

2022년도

탄소순환형 정유제품 생산을 위한 CCU

통합공정 기술개발 사업

연구개발과제기획보고서

CCUS

무단 전재 및 재배포 금지

한국에너지기술평가원의 허락 없이 본 문서를 온라인 사이트 등에 무단 게재, 전재하거나 유포할 수 없습니다.

제3자의 기획보고서 및 관련자료의 재활용시 따를 수 있는 책임소재는 한국에너지기술평가원에 없음을 알려드립니다.

목 차

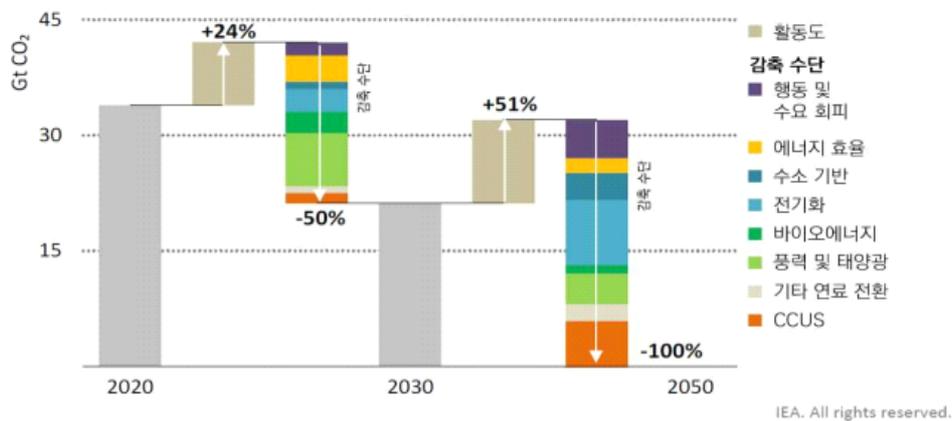
| | |
|--------------------------|----|
| I . 동향분석 | 1 |
| 1. 개 요 | |
| 2. 산업·기술동향 | |
| 3. 특허동향 | |
| 4. 표준화동향 | |
| 5. 정부R&D 지원현황 | |
| 6. 시사점 | |
| II . 기획대상연구개발과제 도출 | 18 |
| 1. 연구개발과제기획방향 | |
| 2. 개발위험 관리방안 | |
| 3. 기획연구개발과제 RFP/기술개요서 | |

1. 개요

□ 기술개념

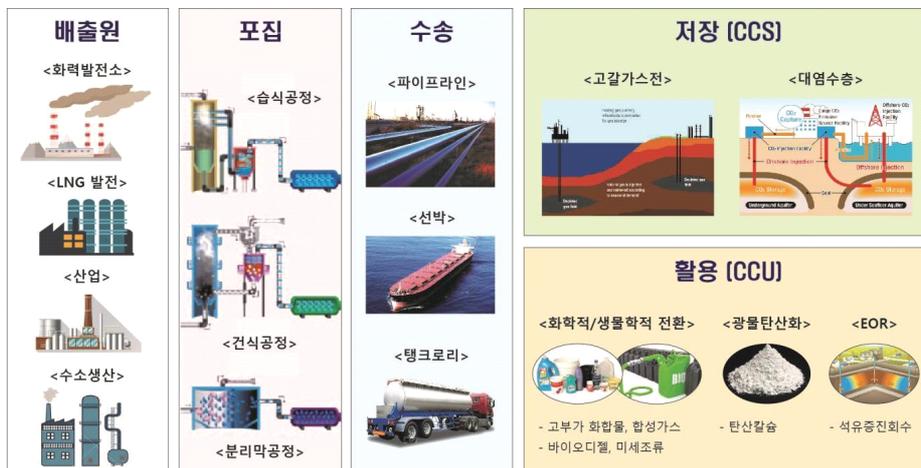
- (온실가스 감축 수단) 탄소중립을 위한 온실가스 감축 주요 수단으로 에너지 효율 향상, 전기화, 재생에너지, 바이오에너지, 수요 회피, CCUS* 등이 있으며 CCUS 기여도는 18%로 전망됨 (Net Zero by 2050, IEA, 2021)

* 이산화탄소 포집·활용·저장 (Carbon Dioxide Capture, Utilization and Storage)



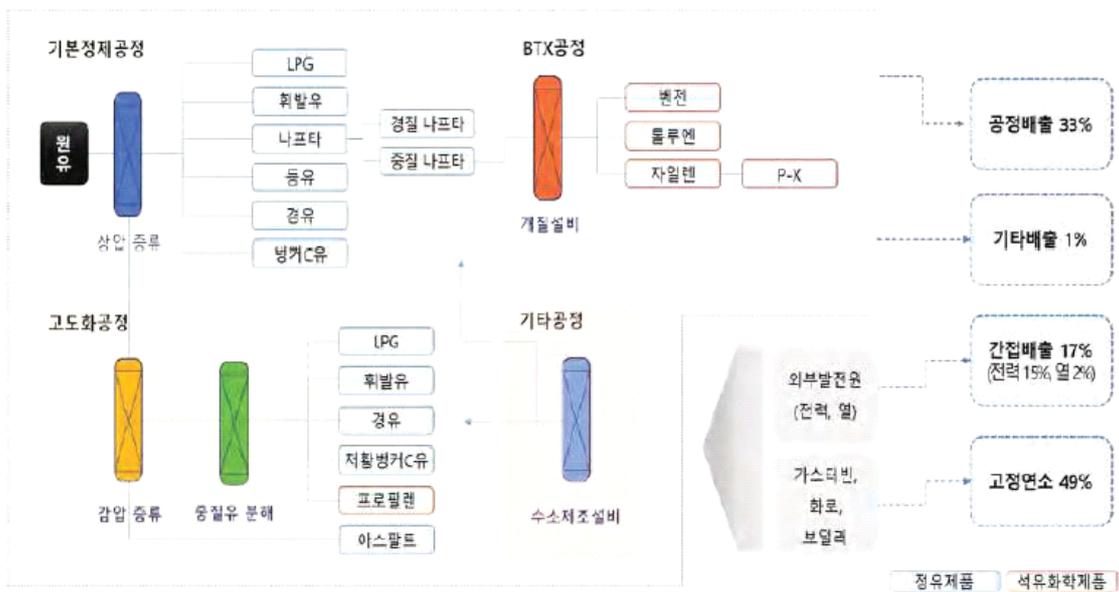
[그림 1] 2050년 순 무배출 시나리오의 2020년 대비 감축수단별 전 세계 연간 CO₂ 감축량 (Net Zero by 2050, IEA, 2021)

- (CCUS) CCUS는 화석연료를 사용하면서 발생하는 CO₂를 포집한 후 안전하게 육상 또는 해양지중에 저장하거나 CO₂를 연료 및 화학제품과 같은 유용한 물질로 전환하여 활용하는 기술



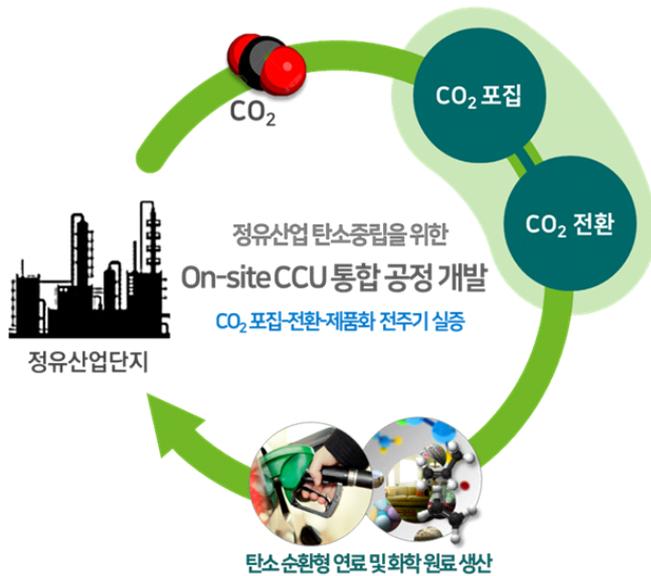
[그림 2] CCUS 전주기 개념도(산업통상자원부)

- 화석연·원료를 사용하는 철강, 시멘트, 석유화학, 정유 등 주력 제조업이 탄소 多배출업인 국내 여건상 급격한 수소사회로의 전환은 쉽지 않을 것으로 예상
- 석탄발전과 더불어 탄소 多배출 업종에서는 효율향상, 전기화, 무탄소저탄소 연원료 사용 등과 더불어 불가피하게 배출되는 CO₂를 대량 저감할 수 있는 유일한 수단인 CCUS 도입 필요
- **(정유산업)** 정유공정은 화석원료인 원유를 증류, 열분해 공정 등을 통해 나프타(naphtha), LPG, 휘발유 등 각종 연료 및 석유화학 공정의 원료를 생산하는 에너지 안보 측면에서도 매우 중요한 산업
 - '19년 기준 국가 온실가스 배출량의 약 5.4% 차지하며(32.1백만톤 배출, 산업 전체 온실가스 배출량 596.5백만톤), 전체 산업(26개) 중 5위
 - 정유산업은 연간 3,000만톤 이상 CO₂를 배출하고 있는 에너지 다소비산업으로 탄소배출 저감을 위한 대책 마련이 시급



[그림 3] 정유산업의 온실가스 배출 현황
(정유산업의 탄소중립 영향과 국내 대응 동향(2019, KDB 산업은행))

- **(정유산업의 CCUS)** 정유공정에서 발생하는 CO₂를 정유공정의 생산품 원료로 활용하는 탄소순환형 CCU 기술 개발 추진으로 저탄소 정유산업 지향
 - 배출된 CO₂를 연료 및 기초유분과 같은 정유제품으로 재합성하는 CCU 기술의 상용화 추진을 통하여 탄소순환형 정유산업 육성 추진



[사업목표]

정유공정 배출 CO₂로부터 탄소순환형 정유제품 생산을 위한 On-site CCU 통합공정 기술개발 및 실증

| | |
|---|---|
| <p>1</p> <p>정유 공정 배출 CO₂ 포집 기술 개발</p> <p>정유 공정 배출 CO₂ 포집에 적합한 소재 및 공정 개발</p> | <p>2</p> <p>포집 CO₂ 활용 연료 생산 기술 개발</p> <p>포집 CO₂ 활용 액체연료 생산 (가솔린, 디젤, 항공유) 기술 개발</p> |
| <p>3</p> <p>배출가스 CO₂ 전환 기초유분 생산 기술 개발</p> <p>정유 공정 배출 저순도 CO₂ 직접 활용 기초유분 생산 기술 개발</p> | <p>4</p> <p>품질기준 개발 및 상용화 전략 제시</p> <p>생산제품의 품질기준 개발 상용화 법령제 개정(안) 제시 온실가스 감축방법론 개발</p> |

[그림 4] 탄소순환형 정유제품 생산을 위한 CCU 통합공정 기술개발 사업 개요

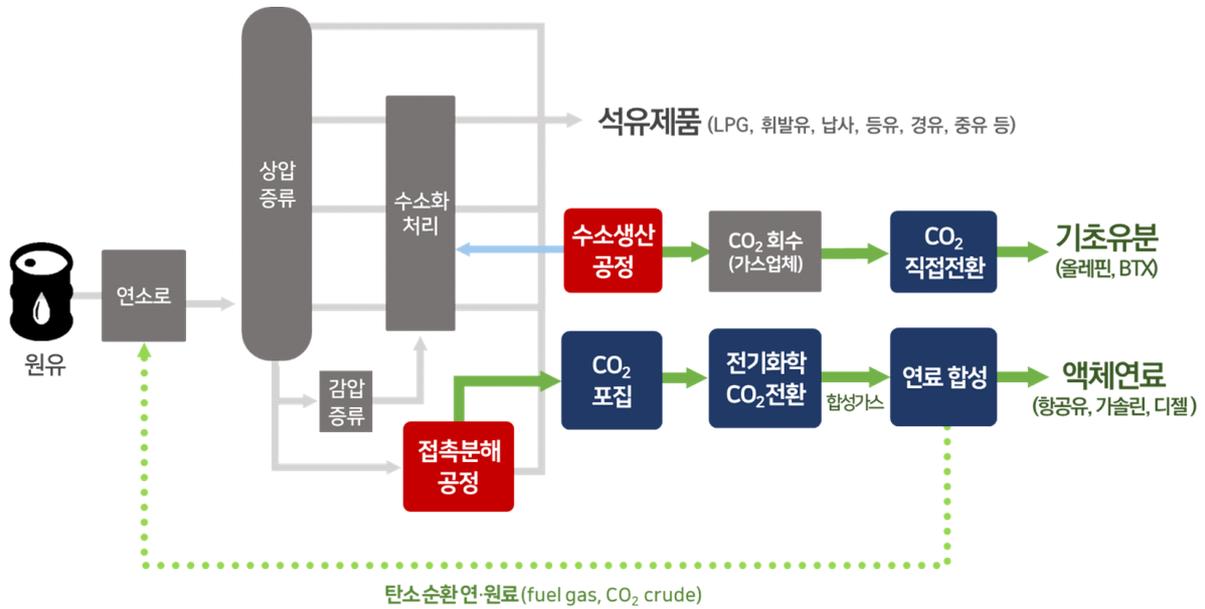
- (정유공정 CO₂ 포집) 정유산업의 주요 배출원 중 접촉분해 공정의 배출가스를 대상으로 CO₂를 포집하는 공정 개발
 - 주요 온실가스 발생원은 1) 고정연소, 2) 유동층 촉매 분해공정(접촉분해 공정), 3) 수소생산 공정이 있으며, 다양한 CO₂ 조성과 온도 분포 및 압력을 나타냄

<표 1> 정유공정의 주요 CO₂ 배출원

| 정유산업 내 주요 단위 공정 | 조업온도(°C) | 배가스 중 CO ₂ 농도 (vol%) |
|------------------|-----------|---------------------------------|
| 상압 및 감압 증류 | 200 ~ 220 | 11.3 |
| 개질(Reforming) | 180 ~ 190 | 8.1 |
| 유동층 촉매 분해 (FCC*) | 300 ~ 320 | 16.6 |
| 수소생산 | 135 ~ 160 | 24.2 |

* FCC: Fluid Catalytic Cracking, 활성이 저하된 촉매를 산소/공기 등을 투입, 연소

- 주요 단위 공정에서의 배가스 별 특성에 적합한 포집 기술 개발 뿐 아니라 대상 공정과의 열통합 등 다양한 공정 개선을 통한 저에너지 요구형 공정 개발
- 정유공정 내 단위 공정 맞춤형 혁신 CO₂ 포집 공정 개발을 통하여 대규모 포집 공정 설계안 도출



[그림 5] 정유공정 배출 CO₂ 활용 탄소순환형 연료 및 기초유분 생산을 위한 CCU 통합공정

- **(CO₂ 활용 연료 생산)** 포집된 CO₂ 활용 탄소순환형 연료 생산을 위한 핵심기술 개발
 - 탄소중립 추진을 통하여 대부분의 수송용 에너지원은 전기 및 수소로 전환될 것으로 예상되나 항공기의 경우 탄소중립적인 합성연료 도입이 필요
 - 정유공정에서 포집된 CO₂를 활용하여 탄소순환형 항공연료를 생산하기 위한 합성가스 생산-항공유 생산 핵심기술 개발 추진
 - 화석 연·원료를 사용하지 않고 포집된 CO₂로부터 효율적으로 합성가스를 생산하기 위한 전기화학 촉매 및 공전해 반응 핵심기술 개발
 - 생산된 합성가스로부터 선택적으로 항공유를 생산하기 위한 촉매 및 공정 기술 개발
- **(CO₂ 활용 기초유분 생산)** 정유 공정 배출 저농도 CO₂를 직접 활용하여 기초유분(올레핀, BTX 등) 생산 핵심기술 개발
 - 수소 생산 공정에서 배출되는 off-gas에는 약 50%의 CO₂와, 20~30%의 H₂ 및 10~20%의 CO, CH₄이 포함
 - 추가 수소 공급 없이 수소 생산 공정 배출가스에 포함된 CO₂와 H₂ 및 CO 활용 기초유분(올레핀, BTX) 생산을 위한 촉매 및 반응 공정 핵심기술 개발
 - 수소 생산 공정 배출가스 정제를 통한 합성가스 분율 제어 및 복합가스로부터 기초유분 생산을 위한 촉매 및 공정 기술 개발

- (품질기준 개발 및 상용화 전략 제시) CCU 기반 합성연료의 품질 기준 개발 및 상용화 전략 수립
 - 정유공정 배출 CO₂로부터 생산된 연료 및 기초유분의 품질기준(안) 제시
 - 온실가스 감축 방법론 개발 및 활용방안 제시
 - 개발된 CCU 기술의 경제성 및 과급효과 분석
 - CCU 기반 제품의 상용화를 위한 법령 제·개정(안) 제시

□ 주요이슈

- (CCUS) 철강, 시멘트, 석유화학 등 에너지 다소비 업종 중심의 국내 제조업 여건을 고려할 때 탄소중립 사회로 나아가기 위해 수소 및 CCUS 등 미래 기술의 개발과 상용화가 반드시 필요
 - 탄소 다배출 업종은 그린수소, 무탄소 연료 도입 등을 추진하고 있으나 수소사회의 급선회는 어려우며 탄소중립 가교 수단으로서 CCUS 도입 필요
 - CCU 기술은 낮은 기술개발 수준 및 경제성, CCU 제품 시장의 불확실성으로 인해 민간 투자가 거의 이루어지지 않은 분야로서, 정부가 실증연계 R&D에 투자하여 기술 보급 필요
 - 기술 개발과 더불어 CCU 기술의 온실가스 감축 방법론 인증 및 제품 표준화 등 CCU 제품이 시장에 진입하기 위한 제도적 기반 마련 필요
- (정유산업의 CCU) 정유업계는 열통합을 통한 공정효율 향상, 저탄소 연료대체(중유→LNG), 폐플라스틱 열분해유 원료대체 등 탄소배출 저감에 노력 중이나 저감량이 제한적이므로 탄소중립을 위해서는 CCU 기술 도입이 필요
 - 국내 정유사들은 CCU 기술 도입 및 적용을 적극적으로 검토하고 있으나, 정유공정에 적용 가능한 CCU 기술이 없는 실정임
 - 기존 CO₂ 포집 기술은 발전소 대상으로 개발되어 정유 공정에서 배출되는 다양한 농도의 CO₂를 포집하는 기술이 없으며, CO₂ 활용 기술은 연구개발 단계로 정유산업에 적용하기 위한 CCU 기술 확보가 필요함
 - 정유산업의 에너지 공급기능을 유지하고 기존 인프라를 활용하면서 탄소 배출을 줄일 수 있는 CCU 기술개발 및 상용화가 산업 경쟁력 유지에 필수적임
- (정유공정 CO₂ 포집) 정유공정 맞춤형 대규모 CCU 실증 및 상용화를 위해서는 정유공정 내 주요 CO₂ 배출원별 맞춤형 포집 공정 개발, 기술성 및 경제성 제고 방안과 포집 플랜트 설계방안 도출이 필요
 - 정유공정 내 주요 CO₂ 배출원별 상이한 CO₂ 함량, 배가스 온도 등을 고려한

- 맞춤형 흡수제 및 포집공정 개발을 통한 기술성 및 경제성 제고
- 정유공정 내 CO₂ 포집공정과 포집 CO₂를 활용한 액체연료 생산 기술, 기초 유분 생산 공정과의 연계 방안 도출
 - 정유공정 내 CO₂ 배출원별 배가스(조성, 압력, 온도 등)에 맞는 포집 기술 선정, 적용 공정과의 열 통합, 포집공정의 환경 영향, 향후 격상을 위한 투자비 및 운영비 절감 방안 도출
- (CO₂ 활용 연료 생산) 정유공정에서 배출된 CO₂를 활용하여 수소 및 전기로 전환이 어려운 수송용 연료 또는 정제공정에 필요한 연료를 재합성하는 탄소 순환형 연료 생산 필요
- 탄소중립 목표 달성을 위해 중요한 수단으로 여겨지는 수송용 에너지의 수소화 및 전기화는 항공기 부문에서는 아직 상용화가 어려운 상황
 - CO₂와 재생전력을 활용하는 Power-to-liquid 기술로 생산된 지속가능한 항공연료(sustainable aviation fuel)는 기존 등유에 비해 CO₂ 배출량이 99% 감소될 것으로 예상 (Clean Skies for Tomorrow, 2020, McKinsey & Company)
 - Power-to-liquid 기술로 지속가능한 항공연료를 생산하기 위해 화석 연·원료를 사용하지 않고 CO₂로부터 합성가스를 생산하는 전기화학 반응 기술 및 합성가스로부터 항공유 생산을 위한 피셔-트롭쉬 합성 기술 필요
- (CO₂ 활용 기초유분 생산) CO₂ 수소화를 통한 올레핀 생산은 합성가스를 올레핀으로 전환하는 피셔-트롭쉬 반응과 유사하나 화학흡착이 약한 CO₂를 효율적으로 전환시키기 위한 촉매 개발이 추가적으로 필요
- CO₂로부터 올레핀, 나프타, 방향족 화합물 등의 석유화학 기초유분을 생산하는 기술은 탄소중립 흐름에 따라 세계적으로 활발한 연구가 진행중
 - CO₂ 수소화를 통한 올레핀 생산 시 반응 생성물의 탄소 분포가 다양하기 때문에 분리공정의 부담을 줄이는 선택도가 높은 촉매 개발 이슈 부상
 - 수소, CO₂, CO 등이 섞여 있는 수소생산 공정 배출가스와 같은 정유 부생가스를 활용하면 경제성 제고 가능
- (품질기준 개발 및 상용화 전략 제시)
- CCU관련 온실가스 감축 방법론 인증 및 제품 표준화 등 CCU 제품이 시장에 진입하기 위한 법·제도적 기반의 부재로 민간기업의 투자 제약 요인으로 작용
 - CCU 연료 및 기초유분의 경제성 비교와 파급효과 분석을 통한 경제성 확보방안이 제시되어야 하며 CCU 연료 및 기초유분의 사용을 위해서는 에너지 정의 등 법령 제·개정 필요

2. 산업기술 동향

□ 해외 동향

- (CCUS) 전 세계 선진국들은 국가 주도로 온실가스 감축기술 개발을 추진하고 있으며, 주요 기술로는 태양광, 바이오 등 신재생에너지와 CCUS 등임
- CCUS 기술은 미국, 유럽, 중국, 호주 및 일본 등 전 세계 공통 R&D 분야로 유럽을 중심으로 CCU를 이용한 연료 및 기초유분 생산 실증공정들이 가동 중
- 국제에너지기구(IEA) 에너지기술전망(ETP 2020) 보고서에 따르면 '70년 1기가톤의 CO₂가 연료 및 화학원료의 생산에 활용될 것으로 전망

<표 2> 유럽의 CCU 프로젝트 요약

| | 화학원료 | 연료 | 광물화 | 기타 | 합계 |
|-----|------|----|-----|----|----|
| R&D | 9 | 8 | 2 | 1 | 20 |
| 상업화 | 2 | 2 | 1 | | 5 |
| 데모 | 3 | 5 | | | 8 |
| 파일럿 | 4 | 6 | 4 | | 14 |
| 시도 | | | 1 | | 1 |
| 합계 | 18 | 21 | 8 | 1 | 48 |

* 출처: 가스 발전/스팀생산 설비 연소중 CO₂ 포집·활용 기술개발사업 기획보고서, 2020, IEAGHG (2018)

- (정유산업의 CCUS) 전 세계적으로 정유업계 탄소 배출을 최소화하고 친환경 사업으로 전환하기 위한 기술 개발 경쟁이 치열하며, CO₂를 이용하여 연료나 화학원료를 생산하는 CCUS 기술이 크게 주목받고 있음
- '20.12 글로벌 정유업체 8개사는 (BP, Shell, Total, Repsol, Equinor, Eni, Galp, Occidental) 파리기후협약 목표에 기여하기 위한 6대 원칙(기후협약 지원, 탈탄소화, 에너지 시스템, 탄소 흡수원 개발, 투명성, 산업·무역협회)에 합의
- BP, TOTAL, Shell, equinor, Chevron 등 글로벌 정유사들은 CCUS 실증 프로젝트에 적극 참여하여 조기 상용화를 추진 중임
- (BP) 산림조성과 CCS 기술 적용 '50년 운영 및 생산 전반에 걸쳐 Net-zero를 달성하고 모든 판매제품의 탄소집약도를 50%까지 감축하겠다는 목표 제시
- (Shell) 자회사인 Shell Cansolv가 보유하고 있는 CCS 기술을 캐나다 Sask Power 석탄 화력발전소에서 운영, 캐나다 정부 및 합작투자 파트너와 함께 Quest CCS 프로젝트 진행
- (Total) R&D 예산의 10%를 CCS 기술개발에 투자하고 있으며 '19년 온실가스 흡수원 관련 투자를 위한 독립부서 신설, '20년부터 연간 1억 달러 지원

- (Equinor) 유럽의 CCUS 가치사슬 형성을 목표로, Shell 및 Total과 함께 노르웨이 full-scale CCS 실증사업인 북해 Northern Lights Project에 참여할 예정
- **(정유공정 CO₂ 포집)** 정유공정에서의 CO₂ 포집은 에너지 분야에서의 연소 후 포집 공정을 정유공정 내 단위 공정으로 적용할 수 있는지에 대한 제한적인 기술 경제성 분석 단계에 있음
 - 프랑스 IFP Energies Nouvelles와 PROSERNAT는 기 개발된 연소 후 CO₂ 포집기술인 HiCapt+를 FCC에 적용시킨 경우에 대한 기술경제성 평가 실시
 - Shell은 Polaris CCS 프로젝트를 통해 Scotford Upgrader에 있는 수소제조 공장에 기 개발한 습식 포집 공정 ADIP-X를 적용, CO₂ 회수율 80% 달성. '23년 투자 결정을 통해 1단계로 Shell의 인프라에서 연간 약 75만톤 CO₂를 포집, 2단계로 CO₂저장 허브를 만들어서 연간 1천만톤 이상을 포집·저장할 계획
- **(CO₂ 활용 연료 생산)**
 - Shell은 재생전력과 CO₂를 이용하여 저탄소 합성연료 생산 기술개발에 주력하고 있으며, 최근 지속가능한 항공연료(SAF)를 생산하여 네덜란드 항공사 KLM에 공급하여 첫 상업 비행에 성공함
 - BP는 독일의 전력회사인 Uniper, Fraunhofer 연구소 Power-to-X 프로젝트를 통하여 그린수소와 CO₂를 활용하여 합성가스를 만들고 피셔-트롭쉬 공정과 연계하여 합성연료 생산을 추진 중임
 - Heide GmbH에서는 독일 항공사인 Lufthansa AG와 지속가능한 항공연료(SAF) 개발 실증과제를 수행하고 있으며, Lufthansa 그룹은 Power-to-Liquid 등유를 생산하기 위해 호주로부터 그린수소 공급망을 구축을 추진 중임
 - 노르웨이에서는 Sunfire GmbH, Climeworks AG, Paul Wurth SA, Valinor 등이 컨소시엄을 구성, Norsk e-fuel project를 통해 재생에너지를 이용해 생산한 수소로 유럽 최초의 상업용 항공유 생산 플랜트 건설을 계획하고 있음
- **(CO₂ 활용 기초유분 생산)**
 - CO₂가 포함된 합성가스를 수소화하여 올레핀을 생산하는 기술은 상용화단계로 진행된 바 없음
 - 반면 합성가스로부터 올레핀 합성 기술 분야 논문은 최근 10년동안 약 90건이며, 2000년대 중반 이후 본격적으로 증가하기 시작함
 - 주로 철을 주성분으로 하는 촉매를 사용하며, 원하는 범위의 올레핀 생성물을 높이는 기술과 반응 중 CO₂ 생성을 억제하는 기술 등 고선택성 촉매를 개발하는 데에 집중되어 있음

○(품질기준 개발 및 상용화 전략 제시)

- CCU 연료 및 기초유분의 안정적 상용보급을 위해서는 최종 제품의 충분한 실증과 적정 품질기준이 필요하나, 전 세계적 사례 미미
- 미국의 기술개발 및 활용에 대한 세제혜택 및 유럽의 재활용 탄소연료로의 법적 승인 등의 사례는 있으나, 전반적인 상용화 제반 사항은 부재

□ 국내 동향

- (CCUS) 10MW급 석탄발전 배가스 대상 습식 및 건식 포집기술 개발 중이며, 활용분야는 다양한 CCU 기술 및 제품의 상용화를 위한 실증 연구 추진 중
- (포집분야) CCS 통합실증을 목표로 실증 규모 포집기술 개발을 수행하고 있으며, 연소 후 포집기술 분야는 10MW급 습식 포집과 건식 포집 실증플랜트를 구축하여 기술 고도화를 추진 중
- (활용분야) 전기화학, 광물화, 고분자, 생물전환 등 과기부 추진 기초 원천연구를 중점으로 진행 중이며, 산업부 및 기업을 중심으로 화학 원료 및 연료 생산 관련 실증 연구 추진 중
- (정유산업의 CCU) CO₂ 전환 기술 개발을 위한 연구 개발 과제들이 다수 진행되고 있으나 주로 원천기술 개발에 집중되어 있으며, 정유산업을 대상으로 정부 R&D 지원을 통해 CCU 기술개발이 수행된 사례는 없음
- 현대오일뱅크는 태경비케이와 기술제휴를 통해 탈황 부산물을 이용, 원유정제 공정이나 수소 생산 공정에서 발생하는 CO₂를 광물화하여 탄산칼슘으로 전환하는 기술(60만톤/년 규모)을 2021년까지 상용화하겠다고 발표
- (정유공정 CO₂ 포집) 지금까지 포집공정은 발전소 배가스를 대상으로 한 CCS 통합실증을 목표로 포집기술을 개발해 왔으며, 정유공정에 대한 포집공정은 아직 시도된 바 없음
- 습식 포집기술은 10MW급 이산화탄소 포집플랜트를 구축, 10,000시간의 연속운전, 90% 이상의 포집효율, 상용 흡수제 대비 35% 에너지 절감을 기록
- 연소 후 건식 포집기술 역시 10MW급 플랜트를 구축, 2,300시간 연속운전 80% 이상의 이산화탄소 제거율, 포집 이산화탄소의 순도는 99% 이상을 기록
- 롯데케미칼은 여수 NC공장에서 발생하는 배가스를 기체분리막을 이용하여 포집, 최대 95% 수준으로 포집
- (CO₂ 활용 연료 생산) 다양한 CO₂ 전환 기술 개발이 수행되었으나 아직까지 CO₂로부터 항공유와 같은 다탄소 액체연료를 생산한 사례는 부재

- 한국에너지기술연구원에서는 전기화학적 CO₂ 전환을 통해 합성가스를 생산하고 피셔-트롭쉬 합성 반응과 연계하여 다탄소 액체연료를 생산하는 통합 공정 기술을 개발 중
- 한국과학기술연구원에서는 CO₂와 수소를 800°C 이상의 고온에서 역수성가스전이(RWGS, reverse water-gas shift) 반응을 통해 합성가스를 생산한 후 이를 이용해 메탄올을 생산하는 간접 다단 반응 기술을 개발
- 한국화학연구원에서는 CO₂와 수증기, 천연가스를 원료로 개질 반응을 통하여 10톤/일 규모의 메탄올 합성 파일럿 공정을 개발

○(CO₂ 활용 기초유분 생산)

- 과기부 차세대탄소자원화 사업단에서는 제철 부생가스인 COG를 활용하여 선형 장쇄올레핀을 생산하는 촉매 공정 연구를 수행
- CO₂ 전환율 30%, C5-20 올레핀 수율 25% 이상의 촉매 반응 공정을 개발했으며 1kg/day 규모의 벤치 공정을 100시간 운전

○(품질기준 개발 및 상용화 전략 제시)

- CCU 연료 및 기초유분의 국가 온실가스 저감 효과 인정과 경제성 확보를 위한 배출권 확보 등이 필요하나, 아직 기초 검토단계이며 정유산업 특화 배출가스 감축사업 설계 필요

3. 특허 동향

□ 분석 개요

○ 검색DB 및 검색식

- 키워드 특허 검색 DB를 활용하여 한국, 미국, 일본, 유럽, 미국, 중국 검색
- 특허검색결과(2001년 이후 출원 특허로 한정) 전체 308건이 검색됨
- 아래 검색식에서 정유산업에서 CO₂ 포집(① and ② and ③ and ④정유)으로 한정시 664건이 검색되었으며, 정유산업을 기초유분 등으로 한정 시 308건으로 검색됨

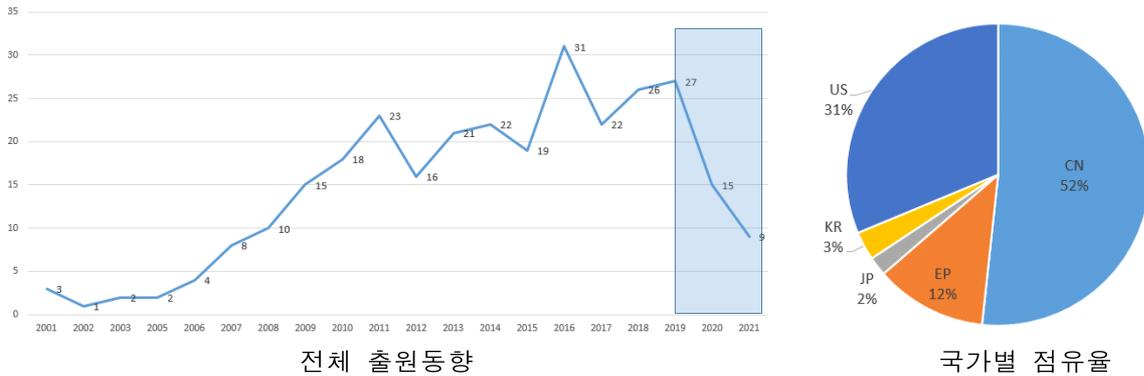
| 전체 | 전체 | 한국 | 일본 | 미국 | 유럽 | 중국 |
|---------|-----|----|----|-----|----|-----|
| 정유산업 | 664 | 30 | 26 | 177 | 57 | 374 |
| 정유*기초유분 | 302 | 9 | 13 | 92 | 36 | 152 |

<표 3> 검색 식

| 검색식 : ①CO ₂ 포집 and ②이용 and ③(화학적+생물학적+광물) and ④정유 | |
|--|--|
| CO ₂ 포집 | ((이산화탄소 OR 탄산가스 OR carbondioxide* OR (carbon A/1 dioxide*) OR 카본디옥사이드* or (카본 A/1 디옥사이드*) OR CO2 OR 탄화가스 OR 온실가스 OR 산화탄소 OR 씨오투) A/5 (포집* OR 회수* OR recover* OR collect* OR 캡처* OR 캡쳐* OR captur* OR 회수* OR 흡수 OR 수집 OR 채집 OR 수거 OR 획득)) |
| 활용 | AND (이용 OR use* OR using OR 활용 OR 사용 OR utili* OR consum* OR recycl* resourc* OR 리소스 OR 리사이클* OR 재활용 OR 재사용 OR 전환 OR 변경 OR 컨버* OR convert* OR 체인* OR chang*) |
| 화학적 생물학적 | AND ((화학* OR 케미스트* OR chem* OR 환원) OR (광물* OR 광석 OR mineral* OR 미네랄 OR 미네럴 or 탄산칼슘* OR 칼슘카보네* or limestone or 탄산염* OR carbonat* OR carbonatization OR 카보네이션 OR 탄산무수물 OR 카보나이트 OR 칼보네트 OR 고품화 OR 솔리드화 OR solidification) OR (생물* OR bio OR 바이오 OR organi* OR 광합성 OR photosynthesis OR photosynthe OR chlorophyl OR 포토신더* OR 엽록체 OR fixation)) |
| 정유 | AND (정유 OR 원유 OR 석유 OR 기름 OR refinery OR petrole* OR (crude A/2 oil) OR purif* OR oil OR petroleum) |
| | AND ((유분 or 납사 or 나프타 or olefin or naphtha* or btx or benzene or toluene or xylene OR 에틸렌 or 아세틸렌 or 프로필렌 or ethylene or acetylene or propylene) or (연료 or fuel or e-fuel or (합성 A/2 (연료 or 가스))) or (synth* A/2 (fuel or e-fuel or gas))) |

□ 국내외 동향

- (연도별 출원 동향) 2000년 이후부터 꾸준히 출원되고 있었으며, 2012년 이후부터는 등락은 있지만 평균 11% 이상 출원 건수 증가
- (국가별 출원 동향) 국가별 점유율을 살펴보면, 중국출원이 52%, 미국출원이 31%, 유럽 출원이 12%, 한국출원이 3%, 일본 출원이 2% 차지



[그림 6] 연도별, 국가별 출원 동향

- (국가별 연도별 출원 동향)
 - 중국 출원은 2001년 이후 가장 많은 출원을 꾸준히 이어오고 있으며 특히 2012년 이후 급격한 증가세를 유지하고 있음
 - 미국 출원은 2001년 이전부터 꾸준히 출원 중이며, 유럽은 출원 건수는 많지 않으나 지속적으로 출원하고 있으며, 한국과 일본은 출원이 미비



| 국가 | 01 | 02 | 03 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| CN | | | | 2 | 2 | 2 | 4 | 3 | 5 | 12 | 6 | 12 | 14 | 10 | 19 | 11 | 15 | 18 | 10 | 7 |
| EP | | | | | | 2 | 1 | 5 | 5 | 3 | 4 | 3 | 1 | 3 | 2 | 1 | 4 | 1 | | |
| JP | | | | | | | | | | 2 | 1 | | 1 | | 1 | 1 | | | | |
| KR | | | | | | | | 2 | | 2 | 1 | | | | 2 | 1 | | 1 | | |
| US | 3 | 1 | 2 | | 2 | 4 | 5 | 5 | 8 | 4 | 4 | 6 | 6 | 6 | 7 | 8 | 7 | 7 | 5 | 2 |

[그림 7] 국가별 연도별 출원동향

○(주요출원인별 출원 동향) 전체적으로 특허를 주도하는 기관은 없으나, 정유회사인 EXXONMOBIL, ARAMCO, SHELL OIL, SINOPEC가 상위 출원인으로 포진

<표 4> 주요 출원인

| 순위 | 기업명 | CN | EP | JP | KR | US | 총합계 |
|----|--|----|----|----|----|----|-----|
| 1 | EXXONMOBIL | 3 | 3 | 1 | | 5 | 12 |
| 2 | FUELCELL ENERGY INC | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 | 8 |
| 3 | ARAMCO | 1 | | 1 | 1 | 3 | 6 |
| 3 | CHINA PETROLEUM & CHEM CORP | 6 | | | | | 6 |
| 3 | UNIV SOUTHEAST | 6 | | | | | 6 |
| 3 | University of Southern California | | | | | 5 | 6 |
| 4 | HER MAJESTY THE QUEEN IN RIGHT OF CANADA | 1 | | 1 | 1 | 2 | 5 |
| 4 | SHELL OIL | 2 | | | | 3 | 5 |
| 4 | SHIJIAZHANG XINHUA ENERGY ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY | 5 | | | | | 5 |
| 5 | Eisenberger Peter | 1 | 2 | | | 1 | 4 |
| 5 | SINOPEC | 4 | | | | | 4 |

- 한국에서는 FUELCELL ENERGY, ARAMCO, HER MAJESTY THE QUEEN IN RIGHT OF CANADA, 대우조선해양, 한국과학기술연구원, 한국생산기술연구원, 한국화학연구원 등이 각 1건씩 출원됨
- 최대 ExxonMobil은 2009년부터 꾸준히 출원 중이며, 최근 출원 건수는 줄어들고 있으며, Aramco, CHINAPETROLEUM는 최근에도 지속 출원 중

<표 5> 국가별 주요 출원인

| | CN | EP | JP | KR | US |
|---|---|---|--|--|-----------------------------------|
| 1 | CHINA PETROLEUM & CHEM CORP | EXXONMOBIL | EXXONMOBIL | FUELCELL ENERGY | EXXONMOBIL |
| 2 | UNIV SOUTHEAST | Naturally Scientific Technologies Limited | FUELCELL ENERGY | ARAMCO | University of Southern California |
| 3 | SHIJIAZHANG XINHUA ENERGY ENVIRONMENTAL TECHNOLOG | Eisenberger Peter | ARAMCO | HER MAJESTY THE QUEEN IN RIGHT OF CANADA | FUELCELL ENERGY |
| 4 | SINOPEC | Johnson Matthey PLC | HER MAJESTY THE QUEEN IN RIGHT OF CANADA | 한국과학기술연구원 | ARAMCO |
| 5 | EXXONMOBIL | Consejo Superior De Investigaciones Cientificas | | 한국생산기술연구원 | SHELL OIL |

<표 6> 주요 출원인

| 행 레이블 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
|-----------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| EXXONMOBIL | 1 | 2 | 2 | 3 | 1 | | | 2 | 1 | | | | |
| FUELCELL ENERGY INC | | | | | | | 2 | 3 | 2 | | | 1 | |
| ARAMCO | | | | 2 | 2 | | | | | | 1 | 1 | |
| CHINA PETROLEUM & CHEM CORP | | | | 1 | | | 1 | 1 | 2 | 1 | | | |
| UNIV SOUTHEAST | | | | | | 2 | | 1 | 1 | | 1 | | 1 |
| University of Southern California | | 3 | | | | | | 2 | | | 1 | | |

4. 표준화 동향

□ 해외 동향

○ 국제표준(ISO) 동향

- 파리협정 발효 이후 ISO에서는 온실가스 배출량 및 감축량 관련 표준들이 지속적으로 개발 중
 - * ISO/TC 207에서는 고정배출(고체, 액체, 기체연료)에 대한 온실가스 배출량 산정방법 표준 개발 완료 (ISO 19694-1, 2021년)
 - * ISO/TC 207에서는 온실가스 배출량 및 감축량에 대한 보고방법 표준 개정 완료 (ISO 14064-1~3)
 - * ISO/TC 146에서는 시멘트, 석회, 알루미늄, 비철, 반도체 및 디스플레이 분야의 온실가스 배출량 산정방법 표준 개발 중 (ISO 19694-3~7)
- CCU 관련 표준은 독립적인 기술위원회가 존재하지 않으나 활용되는 제품별로 추가적인 품질표준 등이 개발될 계획

○ UNFCCC의 청정개발체제 (CDM)

- CCU 기술 적용에 따른 온실가스 감축을 인정받기 위해 표준화된 방법론 필요
- 유사 방법론으로 산업시설에서 CO₂를 회수하여 CO₂ 생산에 소비되는 화석연료 사용을 대체하는 방법으로 AM0063이 존재함
- * CDM 방법론 AM0063 : Recovery of CO₂ from tail gas in industrial facilities to substitute the use of fossil fuels for production of CO₂

<표 7> 정유 관련 UNFCCC의 CDM에 등록된 온실가스 감축량 방법론

| 구분 | 원료 및 연료전환 기술 |
|------------|--|
| AM0027 | Substitution of CO ₂ from fossil or mineral origin by CO ₂ from renewable sources in the production of inorganic compounds |
| AM0037 | Flare (or vent) reduction and utilization of gas from oil wells as a feedstock |
| AM0063 | Recovery of CO ₂ from tail gas in industrial facilities to substitute the use of fossil fuels for production of CO ₂ |
| AMS-III.J. | Avoidance of fossil fuel combustion for carbon dioxide production to be used as raw material for industrial processes |

- CDM에 등록된 정유 관련 온실가스 감축량 산정방법은 직접적인 온실가스 감축방법과 대체효과에 의한 온실가스 감축방법으로 크게 2가지 방법이 존재하며, R&D를 계획 시 해당 방법을 적용하여 온실가스 감축효과 분석이 필요

□ 국내 동향

○ CCU 기술의 표준 동향

- 정부 주도하에 기술개발 과제 등이 활성화 되어 있으나 표준화 분야는 이제 시작인 시점으로 성과 및 진전 필요
- 현재 상용화 단계 미진입 및 배출되는 CO₂ 활용에 따른 폐기물 관리법의 규제 등에 의하여 상용화된 제품 생산이 없음에 따라 표준개발도 미흡
- * 현재 국내 CCU 기술 중 가장 큰 규모의 연구는 40 tCO₂/day 규모임
- * 폐기물관리법 시행규칙 제4조의2, 별표4에 의하여 제품화를 목적으로 하더라도 CO₂ 포집과 연계하여 생성된 탄산칼슘은 폐기물관리법상 폐기물로 분류되어 재활용업 허가를 받지 못한 사업장에서는 재활용 불가
- * 배가스 내 CO₂는 폐기물로 분류되지 않으나, 이를 포집한 이산화탄소전환탄산화물(탄산칼슘)은 폐기물로 분류됨에 따라 상용화 규모로 과제 진행 시 법적 규제 해소방안 수립 필요

○ CCU 생산 제품의 표준 동향

- CCU의 경우 CCU 기술을 통해 생산된 제품에 대한 품질 및 인증표준 필요
- * (정유 분야) CCU 기술을 통해 생산된 제품(올레핀, BTX, 가솔린, 디젤, 항공유 등)에 대한 판매 활성화 및 경제성 확보를 위하여 품질인증 요구가 증가하고 있으며, 정유 분야에서 CCU를 통해 생산될 제품의 경우 다양한 품질표준 및 인증표준이 존재하며, 기준 만족 여부 확인 필요

<표 8> 정유 제품에 대한 품질 및 인증 표준

| 구분 | 정유 제품에 대한 품질 및 인증 표준 |
|----------------|--|
| KS M 2961 | 석유제품-자동차용 가솔린 방향족 시험방법-가스 크로마토그래피(FRD) |
| KS M 2964 | 자동차용 경유 및 바이오디젤 연료유 중의 지방산메틸에스테르 시험방법-고 성능 액체크로마토그래피(HPLC) |
| KS M 2407 | 자동차용 가솔린 방향족 시험방법(가스 크로마토그래프법) |
| KS M 2408 | 자동차용 가솔린 함산소 화합물 시험방법(가스 크로마토그래프법) |
| KS M 2612 | 자동차용 휘발유 |
| KS M ISO 20847 | 석유 제품-가솔린의 산화 안정도 시험 방법(유도 기간법) |
| KS M 3809 | 석유제품 - 자동차 연료의 황분 시험 방법 - 에너지 분산 X선 형광 분광법 |
| KS M 2910 | 경유 |
| KS M ISO 5165 | 석유제품 - 경유의 착화성 시험방법 - 세탄 엔진 방법 |
| KS M ISO 6250 | 석유제품-항공연료의 물 용해도 시험방법 |
| KS M 2232 | 항공 연료유의 산화 안정도 시험방법 (잠재 잔사물법) |
| KS M ISO 3013 | 석유 제품-항공 연료의 석출점 시험 방법 |
| KS M 1678 | 벤젠·톨루엔·자이렌의 시험방법 |
| KS M 1935 | 산업용 벤젠 - 기준 |
| KS M ISO 5280 | 산업용 자이렌-기준 |
| KS M ISO 5272 | 산업용 톨루엔-기준 |

○ 정유 및 CCU 기술의 온실가스 감축 관련 표준 동향

- CCU 기술의 온실가스 저감량 인정을 위하여 온실가스 감축량 산정 표준이 산업부 및 환경부 등에서 다양하게 연구 중
- * 배출권거래제 외부사업 방법론 (정부 검토 중) : 온실가스 다배출 시설에서 배출되는 배기 가스의 CO₂ 포집 및 활용 사업에 대한 온실가스 감축량 방법론
- 국내에서는 온실가스 감축량을 인정하기 위하여 배출권거래제의 상쇄제도를 운영 중이며, 정유 분야의 CCU 기술에 적용 가능한 국내 등록 온실가스 감축량 산정방법은 다음과 같음

<표 9> 정유분야 CCU 기술에 적용 가능한 국내 등록 온실가스 감축량 산정방법

| 구분 | 화학공정 산업 기술 |
|---------|------------------------------|
| 05A-001 | 부생수소 활용을 통한 수소제조공정 대체사업의 방법론 |
| 07A-004 | 전기 차량 도입에 따른 화석연료 절감 사업의 방법론 |

- CCU 기술의 온실가스 감축효과 산정 시 전제되어야 할 점은 포집한 CO₂는 영구히 저장되어야 한다는 점과 사업경계 밖의 원료를 활용할 경우 전과정 측면 (LCA)의 고려가 필요함
- 제안된 사업의 CCU 기술의 경우 기존 제품을 생산하는 전과정 동안의 온실가스 배출량과 해당 기술 투입에 따른 온실가스 배출량을 원단위 배출계수로 환산 후 생산량에 따른 배출량 비교를 통해 감축효과를 산정하는 것이 합리적임
- 해당 온실가스 감축방법을 국내의 배출권거래제 상쇄제도 또는 UNFCCC에 등록함으로써 실제 온실가스 감축량을 인정받을 수 있는 연구가 필요

5. 정부R&D 지원현황

※ 정부 R&D 지원현황관련 내용은 '다부처 대규모 CCS 통합실증 및 CCU 상용화 기반구축사업(산업부, '21-'23) 기획보고서'의 일부분을 발췌, 활용하였음

□ 지원 현황

- 국가 CCS 종합추진계획 등에 따라 각 부처는 '09년 이후 약 6천억원 이상을 CCUS R&D 자금으로 지원
 - * (부처별 지원 예산) 산업부 3천억원 이상, 과기부 2천억원 이상(C1 리파이너리사업 제외), 해수부 약 5백억원, 환경부 약 1백억원 등
 - 2030년 온실가스 감축로드맵 수립(2018)에 따라 CCUS 기술을 청정에너지기술 중점투자분야로 선정하고 정부 주도로 기술개발 및 실증을 추진 중
- 산업부는 포집·저장·활용 분야별 CCUS 핵심기술 개발에 '09년부터 '21년까지 3,100억 원을 지원
 - 산업부 온실가스 처리기술 사업(에너지수요관리 핵심기술개발 사업의 내역사업)으로 연간 200억원 내외 지원

<표 10> 산업부 온실가스처리기술사업 R&D지원 현황 (단위: 억원)

| 세부사업 / 내역사업 | '09-'15년 | '16년 | '17년 | '18년 | '19년 | '20년 | '21년 | 합 계 |
|----------------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 에너지수요관리핵심 기술개발 (R&D) | 13,731 | 1,694 | 1,813 | 1,858 | 1,667 | 1,692 | 2,140 | 24,595 |
| 온실가스처리기술 | 1,427 | 179 | 192 | 198 | 206 | 128 | 97 | 2,427 |
| 넷제로수요관리 | - | - | - | - | - | - | 193 | 193 |

<표 11> 산업부 온실가스처리기술사업 주요 실증과제

| 과제명 | 사업기간 | 총출연금 (억원) | 비고 |
|--|-----------|-----------|-----------------|
| 10MW급 연소 후 습식 아민 CO ₂ 포집 기술 개발 | 2010-2014 | 195 | 포집(습식) |
| 10MW급 연소후 습식 아민 CO ₂ 포집기술 상용패키지 개발 | 2014-2017 | 76.2 | 포집(습식) |
| 10MW 연소 후 건식 CO ₂ 포집 기술 개발 | 2010-2014 | 183.5 | 포집(건식) |
| 10MW급 연소후 건식 CO ₂ 포집기술 상용패키지 개발 | 2014-2017 | 76.4 | 포집(건식) |
| 청정화력발전과 연계한 온실가스처리 시스템 구축 | 2007-2010 | 80.5 | 석탄 순산소연소 |
| CO ₂ EOR 파일럿 테스트(1단계 1,000톤)를 통한 CO ₂ 지중저장 연계 기술개발 | 2012-2016 | 97 | 저장(육상) |
| 포항분지 해상 소규모 CO ₂ 주입실증 프로젝트 | 2013-2016 | 135 | 저장(해상) |
| 포항분지 중규모 해상 CO ₂ 지중저장 실증 프로젝트 | 2016-2019 | 109 | 저장(해상) |
| 포항분지 중소규모 CO ₂ 저장 실증 주입정 격상 연구 | 2017-2020 | 18 | 저장(해상)('18년 중단) |

- 최근 CCUS관련 산업부 지원 R&D사업으로는 '가스 발전/스팀생산 설비 연소 중 CO₂ 포집·활용 기술개발사업(2020 ~, 5년)', '다부처 대규모 CCS 통합실증 및 CCU 상용화기반구축사업(2021 ~, 3년)', '제철공정 내 CO₂ 회수·활용 기술개

발사업(2021~3년) 등이 있으며, 국가 목표인 '50년 탄소중립과 '30년 NDC 달성을 위해서는 CCUS 관련 R&D 추가 지원 예상

- 정부의 탄소중립 발표에 따른, 탄소 多배출 업종의 이산화탄소 직접처리기술개발 지원을 위해, 넷제로수요관리(에너지수요관리핵심기술개발사업의 내역사업) 신설(2021-2025)
- 과기부에서는 기초 연구 지원을 통한 CCUS 원천 기술을 개발하고자 Korea CCS 2020사업, 차세대 탄소자원화 사업단을 운영함과 동시에 신진 연구자 지원을 통한 연구를 지속적으로 지원
- 과기정통부는 '11년 이후 여러 사업을 통해 주로 CCU 분야에 3천억원 정도 지원하였으며, 최근에는 'Carbon to X 사업'에 착수

<표 12> 최근 10년간 과기정통부의 CCUS관련 사업 현황

| 과제명 | 사업기간 | 총출연금(억원) | 비고 |
|--|-------------------|----------|-----------------------|
| 탄소자원화범부처프로젝트 (탄소광물화플래그십: 과기부, 산업부, 환경부) | 2017-2022 (2+2+2) | 232 | 당초 340억원 (일부사업 종료) |
| 플라즈마활용탄소자원화 | 2019-2021 (2+1) | 108 | |
| 차세대탄소자원화 (사업단) | 2017-2021 (3+2) | 352 | |
| Korea CCS 2020사업(사업단) | 2011-2020 (3+3+4) | 1,721 | |
| 유용물질 생산 Carbon to X 기술개발사업 | 2020-2024 (3+2) | 450 | |

- 정부의 한국판 그린뉴딜 정책에 따라 CCUS 실증·상용화 기반 구축과 CO₂ 활용 유용물질 생산 기술 개발을 위한 정부 R&D사업 투입 예정

□ 투자 동향

- CO₂ 활용 분야 R&D 투자 규모는 지난 10년간 기술수요증가와 함께 2배 이상 확대 추세('11,104억원 → '20,267억원)

<표 13> CCUS R&D 투자 현황 (단위 : 백만원)

| 연도/구분 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 포집 | 18,829 | 26,346 | 21,629 | 15,696 | 18,413 | 15,791 | 18,293 | 15,384 | 13,601 | 10,932 |
| 활 용 | 화학전환 | 7,510 | 5,720 | 7,189 | 4,429 | 3,457 | 4,247 | 9,982 | 11,164 | 17,935 |
| | 생물전환 | 320 | 2,207 | 1,980 | 2,870 | 3,380 | 3,499 | 1,411 | 1,935 | 6,135 |
| | 광물탄산화 | 2,603 | 2,860 | 2,873 | 2,620 | 2,650 | 2,463 | 6,531 | 9,399 | 5,250 |
| | 소계 | 10,433 | 10,787 | 12,042 | 9,919 | 9,487 | 10,210 | 17,925 | 22,498 | 23,456 |
| 수송·저장 | 5,019 | 21,154 | 27,940 | 21,725 | 21,942 | 8,271 | 17,699 | 9,930 | 5,892 | 1,223 |
| 합계 | 34,282 | 58,286 | 61,611 | 47,340 | 49,842 | 34,272 | 53,916 | 47,812 | 42,949 | 38,933 |

* 출처 : 이산화탄소 포집 활용 (CCU) 기술혁신 로드맵 (2021)

- 산업부는 에너지수요관리핵심기술개발사업 내 “온실가스처리” 내역사업 및 “가스 발전/스팀생산 설비 연소 중 CO₂ 포집 활용 기술개발”사업으로 최근 3년간 CO₂ 포집, 활용, 저장 기술개발에 506억원 지원

<표 14> 2018~2020년(3년간) 산업부 CCUS R&D 투자현황 (단위: 억원)

| 구분 | 2018년 | 2019년 | 2020년 | 합계 |
|-------|-------|-------|-------|-----|
| 포집 | 68 | 83 | 57 | 208 |
| 저장 | 28 | 28 | 0 | 56 |
| 활용 | 68 | 76 | 94 | 238 |
| 제도/기타 | 3 | - | - | 3 |
| 합계 | 167 | 188 | 151 | 506 |

□ 기술개발 현황

- (정유산업의 CCU) 정유산업을 대상으로 정부 R&D 지원을 통해 CCU 기술개발이 수행된 사례는 부재
 - (CO₂ 포집) 주로 발전소 배가스를 대상으로 한 CCS 통합실증을 목표로 기술을 개발해 왔으며, 최근 LNG발전 배가스, 정유산업을 포함한 철강, 시멘트, 석유화학 등 다배출산업별 배출가스 특성에 적합한 포집 기술개발이 추진 중
 - (CO₂ 활용) CO₂ 전환 기술 개발을 위한 연구 개발 과제들이 다수 진행되고 있으나 주로 원천기술 개발에 집중되어 있으며, 정유산업을 대상으로 정부 R&D 지원을 통해 CCU 기술개발이 수행된 사례는 없음
 - * 한국에너지기술연구원에서는 전기화학적 CO₂ 전환 합성가스 생산, 피셔-트롭쉬 합성 반응과 연계하여 다탄소 액체연료를 생산하는 통합 공정 기술 개발 중
 - * 한국과학기술연구원에서는 CO₂와 수소를 800°C 이상의 고온에서 역수성가스전이 반응을 통해 합성가스 생산, 이를 이용 메탄올 생산 간접 다단 반응 기술 개발
 - * 한국화학연구원에서는 CO₂와 수증기, 천연가스를 원료로 개질 반응을 통해 10톤/일 규모 메탄올 합성 파일럿 공정 개발
 - (품질기준 개발 및 상용화 전략 제시) CCU 연료 및 기초유분의 국가 온실가스 저감효과 인정과 경제성 확보를 위한 배출권 확보 등이 필요하나, 아직 기초 검토 단계

6. 시사점

□ 정유산업 탄소중립을 위해 CCU 기술 도입 필요

- 국내 정유산업은 연간 3,000만톤 이상 CO₂를 배출하고 있는 에너지 다소비산업으로 탄소배출 저감을 위한 대책 마련이 시급
- 효율향상, 전기화, 무탄소/저탄소 연·원료 도입 등과 더불어 불가피하게 배출되는 CO₂를 대량 저감할 수 있는 유일한 수단인 CCUS 도입 필요
 - * 저장 관련 내용은 국가 차원의 기술개발 지원 추진
- 정유공정 배출 CO₂를 정유제품(연료, 기초유분)으로 재합성하는 탄소순환형 CCU 기술 개발 및 상용화 추진으로 저탄소 정유산업 육성 추진
 - * 전 세계적으로 정유업계 탄소 배출을 최소화하고 친환경 사업으로 전환하기 위한 기술 개발 경쟁이 치열하며, CO₂를 이용하여 연료나 화학원료를 생산하는 CCU 기술이 크게 주목받고 있음

□ 정유산업의 특성을 반영한 CCU 기술 개발 추진 필요

- 기존 발전소 대상으로 개발된 CO₂ 포집 기술을 바탕으로 정유공정 CO₂ 배출원에 적합한 포집소재 및 공정 기술 확보
- 정유공정에서 배출된 CO₂를 활용하여 수소화 및 전기화가 어려운 수송용 연료(항공유 등)로 재합성하는 탄소순환형 액체연료 생산 기술 개발
- 추가 수소 공급 없이 정유공정 부생가스 활용 CO₂ 수소화를 통한 고부가 기초유분(올레핀, BTX 등)을 생산 기술 개발
- 온실가스 감축효과 및 CCU 제품의 경제성 극대화를 위해 정유단지 내에 CO₂ 포집-전환-제품화의 전주기 통합 기술 개발 추진

□ CCU 제품의 품질기준 개발 및 상용화 전략 제시 필요

- 연료 및 기초유분의 상용보급을 위해서는 제품의 충분한 실증과 품질기준 개발
- 연료 및 기초유분의 경제성 비교와 파급효과 분석을 통한 상용화 확보방안 제시
- CCU 연료 및 기초유분의 사용을 위해서는 에너지 정의 등 법령 제·개정 필요

1. 연구개발과제기획 방향

□ 연구개발과제기획 기본방향

- 정유산업 CCUS 기술개발 동향을 파악하고, 시사점을 검토한 결과 아래와 같은 방향으로 4개 기술개발 과제를 도출하고자 함
- (정유공정 CO₂ 포집) 정유산업의 주요 배출원 중 CO₂ 농도가 비교적 높으며 배출량이 많은 접촉분해공정을 대상으로 기 개발 기술을 응용한 포집 기술 확보
 - 정유산업 내 주요 배출원 중에서 배가스 내 CO₂ 농도, 온도 및 압력은 물론 향후 연료화 및 기초유분 생산을 위한 연계 등을 종합적으로 고려하여 접촉분해 공정 선택
 - 현재 기술개발 수준을 고려할 때 에너지 요구량은 2.0~2.2 GJ/tCO₂을 목표로 기술을 개발하고 적용 공정과의 열통합 등을 고려한 공정 개선 및 향후 격상을 위한 설계 자료 확보
 - * 현재수준: CO₂ 90%제거 기준 재생열 3.6GJ/tCO₂(상용흡수제), 2.2~2.4GJ/tCO₂(국내 개발 흡수제)
 - 또한 과제 기간 내 성공적 기술개발과 이에 기초한 격상 설계를 위해서는 기술적 성숙도가 높은 검증된 공정의 개선·적용이 우선적이며 이는 이전 정부 기술개발 사업과의 연계성 확보 및 효율적인 개발을 위해서도 필요
 - * 단, 기술의 혁신성을 위해 정유 공정 맞춤형 저에너지 요구형 공정 개발과 함께 분리매체 개발 병행도 필요
- (CO₂ 활용 연료 생산) CCU 기술 중 정유업종의 제품영역과 특성에 맞는 전환 기술을 적용하여 정유공정에서 포집된 CO₂로부터 탄소순환형 합성연료 생산
 - 정유산업의 고유 사업 영역의 경쟁력 지속 및 향상을 위해 CO₂ 배출 저감과 더불어 탄소순환형 합성연료를 생산하는 CO₂ 활용 기술 확보
 - * 정유 단지 내에는 고도의 원유 정제시설 및 연료생산 시설이 집약되어 있어 CO₂ 기반 합성연료의 제품화를 위한 최적의 입지를 가짐
 - 전기 및 수소 연료를 적용하기 어려운 항공기의 경우 탄소중립적인 합성연료 도입이 필요함
 - * CO₂와 재생전력을 활용하는 Power-to-liquid 기술로 생산된 지속가능한 항공연료(sustainable aviation fuel)는 기존 항공유에 비해 CO₂ 배출량이 99% 감소될 것으로 예상 (Clean Skies

for Tomorrow, 2020, McKinsey & Company)

- CO₂로부터 다탄소(C₅~C₂₀) 액체연료를 선택적으로 생산하기 위한 반응경로 탐색 및 탄소중립 추진에 따른 화석 연·원료 사용 감소, 에너지의 전기화를 고려한 CO₂ 전환 기술 선정

- * 화석원료를 사용하지 않고 포집된 CO₂로부터 전기에너지를 이용하여 합성가스를 생산하는 기술 및 생산된 합성가스로부터 선택적으로 항공유를 생산하는 기술 개발

○(CO₂ 활용 기초유분 생산) 정유산업 포집 CO₂를 활용한 CCU 기술 중 정유업 종의 영역과 특성에 맞는 화학적 전환을 통해 고부가 기초유분 생산

- 탄소중립에 따른 글로벌 석유제품 수요 감소에 대응하고 탄소중립 기술 경쟁력 확보를 위해 CO₂를 활용하여 고부가 기초유분을 생산하는 기술 개발 추진

- * 3차 에너지기본계획('19.06)에 차량 연비향상과 친환경차(전기/수소차) 보급 확대 등으로 국내 석유수요를 '40년까지 BAU 대비 31.1% 감축 목표 제시

- 특히, 기초유분 중 시장규모가 크고 지속적으로 수요 증가가 전망되며 감축효과 높은 올레핀, BTX 등을 대상 제품으로 선정

- * 국내 경질 올레핀, BTX 시장은 각각 연간 881만톤, 1,200만톤 규모임

- 추가 수소 공급 없이 정유단지 내 수소생산 공정에서 배출되는 배가스에 포함된 CO₂와 수소를 활용하여 기초유분(올레핀, BTX)을 생산하는 기술 개발

- * 수소생산 공정에서 배출되는 off-gas에는 약 50%의 CO₂와, 20~30%의 H₂ 및 10~20%의 CO, CH₄ 등이 포함되어 있음

○(품질기준 개발 및 상용화 전략 제시) 정유산업 포집 CO₂를 활용한 합성연료의 품질기준 개발 전략 및 제품의 상용화를 위한 전략 도출

- CCU 기술의 온실가스 감축 방법론 인증 및 제품 표준화 등 CCU 제품이 시장에 진입하기 위한 법·제도적 기반 마련

- * CCU 기술을 통해 생산된 제품(올레핀, BTX, 가솔린, 디젤, 항공유 등)에 대한 판매 활성화 및 경제성 확보를 위하여 품질인증 요구가 증가하고 있으며, CCU를 통해 생산될 제품의 경우 다양한 품질표준 및 인증표준이 존재하며 기준 만족 여부 확인 필요

- * 해당 온실가스 감축방법을 국내의 배출권거래제 상쇄제도 또는 UNFCCC에 등록함으로써 감축량을 인정받기 위한 연구 필요

- CCU 연료 및 기초유분의 경제성 비교와 온실가스 감축 효과 분석을 통한 경제성 확보방안 제시

- * 기존 제품의 생산단가와 CCU 제품의 생산단가 비교분석, 경제성 향상을 위한 기술개발 방향 제시

- * 기존 제품을 생산하는 전과정 배출량과 해당 기술 투입에 따른 배출량을 원단위 배출계수로 환산 후 생산량에 따른 배출량 비교를 통해 감축효과 산정

<표 15> 탄소순환형 정유제품 생산을 위한 CCU 통합공정 기술개발 사업 도출과제 요약

| 구분 | 목표 및 내용 개요 |
|---|---|
| 정유산업 접촉분해공정 배출 CO ₂ 포집 파일럿 공정 개발 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 정유공정 맞춤형 CO₂ 포집 기술 개발 - 정유공정 맞춤형 CO₂ 분리 매체 개발 - 정유공정 맞춤형 CO₂ 포집공정 모사 및 최적화 - 정유공정 맞춤형 CO₂ 포집 플랜트 운전 - 대규모 공정 FEED 설계 |
| 정유공정 포집 CO ₂ 활용 액체연료 생산 공정 핵심기술 개발 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 포집된 CO₂ 활용 탄소순환형 연료 생산을 위한 핵심기술 개발 - 합성가스 생산-항공유 생산 통합공정 핵심기술 개발 - 화석원료 미활용 CO₂ 전환 합성가스 생산 기술 개발 - 합성가스로부터 선택적으로 액체연료 생산 기술 개발 |
| 저순도 CO ₂ 직접전환 기초유분 생산공정 핵심기술 개발 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 정유공정 배출 저농도 CO₂ 직접 활용 기초유분 생산 핵심기술 개발 - 수소 생산 공정 배출가스 내 CO₂, H₂ 활용 기초유분(올레핀, BTX) 생산 공정 핵심기술 개발 - 수소 생산 공정 배출가스 정제를 통한 합성가스 분율 제어 - 정제된 복합가스로부터 기초유분 생산을 위한 촉매 및 공정 기술 개발 |
| CCU 기반 합성연료의 품질 기준 개발 및 상용화 전략 제시 | <ul style="list-style-type: none"> ○ CCU 기반 합성연료의 품질 기준 개발 및 상용화 전략 수립 - 정유공정 배출 CO₂로부터 생산된 연료 및 기초유분의 품질기준(안) 제시 - 온실가스 감축 방법론 개발 및 활용방안 제시 - 개발된 CCU 기술의 경제성 및 파급효과 분석 - CCU 기반 제품의 상용화를 위한 법령 제·개정(안) 제시 |

□ 신규 예산 지원 계획안

(단위 : 억원)

| 구분 | 원천기술 | 혁신제품형 | 계 |
|------|------|-------|-----|
| 지정공모 | - | - | - |
| 품목지정 | 27 | 238 | 265 |
| 자유공모 | | - | - |
| 계 | 27 | 238 | |

□ 기획대상연구개발과제 현황

| 연구개발과제(품목)명 | | 연계 수요 (도출근거) |
|---------------------------------|--|--|
| 기획대상주제명 | 기획대상 연구개발과제(품목)명 | |
| 탄소순환형 정유제품 생산을 위한 CCU 통합공정 기술개발 | 정유산업 접촉분해공정 배출 CO ₂ 포집 파일럿 (10톤/일) 공정 개발 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 정부정책 <ul style="list-style-type: none"> - 그린뉴딜 정책(한국형 뉴딜 종합계획(7.14), 산업·에너지 한국판 뉴딜 정책방향(7.16) 등)의 핵심 과제인 녹색기술(온실가스 감축) 개발에 부합 - 탄소중립 정책 ('2050 탄소중립 추진전략'(20.12, 부처합동), '탄소중립 기술혁신 추진전략'(20.3, 과기부) 등)에 탄소 다배출 업종의 저탄소 전환 촉진을 위한 CCUS 기술의 상용화 추진 필요성 강조 - 제4차에너지 에너지기술개발계획 이노베이션 로드맵(2020)에 이산화탄소 포집 저장 활용 실증 포함 ○ '2021년 산업기술 R&D 투자전략에 온실가스 다배출 공정의 온실가스 처리 기술 투자 확대 명시 ○ 2022년 CCUS 신규과제 기획을 위한 기술수요조사(반영) ○ 정유업계 탄소중립협의회 R&D 분과위원회 기술수요조사서(반영) ○ 기타(로드맵 등) <ul style="list-style-type: none"> - (2030 온실가스 감축 로드맵 수정안) 탄소 포집·활용·저장(CCUS) 기술개발 및 상용화로 CO₂ 10.3백만톤 감축 - (CCU 기술혁신 로드맵(21.6.15)) 중점 기술로 산업공정 CO₂ 포집-전환 연계 실증 기술 포함 |
| | 정유공정 포집 CO ₂ 활용 액체연료 생산 공정 핵심기술 개발 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 정부정책 <ul style="list-style-type: none"> - 그린뉴딜 정책(한국형 뉴딜 종합계획(7.14), 산업·에너지 한국판 뉴딜 정책방향(7.16) 등)의 핵심 과제인 녹색기술(온실가스 감축) 개발에 부합 - 탄소중립 정책 ('2050 탄소중립 추진전략'(20.12, 부처합동), '탄소중립 기술혁신 추진전략'(20.3, 과기부) 등)에 탄소 다배출 업종의 저탄소 전환 촉진을 위한 CCUS 기술의 상용화 추진 필요성 강조 - 제4차에너지 에너지기술개발계획 이노베이션 로드맵(2020)에 이산화탄소 포집 저장 활용 실증 포함 ○ '2021년 산업기술 R&D 투자전략에 온실가스 다배출 공정의 온실가스 처리 기술 투자 확대 명시 ○ 2022년 CCUS 신규과제 기획을 위한 기술수요조사(반영) ○ 정유업계 탄소중립협의회 R&D 분과위원회 기술수요조사서(반영) ○ 기타(로드맵 등) <ul style="list-style-type: none"> - (2030 온실가스 감축 로드맵 수정안) 탄소 포집·활용·저장(CCUS) 기술개발 및 상용화로 CO₂ 10.3백만톤 감축 - (CCU 기술혁신 로드맵(21.6.15)) 중점 기술로 전기화학 기반 합성가스 생산 기술, CO₂ 수소화 촉매전환 기술(합성연료 등), 전기화학 기반 탄화수소 생산기술(에틸렌 등) 포함 |

| 연구개발과제(품목)명 | | 연계 수요 (도출근거) |
|-------------|--|---|
| 기획대상주제명 | 기획대상 연구개발과제(품목)명 | |
| | 저순도 CO ₂ 직접전환 기초유분 생산공정 핵심기술 개발 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 정부정책 <ul style="list-style-type: none"> - 그린뉴딜 정책(한국형 뉴딜 종합계획(7.14), 산업·에너지 한국판 뉴딜 정책방향(7.16) 등)의 핵심 과제인 녹색기술(온실가스 감축) 개발에 부합 - 탄소중립 정책('2050 탄소중립 추진전략'(20.12, 부처합동), '탄소중립 기술혁신 추진전략'(20.3, 과기부) 등)에 탄소 다배출 업종의 저탄소 전환 촉진을 위한 CCUS 기술의 상용화 추진 필요성 강조 - 제4차에너지 에너지기술개발계획 이노베이션 로드맵(2020)에 이산화탄소 포집 저장 활용 실증 포함 ○ '2021년 산업기술 R&D 투자전략'에 온실가스 다배출 공정의 온실가스 처리 기술 투자 확대 명시 ○ 2022년 CCUS 신규과제 기획을 위한 기술수요조사(반영) ○ 정유업계 탄소중립협의회 R&D 분과위원회 기술수요조사서(반영) ○ 기타(로드맵 등) <ul style="list-style-type: none"> - (2030 온실가스 감축 로드맵 수정안) 탄소 포집·활용·저장(CCUS) 기술개발 및 상용화로 CO₂ 10.3백만톤 감축 - (CCU 기술혁신 로드맵(21.6.15)) 중점 기술로 CO₂ 수소화 촉매전환 기술(합성연료 등), CO₂ 개질 합성가스 기반 올레핀 생산 기술 포함 |
| | CCU 기반 합성연료의 품질 기준 개발 및 상용화 전략 제시 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 정부정책 <ul style="list-style-type: none"> - 그린뉴딜 정책(한국형 뉴딜 종합계획(7.14), 산업·에너지 한국판 뉴딜 정책방향(7.16) 등)의 핵심 과제인 녹색기술(온실가스 감축) 개발에 부합 - 탄소중립 정책('2050 탄소중립 추진전략'(20.12, 부처합동), '탄소중립 기술혁신 추진전략'(20.3, 과기부) 등)에 탄소 다배출 업종의 저탄소 전환 촉진을 위한 CCUS 기술의 상용화 추진 필요성 강조 - 제4차에너지 에너지기술개발계획 이노베이션 로드맵(2020)에 이산화탄소 포집 저장 활용 실증 포함 ○ 2022년 CCUS 신규과제 기획을 위한 기술수요조사(반영) ○ 정유업계 탄소중립협의회 R&D 분과위원회 기술수요조사서(반영) ○ 기타(로드맵 등) <ul style="list-style-type: none"> - (CCU 기술혁신 로드맵(21.6.15))에 CCU 감축량 산정기준 마련, CCU 기술(제품)에 대한 표준·인증 체계 구축, 이산화탄소의 경제적 활용을 위한 법적 근거 마련 명시 |

2. 개발위험 관리방안

□ 기술개발 위험요인

- CO₂ 포집 기술 개발 착수 후 6개월 내에 실증 사이트를 확보하는데 문제가 발생할 경우, R&D 수행이 어려움에 따라 정유산업 접촉분해 공정 대상 실증 사이트 확보가 필수적임
 - 접촉분해 공정 연계 사이트 선정, 부지, 관련 인프라 및 운전 기간 배가스 및 유틸리티 공급 등을 사업계획에 반영 필요
- 파일럿 설비의 건설 및 운영에 있어 관련 법규 및 인허가 대책 방안 마련
- 파일럿 설비 운전 시, 안전사고 방지를 위한 위험성 평가시행
- CO₂ 전환 연료 생산 기술 개발 시 합성반응, 화학물질 사용, 단위 및 통합공정 개발위험에 대한 방안 마련이 필요
 - 위험요인 대비 안전 설계를 위한 상세 공정 모델 수립 및 실험 설비의 제작 및 운영에 있어 관련 법규 및 인허가 대책 방안 마련 필요
- 수요처에 따른 적절한 핵심 요소기술 선정을 통한 기술개발과 합성가스전환-연료생산-분리의 연계를 통한 안정적인 운영기술 확보가 중요
 - 개별 공정에 대해서는 TRL 4~5단계 기술이 확보되었으나 포집 CO₂로부터 합성가스 생산-연료 생산 연계 통합공정에 대한 연구개발이 필요
 - 연속 흐름공정에 대한 공정조건 확립 및 전환율 개선을 위한 촉매 및 반응공정 기술과 더불어 안정적인 운영기술 확보가 중요
 - 포집 CO₂ 공급 조건에 따른 합성가스 전환, 연료 전환 등 개별 공정에 대한 반응 조건 마련 필요
- CO₂ 전환 기초유분 생산 기술 개발 시 합성반응, 화학물질 사용, 단위 및 통합공정 개발위험에 대한 방안 마련이 필요
 - 위험요인 대비 안전 설계를 위한 상세 공정 모델 수립 및 실험 설비의 제작 및 운영에 있어 관련 법규 및 인허가 대책 방안 마련 필요
- 수요처에 따른 적절한 핵심 요소기술 선정을 통한 기술개발과 안정적인 운영기술 확보가 중요
 - 공정조건 확립 및 CO₂ 전환율 개선을 위한 촉매 및 반응공정 기술과 더불어 안정적인 운영기술 확보가 중요
 - 수소생산 공정 purge gas의 전처리 조건 확립 및 전처리 조건에 따른 기초유분 생산 반응 조건 마련 필요

□ 사업화 애로사항

- 품목4 과제는 품목1, 2, 3 과제와 긴밀히 협력하여 개발공정을 반영한 연료 및 기초유분 생산 공정의 기술경제성 평가 제시를 통한 경제성 확보 및 사업화 방안 제시가 필요함
 - 정유업계 의견을 고려한 CCU 연료의 상용화를 위한 법령(안) 제시 필요
- CCU 기술 단독으로는 경제성을 확보하는 것이 어렵고 시장이 형성되지 않은 상황이므로 개발 기술의 조기 사업화를 위해서는 CCU 정유제품(연료 및 기초유분)에 대한 인센티브 부여, 세제 혜택, 탄소배출권 가격 상승 등 정부 정책 지원이 필수적임
- CCU 공정 개발을 통한 상용화 시 안전규제 및 인허가 등의 문제가 발생하므로 이에 대한 사전 대비가 필요함

□ 사회환경 위험요인

- CO₂ 포집 공정에 사용되는 소재의 경우 2차 환경오염 유발에 대한 우려가 있을 수 있기 때문에, 이를 해소하기 위해 파일럿 설비 운전 시 환경성 평가가 함께 필요
- CCU 기반 연료 및 기초유분 생산 공정의 환경오염에 대한 문제가 제기될 수 있으므로 관련 규정에 대한 사전 검토가 필수적임
- CCU 기술과 제품에 대한 정유업계 및 국민들의 불안감 해소와 시장에서 신뢰도 향상을 위한 CCU 기술 및 제품 인증제도 구축 필요
 - 품목 4과제는 품목2, 품목3 과제와 연계하여 개발 제품인 CCU 기반의 합성연료 시험분석 등을 통한 품질 기준 마련 및 기초유분의 품질 가이드라인을 제시해야함

□ 기술영향 검토

- 정유산업에 특화된 CCU 기술 확보를 통하여 탄소 다배출 업종인 정유업계의 탄소중립 대응기술 확보 및 저탄소 산업으로의 전환을 촉진할 것으로 기대됨
- 기존의 화석원료인 원유 기반의 연료 및 기초유분 시장 대체를 통하여 원유 수입량 감소 및 에너지 안보 제고 효과가 기대됨
- CCU 제품에 대한 소비자의 수용성 제고를 위하여 CCU 제품의 안전성 검증 기준 마련 및 개발 기술의 온실가스 감축 방법론 인증 등이 요구됨

3. 기획연구개발과제 RFP / 기술개요서(연구개발과제기획이력서)

[품목지정공모 (기술개요서)]

| | |
|---|----|
| 품목명 : 정유산업 접촉분해공정 배출 CO ₂ 포집 파일럿(10톤/일) 공정 개발 .. | 26 |
| 품목명 : 정유공정 포집 CO ₂ 활용 액체연료 생산 공정 핵심기술 개발 | 31 |
| 품목명 : 저순도 CO ₂ 직접전환 기초유분 생산공정 핵심기술 개발 | 35 |
| 품목명 : CCU 기반 합성연료의 품질 기준 개발 및 상용화 전략 | 40 |

'22년도 에너지기술개발사업 신규연구개발과제 기술개요서 (품목지정)

| | | |
|-----------------|---|----------|
| 관리번호 | 2022-정유제품 CCU-품목1 | |
| 연구개발과제유형 | 원천기술형(), | 혁신제품형(○) |
| | | 실증형() |
| 연계/해당여부 | 표준화연계() 경쟁형과제() 공기업협력() 초고난도과제() 복수형과제() 안전관리형과제(○) | |
| 품목명 | 정유산업 접촉분해공정 배출 CO ₂ 포집 파일럿(10톤/일) 공정 개발 (TRL: [시작] 3단계 ~ [종료] 6단계) | |
| 1. 지원필요성 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 국내 정유업계는 탄소중립 수단으로 CCU 기술개발 및 상용화 의지가 매우 높으나, 정유공정에 적용 가능한 CCU 기술이 없는 실정인바 정부지원을 통해 정유업계 공통으로 활용 가능한 기술개발 필요성이 높음 ○ 탄소중립 추진에 따른 석유수요 감소에 대응하고 정유산업의 수출 경쟁력 유지를 위해 정유공정에 특화된 CCU 기술개발 및 상용화가 필요하며, 기술개발 비용의 정부지원을 통해 기술실증 및 상용화 비용을 경감하여 산업계 부담 완화 필요 ○ 기술개발, 설비교체 등을 위한 막대한 탄소중립 전환비용이 기업 및 산업의 경쟁력을 약화시키지 않도록 정부의 적극적인 지원 필요 ○ 정유산업의 접촉분해공정 배출가스 중 CO₂ 포집 기술은 업종의 CCUS 개발에 반드시 필요한 기술이나, 그간 개발이력이 없어 기술개발 실패 위험성을 최소화하기 위해 정부의 우선적 지원 필요 | |
| 2. 품목정의 | <ul style="list-style-type: none"> ○ (최종목표) 정유산업 접촉분해공정대상 CO₂ 포집 기술 및 파일럿 공정 개발 <ul style="list-style-type: none"> * CO₂ 포집 규모 10톤-CO₂/일, CO₂ 순도 99% 이상, CO₂ 회수율 90% 이상, 상용공정 포집에너지 대비 10% 저감 ※ 포집에너지: 개발기술분야(흡수, 흡착, 분리막 등)에서 실증 혹은 상용공정에서의 CO₂ 포집에너지 (문헌, 실험 등, GJ/t-CO₂ or kWh/t-CO₂ 등)로 시뮬레이션 혹은 운전 결과 등와 비교. 상용공정 포집에너지는 MEA 공정 기준 4.0 GJ/t-CO₂ ○ (연구내용) <ul style="list-style-type: none"> - 정유산업 접촉분해공정대상 고성능 CO₂ 포집기술 및 공정 선정 <ul style="list-style-type: none"> * 배가스 분석, 문헌, Lab 혹은 Bench-scale 연구를 통한 최적 공정 선정 - CO₂ 포집 공정 모델(Process Simulator) 개발 - CO₂ 포집 공정 설계, 제작 및 설치 - CO₂ 포집 공정 운전 최적화 및 동적제어기술 개발 - CO₂ 포집 상용규모 FEED(Front and End Engineering Design) 도출 ○ 개발위험 극복방안 <ul style="list-style-type: none"> - 정유산업 접촉분해 공정 대상 파일럿 설비 구축 사이트 확보 방안 마련 <ul style="list-style-type: none"> * 접촉분해 공정 연계 사이트 선정, 부지, 관련 인프라 및 운전 기간 배가스 및 유틸리티 공급 등을 사업계획에 반영 - 파일럿 설비의 건설 및 운영에 있어 관련 법규 및 인허가 대책 방안 마련 - 파일럿 설비 운전 시, 안전사고 방지를 위한 위험성 평가시행 - CO₂ 전환 공정과 연계를 위한 포집 CO₂의 공급 조건 마련 - CO₂ 포집 기술 및 파일럿 공정 적용/운영 결과를 바탕으로 경제성 평가(품목 4과제와 협력)를 통한 시장진입 필요 | |

○ 안전관리 사항

- 본 연구개발과제는 「안전관리형 연구개발과제」로 연구개발계획서 제출시 ‘연구개발 과제별 안전관리계획’을 제출해야 함 (적정성을 검토하여 부적정시 지원 제외함)
- 본 연구 개발과제는 해당 안전관리 전문기관으로부터 정기적인 점검 또는 검사 (연 1회 원칙)를 받아야 함(단, 연구개발과제 평가단에서 변경 가능)
- 안전관리계획에 필수 포함사항
 - 안전보건표지 부착 계획
 - 안전보건 교육 계획 (정기교육, 채용시교육, 작업내용변경시교육, 특별교육)
 - 위험성 평가계획(유해요인, 위험요인) : PDCA(Plan(계획)-Do(실행)-Check(확인)-Action(조치))
 - 유해·위험 방지계획

3. 지원기간/추진체계

○ 기간 : 45개월 이내

(1차년도 정부지원연구개발비: 14억원 내외, ○ 정부납부기술료 : 징수
총 정부지원연구개발비 : 65억원 내외)

○ 주관연구개발기관 : 제한없음

○ 기타사항 : 정유사 과제 참여 필수

사업 내 타과제에서 활용연구를 위한 포집 CO₂ 제공

사업 내 타과제와의 유기적/적극적 협력 방안 제시 및 수행

'22년도 에너지기술개발사업 신규연구개발과제 기술개요서 (품목지정)

| | | |
|-----------------|---|----------|
| 관리번호 | 2022-정유제품 CCU-품목2 | |
| 연구개발과제유형 | 원천기술형(), | 혁신제품형(○) |
| | | 실증형() |
| 연계/해당여부 | 표준화연계() 경쟁형과제() 공기업협력() 초고난도과제() 복수형과제() 안전관리형과제(○) | |
| 품목명 | 정유공정 포집 CO ₂ 활용 액체연료 생산 공정 핵심기술 개발 (TRL : [시작] 3단계 ~ [종료] 5단계) | |
| 1. 지원필요성 | <p>○ 국내 정유업계는 탄소중립 수단으로 CCU 기술개발 및 상용화 의지가 매우 높으나, 정유공정에 적용 가능한 CCU 기술이 없는 실정인바 정부지원을 통해 정유업계 공통으로 활용 가능한 기술개발 필요성이 높음</p> <p>○ 탄소중립 추진에 따른 석유수요 감소에 대응하고 정유산업의 수출 경쟁력 유지를 위해 정유공정에 특화된 CCU 기술개발 및 상용화가 필요하며, 기술개발 비용의 정부지원을 통해 기술실증 및 상용화 비용을 경감하여 산업계 부담 완화 필요</p> <p>○ 기술개발, 설비교체 등을 위한 막대한 탄소중립 전환비용이 기업 및 산업의 경쟁력을 약화시키지 않도록 정부의 적극적인 지원 필요</p> <p>○ 정유산업에서 포집한 CO₂를 활용한 액체연료(가솔린, 디젤, 항공유 등) 생산은 정유업종의 생산품인 연료를 생산하면서 CO₂를 감축할 수 있는 업종의 핵심 CCU 기술이나, 그간 개발이력이 없어 기술개발 실패 위험성을 최소화하기 위해 정부의 우선적 지원 필요</p> | |
| 2. 품목정의 | <p>○ (최종목표) 정유공정 포집 CO₂ 활용 액체연료 생산 핵심기술 개발 * 100kg-CO₂/일 규모 이상, 화석 연·원료 미활용 CO₂ 전환 합성가스 생산(에너지효율* 50% 이상), 합성연료 중 C₅-C₂₀ 선택도 80 wt% 이상 ※ 에너지효율: (생산된 합성가스의 열량)/(반응에 투입되는 에너지 및 원료물질 열량의 합)×100%</p> <p>○ (연구내용)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 화석 연·원료 미활용 포집 CO₂로부터 합성가스 생산 핵심기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> * CO₂로부터 합성가스 생산을 위한 고성능/고내구성 촉매 기술 개발 * H₂/CO 비율 조절형 CO₂ 전환 합성가스 생산 기술 및 공정 스케일업 기술 개발 - 합성가스 활용 액체연료의 선택적 생산 공정 핵심기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> * 합성가스로부터 액체 탄화수소의 선택적 생산이 가능한 탄소수 제어형 촉매기술 개발 * 탄소수 제어형 합성가스 전환 촉매 양산 및 슬러리 반응공정 스케일업 기술 개발 - CO₂ 기반 액체연료 생산을 위한 통합공정 개발 <ul style="list-style-type: none"> * 포집 CO₂ 활용 합성가스 생산 및 액체연료 생산 통합공정 설계, 구축 및 운전 * 포집 CO₂ 활용 연료 생산 공정 격상 모델 수립 (30톤-CO₂/일 규모, 물질 및 에너지수지) <p>○ 개발위험 극복방안</p> <ul style="list-style-type: none"> - 합성반응, 화학물질, 단위 및 통합공정 개발위험에 대한 방안 마련 <ul style="list-style-type: none"> * 위험요인 대비 안전 설계를 위한 상세 공정 모델 수립 - 실험 설비의 건설 및 운영에 있어 관련 법규 및 인허가 대책 방안 마련 - 실험 설비 운전 시, 안전사고 방지를 위한 위험성 평가시행 - CO₂ 포집 공정과 연계 시, CO₂ 공급 조건에 따른 연료생산 반응 조건 마련 | |

- 개발 기술의 경제성 분석 및 생산된 합성연료의 품질기준, 제품의 상용화 방안은 품목4 과제와 협력하여 확보

○ **안전관리 사항**

- 본 연구개발과제는 「안전관리형 연구개발과제」로 연구개발계획서 제출시 ‘연구개발 과제별 안전관리계획’을 제출해야 함 (적정성을 검토하여 부적정시 지원 제외함)
- 본 연구 개발과제는 해당 안전관리 전문기관으로부터 정기적인 점검 또는 검사 (연 1회 원칙)를 받아야 함(단, 연구개발과제 평가단에서 변경 가능)
- 안전관리계획에 필수 포함사항
 - 안전보건표지 부착 계획
 - 안전보건 교육 계획 (정기교육, 채용시교육, 작업내용변경시교육, 특별교육)
 - 위험성 평가계획(유해요인, 위험요인) : PDCA(Plan(계획)-Do(실행)-Check(확인)-Action(조치))
 - 유해·위험 방지계획

3. 지원기간/추진체계

- **기간** : 45개월 이내
(1차년도 정부지원연구개발비: 19억원 내외, ○ **정부납부기술료** : 징수 총 정부지원연구개발비 : 97억원 내외)
- **주관연구개발기관** : 제한없음
- **기타사항** : 정유사 과제 참여 필수
사업 내 타과제와의 유기적/적극적 협력 방안 제시 및 수행

'22년도 에너지기술개발사업 신규연구개발과제 기술개요서 (품목지정)

| | | |
|----------|---|----------|
| 관리번호 | 2022-정유제품 CCU-품목3 | |
| 연구개발과제유형 | 원천기술형(), | 혁신제품형(○) |
| | | 실증형() |
| 연계/해당여부 | 표준화연계() 경쟁형과제() 공기업협력() 초고난도과제() 복수형과제() 안전관리형과제(○) | |
| 품목명 | 저순도 CO ₂ 직접전환 기초유분 생산공정 핵심기술 개발 (TRL : [시작] 3단계 ~ [종료] 5단계) | |
| 1. 지원필요성 | <p>○ 국내 정유업계는 탄소중립 수단으로 CCU 기술개발 및 상용화 의지가 매우 높으나, 정유공정에 적용 가능한 CCU 기술이 없는 실정인바 정부지원을 통해 정유업계 공통으로 활용 가능한 기술개발 필요성이 높음</p> <p>○ 탄소중립 추진에 따른 석유수요 감소에 대응하고 정유산업의 수출 경쟁력 유지를 위해 정유공정에 특화된 CCU 기술개발 및 상용화가 필요하며, 기술개발 비용의 정부지원을 통해 기술실증 및 상용화 비용을 경감하여 산업계 부담 완화 필요</p> <p>○ 기술개발, 설비교체 등을 위한 막대한 탄소중립 전환비용이 기업 및 산업의 경쟁력을 약화시키지 않도록 정부의 적극적인 지원 필요</p> <p>○ 탄소중립에 따른 글로벌 석유제품 수요 감소에 대응하고 정유업종의 탄소중립 기술 경쟁력을 확보할 수 있는 핵심 수단으로 CO₂를 활용한 고부가 기초유분을 생산 CCU 기술이 필수적이나, 그간 개발이력이 없어 기술개발 실패 위험성을 최소화 하기 위해 정부의 우선적 지원 필요</p> | |
| 2. 품목정의 | <p>○ (최종목표) 수소생산 공정 배출가스 중 CO₂ 및 합성가스 활용 기초유분(올레핀, BTX) 생산 핵심기술 개발</p> <p>* CO₂ 활용 규모 50kg-CO₂/일 이상, 전환 전 합성가스 분율 1.5 이상, single-pass CO₂+CO 전환율 40%, 기초유분 중 올레핀 또는 BTX 분율 50%</p> <p>※ 합성가스 분율(vol): H₂/(CO+CO₂)</p> <p>○ (연구내용)</p> <ul style="list-style-type: none"> - CO₂ 포함 수소생산 공정 배출가스 정제 <ul style="list-style-type: none"> * 수분, CO₂ 제거를 통한 합성가스 분율 제어 - CO₂ 포함 수소생산 공정 배출가스를 활용한 고성능 CO₂ 전환 촉매 개발 <ul style="list-style-type: none"> * 올레핀 또는 BTX 수율 향상을 위한 다중기능성 촉매 개발 * 촉매 대량생산 및 성형법 개발 및 최적화 - CO₂ 기반 기초유분 생산을 위한 공정 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> * 미반응 가스의 회수를 고려한 반응공정 설계 * 정유 공정으로부터 에너지 활용을 최소화한 연계공정 설계 * 배출가스 정제, 전환 반응이 포함된 공정 최적화 및 장기 운전성능 시험 <p>○ 개발위험 극복방안</p> <ul style="list-style-type: none"> - 합성반응, 화학물질, 단위 및 통합공정 개발위험에 대한 방안 마련 <ul style="list-style-type: none"> * 위험요인 대비 안전 설계를 위한 상세 공정 모델 수립 - 실험 설비의 건설 및 운영에 있어 관련 법규 및 인허가 대책 방안 마련 - 실험 설비 운전 시, 안전사고 방지를 위한 위험성 평가시행 | |

- 개발 기술의 경제성 및 생산된 기초유분의 품질, 제품의 상용화 방안은 품목4 과제와 협력하여 확보

○ **안전관리 사항**

- 본 연구개발과제는 「안전관리형 연구개발과제」로 연구개발계획서 제출시 ‘연구개발 과제별 안전관리계획’을 제출해야 함 (적정성을 검토하여 부적정시 지원 제외함)
- 본 연구 개발과제는 해당 안전관리 전문기관으로부터 정기적인 점검 또는 검사 (연 1회 원칙)를 받아야 함(단, 연구개발과제 평가단에서 변경 가능)
- 안전관리계획에 필수 포함사항
 - 안전보건표지 부착 계획
 - 안전보건 교육 계획 (정기교육, 채용시교육, 작업내용변경시교육, 특별교육)
 - 위험성 평가계획(유해요인, 위험요인) : PDCA(Plan(계획)-Do(실행)-Check(확인)-Action(조치))
 - 유해·위험 방지계획

3. 지원기간/추진체계

- **기간** : 45개월 이내
(1차년도 정부지원연구개발비: 17억원 내외, ○ **정부납부기술료** : 징수 총 정부지원연구개발비 : 77억원 내외)
- **주관연구개발기관** : 제한없음
- **기타사항** : 정유사 과제 참여 필수
사업 내 타과제와의 유기적/적극적 협력 방안 제시 및 수행

'22년도 에너지기술개발사업 신규연구개발과제 기술개요서 (품목지정)

| | | |
|---------------------|--|----------|
| 관리번호 | 2022-정유제품 CCU-품목4 | |
| 연구개발과제유형 | 원천기술형(○), | 혁신제품형() |
| | | 실증형() |
| 연계/해당여부 | 표준화연계() 경쟁형과제() 공기업협력() 초고난도과제() 복수형과제() 안전관리형과제() | |
| 품목명 | CCU 기반 합성연료의 품질 기준 개발 및 상용화 전략 (TRL: [시작] 3단계 ~ [종료] 4단계) | |
| 1. 지원필요성 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 국내 정유업계는 탄소중립 수단으로 CCU 기술개발 및 상용화 의지가 매우 높으나, 정유공정에 적용 가능한 CCU 기술이 없는 실정으로서 정부지원을 통해 정유업계 공통으로 활용 가능한 기술개발 필요성이 높음 ○ 탄소중립 추진에 따른 석유수요 감소에 대응하고 정유산업의 수출 경쟁력 유지를 위해 정유공정에 특화된 CCU 기술개발 및 상용화가 필요하며, 기술개발 비용의 정부지원을 통해 기술실증 및 상용화 비용을 경감하여 산업계 부담 완화 필요 ○ 정유산업 관련 CCU 제품과 관련된 품질기준, 상용화 전략 수립 등은 기술개발과 함께 상용화를 위해 반드시 필요하며, 막대한 탄소중립 전환비용이 정유산업계의 경쟁력을 약화시키지 않도록 정부의 적극적인 지원 필요 | |
| 2. 품목정의 | <ul style="list-style-type: none"> ○ (최종목표) 품질 기준 개발 및 상용화 전략 제시 <ul style="list-style-type: none"> * 사업내 과제에서 개발되는 CCU 기반의 합성연료 품질 기준 제시 1건 이상 기초유분 품질 가이드라인 1건, 합성연료/기초유분 생산공정의 기술경제성 평가 각 1건, CCU 연료의 상용화를 위한 법령(안) 제시 1건 ○ (연구내용) CCU 기반 합성연료의 품질 기준 개발 및 상용화 전략 수립 <ul style="list-style-type: none"> - 기초유분의 품질 가이드라인 수립 - 합성연료의 품질기준 개발 - 온실가스 감축 인증방법론(안) 개발 및 활용방안 제시 - 공정기반 기술 경제성 평가 및 파급효과 분석 제시 - 상용화를 위한 석유사업법 등 관련 법령 제·개정(안) 제시 ○ 개발위험 극복방안 <ul style="list-style-type: none"> - 사업기간 내 품목2, 품목3 과제와 연계하여 개발 제품인 CCU 기반의 합성연료 시험분석 등을 통한 품질 기준 마련 및 기초유분의 품질 가이드라인 제시 - 사업기간 내 품목2, 품목3 과제와 연계하여 개발공정을 반영한 합성연료, 기초유분 생산 공정의 기술경제성 평가 제시를 통한 경제성 확보방안 제시 - 정유업계 의견을 고려한 CCU 연료의 상용화를 위한 법령(안) 제시 | |
| 3. 지원기간/추진체계 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 기간 : 45개월 이내 (1차년도 정부지원연구개발비: 5억원 내외, ○ 정부납부기술료 : 비징수 총 정부지원연구개발비 : 27억원 내외) ○ 주관연구개발기관 : 제한없음 ○ 기타사항 : 사업 내 타과제의 결과물인 CCU 제품(액체연료, 올레핀 등)을 기술개발 과제의 대상으로 함 사업 내 타과제와의 유기적/적극적 협력 방안 제시 및 수행 | |