물 이송 능력을 가진 슬러지 이송 펌프 등 통합시스템 구축과 모듈화로 다양한 환경에서도 설치가 용이하며 극한지 환경에서도 대응이 가능하게 하고자 합니다.

최종 목표			오일 함유 다상 혼합물질 수집 및 분리설비 기술 개발		
미립자 제거 설비	3상 유수분리기	탈염 설비			
<ul style="list-style-type: none"> <li>싸이클론 방식의 모래 등 원유에 남아 있는 이물질 제거</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>3상(가스, 물, 오일) 분리</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>정전기적유착 작용을 통해 원유에 잔존하는 물과 염성분을 분리</li> </ul>			
					
	<ul style="list-style-type: none"> <li>체류시간에 따라 물과 오일의 밀도 차에 의한 중력 침강 및 응집에 의한 분리</li> </ul>				
					

3) 중점분야③ - 수처리

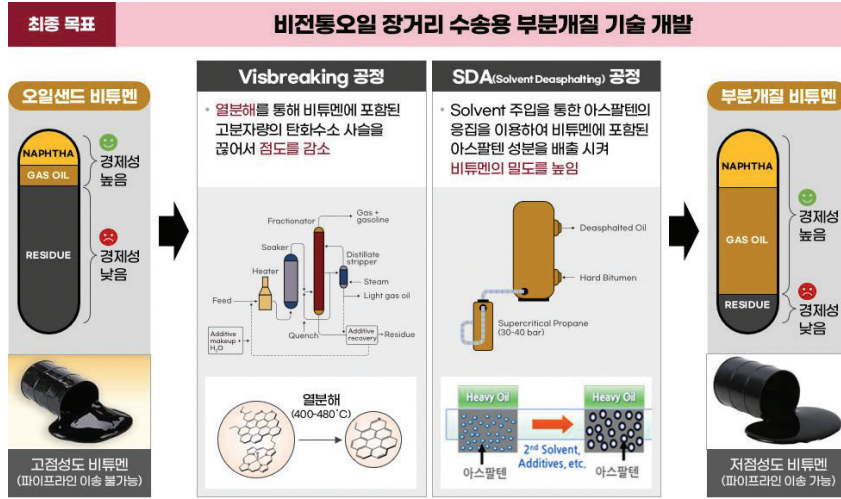
오일 생산 과정에서 발생하는 고농도의 폐수로부터 맞춤형 재이용수 활용을 위해, 중점분야 3에서는 한국건설기술연구원 과 8개의 공동기관이 함께 국산 소재를 활용한 고효율 생산수 재이용과 무방류 자립 기술을 개발하고 있습니다. 오일 제거 및 부식성 유기물 처리를 위한 전처리, 고온 스팀 순환수 처리를 위한 전처리, 고회수율 재이용수 생산을 위한 본처리, 현지 규제에 부합하는 농축수 무방류를 위한 후처리로 구성되어 있습니다. 전처리와 전전처리 단계에서는 국산 소재 세라믹 분리막의 활용과 현장 혼합가스 유도를 통한 IGF 최적화로 잔류유류 성분과 유기물을 제거합니다. 본처리와 후처리에서는 국산 소재 전극 탈염 기술과 Zero Liquid Discharge (ZLD) 공정을 이용하여 고회수율 재이용수의 생산합니다. 또한 농축수 회수를 통해서 현지 규제에 부합하는 무방류 기술을 적용할 수 있도록 구성되어 있습니다.

**최종 목표      생산수 계통의 오일제거 및 수처리 복합공정 설비기술 개발**

우도가스부상 설비 (전전처리)	세라믹 분리막 공정 (전처리)	폐쇄회 방식 역삼투 공정 (본처리)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 미세기포를 주입시켜 부유물질과 흡착된 상태로 상부로 부유하게 하여 제거</li> <li>• 미세기포에 흡착된 부유물들이 스킴에 의해 제거되는 원리</li> <li>• 오일 제거 90%</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 세라믹 분리막: 높은 고온 안정성, 화학적 안정성 높아 내부식성이 뛰어남</li> <li>• 고온의 생산수 처리 가능</li> <li>• 오일 제거 99%</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 폐쇄회로를 사용해 염수액을 연속으로 탈염시키는 장치를 활용한 공정</li> <li>• 고회수율 재이용수 생산 가능</li> </ul>  <p>회수율 증가</p>

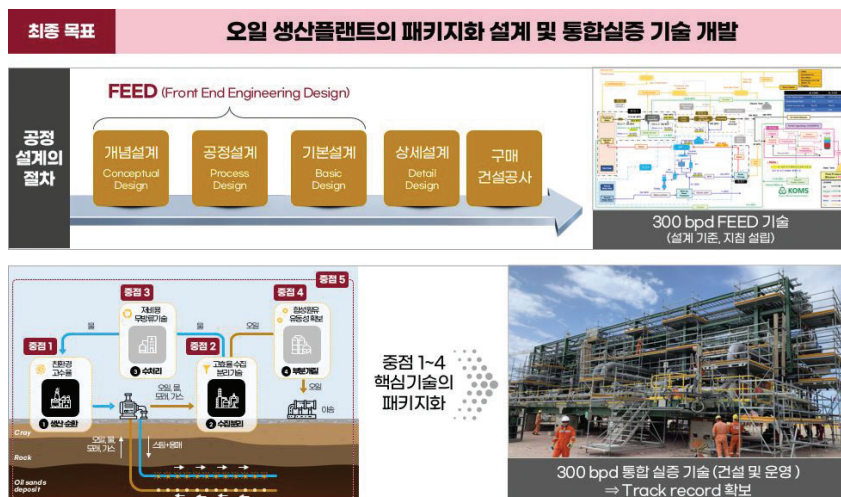
4) 중점분야④ - 부분개질

중점분야 4에서는 한국에너지기술연구원과 4개의 공동기관이 함께 고효율의 부분개질 기술을 개발하고 있습니다. ES-SAGD 공법으로 생산된 고점성의비투맨을 고가의 희석제 사용이 필요 없이 장거리 파이프라인 수송이 가능한 수준의 품질과 성상을 보유한 합성원유 상태로 만들기 위한 기술입니다. 광구 현장에 직접 적용이 가능한 기술이며, 고가의 수소가 불필요하고, 개질 부산물인 코크스, 아스팔텐, 피치, Light Gas 등을 에너지원으로 이용할 수 있기 때문에 운전 비용 절감을 기대할 수 있습니다. 물기반 부분 개질 공정의 고효율 촉매 기술은 부분개질반응기 및 공정 최적화를 통해서 저가중질유분 등의 다양한 개질 촉매로도 활용이 가능합니다.



5) 중점분야⑤ - 통합실증

중점분야 5에서는 한국지질자연연구원과 10개의 공동기관이 함께 오일샌드 생산 플랜트의 패키지와 설계 및 통합 실증 기술을 개발하고 있습니다. 중점 1~4분야에서 개발된 다수의 비전통오일 생산 및 이송 플랜트 핵심 공정과 기술을 결합하는 패키지와 설계와 캐나다 현지에서 실증플랜트를 건설·운영을 통한 사업화를 추진하고 있습니다. 최종 목표는 300 BPD의 오일 생산 플랜트를 현지 실증, 국산화하고 나아가 상용급 Preliminary Front End Engineering and Design (Pre-FEED) 설계기술을 확보하는 것입니다. 현장 여건에 따른 시공 품질 및 신뢰성 확보를 위한 모듈화 기술 개발로 크저온, 동토 및 얼음 환경 등을 극복할 수 있으며, ES-SAGD 공법 적용을 통한 에너지 최적화로 고점성 원유 통합생산 공정 설계시 온실가스 배출량의 상당량 감소가 가능하며 이는 친환경 정책에 부합합니다. 또한 국산화 공정 및 설계기술로 수입대체 효과, 신시장 진입 기반을 마련하고자 합니다.



사업 진행 현황 및 기대효과

비전통오일 사업단은 국제정세에 따른 전통오일 불확실성과 플랜트 수주 편중 극복을 위하여 비전통오일(오일샌드) 분야의 플랜트 핵심기술 확보와 시장진출을 목표로 달려가고 있습니다. 핵심기술 개발 및 플랜트 구축·운영을 통해서 사업화 기반 마련을 목표로 착수하여 1단계(4년)로 성능평가 및 제작, 2단계(3년)로 구축 및 운영을 계획하고 있습니다. 현재 캐나다와의 국제 협력을 통해 현지 기업 소유의 광구를 대상으로 설비를 설계 및 제작하고 있으며 이와 동시에 캐나다인 증 절차도 함께 진행하고 있습니다. 본사업을 통해 오일분야 중·상류 부문 플랜트 기술력 및 경쟁력 강화를 기대할 수 있으며 국내에서 개발된 연구개발 성과물이 해외 검증을 통해 현지 시장으로 진출하는 새로운 R&D 사례로 자리를 잡을 것으로 기대됩니다.

비전통오일 사업 향후 계획

정부의 에너지 안보 및 정책 수립과정에서 추구해야 할 방향은 안정적인 공급입니다. 장기적인 관점에서는 기후위기 대응이 가장 우선순위가 되겠지만 최근 러-우 전쟁 장기화, 에너지 수급 불안 등의 대내외 여건을 고려했을 때 에너지의 안정 공급 및 가격 안정화가 더 시급한 과제이며, 경제에 더 큰 충격을 주는 것은 공급 불안입니다. 따라서 비전통오일의 개발은 에너지 안보와 기후위기 대응 사이에서 매우 중요한 가교 역할 뿐만 아니라 국내외 에너지 정책의 최종 목표를 달성하기 위한 디딤돌이라고 할 수 있습니다.

비전통오일은 전통 에너지와 신재생 에너지의 “가교” 역할



본 사업단은 해외 플랜트 수주 증대 및 다양성 확보와 핵심기술 수준 제고를 통한 기술력 향상 및 중점분야별 기술 수준 실증을 통해 해외 진출 기회를 마련하고 나아가 미래 에너지 확보와 탄소중립 실현에 이바지하고자 합니다. U-TOP PIONEER의 성공적인 운영으로 대한민국이 국제 정세에 맞춰 에너지 생산의 자립국이 될 수 있도록 앞으로도 지속적인 관심과 성원을 부탁드립니다.

### [ 참고문헌 ]

1. IEA. (2021). *World energy outlook 2021*. Paris, France: IEA.
2. Natural Resources Canada. (2021). *Energy Fact Book 2020 - 2021*.
3. Regulator, A. E. (2015). *Land Use and Reclamation*. Alberta Energy Regulator.
4. COSIA. (2017). *Advanced Steam Generation: Technologies for Canadian Oil Sands*. Canada's Oil Sands Innovation Alliance.

### [ 사사 ]

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 RS-2022-00143476).

