

미활용 탄소자원의 고부가가치를 창출하는
차세대 탄소자원화 연구단





온실가스 감축과 신산업 창출을 위한 탄소자원화 원천기술을 개발하고 있습니다.

탄소자원화는 온실가스, 부생가스, 유기성 폐자원 등에 포함된 탄소를 자원으로 활용하여 화학제품 및 청정연료를 생산하는 혁신적인 기술 개념입니다.

우리나라는 온실가스 배출량이 많으면서도 석유, 가스, 석탄 등의 화석 자원이 거의 없는 나라이기 때문에 국내에 버려지는 탄소폐자원을 고부가가치의 제품으로 전환하는 기술은 국가 경쟁력 강화를 위해 꼭 필요합니다.

이러한 필요성에 부응하여 차세대 탄소자원화 연구단에서는 탄소자원화 대형 원천기술을 개발하여 신기후체제에 대비한 온실가스 감축 기술 확보 및 신성장동력 창출에 기여하도록 하겠습니다.

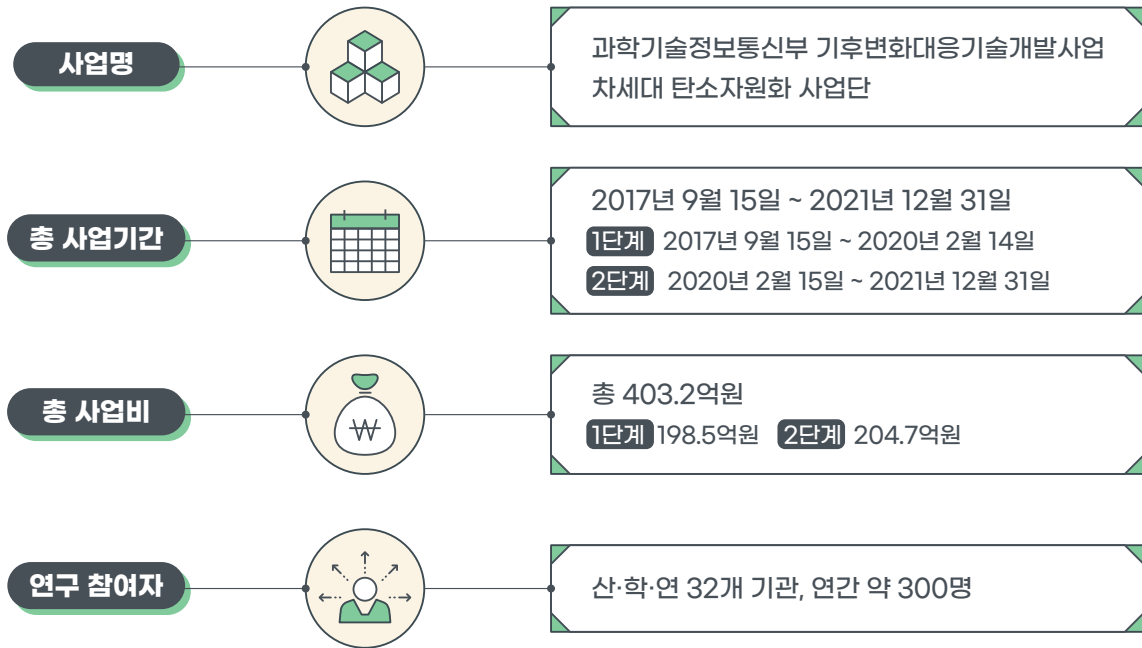
차세대 탄소자원화 연구단장 **전 기 원**



자원의 미래를 연구하다

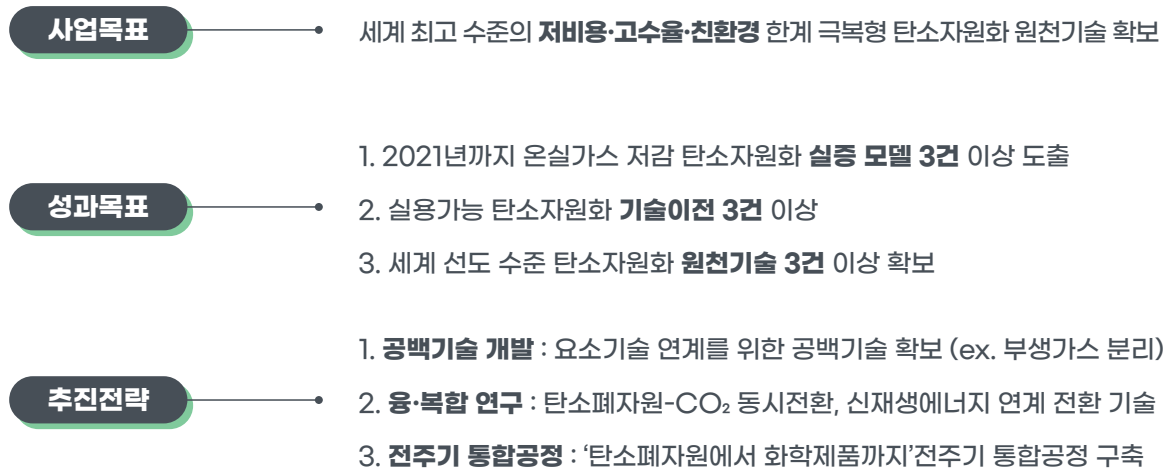
사업단 개요

Overview

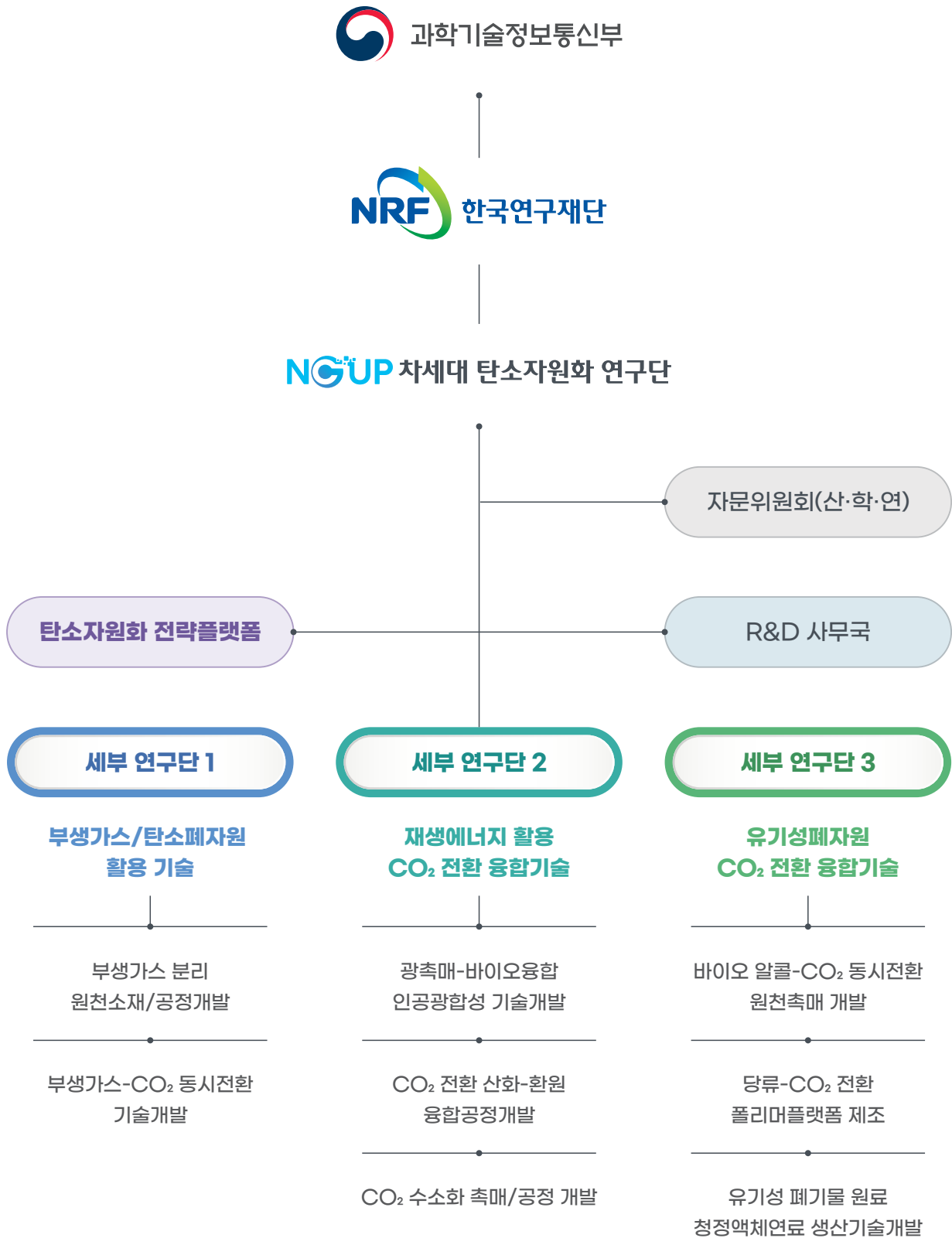


비전 및 목표

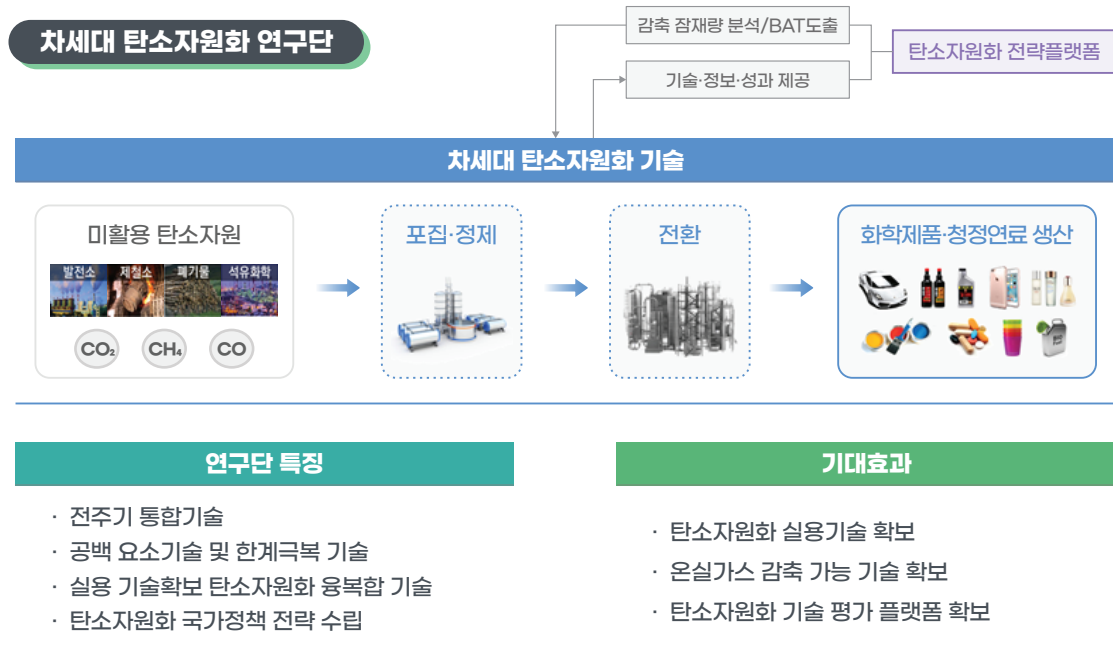
Vision



사업단 구성도 Organization



탄소자원화 : 미활용 또는 저급활용 탄소원을 원료로 활용하여 화학원료 및 청정연료를 생산하는 기술



차세대 탄소자원화 연구 범위: 부생가스, CO₂, 유기성 폐기물의 전환·활용

	부생가스 활용	CO ₂ 전환	유기성폐기물 전환
반응원료	부생가스, CO ₂	CO ₂	유기성폐기물, CO ₂
방법 및 최종제품	<ul style="list-style-type: none"> · 분리 : CO, CH₄ · 전환 : 고부가화학원료 (CO, 합성가스, 알파올레핀, 경질올레핀) 	<ul style="list-style-type: none"> · 인공광합성 : 포름산 · 전기화학 : 에틸렌/에탄올, 옥살산 · CO₂ 수소화 : 나프타, 가솔린, SNG, 메탄올, 경질올레핀, 방향족 	<ul style="list-style-type: none"> · 바이오알코올+CO₂ 전환 : 포름산/젖산 유도체 · 당류+CO₂ 폴리머 : 친환경 고분자 · 바이오가스 전환 : 디젤, 항공유
연구범위	<ul style="list-style-type: none"> · 소재 (분리막, 흡착제, 화학촉매) · 공정 (분리/전환공정) 	<ul style="list-style-type: none"> · 소재 (광/바이오/화학촉매, 전극소재) · 공정 (촉매/전기 전환공정) 	<ul style="list-style-type: none"> · 소재 (화학촉매, 흡착제) · 공정 (촉매/생물 전환공정)
기술개발 단계	<p>원천</p> <p>TRL 3 (기본성능검증) 17 18 19 20 21 TRL 5 (벤치규모 평가)</p>	<p>원천</p> <p>TRL 3 (기본성능검증) 17 18 19 20 21 TRL 5 (벤치규모 평가)</p>	<p>원천</p> <p>TRL 3 (기본성능검증) 17 18 19 20 21 TRL 5 (벤치규모 평가)</p>

연구추진 내용

Contents

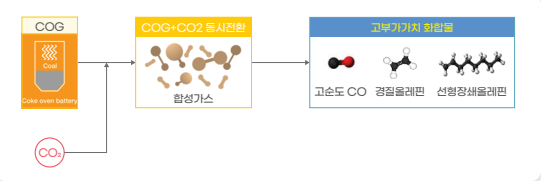
세부연구단 1

총괄1. 부생가스 분리 (CO, CH₄)



- CO 분리: 철강부생가스인 LDG 및 BFG 에서 N₂ 에서 고순도 CO를 분리하는 분리막 원천기술
- CH₄ 분리: CH₄ 저급천연가스 및 매립지가스로부터 N₂ 에서 고순도 CH₄를 분리하는 분리막 원천기술

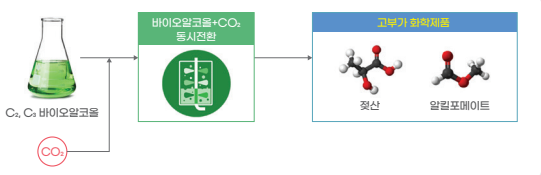
총괄2. 부생가스이용 CO₂ 전환기술



- 기후변화대응을 위한 온실가스저감기술로 3-Wastes(탄소폐자원(CO₂), 부생가스, 폐열)을 이용한 전환기술
- 부생가스+CO₂ → 합성가스 제조(CO) → 고부가가치화합물(올레핀) 제조 전주기 통합기술

세부연구단 3

총괄6. 바이오알코올+CO₂ 동시전환 기술



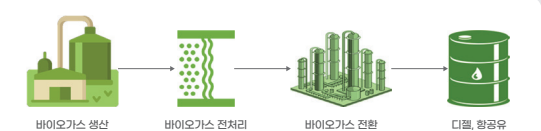
- 기상 수소원 대신 바이오매스 기반 폐 글리세롤을 액상 수소원으로 활용하여 이산화탄소를 환원
- 제품으로 생산된 젖산은 기존의 발효 공법에서 생산하지 못하는 젖산의 형태로 생분해성 고분자 원료로 활용 가능

총괄7. 식물 자원-CO₂ 전환 고분자 제조기술



- 식물 자원과 이산화탄소 전환을 통한 친환경 폴리우레탄 및 열분산 소재 개발

총괄8. 음식물폐기물 원료 액체연료 제조기술



- 음식물 쓰레기를 원료로 바이오가스 생산/전처리/전환을 통한 액체연료제조 요소기술 및 통합공정 개발

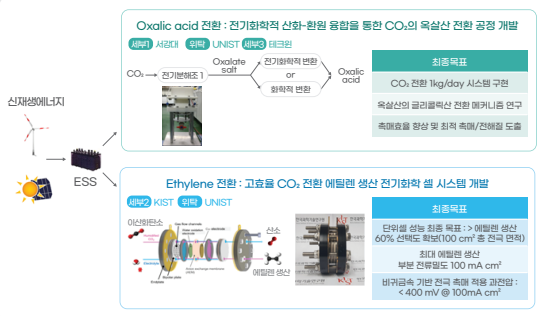
세부연구단 2

총괄3. 광촉매-바이오촉매 융합 CO₂ 전환 기술



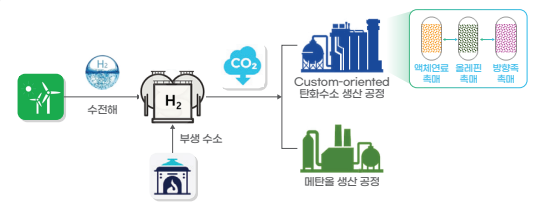
- CO₂를 직접 광전환(태양전지 비사용)하여 포름산만을 선택적으로 제조하는 광촉매-바이오촉매 융합 원천기술 개발(인공 나뭇잎) 및 고효율화 기술 개발

총괄4. CO₂전환 산화-환원 융합기술



- 간헐적인 신재생에너지 활용에 적합한 전기화학적 공정을 통해 CO₂를 재활용하여 다양한 C₂₊ 화합물을 생산하는 기술로서 경제성과 에너지 효율을 높일 수 있는 공정 개발
- CO₂의 옥살산 전기화학적 전환 공정 개발 (이산화탄소 1kg/day 전환)
- CO₂의 에틸렌 전기화학적 전환을 위한 전기화학 촉매 및 융합시스템 개발

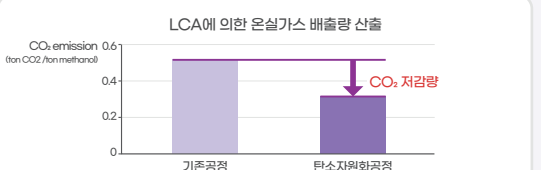
총괄5. 수소 이용 CO₂전환 기술



- 변동성이 큰 신재생에너지 이용에 최적화된 CO₂로부터 액체연료 및 화학원료로 직접 전환하는 원천 촉매 및 공정 개발
- 가동을 변동이 용이한 촉매 및 반응 공정 개발
- 합성가스 생산을 경유하는 공정에 비해 소용량화된 공정으로 에너지 효율적인 운영 가능

전략플랫폼

단위1. 탄소자원화 전략 플랫폼



- CCU 기술 온실가스 감축 잠재량 평가를 위한 「CCU 기술 전과정평가 방법론」 개발 및 데이터베이스 (LCI DB) 기반 구축
- 차세대 탄소자원화 개발기술 경제성 및 온실가스 감축량 평가/최적가용기술 (Best Available Technology) 도출
- 탄소자원화 정책지원·정보허브·교류활성화를 위한 전략플랫폼 구축

미활용 탄소자원의 고부가가치를 창출하는
차세대 탄소자원화 연구단

세부 연구 추진 과제





자원의 미래를 연구하다

세부 연구단 1

총괄1	부생가스 분리 (CO , CH_4)	10
	일산화탄소 및 메탄의 회수를 위한 분리막/흡착제 원천소재 및 분리공정 개발	
총괄2	부생가스 이용 CO_2 전환기술	14
	부생가스를 이용한 이산화탄소 전환연계 고부가 화학원료 제조기술 개발	

세부 연구단 2

총괄3	광촉매-바이오촉매 융합 CO_2 전환 기술	18
	광 직접 활용 광촉매-바이오촉매 CO_2 전환 시스템용 광촉매 소재 개발	
총괄4	CO_2 전환 산화-환원 융합기술	22
	신재생 에너지 기반 CO_2 전환 산화-환원 융합 공정기술 개발	
총괄5	수소 이용 CO_2 전환 기술	24
	CO_2 직접수소화 촉매 및 공정 개발	

세부 연구단 3

총괄6	바이오알코올- CO_2 동시전환 기술	28
	바이오알코올 기반 이산화탄소 동시전환 불균일 촉매기술 개발	
총괄7	식물 자원- CO_2 전환 고분자 제조기술	32
	당류 유기성 폐자원 활용 CO_2 전환 폴리머 플랫폼 제조 원천 촉매 개발	
총괄8	음식물폐기물 원료 액체연료 제조기술	36
	유기성 폐자원 원료기반 청정액체연료 생산을 위한 원천 요소기술 개발	

전략플랫폼

단위1	탄소자원화 전략 플랫폼	40
	탄소자원화 전략 플랫폼 구축	



일산화탄소 및 메탄의 회수를 위한 분리막/흡착제 원천소재 및 분리공정 개발

01 연구개요

- 활용도가 낮은 다성분의 철강 화학산업의 부생가스 및 저활용 천연가스 및 매립지가스 등의 탄소폐자원으로부터 고부가가치의 성분(CO, CH₄) 등을 고순도화하여 고부가가치 화학원료로 활용하기 위한 분리막 및 흡착제 원천기술과 막분리 혼성기술개발
- 높은 분리에너지와 고비용의 플랜트가 요구되는 기존의 초저온 고압의 증류 분리기술을 대체할 수 있는 신개념 분리막 및 흡착제 원천소재 및 분리공정 원천기술 개발
- 분리막/흡착제 원천소재 및 분리공정 원천기술 확보를 통해 다성분 산업 부생가스/탄소폐자원 내 일산화탄소, 메탄 및 전처리과정에서 CO₂, H₂ 등의 고부가가치의 국내외 산업가스 및 탄소자원화 원료가스 공급시장 선점

02 연구내용

핵심기술	세부내용
N ₂ 로부터 고순도 CO를 분리하는 촉진수송 고분자 전해질 분리막 및 대면적화 기술	· 분자크기가 비슷한 혼합가스 (N ₂ : 3.64 vs. CO : 3.6 Å)에서 고순도의 CO를 회수하기 위해 CO와 결합하는 전이금속 Ag+를 적용한 습식 키토산계 및 건식 가지형 공중합체 촉진수송 고분자 전해질 분리막 및 대면적화 기술개발
N ₂ 로부터 CH ₄ 분리용 탄소분자체 복합막 및 대면적화 기술	· 분자 크기 차이가 미세한 혼합가스 (N ₂ : 3.64 vs. CH ₄ : 3.80 Å)에서 고순도의 CH ₄ 회수를 위하여 탄소분자체(CMS)의 기공 구조를 정밀 제어할 수 있는 분자체 기공구조 조절기술을 이용한 탄소분자체 복합막 및 대면적화 기술
N ₂ 에서 고순도 CH ₄ 회수용 유무기복합체 및 유무기 복합막 및 대면적화 기술개발	· 분자 크기 차이가 미세한 혼합가스 (N ₂ : 3.64 vs. CH ₄ : 3.80 Å)에서 고순도의 CH ₄ 회수를 위해 N ₂ 선택성 흡착제(MOF) 개발 및 질소투과성 폴리이미드 고분자에 적용한 유무기 복합막(MMM) 및 대면적화 기술 개발
N ₂ 로부터 고순도 CO를 분리 가능한 촉진수송 복합막을 적용한 막분리공정 및 미니파일럿	· 분자 크기 차이가 미세한 혼합가스 (N ₂ : 3.64 vs. CO : 3.6 Å)에서 고순도의 CH ₄ 회수를 위해 고순도 CO를 분리 가능한 대면적 촉진수송 복합막을 적용한 막분리공정 및 미니파일럿 개발 및 파일럿/실증 플랜트 설계기술 개발
N ₂ 로부터 고순도 CH ₄ 를 동시에 분리 가능한 탄소분자체/유무기 복합막을 적용한 막분리공정 및 미니파일럿	· 분자 크기 차이가 미세한 혼합가스 (N ₂ : 3.64 vs. CH ₄ : 3.80 Å)에서 고순도의 CH ₄ 회수를 위해 대면적 탄소분자체/유무기 복합막을 적용한 막분리공정 및 미니파일럿 개발 및 파일럿 실증플랜트 설계기술 개발

03 연구성과 및 기대효과



대표 연구 성과

- 분자크기가 비슷한 N₂에서 고순도의 CO를 회수하기 위해 CO와 결합하는 전이금속 Ag+를 적용한 세계 최고의 CO/N₂ 선택도를 가진 건식 및 습식 촉진수송막 원천기술 (CO/N₂ 선택도 14~25) 및 대면적화 (260cm²) 복합막 개발 (CO/N₂ 선택도 10~15) - J. Memb. Sci. 2021년 2월 게재
- 분자 크기가 비슷한 N₂에서 고순도의 CH₄ 회수를 위하여 탄소분자체(CMS)의 기공 구조를 정밀 제어할 수 있는 세계 최고의 N₂/CH₄ 선택도를 가진 탄소분자체 원천소재 확보 (N₂/CH₄ 9~23) 및 얇은 선택층을 갖는 비대칭형의 하이브리드 탄소분자체 대면적(260cm²) 중공사막 개발 (N₂/CH₄ 선택도 7.8)-J. Memb. sci. 2021년 9월 게재
- 분자 크기 차이가 미세한 혼합가스(N₂ : 3.64 vs. CH₄ : 3.80 Å)에서 고순도의 CH₄ 회수를 위해 작용기를 도입한 세계 최고의 유무기복합다공체(MOF) 개발 (CH₄/N₂ 선택도 >9) 및 대량생산(100g) 기술개발중 -Chemical Eng. J. 2021년 2월 게재

주관연구기관 한국화학연구원 김정훈 E jhoonkim@kricr.re.kr

참여연구기관 연세대학교 김중학 E jonghak@yonsei.ac.kr 서강대학교 이종석 E jongslee@sogang.ac.kr
연세대학교 배운상 E mowbae@yonsei.ac.kr

기대 효과

 기술적	<p>· 분리에너지비용이 높은 초저온 고압중류 분리기술을 대체할 수 있는 고순도로 분리·회수할 수 있는 촉진수송 및 탄소분자체 분리막 원천소재를 적용한 1 Nm³/hr규모의 미니파일럿 막분리 혼성공정을 통해 기존의 저비용, 저에너지로 철강산업에서의 플랜트에 적용 가능</p>
 경제적 산업적	<p>· 국내 부생가스로 연간 발생되는 CO 2,500 만톤과 CH₄ 230 만톤, 50만톤은 저부가가치의 발전용으로 사용되어 연간 6,000 만톤 이상의 CO₂가 발생되고 있어 이 과정에서의 CO₂ 발생량 감축 효과</p> <p>· 철강산업 및 매립지의 부생가스내의 CO 및 CH₄ 를 고순도로 분리하여 화학제품을 제조하거나, 자원 재활용 측면에서의 온실가스 저감효과로 CO₂ 감축효과는 국내에서 각각 78.5만톤/년, 40만톤/년으로 추정)</p> <p>· CO 및 CH₄ 분리기술을 국내외 저비용 탄소배출 관련산업에 적용했을 때 시장 대체효과는 철강부생가스로부터 발생되는 CO 는 연간 10조원, N₂가 포함된 CH₄은 연간 1.2조원 정도로 추산(에너지관리공단 2015년 부생가스 기획보고서 참조)</p>

04 대표그림

<p>기술 모식도</p>	
<p>대표성과</p>	<p>▶ 고선택성 CO 촉진수송 분리막 개발 (화학연 김정훈박사, 연세대 김중학교수)</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="379 1585 874 1973"> <p>1. 키토산계 촉진수송분리막(습식)</p>  </div> <div data-bbox="906 1585 1401 1973"> <p>2. 아크릴계 고체전해질 촉진수송막(건식)</p>  </div> </div> <p>* CO와 가역적으로 결합하는 전이금속(Ag)을 운반체로 하고 전이금속과 배위결합을 하는 키토산계 고분자 및 아크릴계 공중합체를 배위 및 이온결합의 매질로 활용하는 세계 최고수준의 CO/N₂ 선택도 15.7~22.9, CO 투과도 11.5~18.8 GPU의 높은 건식 및 습식방식의 촉진수송막을 전세계 최초로 개발하고 대면적(260cm²)의 복합막 형태로 스케일업 개발중</p>



05 R&D scale up

R&D 실험 단계



현재 Spec

- 세계최고 수준의 선택도를 가진 일산화탄소/질소(CO/N₂ 선택도 14-25)의 촉진수송분리막 및 선택도 질소/메탄의 선택도(9~23)를 가진 탄소분자체 분리막 및 유기기공성 흡착제(MOF) (CH₄/N₂ 선택도 > 9) 등의 원천소재를 개발 및 대면적화(260cm²) 복합막 및 흡착제 대량생산(100g)
- 1~2단계에서 개발한 CO 및 CH₄의 분리회수를 분리막 및 흡착제 원천소재 및 이들을 적용한 철강산업의 LDG내 CO 및 COG내 CH₄ 회수를 위한 1 Nm³/h규모 막분리 미니파일럿 공정의 설계 및 제작 완료 및 현재 시험가동

향후 계획

- CO 및 CH₄의 분리회수를 분리막 및 흡착제 원천소재 및 이들을 적용한 미니파일럿 막분리공정은 1) 철강산업의 LDG나 BFG에서 향후 화학산업의 메탄리포밍에 의해 제조되는 CO를 온실가스의 저감과 함께 경제적인 대체생산이 가능하며 2) 매립지나 세일가스 등의 질소가 오염된 메탄혼합물 등 다양한 부생가스 분리산업에 적용을 위한 연구진행
- 철강산업의 LDG 내 CO 및 COG 내 CH₄ 회수를 위한 막분리 파일럿 실증공정 개발(10 Nm³/h) 및 상용화플랜트 설계 (10,000Nm³/hr)

Field pilot 예상시기

- 2022~2025년에 관련 산업체 및 기업체와의 협력을 통하여 본 기술을 >10Nm³/hr규모의 파일럿 규모의 실증사업을 할 수 있는 방안을 모색하고자 함

06 성과활용계획

- 분리막 및 흡착제와 이들을 적용한 막분리-흡착 혼성공정을 통해 분리회수되는 고순도 CO가스 및 CH₄ 분리정제 회수기술은 탄소자원화 화학산업 원료가스로 사용할 수 있으며 이들을 촉매개질기술, WGS기술을 적용하여 수소를 포함하는 반응생성물을 분리하여 연료전지용 자동차용 고순도 수소제조 기술의 상용화에 적용할 수 있음.
- 분리막 및 흡착제의 원천 분리소재 및 고투과성 복합막의 대면적 개발, 고선택성 흡착제의 양산 및 이들을 적용한 파일럿 규모의 실증 막분리-흡착 공정을 연구 개발하여 본 기술에 관심있는 상기의 회사들에서 기술이전 및 스케일업 실증화된다면 상용화 기술개발을 촉진하는 기반이 될 것임



부생가스를 이용한 이산화탄소 전환연계 고부가 화학원료 제조기술 개발

01 연구개요

- 산업체 발생 폐기물(CO₂, 부생가스, 폐열 등)을 활용한 합성가스 및 고부가가치 화학원료 제조기술
- 이산화탄소(CO₂)를 합성가스와 화학원료로 변화시키는 장치 및 촉매 제조기술

02 연구내용

핵심기술	세부내용
고효율 Syn-gas 제조촉매 및 전환공정	<ul style="list-style-type: none"> · 폐탄소인 CO₂를 유용한 탄소원으로 환원시키는 고효율 촉매 개발 · 이산화탄소를 고부가 Syn-gas로 변환시키는 장치 개발
부생가스 맞춤형 건식 개질 공정 및 촉매 개발	<ul style="list-style-type: none"> · 이산화탄소/코크오븐가스로부터 고농도 일산화탄소 생산을 위한 탄소침적 및 소결 저항성이 우수한 건식 개질 촉매 개발 · 열역학적 평형 계산을 통한 맞춤형 건식 개질 공정 설계
선형 장쇄 올레핀 제조 촉매 공정	<ul style="list-style-type: none"> · CO₂와 부생가스를 동시에 전환하여 선형 장쇄 올레핀을 선택적으로 생산하는 촉매 및 공정 개발
이산화탄소 연계 올레핀화 촉매 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> · 이산화탄소의 산화제 기능을 활용한 경질올레핀 제조 촉매 개발 · 경질탄화수소(C₂, C₃)의 수소결합화를 위한 고효율 촉매 개발

03 연구성과 및 기대효과

대표 연구 성과

- 01 세계 최초로 포집된 이산화탄소를 산업체 발생 부생가스를 이용하여 유용한 Syn-gas로 전환시킬 수 있는 신촉매 및 전환공정개발
- 02 온실가스인 이산화탄소 및 메탄으로부터 고부가가치 화합물을 생산할 수 있는 부생가스 맞춤형 건식 개질 공정 및 촉매 개발
- 03 CO₂와 부생가스로부터 선형 장쇄 올레핀 수율 개선 촉매 개발
- 04 폐탄소인 CO₂를 산화제로 활용하여 고부가가치의 올레핀 촉매 개발

기대 효과

 기술적	<ul style="list-style-type: none"> · 세계 최초로 600°C이하 Syn-gas를 직접 생산할 수 있는 산업체 적용 가능한 차세대탄소자원화 신촉매 및 공정개발 · 부생가스 맞춤형 건식 개질 촉매 설계 기술의 독자 개발을 통한 핵심 원천 기술 확보 · 기존 석유화학 에너지 자원의 대체 효과 창출 · CO₂의 기술적 활용 범위 확장 (온화한 산화제로의 활용)
 경제적 산업적	<ul style="list-style-type: none"> · 포항지진 발생 등 포집된 대용량 CO₂의 저장소 제약에 따른 문제점 해결 및 신산업 육성에 따른 일자리 창출 · 철강 산업에서 발생하는 부생가스를 활용하여 고부가가치 석유화학 기초 원료를 생산할 시 에너지 산업 및 화학 산업과 연계한 새로운 형태의 산업 창출 가능 · CO₂를 활용한 에너지 물질 및 소재 원료 물질 개발에 의한 기존 산업의 시장 대체가능 · 수요가 급증하고 있는 경질 올레핀의 새로운 생산 루트 확보

주관연구기관 한국에너지기술연구원 남성찬 E scnam@kier.re.kr

참여연구기관
충남대학교 이규복 E kyubock.lee@cnu.ac.kr
연세대학교 노현석 E hsroh@yonsei.ac.kr
인하대학교 조창범 E jochangbum@inha.ac.kr

충북대학교 문종호 E moonjongho@chungbuk.ac.kr
한국화학연구원 김용태 E ytkim@kricr.re.kr

04 대표그림

<p>기술 모식도</p>	<p>기존 탄소자원의 한계점 및 극복방안</p> <p>폐탄소원 → 고가 이산화탄소 → 고가 원원재 → 고가 에너지원 → 고부가화학원료</p> <p>폐탄소원의 고부가가치화 제안 기술</p> <p>한계 기술</p> <ul style="list-style-type: none"> 저온/부생가스 작동 CO₂ 전환촉매 내구성향상 및 탄소점적최소화 새로운 이산화탄소 전환공정 개발 <p>제안 기술</p> <p>장쇄선형올레핀 합성기술 KRICT</p> <ul style="list-style-type: none"> Non-ASF(열역학극복) 촉매개발 개질부생가스 중 CO₂/CO 동시 수소화를 유체역학조절 <p>경질올레핀화 합성기술</p> <ul style="list-style-type: none"> 높은 수명을 가진 촉매개발 CO₂와 저급파라핀 동시활성 재생에 따른 비가역적 비활성화
<p>대표성과</p>	<p>· 포집된 대용량 이산화탄소와 산업 부생가스 등에 대한 적절한 활용방안이 없는 현 상황에서 이를 이용한 고부가 Syn-gas 생산기술 확보(고효율 CO₂ 전환촉매 및 시스템화)(CO₂ 전환율 : 최대 90% 달성)</p> <p>· 부생가스와 이산화탄소를 원료로 사용하여 고부가가치를 갖는 C₅-C₂₀ 탄소 범위의 알파-올레핀 합성기술 개발 (CO only 반응에서 수율 18.1% 달성)</p> <p>· 이산화탄소 탈수소제를 이용하여 에탄을 효율적으로 에틸렌으로 전환하는 촉매를 개발</p>
<p>활용방안</p>	<p>대기환경정화 연료전지 고분자 제품</p>

05 R&D scale up

R&D 실험 단계



현재 Spec

- 부생가스이용 CO₂ 전환
미니파일럿개발(4 Nm³/hr) 개발중

향후 계획

- 부생가스이용 CO₂ 전환 실증
(10 Nm³/hr) 및 상용공장 개념
설계(40 Nm³/hr 이상)

Field pilot 예상시기

- 2024~2026년
(산업체 협력 실증 사업 필요)

06 성과활용계획

- 산업단지에서 발생하는 부생가스를 이용한 산업맞춤형 차세대탄소자원화기술을 개발하여 현장에 적용함으로써 고부가가치 화학원료 생산기술로 활용
- 포집된 대량의 이산화탄소를 저장할 부지가 없는 국내 실정을 감안하여 이에 대한 일부를 담당하는 기술로 활용
- 국가탄소중립의 신성장 동력원으로 발전할 수 있으며, 신규 사업 창출 및 고용효과 기대



광 직접 활용 광촉매-바이오촉매 CO₂ 전환 시스템용 광촉매 소재 개발

01 연구개요

- 추가적인 에너지 공급 없이 태양광에너지만을 이용하여 이산화탄소를 직접 전환, 포름산을 선택적으로 제조할 수 있는 혁신적인'광촉매-바이오촉매 융합'이산화탄소 전환 기술 개발
- 기존 이산화탄소 전환 기술의 한계점인 낮은 전환 효율과 선택성을'광촉매와 바이오촉매의 융합'으로 동시에 극복할 수 있는 차별화되고 미래 지향적인 기술
- 외부 에너지 공급 없이 태양광에너지만으로도 이산화탄소로부터 포름산과 같은 화합물을 선택적으로 합성할 수 있는 융합 광전환 기술로 궁극적으로 온실가스 배출 제로(Zero) 실현 가능

02 연구내용

핵심기술	세부내용
고효율 가시광 광촉매의 설계 및 합성 기술	· 태양광의 46% 이상을 차지하는 가시광을 이용할 수 있는 광촉매를 설계하고 합성하여 많은 양의 태양광에너지를 이용할 수 있도록 기술 개발
광촉매 전자 전달 메커니즘 규명 기술	· 신규 광촉매의 전자 전달 메커니즘을 규명함으로써 광촉매의 광효율을 근본적으로 더욱 높일 수 있는 토대 마련
광촉매-바이오촉매 CO ₂ 광전환 핵심요소들의 고정화 및 고효율화 기술	· 태양광이용 연속 공정 등에 대비한 광촉매의 박막화 기술 개발과 동시에 광촉매의 광전환 효율을 개선하는 기술 개발

03 연구성과 및 기대효과



대표 연구 성과

- 자연광합성 효율 2%를 뛰어넘는 태양광에너지 전환 효율(STF) 2.77%를 기록하였으며(2020년 말 기준), 최종 3%를 목표로 함
- 광촉매와 바이오촉매의 융합으로 기존 단일 광촉매 시스템 대비 이산화탄소 전환 효율과 포름산 생산 선택도를 획기적으로 개선함
- 광촉매의 필름화와 두께 조절 및 대면적화가 가능한 혁신적인 계면 합성법 개발에 성공함 (J. Mater. Chem. A 2021, 표지 논문)
- 인공광합성 핵심인 2D COF 광촉매상의 광전하의 전달 메커니즘을 펄초 분광법을 이용, 규명하였음. 본 결과에 의해 Band Gap Engineering을 적용, 보다 고효율의 광촉매를 설계 및 합성함
- Femto-second Laser를 활용, 2D 필름형 광촉매의 광전자 전달 메커니즘 규명 (Nature Communications, 2019)
- 광촉매의 광효율 향상과 동시에 박막화에 성공한 2D 필름형 구조의 그래핀 기반 광촉매 개발 (Scientific Reports, 2018)
- 신규 고효율 3D 폴리머 필름 광촉매 개발 (ChemCatChem, 2018, 표지 논문)
- 신규 셀레늄 도핑 탄소 기반 이산화탄소 전환 광촉매 개발 (특허 등록, 10-2108188)
- 신규 탄소 나노점-실리카 복합체 이산화탄소 전환 광촉매 개발 (특허 등록, 10-2062893)

주관연구기관 한국화학연구원 백진욱 E jobaeg@kriict.re.kr

참여연구기관 포항공과대학교 최원용 E wchoi@postech.edu 이화여자대학교 김진흥 E jinheung@ewha.ac.kr
고려대학교 손호진 E hjson@korea.ac.kr

기대 효과

 <p>기술적</p>	<ul style="list-style-type: none"> · 광촉매-바이오촉매 융합 이산화탄소 전환 기술은 세계 최초로 본 연구팀에서 학계에 보고한 바, 국제적으로 기술 선점이 가능한 분야이며, 핵심 기술의 수출을 통해 국익 증진 기대 가능 · 태양광에너지만을 이용하여 포름산, 메탄올 등 화학물질의 선택적 제조가 가능한 본 기술이 완성되면 미래 정밀화학산업의 원천기술로서 다양한 파생기술에 적용될 수 있을 것으로 관측
 <p>경제적 산업적</p>	<ul style="list-style-type: none"> · 본 태양광에너지만을 이용한 이산화탄소 전환 기술을 통하여 1km²의 입사면적에서 연간 1만 6천톤의 이산화탄소 감축 효과 및 4만톤의 포름산 생산 기대 · 태양광에너지만을 이용하여 이산화탄소를 유용한 화학물질로 전환하는 본 기술은 기존 석유 기반 화학산업으로부터 태양광 기반의 청정 화학산업으로의 패러다임 전환에 중추적인 역할 가능

04 대표그림

<p>기술 모식도</p>	
<p>대표성과</p>	<div data-bbox="363 1373 571 1648">  </div> <ul style="list-style-type: none"> · 혁신적인 계면 합성법을 이용한 신규 필름형 광촉매 개발 - 광촉매의 필름화와 두께 조절 및 대면적화가 가능한 혁신적인 계면 합성법 개발에 성공함 - 그동안 대면적 필름제조가 어려웠던 COF 기반 광촉매에적용하여 고효율의 광촉매필름을 제조 - 향후 연속반응 개발 등에 대비한 광촉매의 필름화 기술을 개발함 <p>※ 논문: J. Mater. Chem. A, 2021, 9, 9573-9580 (IF 11.301, Front Cover)</p>
<p>활용방안</p>	

05 R&D scale up

R&D 실험 단계



현재 Spec

- 태양광 활용 CO₂전환 광촉매
고효율화 기술 (실험실 규모)

향후 계획

- 태양광 활용 CO₂전환
데모시스템용 반응장치 개발
(태양광 전환효율 3%, 선택성 100%,
turnover number 30,000 이상)

Field pilot 예상시기

- 2026~2028년
(산업체 협력 실증 사업 필요)

06 성과활용계획

- 본 과제의 연구 수행을 통하여 외부 에너지의 공급 없이 태양광에너지만을 이용하여 포름산, 화학물질의 선택적 제조가 가능한 본 기술이 1차로 완성되면 상용화 가능성이 높은 최적의 통합공정 모델을 제시하고 TRL을 높이기 위한 후속사업 구상을 추진하겠음. 본 후속 사업을 통하여 상용화의 바탕이 될 태양광을 활용 포름산을 연속으로 제조 할 수 있는 시스템도 개발할 예정임. 따라서 본 기술이 완성되면 미래 정밀화학산업의 원천기술로서 다양한 파생기술에 적용될 수 있을 것으로 관측됨. 즉 태양광에너지만을 이용하여 이산화탄소를 유용한 화학물질로 전환하는 본 기술은 기존 석유 기반 화학산업으로부터 태양광 기반의 청정 화학산업으로의 패러다임 전환에 중추적인 역할을 할 것임



신재생 에너지 기반 CO₂ 전환 산화-환원 융합 공정기술 개발

01 연구개요

- 간헐적인 신재생에너지 활용에 적합한 전기화학적 공정을 통해 온실가스인 이산화탄소(CO₂)를 재활용하여 다양한 C₂₊ 화합물을 생산하는 기술로서 경제성과 에너지 효율을 높일 수 있는 공정 개발
- CO₂의 옥살산 전기화학적 전환 공정 개발 (이산화탄소 1 kg/day 전환)
- CO₂의 에틸렌 전기화학적 전환을 위한 전기화학 촉매 및 융합시스템 개발

02 연구내용

핵심기술	세부내용
CO ₂ 의 옥살산 전환	<ul style="list-style-type: none"> · CO₂→옥살산염→옥살산 전환 연계 공정 개발 및 1 kg CO₂/day 전환 규모 파일럿. 세계 최고의 실증이 됨 · 옥살산염 생성 효율 및 옥살산 생성 전환 효율 최적 반응 및 반응기 도출 · 옥살산의 고부가가치 반응 개발
CO ₂ 의 에틸렌 전환	<ul style="list-style-type: none"> · 고효율 CO₂ 전환 에틸렌 생산 전기화학셀 시스템 개발 · 고효율, 고내구성 CO₂-to-에틸렌 전환 촉매 개발 · 고효율, 고내구성 물산화 촉매 개발

03 연구성과 및 기대효과

대표 연구 성과

- 01 이산화탄소의 옥살산으로 대량전환이 가능한 전기화학적 공정 개발 (특허출원 : KR10-2019-0026564)
 - 0.5 kg CO₂/day 전환을 통해 1 kg 옥살산염 생산 완료
 - 1 kg CO₂/day전환 자동화 설비 구축
 - 기존 옥살산 생산 공정에 대비 친환경적 공정을 통해 생산 가능
- 02 Controlling the C₂₊ product selectivity of electrochemical CO₂ reduction on an electrosprayed Cu catalyst (논문 : J. Mater. Chem. A, 2020)

기대 효과

기술적	<ul style="list-style-type: none"> · 신재생에너지 활용에 적합하고 효율적인 이산화탄소의 전기화학적 전환 독자적 기술 확보에 의한 CCU 기술경쟁력 확보로 기후변화협약 능동적 대처 · 전기화학적 이산화탄소 전환을 통한 고부가 C₂₊ 화합물 생산 공정 확보로 향후 다양한 전환 루트를 제공하는 기반 마련 · 산화-환원 반응 연계를 통한 실증적 기술 확보 · 자동화 설비를 통해 1 kg CO₂/day 감축 및 전환 설비 확보와 향후 대규모 공정 기반 확보
경제적 산업적	<ul style="list-style-type: none"> · 신재생에너지를 활용한 전기화학적 이산화탄소 전환 기술분야 선도적 하이테크 기업 육성 · 이산화탄소 저감 대표기술 개발을 통한 온실가스 배출부담금 저감 및 국가 위상 제고 · 이산화탄소를 이용한 옥살산 생성의 신공정 개발과 국내 거점 확보 후 수출 가능

주관연구기관 서강대학교 신운섭 E shinws@sogang.ac.kr

참여연구기관 울산과학기술원 권영국 E ykwon@unist.ac.kr
(주) 테크윈 현순택 E sthyun@techwin.co.kr

한국과학기술연구원 오형석 E hyung-suk.oh@kist.re.kr

04 대표그림

기술 모식도	<pre> graph LR CO2 -- "상온, 상압" --> ZincOxalate[Zinc Oxalate] ZincOxalate --> H2C2O4[H2C2O4] H2C2O4 -- "Zn, 반응 용액 회수 및 재사용" --> CO2 </pre>
대표성과	<div> <p>자동화 설비 구축된 모습</p> </div> <div> <p>설비에서 실제 옥살산염 생산되는 모습</p> </div>
활용방안	<ul style="list-style-type: none"> · 이산화탄소를 이용한 옥살산 생성의 경제적이고 환경친화적인 신공정 개발 · 전량 수입에 의존하는 국내 옥살산 시장의 대체 사업화 가능

05 R&D scale up

R&D 실험 단계



현재 Spec

- CO₂전환 기반 옥살산생산/정제 공정 벤치 규모 개발 (1 kg/day)

향후 계획

- CO₂전환 기반 옥살산생산/정제 파일럿 플랜트 설계

Field pilot 예상시기

- 2023~2025년 (산업체 협력 실증 사업 필요)

06 성과활용계획

- 옥살산 생산 친환경 신공정 확보를 통해 국내 옥살산 시장에 공급 및 기반 확보를 진행할 예정
- 플랫폼 화합물로의 가능성
 - 옥살산은 Dicarboxylic acid로 폴리머화가 가능함
 - 친환경 고분자 PU 등 개발의 플랫폼 화합물



CO₂ 직접수소화 촉매 및 공정 개발

01 연구개요

- Lab-scale에서 CO₂로부터 메탄올, 올레핀, 액상 탄화수소(나프타/가솔린), 방향족 화합물을 고효율로 제조할 수 있는 한계돌파형 원천촉매 제조기술 개발
- 부반응 최소화 방안, 조촉매 선정, 고성능 촉매 합성 방법, 반응 조건 확립
- 재생에너지로부터 유동적으로 공급되는 전력을 감안, 운전 로드의 변화에 강한 촉매 개발
- 재생에너지를 이용한 수소생산기술과 CO₂ 수소화 촉매 반응기술을 통합해서 Mini-Pilot plant 설비를 운영하고 이를 토대로 통합공정의 개념 설계 및 온실가스 감축량/경제성 분석 수행
- 부생 수소를 이용한 CO₂ 수소화 공정의 개념 설계 및 온실가스 감축량/경제성 분석

02 연구내용

핵심기술	세부내용
CO ₂ 직접수소화를 통한 액체 탄화수소 연료 제조 촉매 및 공정 개발	<ul style="list-style-type: none"> · 높은 CO₂ 전환율과 액체 탄화수소 선택도를 갖는 촉매 개발 · 고효율 CO₂ 전환 반응 공정 연구 · 단속적 운전(Dynamic operation)에 안정한 촉매 및 최적 운전 방법 개발
중온-저온 2단계 CO ₂ 수소화 메탄올합성 촉매반응공정 개발	<ul style="list-style-type: none"> · Cu, Zn, Zr 기반의 기상 중온반응용 및 저온반응용 촉매 개발 · 메탄올 제조공정의 상용화 위한 다단반응기 기반의 공정 설계 및 경제성 최적화
CO ₂ 로부터 직접 방향족 화합물 제조를 위한 촉매 및 공정 개발	<ul style="list-style-type: none"> · CO₂의 직접 수소화로 고부가가치 방향족 화합물 (벤젠, 톨루엔, 자일렌, 에틸벤젠)을 고효율로 제조하는 기술 개발
CO ₂ 수소화 및 고도화 기술합성을 통한 최적 CO ₂ 직접자원화 공정 개발	<ul style="list-style-type: none"> · 촉매 기반 CO₂ 전환 공정 모델 개발 및 평가 · 데이터 기반 최적 공정 설계 플랫폼 개발 · 최적 자원화 공정 전략 수립을 위한 최적화 모델 개발 · 수소 공급 전략 구축

03 연구성과 및 기대효과

대표 연구 성과

- 01 재생에너지의 확대 보급에 따른 전력 변동성 및 잉여 전력 문제의 해결책으로서 고열량 Power-to-Gas와 Power-to-Liquids를 융합한 CO₂전환 공정 기술 개발
- 02 전자구조 계산을 통한 조촉매의 역할 및 반응 메커니즘 규명
- 03 철과 코발트가 원자단위로 합금을 형성한 신규 촉매 개발, C₅₊ 탄화수소 수율 21% 달성
- 04 우수한 성능을 보인 FeCuKAl 촉매 기술의 지식재산권 확보
- 05 5 kg/일 규모의 미니파일럿 플랜트 통합공정 운전을 통한 실증 기초 데이터 확보

주관연구기관 한국화학연구원 전기원 E kwjun@kriech.re.kr



참여연구기관 Nanjing Tech Univ Chundong Zhang E zhangcd@njtech.edu.cn

한국과학기술연구원 김홍곤 E hkim@kist.re.kr

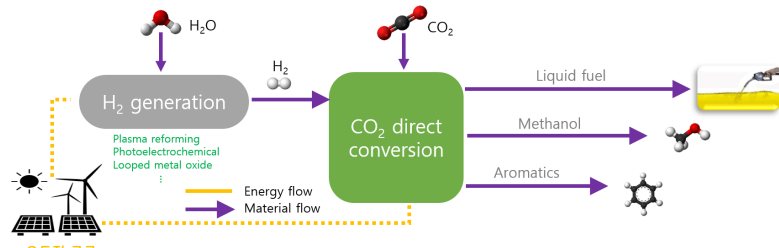



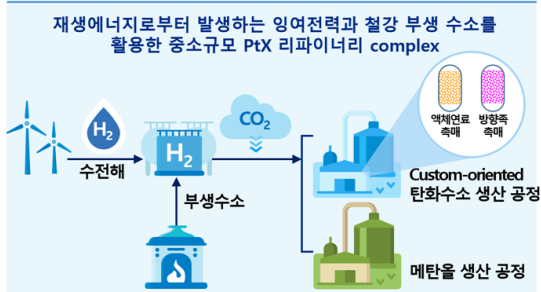
성균관대학교 김지용 E jiyongkim@skku.edu

성균관대학교 김재훈 E jaehoonkim@skku.edu

기대 효과

 <p>기술적</p>	<ul style="list-style-type: none"> CO₂ 직접수소화를 위한 필수 요소기술의 국내외 수준은 현재 원천연구단계(국내기술은 세계 최고기술 대비 최대 80%로 추정)로 기술의 조기 선점 가능 우리나라의 재생에너지 공급 조건을 고려한 최적의 수소 저장 용량 및 운전조건 확립하고 유동적 에너지 공급에 대비해서 촉매, 설비 등 공정 전반의 유연성 확보 기존의 에너지 집약적이고 대형 공정인 2단 반응(RWGS + X)을 극복, CO₂ 전환 반응의 고효율 집적화
 <p>경제적 산업적</p>	<ul style="list-style-type: none"> 2030년 기준 재생에너지의 10%를 액체연료로의 전환에 사용할 시, 연간 CO₂ 644만톤 저감, 액체연료(또는 나프타) 277만톤 생산 가능 (C₁₂ 액체연료 기준, 수소 생산 효율 72%, 탄소전환효율 95% 가정) 향후 CO₂ 크레딧 가격 상승으로, 보다 실효성 있는 탄소자원화 기술 구현 가능 재생에너지원의 활용을 최대화할 수 있는 차세대 Power-to-Chemicals 시스템 상용화 기반 기술 석유화학 원료와 수송용 연료의 탈 탄소화 기반 구축 (저탄소 화학 산업 발전 전략으로 활용)

04 대표그림

<p>기술 모식도</p>	 <p>이산화탄소 직접 수소화를 통한 액상 탄화수소 제조 촉매 공정 개발 모식도</p>
<p>대표성과</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="443 1415 769 1657">  <p>액상 탄화수소 생산을 위한 5 kg/일 규모 미니 파일럿</p> </div> <div data-bbox="845 1415 1034 1657">  <p>미니 파일럿 운전을 통해 생산된 액상 탄화수소</p> </div> <div data-bbox="1109 1415 1297 1657">  <p>ACS Catal., 11, 2267 (2021) 논문 표지</p> </div> </div>
<p>활용방안</p>	 <p>재생에너지의 화학에너지 대량 저장 기술로서의 활용 방안</p>

05 R&D scale up

R&D 실험 단계



현재 Spec

- Power-to-Liquids 탄화수소 액체연료 생산 5 Kg/day 개발중

향후 계획

- Power-to-Liquids 실증 및 상용공장 개념 설계

Field pilot 예상시기

- 2022~2025년
(산업체 협력 실증 사업 필요)

06 성과활용계획

- 재생에너지의 유동적 공급에 최적화된 이산화탄소 전환 시스템 개발 (5 kg/day 규모 미니 파일럿 누적 1000시간 운전)
- 변동성이 큰 재생에너지 전력의 단점을 보완하기 위해 이산화탄소를 화학제품 형태로 전환하여 에너지를 저장하는 Power-to-X 공정에의 활용, 상용화 기반 기술 확보
- 이산화탄소 원료를 공급할 발전소, 수전해를 통해 수소를 생산하는 업체, 생성된 액상 탄화수소를 분석 및 시험할 자동차 업체, 촉매 성형 및 대량 생산하는 업체들과의 사업화 방안 모색
- 실제 수전해 공정을 통한 수소 생산과의 연계, 실증 기초 데이터 확보
- 기존의 에너지 집약적이고 대형 공정인 2단 반응(RWGS+FTS)을 극복, CO₂ 전환 반응의 고효율 직접화 달성
- 부생가스를 활용한 액체연료 생산 기술 실증 및 상용화 추진



바이오알코올 기반 이산화탄소 동시전환 불균일 촉매기술 개발

01 연구개요

- 이산화탄소 기반 탄산염-바이오알코올 동시전환용 불균일 촉매 원천기술 확보
- 나노스케일 금속노드의 단위 조작을 통한 나노촉매 설계 및 합성기술 개발
- 세계최고수준 이산화탄소 및 그린탄소 동시전환을 통한 포름산 및 젖산유도체 기술 개발
- 밀도범함수이론 기반의 계산화학 접근법을 활용하여 불균일 촉매 설계기술 개발

02 연구내용

핵심기술	세부내용
이산화탄소 기반 탄산염 및 바이오알코올 동시전환 불균일 촉매기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> · 바이오알콜 기반 이산화탄소 전환공정용 원천 촉매 개발 · 밀도범함수 기반으로 불균일 촉매 설계기술 개발, 촉매의 구조-물성 상관 확립 및 촉매 효율 최적화의 이론적 규명
이산화탄소와 그린탄소 (글리세롤) 동시전환/분리 통합공정 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> · 벤치규모의 이산화탄소-바이오알코올 전환 시스템 구축 · 그린탄소, 이산화탄소 전환 생성물 및 부산물의 분리공정 연계 통합 시스템 구축

03 연구성과 및 기대효과

대표 연구 성과

- 01 기존 기술대비 동시전환 반응 수율 향상, 기존대비 25%이상 향상
- 젖산 유도체 수율 80% (세계 최고수준 55%)
 - 포름산 유도체 수율 50% (세계 최고수준 29%)

- 02 스케일업 실증, 기존 기술 대비 5000배 스케일업
- 스케일 100 g/day (세계 최고 수준 0.02g/day)

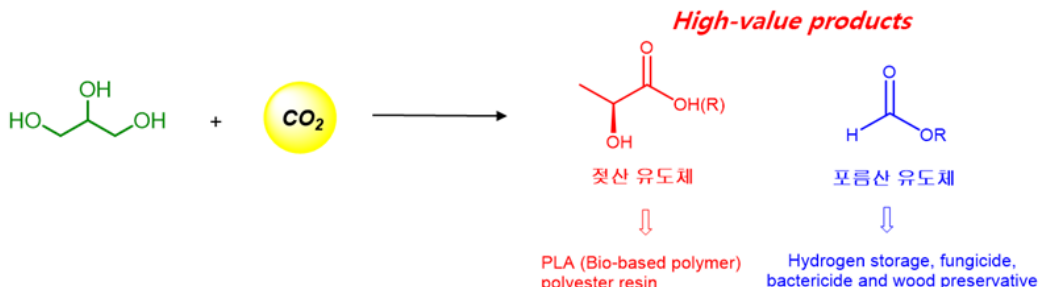
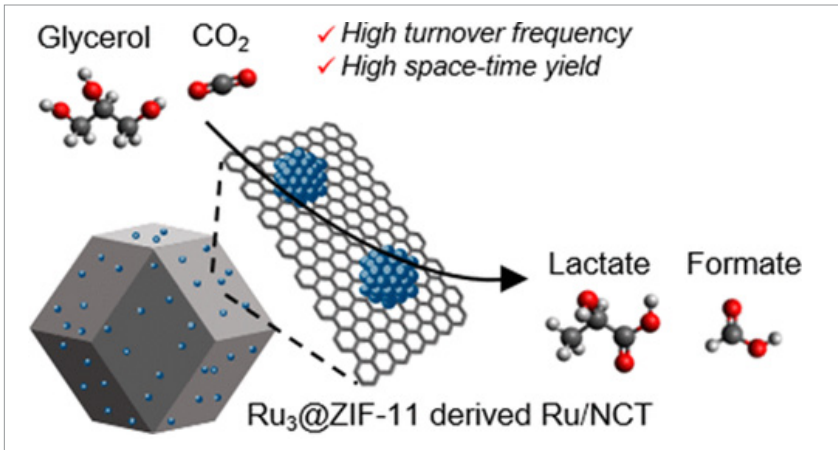
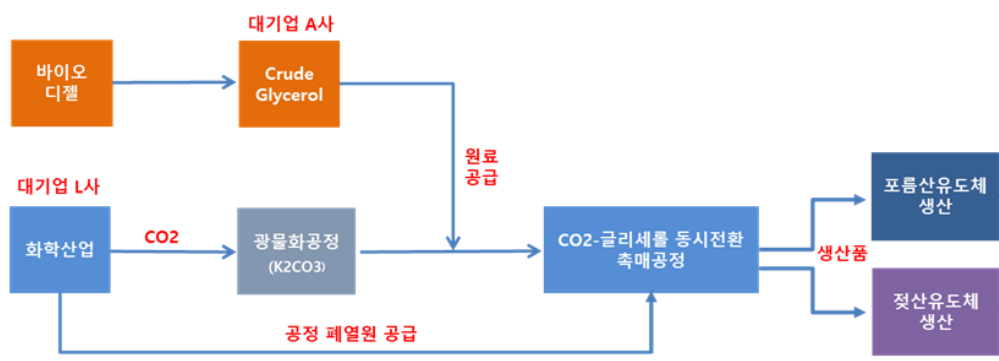
기대 효과

<p>기술적</p>	<ul style="list-style-type: none"> · 세계기술 선도 촉매 원천기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 세계적으로 기초연구단계에 있는 액상수소 전달체 이용, 이산화탄소 전환 분야에 경쟁력있는 원천촉매 국내기술 확보 - 이산화탄소 및 바이오알콜(C₂, C₃) 동시전환 반응/분리 통합공정 시스템 기술개발을 통한 탄소자원화 기술 선도 · 이산화탄소 전환 선도 촉매 개발 기술 확보 <ul style="list-style-type: none"> - 밀도범함수이론에 기반한 계산화학적 접근법을 활용하여 효율적인 이산화탄소 전환 선도 촉매기술을 확보 - 다양한 촉매시스템 개발에 적용될 수 있는 촉매 개발 프로세스 구축 - 구조-물성 상관관계의 이론적 규명을 통해 다양한 분야의 촉매연구에 파급효과 기대
<p>경제적 산업적</p>	<ul style="list-style-type: none"> · 이산화탄소 전환을 통해 탄소중립에 기여 <ul style="list-style-type: none"> - 글리세롤 1kg 당 0.24kg 이산화탄소 감축 효과 - 2030년 예상 국내 글리세롤 60만톤 기준, 약 15만톤의 이산화탄소 저감 가능 - 2026년까지 연간 0.5톤 규모의 이산화탄소 감축 실증 목표 · 바이오디젤 폐기물인 폐글리세롤의 활용으로 바이오디젤 산업의 경쟁력 강화하고, 이산화탄소 저감 효과를 극대화 <ul style="list-style-type: none"> - 2030년 국내 바이오디젤 6.2백만톤 규모에서 약 60만톤의 글리세롤 부산물이 발생 - 2026년까지 연간 2톤 규모의 폐글리세롤 처리 실증 · 폐자원과 이산화탄소의 전환을 통한 고부가가치 화합물 제조로 기존 석유화학 기반의 화합물을 대체, 그린탄소 신산업 창출

주관연구기관 한국화학연구원 황영규 E ykhwang@kriict.re.kr

참여연구기관 울산대학교 정재훈 E jjung2015@ulsan.ac.kr

04 대표그림

<p>기술 모식도</p>	 <p>High-value products</p> <p>젖산 유도체 ↓ PLA (Bio-based polymer) polyester resin</p> <p>포름산 유도체 ↓ Hydrogen storage, fungicide, bactericide and wood preservative</p>
<p>대표성과</p>	<p>· Chem. Mater. 2020, 32, 10084-10095</p>  <p>· 글리세롤을 이용한 탄산염 화합물의 수소화 전환 반응을 통한 포름산염화 (KR 10-2018-0168513)</p> <p>· 불균일계 이산화탄소 전환반응용 촉매 복합체 및 이를 제조하는 방법 (KR 10-2019-001662)</p> <p>· 금속-유기 트라이머가 지지체에 공유결합을 통해 형성된 금속-유기 트라이머-지지체 복합체 (KR 10-2018-0037379)</p>
<p>활용방안</p>	 <p>바이오 디젤 → Crude Glycerol</p> <p>대기업 L사 화학산업 → CO2 → 광물화공정 (K₂CO₃)</p> <p>대기업 A사 Crude Glycerol → 원료 공급</p> <p>광물화공정 (K₂CO₃) → 공정 폐열원 공급</p> <p>CO₂-글리세롤 동시전환 촉매공정 → 생산품</p> <p>생산품 → 포름산유도체 생산, 젖산유도체 생산</p>

05 R&D scale up

R&D 실험 단계



현재 Spec

- 벤치 스케일(1kg/day)의 젖산 및 포름산 유도체 생성

향후 계획

- 글리세롤/CO₂ 동시전환 및 분리 정제 통합 공정 기술 개발, 5kg/day 급 공정실증

Field pilot 예상시기

- 2022~2025년
(산업체 협력 실증 사업 필요)

06 성과활용계획

- 공정기술개발을 통한 기술 고도화
- 이산화탄소 광물화 사업과의 연계를 통한 경제성 확보
- 관심 기업 원료 공급 및 협동 연구
- 수요 기업 내 파일럿 부지 확보
- 기술이전



당류 유기성 폐자원 활용 CO₂ 전환 폴리머 플랫폼 제조 원천 촉매 개발

01 연구개요

- 이산화탄소와 식물 자원 활용 친환경 폴리우레탄 소재 개발
- 그린 고분자 소재 기반 열분산 박막 소재 개발
- 이산화탄소의 유용한 화학물질 전환 원천 촉매 개발
- 식물 자원의 유용한 화학물질 전환 원천 촉매 개발

02 연구내용

핵심기술	세부내용
이산화탄소 전환용 촉매	· 이산화탄소의 화학전환을 통한 카보네이트 생산용, 무독성 값싼 철 촉매 개발
식물자원 전환용 촉매	· 유기성 폐자원의 유용한 물질로 화학전환을 위한 수소화 촉매 개발
이산화탄소 및 식물자원 유래 폴리우레탄 소재	· 퓨란 및 카보네이트를 내포하는 친환경 폴리우레탄 소재 개발
열분산 박막 친환경 고분자 소재	· 친환경 폴리우레탄 및 열전도성 복합체 기반 열분산 박막 소재 개발

03 연구성과 및 기대효과

대표 연구 성과

- 01 이산화탄소를 고리형 카보네이트 전환할 수 있는 고성능 철 촉매 개발, J. CO₂ Utilization 지 2021년 논문 게재
- 02 기능성 폴리우레탄 소재 개발, ACS Sustainable Chem. Eng. 지 2021년 논문 게재
- 03 기존 귀금속 촉매보다 값싼 Cu 촉매를 사용하여 퓨란 다이올 수율 95% 이상달성 및 촉매 수명 90시간 이상 유지
- 04 이산화탄소와 식물성 자원을 활용한 친환경 폴리우레탄 및 열전도제 (TIM) 복합 소재 개발

기대 효과



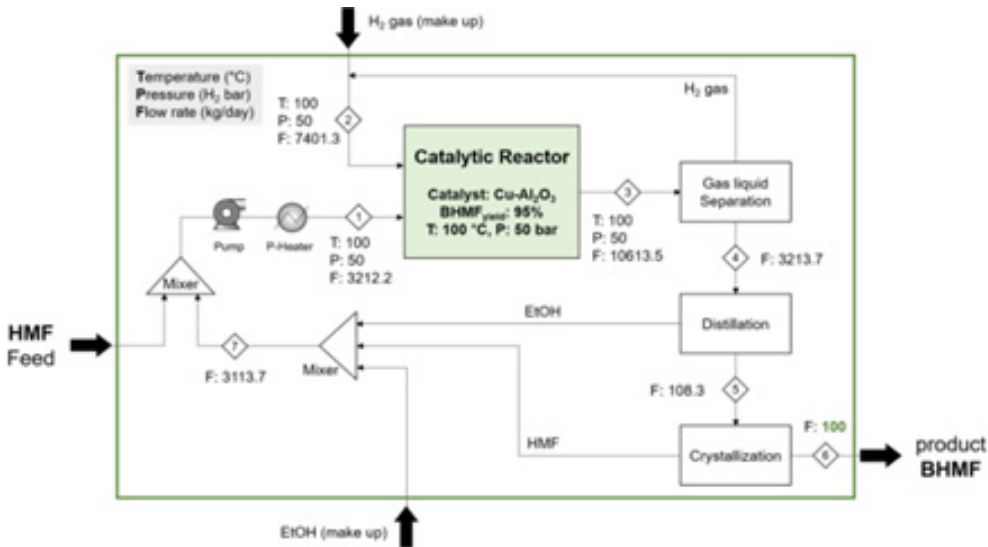
 기술적	<ul style="list-style-type: none"> · 이산화탄소의 유용한 화합물 전환에 있어 원천 촉매 제공 · 유기성 폐자원의 유용한 화합물 전환에 있어 수소화 촉매 제공 · 친환경 폴리우레탄 소재군 제공 · 폴리우레탄 기반 열전도제 복합 소재 제공
 경제적 산업적	<ul style="list-style-type: none"> · 독성 비스페놀A로 문제가 되고 있는 폴리카보네이트 고분자 사업에 신규 친환경 고분자 산업 활성화 · 그린탄소 함량 15~22% 폴리우레탄 개발로 기존의 석유기반 폴리우레탄을 대체시 이산화탄소 28 만톤/년 감축효과 · 그린탄소 함량 100%인 폴리올 생산기술 확보 (석유기반 폴리올의 그린탄소 함량 0%) · 탄소 자원화를 통한 부가가치 창출 모델

주관연구기관 성균관대학교 손성욱 E sson@skku.edu

참여연구기관 경희대학교 강은주 E ejkang24@khu.ac.kr

한양대학교 서영웅 E ywsuh@hanyang.ac.kr

04 대표그림

<p>기술 모식도</p>	 <p>이산화탄소/유기성 폐자원</p> <p>폴리머 플랫폼</p> <p>친환경 폴리머 소재</p>
<p>대표성과</p>	 <p>퓨란 수소화 반응용 Cu 촉매</p> <p>CO₂ 고정화 반응용 Fe 촉매</p> <p>폴리우레탄기반 열전도 복합소재</p>
<p>활용방안</p>	 <p>퓨란 다이올 생산공정</p>

05 R&D scale up

R&D 실험 단계



현재 Spec

- 푸란카보네이트기반 폴리 우레탄
소재 개발 및 성능 평가/시험
(실험실 규모)

향후 계획

- TIM 필름 소재 개발 및 유사환경
성능 Test
- 유기성 폐자원 유래 단당류 기반
퓨란다이올 10 kg/일 생산기술 개발

Field pilot 예상시기

- 2022~2025년
(산업체 협력 실증 사업 필요)

06 성과활용계획

- 유기성 폐자원 기반 퓨란다이올 촉매반응기술 및 개발
- 구리 수소화촉매 합성기술 이전 추진
- 철계 촉매 이용 이산화탄소 고정화 반응기술 실증
- 이산화탄소 전환 및 유기성 폐자원 활용 폴리우레탄 소재 생산 기술 실증
- 폴리우레탄 자동차 플라스틱, 포장재, 친환경 바닥재, 난연성 건축자재 응용기술 개발
- 폴리우레탄 기반 열전도제 복합소재 생산기술 실증



유기성 폐자원 원료기반 청정액체연료 생산을 위한 원천 요소기술 개발

01 연구개요

- 음식물쓰레기와 같은 유기성 폐자원을 미생물을 활용하여 고순도의 바이오가스로 전환한 후, 촉매를 활용하여 가솔린 및 디젤과 같은 액체연료를 생산하는 BTL (Biogas to Liquid) 기술과 관련된 전주기 통합공정패키지를 구축할 수 있는 실용기술 개발
- 기존 바이오가스 생산과 정제과정의 한계점인 높은 CO₂ 발생량, 고비용의 H₂S 전처리 문제와 낮은 바이오가스 전환속도를 극복하기 위하여 바이오가스 반응조 자체에서 고속/고순도 바이오가스 생산기술, 신규 디자인된 고성능의 황화수소 흡수/흡착제, 3D 프린팅을 이용한 촉매 구조체 제조기술을 결합하여 C₅-C₂₀ 영역의 액체연료 제품군 생산을 극대화하는 핵심기술 개발
- 유기성 폐기물을 기반으로 매연과 미세먼지 발생이 낮은 청정액체를 제조하여 국가적 온실가스 저감 정책과 에너지안보정책에 기여 및 경제적 이익창출 가능

02 연구내용

핵심기술	세부내용
바이오가스 고품질화 기술	· 전도성 다공성 물질과 고압반응조를 이용한 고속/고순도 바이오가스 생산기술
바이오가스 청정화 기술	· 바이오가스의 고도 정제를 위한 고효율 흡수와 흡착 소재 및 공정기술
액체연료직접제조 원천촉매 3D 프린팅 모듈형 촉매	· 바이오가스 유래 합성가스로부터 액체연료 (C ₅ -C ₂₀) 탄화수소 직접 생산용 원천촉매 개발 · 중소규모 가스자원에 적용가능한 모듈형 반응시스템에 적합한 모듈형 3D 구조 FT 촉매 개발

03 연구성과 및 기대효과

대표 연구 성과

- 50kg/일 규모 유기성폐자원의 고속/고순도 바이오가스 전환 시스템 확보
(바이오가스 생성속도 1.3 L/L/d 이상, 황화수소 농도 100ppm 미만)
- 90 mg/g 이상의 높은 황화수소 흡수제/흡착제를 이용한 하이브리드 공정으로 황화수소 10ppb 이하 제거 기술개발
- 정제 바이오가스로부터 3L/d 액체연료 생산규모 플라즈마 리포밍, 모듈형 FT반응시스템 통합공정 확보


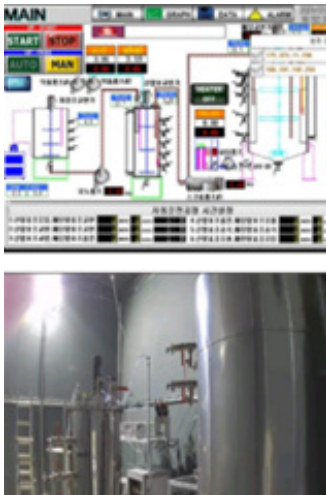



기대 효과

기술적	<ul style="list-style-type: none"> · 기존 생물학적 바이오가스 생산시설의 느린 전환속도 및 높은 황화수소 분율을 극복한 신개념 기술의 원천 기술 확보 · 고성능 황화수소 처리용 신 흡수 및 흡착 하이브리드 기술 개발을 통한 청정연료 생산이 가능한 초정정 정제 기술 확보 · 액체연료 직접제조용 이중기능성 촉매 기술 확보, 3D 프린팅기술을 이용한 모듈형 촉매 제조기술 확대
경제적 산업적	<ul style="list-style-type: none"> · 국내 유기성폐기물 발생량 중 20% 전환 가정 시, 650 m³/일 청정액체 연료를 생산할 수 있으며, 이에 따른 연간 CO₂ 저감량은 1.5백만톤으로 추정 · 바이오가스 직접 연소 대비 16.9%의 온실가스 저감효과가 있는 기술로, 향후 유기성 폐기물의 바이오가스 전환 확대에 따라 바이오가스 활용 액체연료 제조기술은 국가 온실가스 감축에 기여할 수 있음 · 바이오가스 내 포함된 이산화탄소의 분율은 40% 정도로, 정제 후 이산화탄소 전환 공정의 원료로 사용 가능함

주관연구기관 한국과학기술원 강석태 E stkang@kaist.ac.kr

참여연구기관 한국화학연구원 박근재 E gkwak@kRICT.re.kr 한국에너지기술연구원 백일현 E ihbaek@kier.re.kr

04 대표그림

<p>기술 모식도</p>	 <p>바이오가스 생산 바이오가스 정제 바이오가스 전환 디젤, 항공유</p>
<p>대표성과</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>바이오가스 생산</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>바이오가스 정제</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>액체연료 전환</p>  </div> </div> <ul style="list-style-type: none"> · 유기성폐자원 유래 바이오가스로부터 3L/d 청정액체연료 생산 시스템 개발 - 바이오가스 생산 : 황화수소 100 ppm 미만, 생성속도 30% 향상 (1.3 L/L/d) - 바이오가스 정제 : 황화수소 10 ppb 미만 청정가스 생산 - 액체연료 생산 : 3D 프린팅 기술을 활용한 촉매 제작 및 FT 반응시스템에서 3L/일 액체 연료 생산
<p>활용방안</p>	<div style="text-align: center;"> <p>차세대 액체연료 제조기술</p>  <p>친환경 액체연료 제조기술</p> <p>항공유 디젤</p> <p>바이오가스를 활용한 탄소 중립형 바이오 항공유 및 바이오 디젤 생산</p> </div>

05 R&D scale up

R&D 실험 단계



현재 Spec

- 바이오가스 생산/정제/전환 통합
공정 미니파일럿개발 (3L/day)

향후 계획

- 바이오가스 생산/정제/전환 통합
공정 1BPD 파일럿 (Field pilot)
플랜트 설치 및 운전

Field pilot 예상시기

- 2022~2026년
(산업체 협력 실증 사업 필요)

06 성과활용계획

- 고효율 유기성폐기물(음식물쓰레기, 축산 분뇨 등) 혐기성 소화시설의 신규 설치 및 기존 시설 업그레이드
- 황화수소 흡수/흡착제의 다양한 전처리 관련 산성가스 처리 산업(환경분야, 석유화학, 제철, 시멘트)에 적용
- 저급 활용되거나 연소되어 온실가스로 배출되고 있는 유기성 폐자원을 분산형의 통합시설을 통해 청정 액체연료로 전환하여 국가 탄소저감 정책에 기여
- 정부의 바이오가스를 이용한 친환경에너지 타운 활성화를 통한 NIMBY 현상 극복 및 지역 경제 수익 창출



탄소자원화 전략 플랫폼 구축

01 연구개요

- 탄소자원화 개발기술 전과정 온실가스 감축잠재량 평가 및 환경영향평가(전과정평가)
- 탄소자원화 관련 주요물질 전과정목록 데이터베이스(LCI DB) 구축 및 검증
- 탄소자원화 정책/제도개선, 맞춤형 정보제공 및 국내외 협력 네트워크 구축

02 연구내용

핵심기술	세부내용
CCU기술 전과정평가 방법론 개발	· CCU 기술 전과정평가(LCA) 가이드라인 개발
탄소자원화 주요 물질·공정 LCI DB 구축	· 이산화탄소 포집 등 탄소자원화 주요 물질 및 공정의 전과정목록(LCI) 데이터베이스 구축
전과정 온실가스 감축효과 평가	· 연구 개발 중인 탄소자원화 기술의 온실가스 감축효과 및 기타 환경영향 평가, 시나리오 분석을 통한 기술개발 전략 수립
탄소자원화 정보·정책·네트워크 플랫폼 구축	· (정보 제공) 웹기반 통합정보 플랫폼 운영, 기술·정책 동향 보고서 등 탄소자원화 관련 발간물 제공 · (정책 지원) 탄소자원화 정책 분석/제안, R&D 투자현황 분석 · (네트워크 활성화) 산학연 전문가 네트워크 확충, 탄소자원화 포럼 또는 R&D 성과공유 행사 개최 등

03 연구성과 및 기대효과

대표 연구 성과

- 01 이산화탄소 전환(CCU) 기술의 전과정평가(LCA) 수행 가이드라인 발간 ('19)
- 02 탄소자원화 주요 물질·공정 전과정목록(LCI) 데이터베이스 구축
- 03 CCU 기술 백서 발간 ('20)
- 04 관계부처 합동 CCU 기술혁신 로드맵 수립 ('21)
- 05 2018~2020 대한민국 기후기술대전 및 탄소자원화포럼 개최

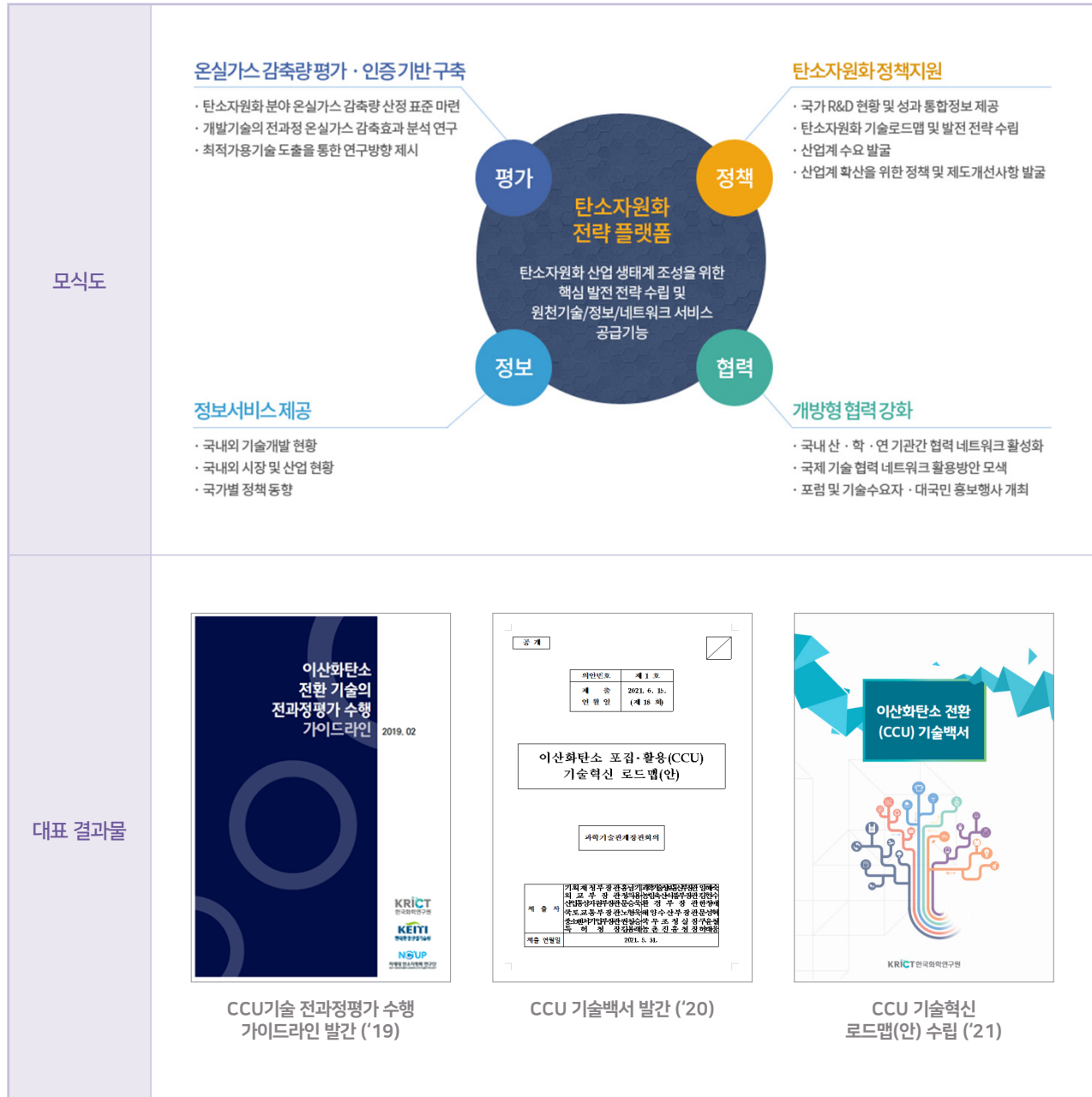
기대 효과

 기술적	· 탄소자원화 공정별 온실가스 배출량 평가 및 전과정 온실가스 감축효과 분석을 통한 친환경 기술개발 전략 제시 · 탄소자원화 주요물질 전과정목록 데이터베이스 구축 및 활용 플랫폼 구축·운영
 경제적 산업적	· 기술전략 거점 및 기술·정책·산업 네트워크 허브 마련을 통한 탄소자원화 산업생태계 조성 및 기술개발 협력 체계화 · 탄소자원화 기술의 국가 온실가스 감축 기여 방안 마련 및 산업계 인센티브 정책 제안

주관연구기관 한국화학연구원 안진주 E jjan@kricr.re.kr

참여연구기관 (주)엔스타알앤씨 이광원 건국대학교 허탁

04 대표그림





**자원의 미래를
연구하다**



NGUP 차세대 탄소자원화 연구단
NEXT GENERATION CARBON UPCYCLING PROJECT

34114 대전광역시 유성구 가정로 141 차세대탄소자원화연구단

T 042-610-8890,8556 **F** 042-860-7388

ncup.krict.re.kr