

관리번호		2026-에너지·환경- 1-지정공모-03		RFP 유형코드	목적·내용	성과물 특성	지원유형
					P	2	2
					실용화·실증	실증 및 상용화(TRL 8)	컨소시엄형 연구개발
국가전략연구 기획평가전문분야		PM분야	에너지·환경	RB분야	탄소 자원화	RB 세부분야	이산화탄소 포집/활용
사업명		CCU메가프로젝트					
RFP명		발전분야 온실가스 활용을 통한 e-SAF 생산 기술개발					
		(TRL : [시작] 4단계 ~ [종료] 8단계)					
지원 정보	지원기간	2026.04 ~ 2030.12		정부지원금	87,635백만원		
	1단계 (1차년도)	2026.04 ~ 2028.12 (2026.04 ~ 2026.12)		1단계 (1차년도)	53,459백만원 (5,070백만원)		
	2단계	2029.01 ~ 2030.12		2단계	34,176백만원		
	주관기관유형	■ 제한없음 □ 대학/출연(연)/국·공립연/특정연 □ 기업 □ 기타 비영리법인(병원 등) □ 외국법인					
	주관기관 외 필수참여기관	■ 제한없음 □ 기업 □ 기타 비영리법인(병원 등) □ 외국법인					
키워드	한글	지속가능항공유, 재생전력, 이산화탄소 직·간접 전환, 통합연계공정, 이산화탄소 전기화학적 환원반응					
	영문	Sustainable aviation fuel (SAF), Renewable electricity, Direct and indirect CO ₂ conversion, Integrated and coupled process, Electrochemical CO ₂ reduction reaction					

1. 추진배경	
○ 추진근거 - 기후변화대응 기술개발촉진법(제1조, 제8조) - 이산화탄소 포집·수송·저장 및 활용에 관한 법률(제36조, 제37조) - 탄소중립 녹색성장 국가전략 및 제1차 국가 기본계획 - 이산화탄소 포집·활용(CCU) 기술혁신 로드맵 - 2050 장기 저탄소발전전략(LEDs) - 탄소중립 녹색성장 비전 및 4대 추진 전략·12대 과제 - 2030 국가 온실가스 감축목표(NDC) - 2024년도 예비타당성조사 보고서(CCU메가프로젝트) ○ 세부 추진배경 (1) CCU를 통한 e-SAF 생산 기술 실증 필요성 1) 항공부문 배출 규모 및 감축 필요성 - 항공부문은 전 세계 온실가스 배출의 약 2.0~2.5%를 차지 (2019년 약 17억 tCO₂,eq 배출) - 국제항공 수요 증가에 따라 중장기 온실가스 배출 증가 압력 지속 → 항공부문 온실가스 감축전략 마련 필요 2) 항공의 구조적 제약: SAF 이외 대체수단이 제한적 - 항공기는 고도 운항의 저온 환경(약 -40℃) 및 안전성·항속거리·에너지밀도 요구로 전기화 및 수소화 동력 적용이 매우 제한적임 - 연료 이외 온실가스 배출을 감축할 수 있는 수단(예, 항로단축, 항공교통개선 등)으로 NetZero2050 달성에 한계가 있음 (전체 목표감축량의 30% 미만)	

- 따라서 항공분야 온실가스 감축은 기존 항공유와 혼합 가능한 지속가능한 항공유 (Sustainable Aviation Fuel, SAF) 도입이 가장 현실적 수단
- 3) SAF는 항공부문 핵심 감축수단으로 제도화 진행
 - 국제민간항공기구(ICAO)는 탄소 배출 상쇄·감축 제도(CORSIA)를 통해 국제항공 탄소중립 성장을 추진하며 SAF 활용을 주요 온실가스 감축 수단으로 제시
 - 주요국은 SAF의 도입을 촉진하기 위해 의무혼합제, 세제·보조금, 공급망 구축 지원 등 정책 기반을 빠르게 확대 중
- 4) EU·한국 등 정책 동향: SAF에 의무화 목표 설정
 - EU(ReFuelEU Aviation)는 2025년부터 SAF 의무혼합을 시작해 2050년까지 단계적으로 의무비율 상향 예정
 - * SAF 최소 혼합 비율: '25~29년 2% → '30~34년 6% → '35~39년 20% → '50년 이후 70%
 - * e-SAF 최소 혼합 비율(별도 하위목표): '30~35년 1.2% → '35~39년 5% → '50년 이후 35%
 - 대한민국은 2024년 '석유 및 석유대체연료 사업법' 개정으로 SAF를 정식 항공유로 인정하고 2025년 SAF 의무혼합제도 도입
 - * 의무혼합비율: '27년 1% → '30년 3~5%(26 결정 예상) → '35년 7~10%(29 결정 예상)
 - 주요국의 정책 설계가 SAF 확대에서 고감축 SAF(특히 e-SAF) 확대에 진화 중 → 기술 선점 필요
- 5) 글로벌 수요 급증 대비 공급 부족 전망: 조기 실증·상용화 경쟁 → e-SAF 병행 필수
 - 미국·EU·일본 등 주요국의 의무화 및 인센티브 확대에 따라 2030년 전후 SAF 수요 급증 예상
 - 바이오 기반 SAF(bio-SAF)는 단기 확산에 유리하나, 지속가능 바이오 원료의 가용 물량 한계
 - 따라서, 의무혼합 비율이 커질수록 확장성 관점에서 bio-SAF 단독 충족이 어려워 e-SAF 등 대체 합성경로 개발 필요
- (2) CCU를 통한 e-SAF 생산 기술 개요
 - 1) EU에서 e-SAF 정의/범위:
 - e-SAF는 CO₂ 발생원에 따라서 비생물기원 재생연료(Renewable Fuels of Non-Biological Origin, RFNBO)와 재생탄소항공유(Recycled Carbon Aviation Fuels, RCF)로 구분
 - RFNBO 해당요건: ① 재생전력 기반 재생수소로 생산되며, 전해조 전력은 추가성·시간/지리 매칭 등 재생전력 요건을 충족해야 하며, ② 탄소원은 direct air capture (DAC) 또는 생물기원 CO₂ 활용이 원칙이고, 화석·전력부문 CO₂는 인정 기한(전력 연소분 2035년까지 등) 제약이 있으며, ③ 전생애주기(LCA, life cycle analysis) 기준 70% 이상 온실가스 감축을 달성하고 (기준선 94 gCO₂,eq/MJ) EU RED(Renewable Energy Directive, 재생에너지법) 인증으로 입증해야 함
 - RCF 해당요건: ① 비재생 기원의 폐기물 스트림 또는 산업설비에서 불가피하게 발생하는 폐가스를 원료로 생산되는 연료로, ② 포집 CO₂를 탄소원으로 사용할 때 회피배출은 중복 크레딧이 불가하며 (발전부분 2035년까지 허용), ③ LCA 기준 70% 이상 온실가스 감축을 달성하고 (기준선 94 gCO₂,eq/MJ), EU RED 인증으로 입증해야 함
 - 2) ICAO CORSIA에서 적격연료 (CORSIA Eligible Fuels, CEF) 인정범위
 - 발전소 배출가스를 이용한 SAF 생산은 ① 발전소 배출 CO₂가 불가피하게 대기로 배출될 것임이 입증된 폐기물 가스로 분류되어야 하며, ② LCA 온실가스 배출량을 화석연료 대비 10% 이상 감축(기준선 89 gCO₂,eq/MJ)해야 하는 CORSIA 지속가능성 기준을 달성해야 하며, ③ 지속가능성 인증을 통해 원료 수집 단계의 배출량이 0으로 산정되는 폐기물 지위를 확보해야 함
 - 3) CO₂ 전환공정 분류: 직접전환 및 간접전환
 - 가. 직접전환
 - CO₂를 단일 반응계에서 바로 탄화수소로 전환 (CO₂-Fischer Tropsch, CO₂-FT)
 - 반응 자체가 발열 성격을 가져, 공정 통합 시 간접전환 대비 열수지 및 에너지 효율 잠재력이 크고, 공정 단계가 단순해 설비·운전 복잡도 감소 가능
 - CO-FT 대비 연구·상용화 축적이 짧아 촉매 안정성, 선택도, 물 생성/탄산염 등으로 인한 성능 저하 메커니즘 제어가 미성숙

나. 간접전환

- (1) $\text{CO}_2 \rightarrow \text{CO}$ (syngas 조성 조절 포함) $\rightarrow$ (2) $\text{CO} \rightarrow$ 탄화수소(FT 등)의 2단 공정
- CO_2 를 CO 로 전환하는 방법에는 대표적으로 아래와 같은 방법이 있음.
 - ① 역(逆)수성가스 전환 반응(reverse water gas shift reaction, rWGSR): $\text{CO}_2 + \text{H}_2 \rightarrow \text{CO} + \text{H}_2\text{O}$
 - ② 이산화탄소 분해: $\text{CO}_2 \rightarrow \text{CO} + 0.5\text{O}_2$
 - ③ 이산화탄소, 물 동시 분해: $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + \text{H}_2 + \text{O}_2$
- $\text{CO} \rightarrow$ 탄화수소 단계(FT 등)는 기술 성숙도가 높고 공정 설계 및 스케일업 경험이 축적되어 대규모 상용화에 유리. 또한 $\text{CO}_2 \rightarrow \text{CO}$ 단계에서 CO/H_2 조절로 CO-FT 최적화가 가능
- 하지만, $\text{CO}_2 \rightarrow \text{CO}$ 단계가 강한 흡열(또는 전력소모)이라 에너지 소모가 크고, 분리된 2단 공정의 통합공정 개발 및 전 공정의 열통합이 필요해 공정 복잡도·CAPEX 증가

(3) 실증 대상 기술 선정

- 상용화 리스크 분산: 간접전환은 비록 $\text{CO}_2 \rightarrow \text{CO}$ 의 TRL이 낮지만, 높은 TRL의 CO-FT 기반으로 단기 실증·도입이 유리하고, 직접전환은 차세대 고효율·공정단순화 잠재력이 커 중장기 경쟁력 확보에 필요
- 공급망·입지 최적화: 직접전환은 대규모 중앙집중형(CCU 허브/정유·화학단지)에 적합하고, 전기화학 기반 $\text{CO}_2 \rightarrow \text{CO}$ 를 포함한 간접전환은 분산형·모듈형에 유리하여, 두 트랙을 확보해야 다양한 CO_2 /전력 조건에 대응 가능
- 에너지·전력 변동 대응: 직접전환은 열통합을 통해 열수지 개선 여지가 있고, 간접전환(특히 전기화학)은 전력 변동성(재생에너지 간헐성)에 맞춘 유연운전 옵션이 있어, 병행 개발이 시스템 관점에서 최적
- 제품 포트폴리오/규제 대응: e-SAF는 LCA·인증 요구가 강화되는 추세로, 공정별 LCA 성능·원가·확장성이 상황에 따라 달라짐 $\rightarrow$ 두 공정 옵션을 확보해야 정책·시장 변화에 유연하게 대응 가능
- 재생전력 및 재생수소를 이용한 e-SAF 생산기술 개발: ① RFNBO 관점에서 EU e-SAF 하위목표 달성에 해당하려면 재생전력·재생수소가 필수이며, ② RCF 관점에서 화석기원 탄소원 활용이 가능해도, 70% 감축 달성은 재생전력·재생수소 없이는 불가능하며, ③ ICAO CORSIA의 CEF 관점에서 최소 10% 감축 + 지속가능성 기준 충족 인증 입증을 위해 재생전력·재생수소 활용이 가장 확실한 설계

○ 기획의 주안점

(1) 세부기술별 목표

- ① 이산화탄소 직접전환을 통한 e-SAF 생산 기술
 - 목표: 재생전력 및 재생수소를 이용하여 CO_2 를 직접 전환하여 syn-crude 및 이를 업그레이딩하여 e-SAF를 생산하는 통합공정을 3,500톤/년급으로 실증
 - 범위:
 - (i) CO_2 직접전환 반응 실증으로 syn-crude 생산
 - (ii) 생산된 syn-crude의 정제·고도화(업그레이딩)를 통해 e-SAF 생산
 - (iii) CO_2 직접전환-업그레이딩 통합공정 개발 및 통합공정의 기술경제성 및 온실가스 배출 국제 인증 (ISCC EU, ISCC CORSIA, RSB 등) 확보
 - (iv) 직접전환 e-SAF 물성 평가/규격 도출
- ② 이산화탄소 간접전환을 통한 e-SAF 생산 기술
 - 목표: 재생전력 및 재생수소를 이용하여 CO_2 를 전기화학적으로 CO 로 전환한 뒤, CO 를 촉매 전환하여 syn-crude 및 e-SAF를 생산하는 통합공정을 500톤/년급으로 실증
 - 범위:
 - (i) $\text{CO}_2 \rightarrow \text{CO}$ 전기화학 전환 공정 실증
 - (ii) $\text{CO} \rightarrow$ syn-crude 촉매화학 전환 공정 실증

- (iii) 생산된 syn-crude의 정제·고도화(업그레이딩)를 통해 e-SAF 생산
- (iv) CO₂→CO→syn-crude→e-SAF 통합공정 개발 및 통합공정의 기술경제성 및 온실가스 배출 국제 인증 (ISCC EU, ISCC CORSIA, RSB 등) 확보
- (v) 간접전환 e-SAF 물성 평가/규격 도출

2. 과제목표

- 최종 목표 : 재생수소 및 재생전력을 이용하여 4,000톤/년 규모 이산화탄소 직접 및 간접전환으로 e-SAF 생산 기술 실증
- 단계별 목표

1단계 (‘26~’28)	단위 공정	○ 단계 목표 - 실증플랜트 설계 도출 및 실증 기반 구축 ○ 세부 기술별 목표 ① 이산화탄소 직접전환을 통한 e-SAF 생산 기술 - Pre-pilot 규모 단위 반응 공정 시스템 구축 및 실증플랜트 설계 도출 * CO₂ 전환: 단위공정에서 세계 최고 수준의 CO₂ 전환율 (≥45%) 및 액체탄화수소 (C₅₊) 수율 (≥20%, 투입된 CO₂ 기준, 수율계산시 CO 포함) 달성할 수 있는 철계 촉매 양산 기술 및 전환공정 기술 개발 (per-pass 기준) * 업그레이딩: 단위공정에서 항공유분 수율 (C8-C16 ≥10%, 투입된 CO₂ 기준, 수율계산시 CO 포함), 올레핀 및 산소를 포함하는 성분 최소화 및 이소파라핀 및 방향족을 포함하는 항공유 구성성분 생산을 위한 공정 개발 (per-pass 기준) - CO₂ 직접전환 및 업그레이딩 장기 안정성 (각각 1000 시간 이후 초기 전환율 및 선택도 성능의 80%) 유지를 위한 고내구성 촉매 및 공정 개발 - 직접전환-업그레이딩 통합 실증플랜트 설계 도출 ② 이산화탄소 간접전환을 통한 e-SAF 생산 기술 - Pre-pilot 규모 단위 반응 공정 시스템 구축 및 실증플랜트 설계 도출 * CO₂→CO 전기화학 전환: 80셀/스택 전기화학 설비 구축 및 CO 생산 효율 확보 (CO₂ 전환율, 전류효율, 에너지 효율 등) * CO 전환: CO-FT 촉매 양산 및 공정개발: 단위공정에서 세계 최고 수준의 CO 전환율 (≥80%) 및 액체탄화수소 (C₅₊) 수율 (≥70%, 투입된 CO 기준, 수율계산시 CO₂ 포함) 달성할 수 있는 촉매 양산 기술 및 전환공정 기술 개발 (per-pass 기준) * 업그레이딩: 단위공정에서 항공유분 수율 (C8-C16 ≥35%, 투입된 CO 기준, 수율계산시 CO₂ 포함), 올레핀 및 산소를 포함하는 성분 최소화 및 이소파라핀 및 방향족을 포함하는 항공유 구성성분 생산을 위한 공정 개발 (per-pass 기준) - CO₂→CO, CO-FT 및 업그레이딩 장기 안정성 (각각 1,000 시간 이후 초기 전환율 및 선택도 성능의 80%) 유지를 위한 고내구성 촉매 및 공정 개발 - 간접전환-업그레이딩 통합 실증플랜트 설계 도출 ③ e-SAF 물성 평가/규격 도출 - e-SAF 및 e-SAF와 석유계 항공유를 혼합한 최종 제품의 스펙 확인 (ASTM D7566 규격 확보)
2단계 (‘29~’31)	통합 공정	○ 단계 목표 - 재생전력 및 재생수소를 이용한 CO₂ 전환 기술 실증 및 상업화 기반 도출 - CO₂ 처리량 3,500톤/년 규모 직접전환 실증 통합 플랜트 구축 및 운전 - CO₂ 처리량 500톤/년 규모 간접전환 실증 통합 플랜트 구축 및 운전 ○ 세부 기술별 목표 ① 이산화탄소 직접전환을 통한 e-SAF 생산 기술 - 재생수소 및 재생전력 확보방안 제시 - 직접전환-업그레이딩 실증규모 통합 플랜트 구축 및 연속 운전 실증

		* 상업공정 운영을 위한 촉매 양산 제조 기술 확립 * CO₂ 전환: 통합공정에서 세계 최고 수준의 CO₂ 전환율 (≥45%) 및 액체탄화수소 (C₅₊) 수율 (≥20%, 투입된 CO₂ 기준, 수율계산시 CO 포함) 달성할 수 있는 철계 촉매 양산 기술 및 전환공정 기술 개발 * 업그레이딩: 통합공정에서 항공유분 수율 (C8-C16 ≥10%, 투입된 CO₂ 기준, 수율계산시 CO 포함), 올레핀 및 산소를 포함하는 성분 최소화 및 이소파라핀 및 방향족을 포함하는 항공유 구성성분 생산을 위한 공정 개발 * 통합공정 장기운전성 확보 (2,000 시간 이후 초기 전환율 및 선택도 성능의 80%) - 직접전환-업그레이딩 통합 플랜트 상업설계 패키지 도출 ② 이산화탄소 간접 전환을 통한 e-SAF 생산 기술 - 재생수소 및 재생전력 확보방안 제시 - CO₂→CO, CO-FT 및 업그레이딩 실증규모 통합 플랜트 구축 및 연속 운전 실증 * 실증규모 공정 운용을 위한 촉매 양산 제조 기술 확립 * 통합공정 구축을 위한 주변 장치 구축 (압축기, 분리기 등) * CO₂→CO 전기화학 전환: 통합공정에서 CO₂ 전기화학 전환 스택 병렬 운전 실증 및 CO 생산 효율 확보 (CO₂ 전환율, 전류효율, 에너지 효율 등) * CO 전환: 통합공정에서 CO-FT 촉매 양산 및 공정개발: 세계 최고 수준의 CO 전환율 (≥80%) 및 액체탄화수소 (C₅₊) 수율 (≥70%, 수율계산시 CO₂ 포함) 달성할 수 있는 촉매 양산 기술 및 전환공정 기술 개발 (per-pass 기준) * 업그레이딩: 통합공정에서 항공유분 수율 (C8-C16 ≥35%, CO 기준), 올레핀 및 산소를 포함하는 성분 최소화 및 이소파라핀 및 방향족을 포함하는 항공유 구성성분 생산을 위한 공정 개발 * 통합공정 장기운전성 확보 (2,000 시간 이상 초기 성능의 80% 유지) - 간접전환-업그레이딩 통합 플랜트 상업설계 패키지 도출 ③ e-SAF 물성 평가/규격 도출 및 국제 인증 - e-SAF 및 e-SAF와 석유계 항공유를 혼합한 최종 제품의 스펙 확인 (ASTM D7566 규격 확보) - 통합공정의 기술경제성 및 온실가스 배출 국제 인증 (ISCC EU, ISCC CORSIA, RSB 등) 확보
--	--	---

3. 연구개발내용 및 성과지표

○ 연구개발내용

구분	연구개발내용	비고
1단계 단위공정 (‘26~’28)	① 이산화탄소 직접전환을 통한 e-SAF 생산 기술 - Pre-pilot 단위 CO₂→syn-crude 반응·공정 시스템 구축 * 촉매 양산 공정 구축, 배치 간 품질관리 및 성능 재현성 검증 * 연속운전 장치(반응-냉각-응축-분리-재순환) 구성 및 시운전 * 열·물질수지, 압력강하, 핫스팟 등 운전 데이터 확보 및 운전 조건 확립 * 성능평가 표준(전환율/수율/선택도/탄소수지) 및 분석 체계 구축 - 업그레이딩 공정 개발 * 올레핀 저감(선택적 수소화/이성화 등)으로 불포화 성분 최소화 * 산소함유물 제거(수소화정제/탈산소) 및 이소파라핀/방향족 확보를 위한 이성화·부분 방향족화·분별(컷 설계) 최적화 * 제트 범위 수율(C8-C16) 및 물성 연계(밀도/동결점 등) 데이터 확보	

구분	연구개발내용	비고
	- 장기 안정성($\geq 1,000$ h) 고내구성 촉매·공정 * 열화 원인 규명 및 촉매·공정 내구성 강화 * 재생/교체 전략(현장 적용 가능한 재생 조건, 교체주기) 수립 - 통합 공정 데이터 기반 실증플랜트 설계 * 단위공정 실증 데이터 기반 Design Basis 확정(원료조건, 반응기 규모, 열통합, 분리/정제) * 기본설계, 주요 장치 스펙, 유틸리티/제어·안전 요구사항 도출 * 스케일업 인자(열전달/물질전달/압력강하) 및 운영 시나리오 정립 ② 이산화탄소 간접 전환을 통한 e-SAF 생산 기술 - $\text{CO}_2 \rightarrow \text{CO}$ 전기화학 전환 공정 * CO_2 전기화학 전환 CO 생산 시스템 설계 * 촉매 잉크, 전극 생산 공정 확보(10 L/batch 규모) * 대면적 전극 개발(1000 cm^2) * 80 cell 스택 개발 * 스택 제작 설비 구축(80 cell/day 적층 규모) * CO_2 전기화학 전환 CO 생산 효율 확보 (CO_2 전환율, 전류효율, 에너지 효율 등) - Pre-pilot 단위 $\text{CO} \rightarrow \text{syn-crude}$ 반응·공정 시스템 구축 * CO 전환 촉매 최적화 및 양산설비 설계/구축 * 0.01 ton-CO/일급 CO 전환 단독 예비실증 * 0.5 ton-CO/일급 실증플랜트 기본/상세설계 및 인허가 신청 - 업그레이딩 공정 개발 * 올레핀 저감(선택적 수소화/이성화 등)으로 불포화 성분 최소화 * 산소함유물 제거(수소화정제/탈산소) 및 이소파라핀/방향족 확보를 위한 이성화·부분 방향족화·분별(컷 설계) 최적화 * 제트 범위 수율(C8-C16) 및 물성 연계(밀도/동결점 등) 데이터 확보 - 장기 안정성($\geq 1,000$ h) 고내구성 촉매·공정 * 열화 원인 규명 및 촉매·공정 내구성 강화 * 재생/교체 전략(현장 적용 가능한 재생 조건, 교체주기) 수립 - 통합 공정 데이터 기반 실증플랜트 설계 * 단위공정 실증 데이터 기반 Design Basis 확정(원료조건, 반응기 규모, 열통합, 분리/정제) * 기본설계, 주요 장치 스펙, 유틸리티/제어·안전 요구사항 도출 * 스케일업 인자(열전달/물질전달/압력강하) 및 운영 시나리오 정립 ③ e-SAF 물성 평가/규격 도출 - ASTM D7566 기준에 따라, 5% 및 35% e-SAF를 기존 석유계 항공유 (Jet A-1) 적용 시 항공터빈유 품질기준을 충족하도록 설계	
2단계 통합공정 (‘29~‘31)	① 이산화탄소 직접전환을 통한 e-SAF 생산 기술 - 재생에너지 기반 원료·에너지 확보방안 제시 * 재생수소(그린 H_2) 및 재생전력 조달·공급 체계 확보방안 제시(품질/안정공급/운영 연계) - 직접전환-업그레이딩 실증규모 통합 플랜트 구축 및 연속운전 실증 * CO_2 직접전환 반응부 + 업그레이딩부 + 분리/정제/재순환 포함 통합 공정 스킴/플랜트 구축 * 공정 제어·안전·열관리 기반 연속운전 운전조건 확립 - 상업공정용 촉매 양산 제조 기술 확립 * 철계 촉매 양산 제조공정(성형/소성/활성화) 표준화 및 배치 간 품질관리 체계 구축	

구분	연구개발내용	비고
	* 성능 재현성/내구성 확보를 위한 촉매 생산 스케일업 및 공급 체계 확립 - 통합공정 구축을 위한 주변 장치 구축 * 압축기, 분리기, 열교환기, 가스정제/건조, 응축·분별 등 주변장치 설계·구축 * 유틸리티/계장/제어/안전 포함 플랜트 운전 인프라 확립 - 통합공정 장기운전성(내구성) 확보($\geq 2,000$ h) * 촉매 열화(탄소침적/소결/상변화/불순물) 원인 규명 및 내구성 개선 (운전절차·재생전략 포함) - 직접전환-업그레이딩 통합 플랜트 상업설계 패키지 도출 * 실증 운전 데이터 기반 Design Basis 확정 * 주요 장치 스펙, 유틸리티/열통합, 제어·안전 요구사항 포함 기본설계 패키지 도출 ② 이산화탄소 간접전환을 통한 e-SAF 생산 기술 - 재생에너지 기반 원료·에너지 확보방안 제시 * 재생수소(그린 H₂) 및 재생전력 조달·공급 체계 확보방안 제시 - CO₂→CO-CO-FT-업그레이딩 실증규모 통합 플랜트 구축 및 연속운전 실증 * 전기화학 CO 생산부 + CO-FT 반응부 + 업그레이딩/분리·정제 + 재순환 포함 통합 공정 구축 * 통합 운전 데이터 확보(열·물질수지, 제어·안전, 운전장) 및 연속운전 실증 * 스택 scale-up (80 cell/stack, 2 stack/컨테이너 병렬연결) 및 공정 표준화 및 컨테이너 간 연계 평가(6 stack 병렬) - 실증규모 공정 운용을 위한 촉매 양산 제조 기술 확립 * CO₂→CO 전극/촉매잉크/스택 부품 및 CO-FT 촉매의 양산 제조공정 표준화 * 배치 간 성능 재현성 확보를 위한 품질관리/공정관리 체계 구축 - 통합공정 구축을 위한 주변 장치 구축 * 압축기, 분리기, 열교환기, 가스정제/건조, 응축·분별 등 주변장치 설계·구축 * 유틸리티/계장/제어/안전 포함 플랜트 운전 인프라 확립 - 통합공정 장기운전성(내구성) 확보($\geq 2,000$ h) * 열화 원인 규명 및 촉매·공정 내구성 강화, 재생/교체 전략 수립 - 간접전환-업그레이딩 통합 플랜트 상업설계 패키지 도출 * 실증 운전 데이터 기반 Design Basis 확정 * 주요 장치 스펙, 유틸리티/열통합, 제어·안전 요구사항 포함 기본설계 패키지 도출 ③ e-SAF 물성 평가/규격 도출 및 국제 인증 - ASTM D7566 기준에 따라, 5% 및 35% e-SAF를 기존 석유계 항공유 (Jet A-1) 적용 시 항공터빈유 품질기준을 충족하도록 설계 * 주요 물성(예: 조성, 휘발성, 증류, 밀도, 동결점, 점도, 인화점, 방향족, 황/산소 함량, 열량, 부식성 등) 측정·데이터베이스화 * 신규 SAF 국제인증 1단계(Tier 1 ~ 2)을 위한 시험 성적서 확보 * 신규 SAF 국제인증 2단계(Tier 3 ~ 4)를 위한 가이드라인 수립 - 통합공정 기술경제성(TEA) 평가 * CAPEX/OPEX, 유틸리티(전력·수소), 촉매/전극 교체주기, 정제·업그레이딩 비용을 반영한 단가(LCOF) 및 민감도 분석 * 공정 규모화(Pre-pilot→실증→상용) 시나리오별 경제성/리스크 요인 도출 - 온실가스 배출 국제 인증(LCA/Certification) 확보 * LCA 수행 및 온실가스 감축량 산정(원료, 전력·수소, 공정 배출 포함) * 국제 인증 스킴 (ISCC EU, ISCC CORSIA, RSB 등) 적용 요건 충족 및 인증 취득	

○ 성과지표

① 이산화탄소 직접전환을 통한 e-SAF 생산 기술

항목	1단계 (단위공정)	2단계 (통합공정)	성과수준			비고
			국내 최고수준	세계 최고수준	기타	
필수	실증플랜트 규모 (CO ₂ 처리량) (ton-CO ₂ /일)	-	11	-	-	
	C ₅₊ 수율(C%)	20	20	-	-	공급 CO ₂ 몰수 기준, 수율 계산시 CO 포함, Per-pass 기준
	C ₈ -C ₁₆ 수율(C%)	10	10	-	-	공급 CO ₂ 몰수 기준, 수율 계산시 CO 포함, Per-pass 기준
	장기안전성	500 h 이후 초기 성능의 80% 유지	2,000 h 이후 초기 성능의 80% 유지	-	-	
	C ₈ -C ₁₆ 중 탄소 및 수소 함량 (wt%)	≥ 99.5	≥ 99.5	-	-	ASTM D7566 Annex A1 기준
	C ₈ -C ₁₆ 중 올레핀 함량(vol%)	≤ 1	≤ 1	-	-	ASTM D2710 측정법
자율	이소파라핀 및 방향족 화합 (vol%)	자율 제시	자율 제시	-	-	실증규모 비교데이 터 없음
	CO ₂ 전환율(C%)	자율 제시	자율 제시	-	-	
	LCA 기반 통합공정 CO ₂ 발생량 (gCO ₂ eq/MJ)	자율 제시	자율 제시	-	-	
	제품 TEA 평가 (원/kg)	-	자율 제시	-	-	
	통합공정 구축(안)	-	1	-	-	
	실증 통합 플랜트 기본설계	-	1	-	-	
	개발 기술의 혁신성	자율 제시	자율 제시	-	-	
						3극 특허, 기술이전, 사업화 방안 및 홍보 포함

② 이산화탄소 간접 전환을 통한 e-SAF 생산 기술

항목			1단계 (단위공정)	2단계 (통합공정)	성과수준			비고
					국내 최고수준	세계 최고수준	기타	
필수	CO ₂ → CO 전기화학 전환	실증플랜트 규모 (CO ₂ 처리량) (ton-CO ₂ /일)	0.5	1.5	-	-	실증규모 비교데이터 없음	
		전류 효율(%)	90	93	-	-		
		구동 전류(mA/cm ²)	200	300	-	-		
		스택 용량(셀/스택)	80	80	-	-		
		장기안전성	500 h 이후 초기 성능의 80% 유지	2,000 h 이후 초기 성능의 80% 유지	-	-		
	CO 전환 e-SAF 생산기술	실증플랜트 규모 (CO 처리량) (ton-CO ₂ /일)	0.01	0.5	-	-		
		C ₅₊ 수율(C%)	70		-	-		공급 CO 몰수 기준, 수율 계산시 CO ₂ 포함, Per-pass 기준
		C ₈ -C ₁₆ 수율(C%)	35		-	-		공급 CO 몰수 기준, 수율 계산시 CO ₂ 포함, Per-pass 기준
		장기안전성	1000 h 이후 초기 성능의 80% 유지	2000 h 이후 초기 성능의 80% 유지	-	-		
		C ₈ -C ₁₆ 중 탄소 및 수소 함량 (wt%)	≥ 99.5	≥ 99.5	-	-		ASTM D7566 Annex A1 기준
		C ₈ -C ₁₆ 중 올레핀 함량(vol%)	≤ 1	≤ 1	-	-		ASTM D2710 측정법

자 율	CO ₂ → CO 전기화학 전환	Stack 구축(개)	2	6	-	-	
		Stack 에너지 효율	자율 제시	자율 제시	-	-	운전 전압 degradation rate 제시
		CO ₂ 전환율	자율 제시	자율 제시	-	-	Per-pass conversion 등 목표 제시
	CO 전환 e-SAF 생산기술	이소파라핀 및 방향족 화합 (vol%)	자율 제시	자율 제시	-	-	
		CO 전환율(C%)	자율 제시	자율 제시	-	-	(반응된 CO 몰수)/(공급 CO 몰수) 기준, Per-pass 기준
	통합공정	LCA 기반 통합공정 CO ₂ 발생량 (gCO ₂ eq/MJ)	-	자율 제시	-	-	EU RFNBO/RCF 기준 70% 이상 감축 (기준선 94 gCO ₂ eq/MJ) ICAO CORSIA CEF 기준 10% 감축 (기준선 89 gCO ₂ eq/MJ)
		제품 TEA 평가 (원/kg)	-	자율 제시	-	-	영국 Buy-out price
		통합공정 구축(안)	-	1	-	-	과제 종료 이후 통합공정 활용 방안 포함
		실증 통합 플랜트 기본설계	-	1	-	-	
		개발 기술의 혁신성	자율 제시	자율 제시	-	-	3극 특허 기술이전 사업화 방안 및 홍보 포함

③ e-SAF 물성 평가/규격 도출 및 국제 인증

항목			1단계 (단위공정)	2단계 (통합공정)	성과수준			비고
					국내 최고수준	세계 최고수준	기타	
필 수	e-SAF 품질기준	e-SAF 5% 혼합시 항공터빈유 품질기준 만족	100%	100%	-	100%	-	Jet A-1 혼합, ASTM D7566 Table 1 기준 (방향족 함량 등 조성, 휘발성, 증류, 어는점 등 유동성, 연소성, 부식성, 열안정성, 오염물질 등 평가기준)
		e-SAF 35% 혼합시 항공터빈유 품질기준 만족	50%	100%	-	100%	-	
		e-SAF 품질기준(안) 도출	초안	보완-도출	-	-	-	
	국제인증 취득 (건)	e-SAF 기준 (직접전환 및 간접전환)	-	2	-	-	-	LCA 수행 및 GHG 감축량 산정 / 국제 인증 스킴 (ISCC EU, ISCC CORSIA, 또는 RSB) 인증 취득
자 율	e-SAF 공정 인증 (Tier1, 2)에 필요한 시험 성적서 발행		Tier 1~2 시험 성적서		Tier 2	Tier 4	해외벤 치마킹	국제기준 ASTM D4054 자체 성적서 인증

- ※ 필수지표는 필수로 설정하여야 하며, 자율지표는 추가하여 제시할 수 있음
 ※ 모든 성능지표는 공인인증 또는 외부기관 검증서, 전문가 입회 확인서 제출 필수(자체 평가 시 필요 사유 제시)
 ※ 각 정량 목표 수치의 평가 기준, 측정 방법 등에 대한 정보를 구체적이고 명확하게 제시

4. 특기사항

기본 특성분류	주요 항목별 해당여부	국가전략기술	☐ Y	☒ N
		혁신도전형 R&D	☐ Y	☒ N
		특허로 R&D(舊 IP-R&D)	☐ Y	☒ N
		경쟁형 R&D	☐ Y	☒ N
		보안과제	☐ Y	☒ N
		기술료 징수	☒ Y	☐ N
		3책5공 적용	☒ Y	☐ N
		국제공동연구 의무	☐ Y	☒ N
		지자체 예산매칭 의무	☒ Y	☐ N
	ESG	☒ E(환경) ☒ S(사회) ☐ G(지배구조) ☐ 해당없음		

- 총괄주관연구개발기관이 복수의 주관연구개발과제를 구성하여 제안
- ※ 복수의 주관연구개발기관 중 1개 기관이 총괄주관연구개발기관 역할을 병행하여 담당
 - 주관연구개발기관별 연구개발계획서를 제출하고, 총괄주관연구개발기관은 총괄연구개발계획서를 별도로 작성하여 제출
 - 총괄주관연구개발기관은 주관연구개발과제 간의 유기적인 연구 협업 방안 및 추진체계를 총괄연구개발 계획서 내에 명확히 제시(연구결과 상호 교류 및 적용, 검증, 공정/생산물 간 연계 등)
 - 총괄주관연구개발기관은 주관연구개발과제의 성과를 기반으로 정책동향 분석 및 정책·제도 개선 발굴 등을 지원
- 1단계에서는 기존 그리드 전력 및 그레이 수소 활용이 가능하나, 2단계에서는 재생 전력, 그린수소를 활용한 e-SAF 생산 및 국제 인증 확보 필수
- ※ 국제인증스킴: ISCC EU, ISCC CORSIA, RSB
- 선정평가 시 모든 주관연구개발과제를 평가하고, 총괄주관연구개발기관 단위로 평가점수를 부여
- 동 사업 내 주관/공동/위탁 연구개발기관 연구책임자로 신청할 수 있는 과제 수는 1개로 제한
- 논문·특허 성과는 기여도가 50% 이상인 경우에 한하여 성과로 인정
- 연구개발과제명은 연구자의 아이디어를 포함하여 자유롭게 제시 가능
- 과제 제안요구서(RFP)에 제시된 필요성과 목표, 연구기간, 예산 등을 고려하여 연구개발계획서에 명확하고 구체적인 연구 범위와 도전적 성과 목표를 제시
- 자율 성과지표는 각 항목 및 목표치를 자유롭게 제시할 수 있으나, 설정한 목표치에 대한 타당성을 입증할 수 있는 객관적인 자료를 반드시 첨부
- 기존 연구개발과제 및 기술과의 차별성을 구체적으로 제시 필수
- 연차점검(필요시) 및 단계평가를 통해 연차별·단계별 추진 현황 및 성과를 점검받고, 점검·평가추진위원회의 의견에 따라 연구개발과제의 목표 및 내용, 과제 구성, 연구비, 계속 지원 여부 등 조정 가능
- 본 과제 연구개발비 구성 과정에서 간접비 산출 시 직접비 내 연구시설·장비비 비목 제외가 가능
- 연구개발비 : 총 876.35억 원 내외(정부출연금)

(단위: 백만원)

과제내용	1단계			2단계	
	1차년도	2차년도	3차년도	1차년도	2차년도
발전분야 온실가스 활용을 통한 e-SAF 생산 기술개발	5,070	27,549	20,840	17,534	16,642

※ 연구개발비 규모 및 연구개발기간은 정부예산 사정에 따라 변경 가능