

CH₄

CO₂

CO

CCUS 기술의 현황과 미래

—
2020. 7. 9.

한국화학연구원 차세대 탄소자원화 연구단

전 기 원





CONTENTS

CCUS 기술의 현황과 미래

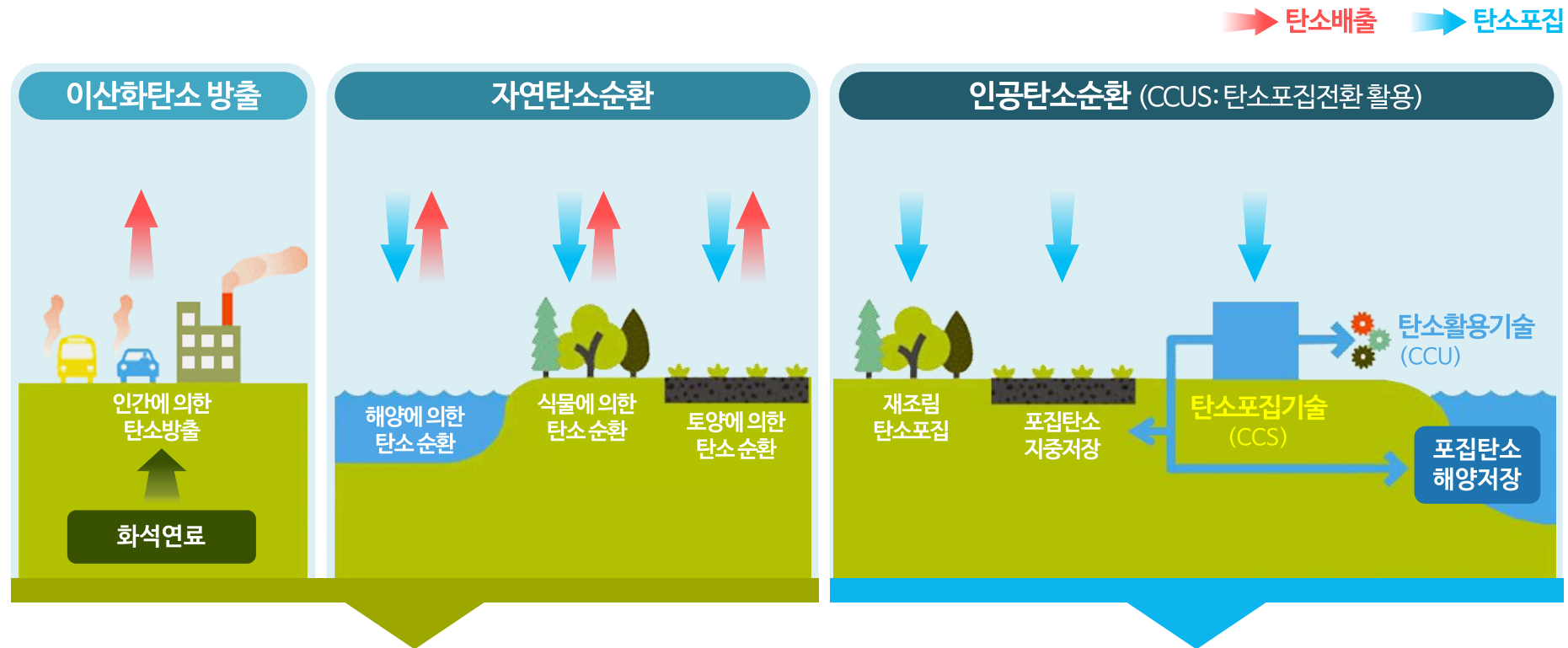
01 CCUS 개요

02 관련 기술 개발 현황

03 CCUS 기술 전망

04 발전 방향

1.1 CCUS (Carbon Capture, Utilization & Storage)



자연 탄소순환 한계를 뛰어넘는 탄소배출

“CCUS 기술은 부채를 자산으로 바꾸고
기후변화에 대응하면서
경제적인 성장을 촉진할 수 있습니다.”

1.2 새로운 트렌드, CO₂ 전환에 의한 활용 기술

이산화탄소는

● 화학적으로 활성이 낮은 매우 안정한 화합물

Bond Strength: D=532 kJ/mol

Heat of formation @ 25°C (ΔH°) =
- 393.5 kJ/mol

● 지구온난화의 주범인 온실가스

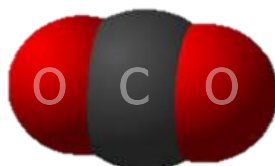
● 현재의 주요 용도

✓ 탄산음료, Urea & Methanol, EOR 등

● 화학적 전환에서의 주요 이슈

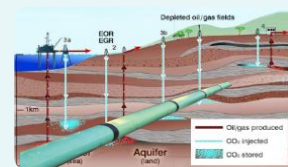
- ✓ 실제 온실가스 저감효과가 있는가?
- ✓ 경제성이 있는가?
- ✓ 온실가스 저감량이 유의미한가?

이산화탄소



이산화탄소의 변신

이산화탄소는 온실가스이자 폐기물이라는 인식으로 그동안 지중·해중·유전 등에 격리시키는 방법이 최선책으로 인식되었음

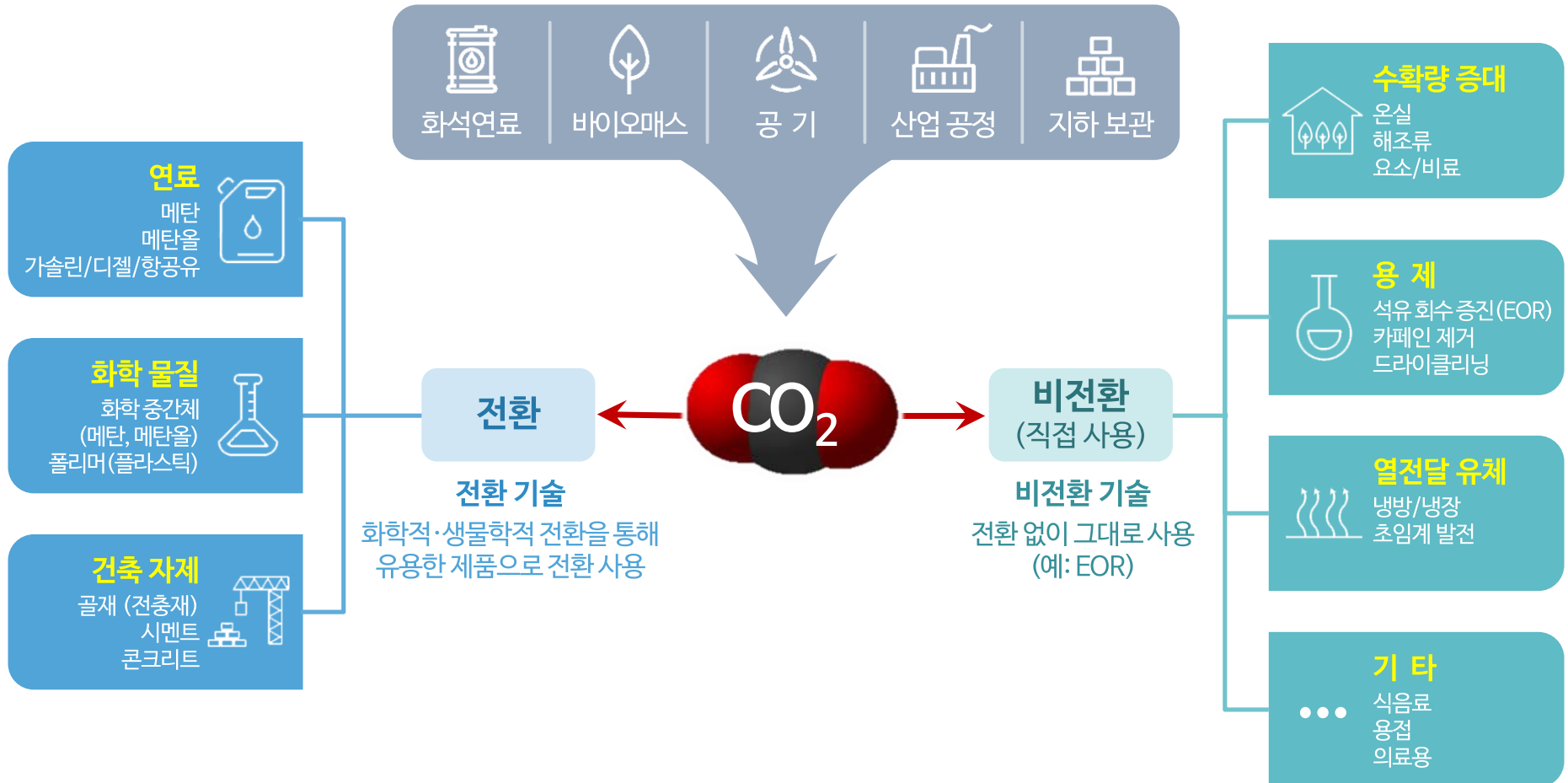


기술혁신

이산화탄소를 자원으로 활용하여
다양한 연료 및 기초화학제품 생산의 원료로
사용하는 패러다임의 전환

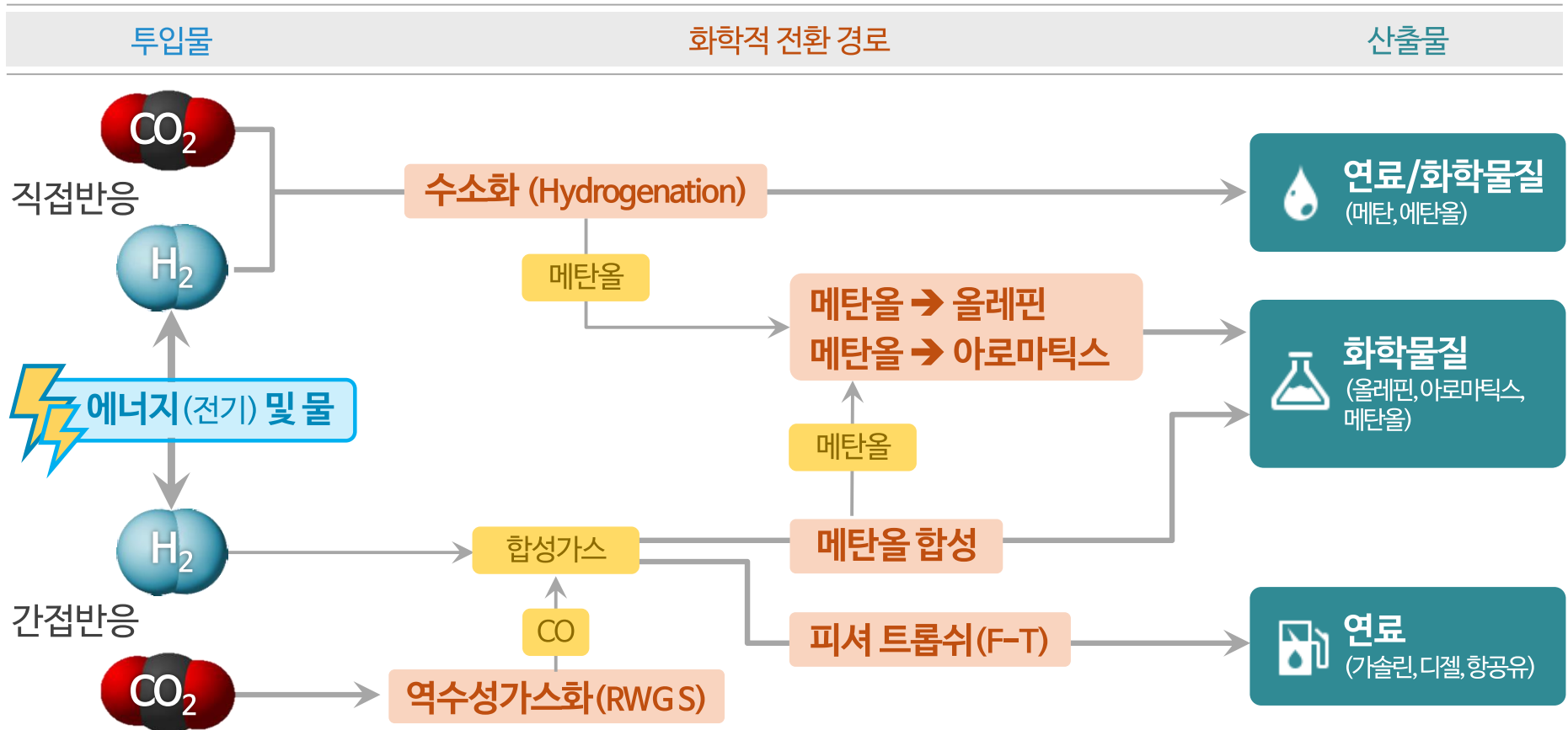


이산화탄소 활용 기술의 분류



[출처: IEA, 2019]

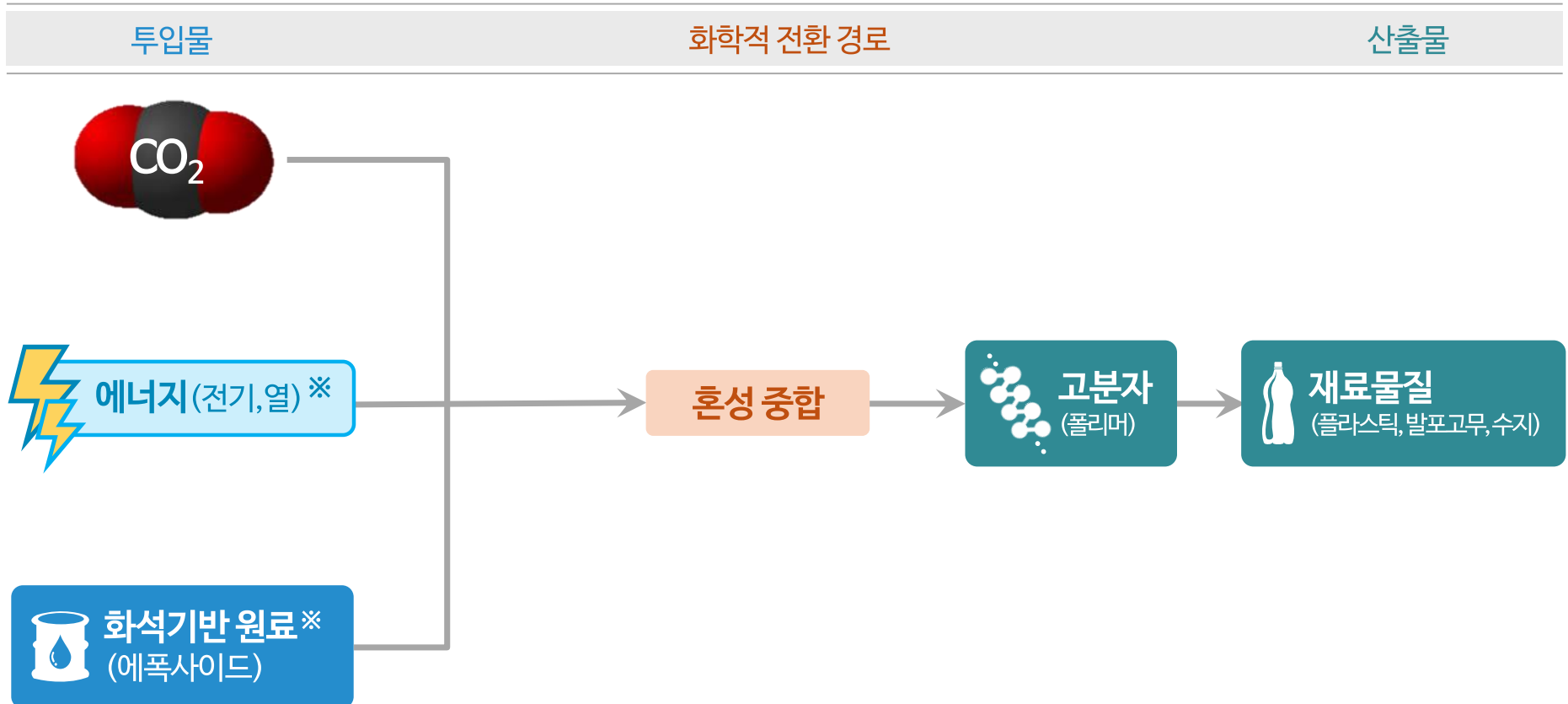
이산화탄소의 연료 및 화학물질로의 주요 전환 경로



- CO₂ 를 수소와 반응시켜 석유로부터 얻는 연료 및 화학제품의 생산을 대체
- 직접적인 경로와 간접적인 경로로 분류

[출처: IEA, 2019]

이산화탄소의 고분자로의 주요 전환 경로



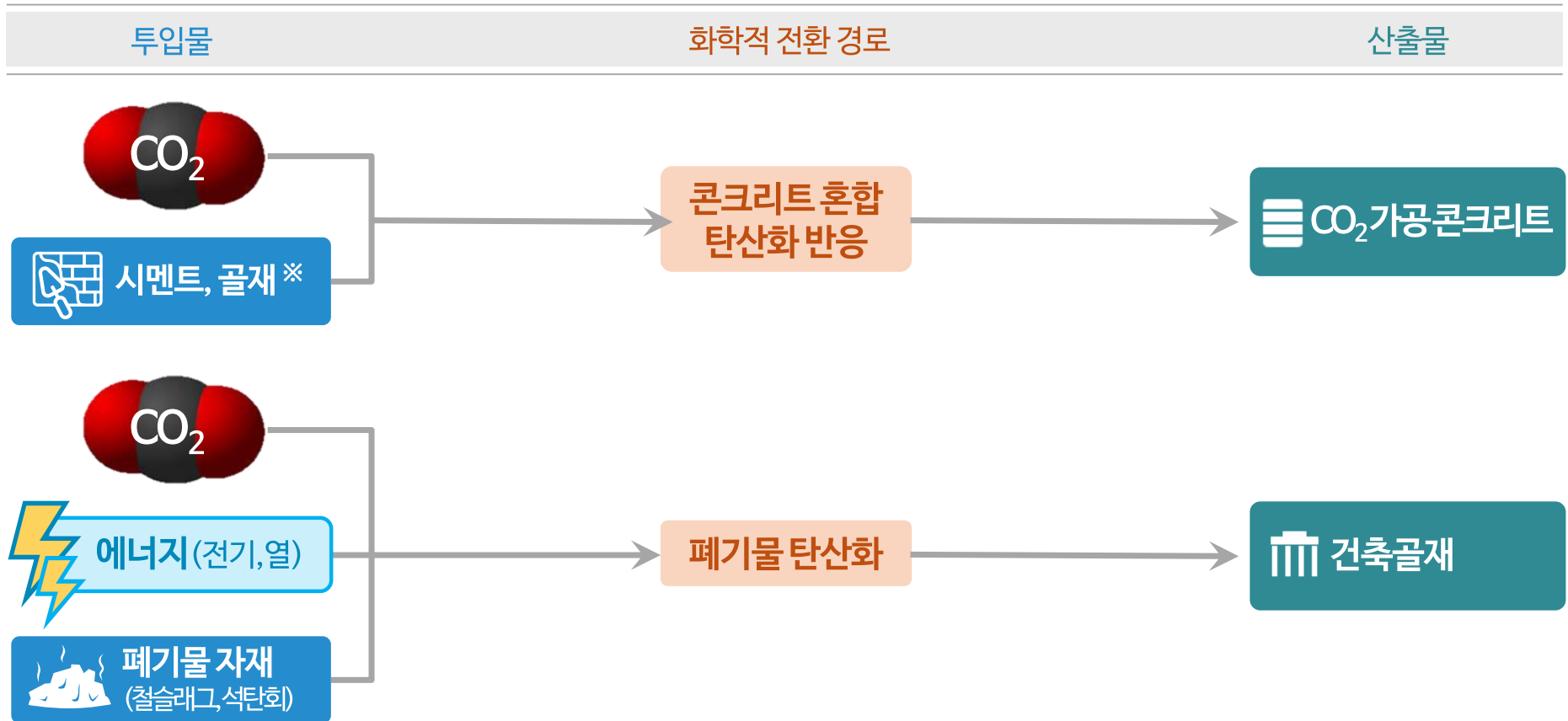
• CO₂ 를 석유계 원료의 일부 대체제로 사용하여 플라스틱 및 합성수지 등의 폴리머(고분자)로 전환

※ 기존 생산 공정에도 사용됨

[출처: IEA, 2019]

1.4 CO₂ 전환 기술 (콘크리트, 골재)

이산화탄소의 콘크리트·건축용 골재로의 주요 전환 경로



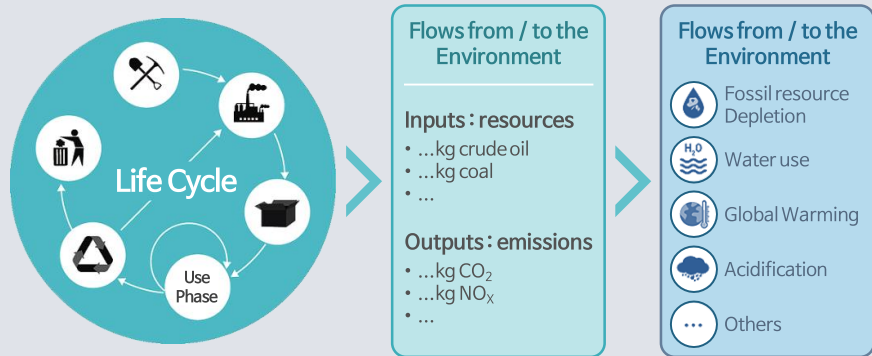
• CO₂를 칼슘, 마그네슘 등의 광물과의 탄산화 반응을 통해 시멘트, 콘크리트, 건축용 골재 생산에 활용

※ 기존 생산 공정에도 사용됨

[출처: IEA, 2019]

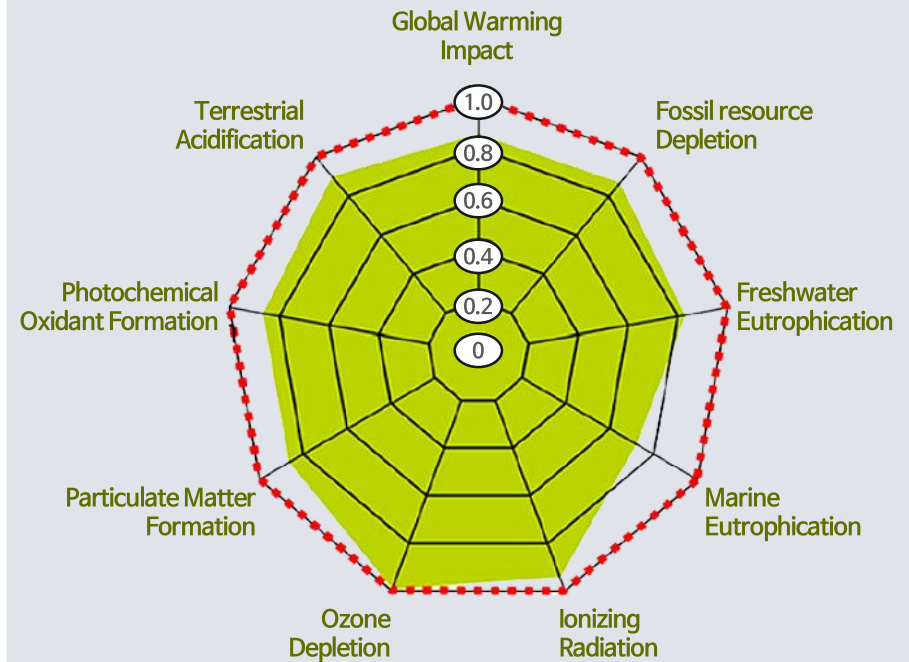
1.5 CO₂ 활용 기술의 전과정 평가 (LCA)

전과정평가(LCA)의 일반적 개념



[출처: Assen et al., 2015]

CO₂ 기반의 폴리올 제품의 친환경성 비교

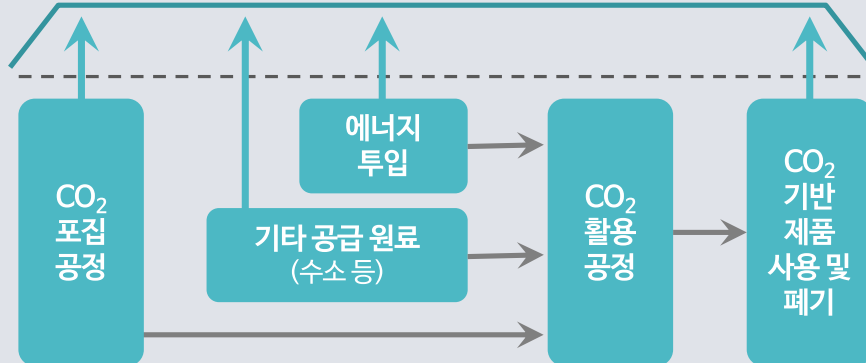


--- Fossil based polyol

● CO₂-based polyol (20 wt %)

[출처: Artz et al., 2018]

CCU 기술 적용에 따른 전주기 온실가스 배출 영향



[출처: CO2 Sciences & The Global CO2 Initiative, 2016]

2.1 CO₂ 활용 기술의 발전

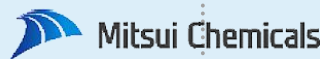
2019

지난 10년간 많은 발전이 있었으며 건축자재와 폴리머는 상용화 단계 진입

건축자재 Concrete



화학제품 Chemicals



연료 Fuels



폴리머 Polymers



기술개발단계

실험실 단계

실증 단계

상용화 단계

[출처: Lux Research]

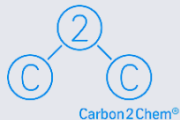


2.2 CCU 관련 해외 주요 프로젝트

부생가스 활용

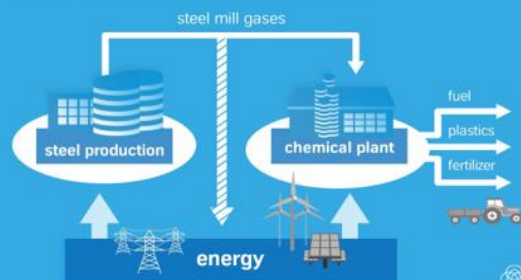


- 철강부생가스 원료 폴리우레탄 원료 제조
- Arcelor-Mittal, Covestro, 아헨공대 등 14개의 산학연 독일 중심 협력 연구사업
- 2017~2020, 연구비 100억원 규모



- 철강부생가스 원료 메탄올제조공정 실증 (신재생 수소 이용)
- Thyssenkrupp, Clariant, Linde, BASF, 아헨공대 등 17개의 산학연 연구사업
- 2017~2020, 1,200억원/연 규모

The Carbon2Chem process



CO₂ 전환



- 새로운 네트워크 에너지 구조, Power2X, 산업공정, 시스템 통합
- Energiewende Research Forum (90개 기관)
- 2015~2025, 연구비 5,160억원 규모



- CO₂ 원료 Chemicals, Fuels, Material 제조기술
- SCOT사업기반 CCU기술/정책 개발 유럽 연합
- Horizon2020 내 135개 CCU 프로젝트 7,100억원



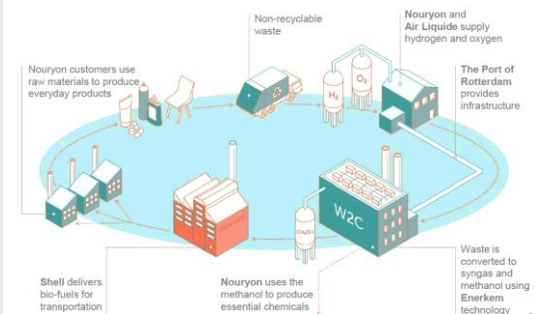
- CO₂ 원료 대체탄소 공급원으로 가능성 평가
- DECHEMA, (영) 셰필드대학, Trinomics 참여
- Horizon2020 내 프로젝트 640억원 (2016~2018)



- CO₂ + 수전해 H₂ 이용 메탄올제조공정 상용화
- 수전해 (Sunfire, 독), 메탄올 (Total, 프)
- 2020~2024, Total 탄소중립펀드 4,700억원 조성

유기성 폐기물 활용

Waste to Chemicals Rotterdam



- 유기성폐기물 원료 메탄올 제조기술 상업화
- Nouryon, Air Liquide, Shell 등 5개 기업 콘소시움
- 2021 상업화 목표 (총 투자액 3,100억원)

ALTO

- 생활쓰레기 원료 항공유 제조기술 상용화 프로젝트
- Velocys, Shell, British Airways 참여
- 영국 Immingham에 50만배럴/연 규모 상용플랜트 건설 (2021~2024), 예산 120억원

2.3 CO₂ 활용기술 동향 (탈탄소화, 재생에너지 활용과 융합)

2.4 CCUS 관련 국내 주요 프로젝트

Korea CCS 2020 사업

'20년까지 \$30/톤-CO₂ 이하
CCS 원천기술 개발

- 기간: '11.11 ~ '20.5 (8년 7개월)
- 총 예산: 1,721억 원
- 분야: CO₂ 포집 기술
CO₂ 소규모 저장 실증
CO₂ 전환 이용기술



차세대 탄소자원화 핵심 기술개발

세계최고수준 한계극복형
탄소자원화 원천기술 개발

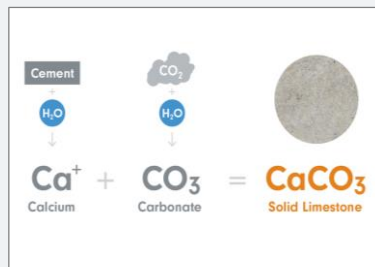
- 기간: '17.9 ~ '21.12 (4년 4개월)
- 총 예산: 352억 원
- 분야: 부생가스/탄소폐자원 활용 기술
재생에너지 활용 CO₂ 전환 기술
유기성폐자원 CO₂ 전환융합기술



탄소자원화 기술 고도화

탄소자원화 기술 실증을 통한
온실가스 감축 및 산업 생태계 조성

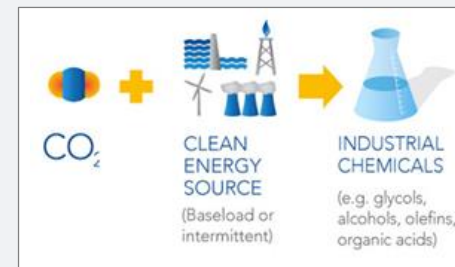
- 기간: '17.8 ~ '23.4 (5년 8개월)
- 총 예산: 336억 원
- 분야: CO₂ 광물화 기술 실증



Carbon to X 기술개발 ('20년 신규)

CO₂를 자원으로 유용물질 생산이 가능한
생물·화학적 전환기술 확보

- 기간: '20 ~ '24 (5년)
- 총 예산: 450억 원
- 분야: CO₂ 생물·화학 전환 기술



2.5 CCS 기술 개발 성과 (Korea CCS 2020 사업)

습식 포집 실증플랜트 (0.5MW)



서부발전 태안화력

세계 최고수준의 CO₂ 습식 포집 기술
(재생에너지 2.0~2.37GJ/tCO₂)

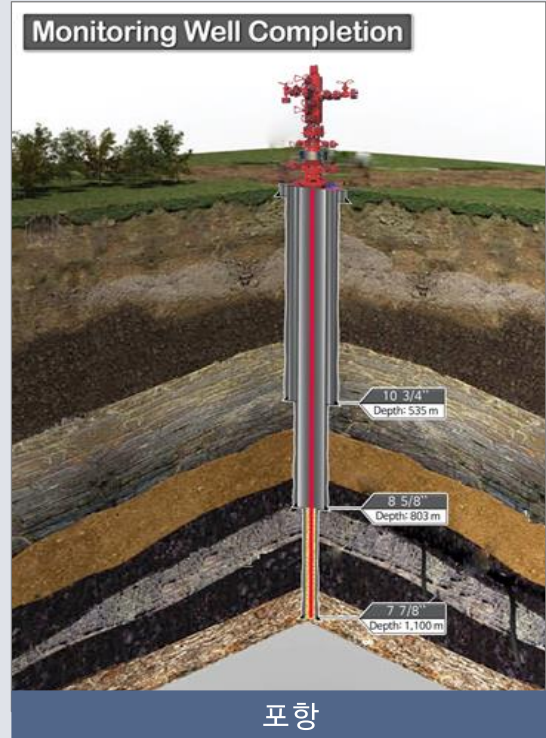
건식 포집 실증플랜트 (0.5MW)



대구염색공단 화력발전소

세계 최고수준의 CO₂ 건식 포집 기술
(재생에너지 3.4GJ/tCO₂)

CO₂ 지중 저장



포항

1만톤급 파일럿 저장 실증 및 CO₂ 저장 핵심기술 확보를 목표로 저장부지 탐사 및 특성화, 지상설비 구축, 통합 모니터링 시스템 개발, 저장 후 영향평가를 위한 모델링 개발 과제 추진

[출처: KCRC]

2.6 CCU 기술 개발 성과 (Korea CCS 2020 사업)

미세조류 배양공정 (1톤규모)



광전환 효율이 극대화된
균주 및 고효율 생물학적
전환 공정 개발

기술이전: 기술료 9억원

포름산 제조공정 실증 (10kg/일규모)



기존 BASF 공정의
문제점을 해결한
혁신적 포름산
제조기술 개발

기술이전: 기술료 30억원

CO₂ 활용 생분해성 고분자



생분해성 고분자
제조관련 사업화 가능한
혁신촉매 개발

기술이전: 기술료 12억원

가압 공전해 스택 평가 시스템



전기분해를 통한
합성가스 제조 시스템
기술 개발

기술이전: 기술료 2억원

[출처: KCRC]

2.7 광물화 기술 개발 성과 (탄소자원화 기술 고도화)

CO₂ 저감형 차수성 시멘트 생산 및 활용 광산 채움재 개발

‘차수성 시멘트 활용 폐광산 차수, 채움재 실증기술’은 기술의 혁신성 및 경제성을 확보하여 온실가스 보고·검증 제도인 MRV 검증을 완료하였고, 국내 최초로 CDM 신규방법론을 개발하여 UNFCCC에 등록 신청을 완료

2018 평창 동계올림픽에 사용된 In-situ PCC* 기술 적용 종이제품



종이 쓰레기통



A4 인쇄용지



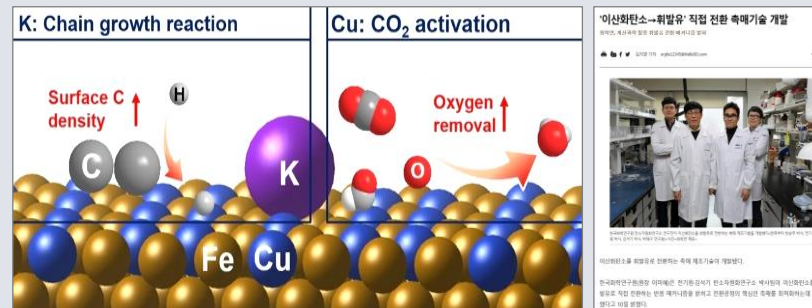
환경올림픽 홍보 팸플릿

(In-situ PCC) 제지 공정에서 일반적으로 쓰이는 펄프와 충전재(주로 석회석 등의 광물 분말)를 별도로 투입하여 혼합하는 공정이 아닌, 펄프가 존재하는 상태에서 충전재인 PCC(침강성 탄산칼슘)를 직접 합성하는 제지 원료 제조 공정

[출처: 탄소광물화 플래그십]

이산화탄소와 수소로부터 청정 액체 연료 제조 촉매 및 공정 개발

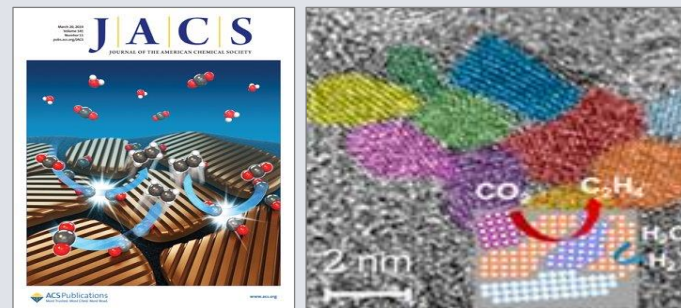
- **촉매 개발** 계산화학 활용 촉매의 성분별 역할 규명, 촉매의 성능 최적화 (수율 35.2%)
- **공정 개발** 액체연료와 합성 도시가스 동시 생산하면서, 반응열을 효과적으로 회수하는 공정 설계를 통해 에너지 효율과 CO₂ 저감량을 최대화
- **학술적 성과** Journal of CO₂ Utilization 등 상위 10% 이내 논문 5편 게재
- **기술적 성과** 국내 및 해외 특허출원 (2019-0122009, PCT/KR2020/001275) 등 12건
- YTN, KBS 등 보도 다수



➤ 2030년 기준 재생에너지의 10%를 액체연료로의 전환에 사용할 시, 연간 CO₂ 644만 톤 저감, 액체연료 277만 톤 생산 가능

이산화탄소 전기화학 전환 C₂ 화합물 생성 고효율 촉매 개발

- 구리기반 나노입자를 이산화탄소(CO₂) 환원 조건에서 형상 변화를 유도하여 에틸렌 생성 선택도를 높임.
- **학술적 성과** 019년 3월 발간된 Vol. 141 미국화학회지(Journal of the American Chemical Society) 표지 논문으로 선정됨 (ACS Energy Lett. 4 (2019) 2241 (IF = 16.331, JCR < 상위 2% 이내))
- **파급효과** 전기화학적 CO₂ 전환에서 구리(Cu)를 활용한 C₂ 이상의 생성물을 생산하기 위한 전략을 제시



➤ CO₂를 석유화학 공정을 통해 얻어지는 에틸렌과 같은 가치가 있는 화학물질을 생산하는 원료로 사용했다는 점에서 의미가 큰 것으로 판단

3.1 CO₂ 활용 시장의 잠재력 추정

출 처	년 도	CO ₂ 전망치	예측 (Gt/yr)	기 간
IPCC	2005	회피 (Avoidance)	< 1.0	중기
GCCSI	2011	수요 (Demand)	0.57 – 1.87	미래
DNV	2011	회피	3.7	미정
Armstrong & Styring	2015	수요	1.34	2030
Global CO ₂ Initiative	2016	수요	7	2030

[참고: 일부 추정치는 사용된 CO₂ 양을 고려하는 반면, 다른 추정치는 회피된 CO₂ 감축량을 고려함]

[출처]

- 1) IPCC (2005), IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage;
- 2) GCCSI (2011), Accelerating Uptake of CCS: Industrial Use of Captured Carbon Dioxide, excluding non-conversion uses
- 3) DNV (2011), Carbon dioxide utilization – electrochemical conversion of CO₂ – opportunities and challenges
- 4) Armstrong, K. and P. Styring (2015), Assessing the potential of utilization and storage strategies for post-combustion CO₂ emissions reduction
- 5) Global CO₂ Initiative (2016), Global CO₂ initiative launches with ambitious strategy to reduce atmospheric CO₂

3.2 CCU 미래 시장 잠재력의 핵심 고려 요소



3.3 CCU 기술별 특징

	기 술			시 장	
	성숙도	CO ₂ 소비 (MT _{CO2} /MT)	제품 성능 차별화	규제 전망	세계 시장 규모 (USD)
건축자재 Concrete	상용화	< 0.1	향 상	억제됨	3,000 – 3,500억
화학제품 Chemicals	파일럿	1.0 – 2.0	없 음	중 립	~600억
연료 Fuels	파일럿	3.0	없 음	긍정적	~9,000억
폴리머 Polymers	상용화	0.3	없 음	중 립	> 200억

● 긍정적 ● 중립 ● 부정적

“ 단기적인 기회는 건축자재와 폴리머에 있으나 시장 여건이 고려되어야 함 ”

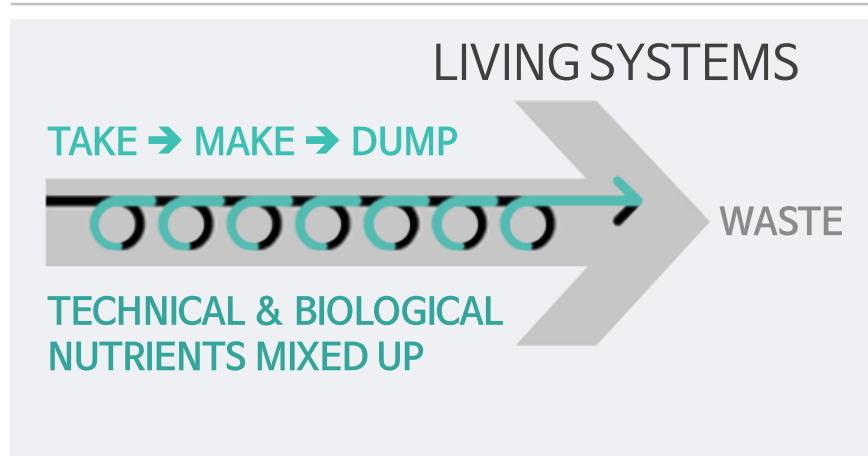
[출처: Lux Research]

4.1 순환 경제: 자원 사용의 절제



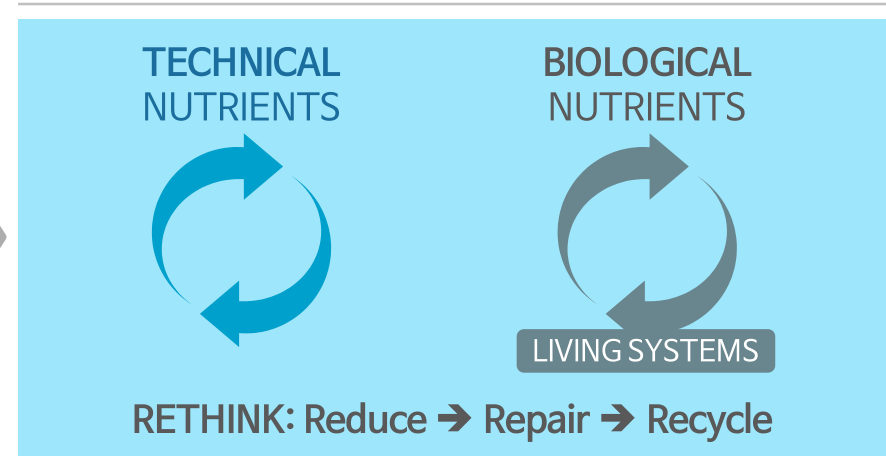
자원에서 에너지 및 제품을 생산하고, 사용 후 폐기하는 일방향 선형경제(Linear Economy)에서
소비된 자원의 회수, 폐기물 또는 재생 자원 활용 등이 극대화된 경제 체계

LINEAR ECONOMY



Energy from **finite** sources

CIRCULAR ECONOMY



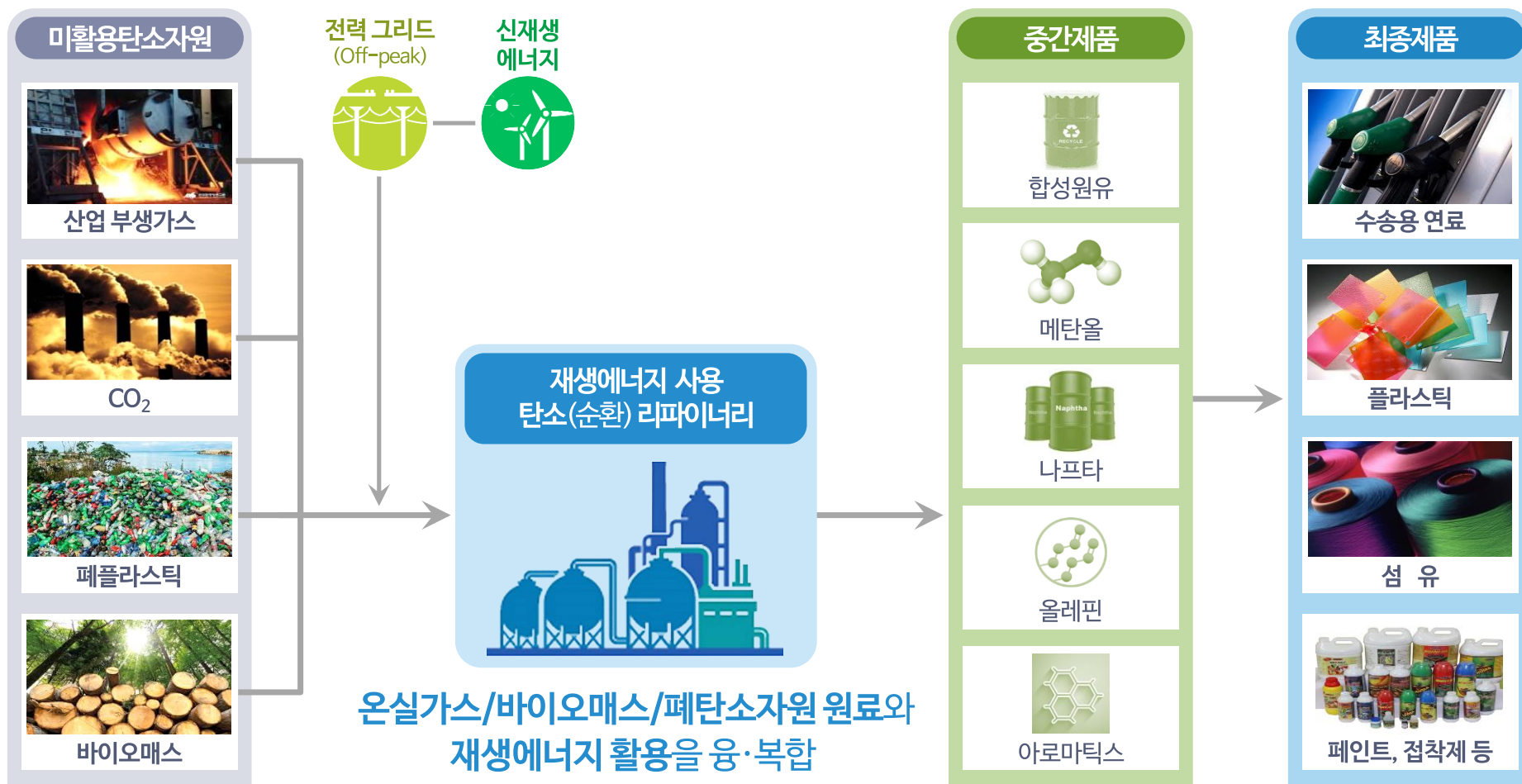
Energy from **renewable** sources

[출처: <https://sustainabilityguide.eu/sustainability/circular-economy>]

* 유럽은 순환경제 패키지 발표('15년) 및 최종 승인('18년) / * 우리나라는 자원순환기본법('18년) 제정 등 폐기물 재활용 분야를 중심으로 추진 중

4.2 순환형 탄소 리파이너리: CCU의 업그레이드

탄소자원의 순환을 극대화한 미래의 산업에 대비



4.3 순환형 탄소 리파이너리: 저탄소·탈탄소 시대 대비

온실가스 감축과 함께 경제 성장을 견인할 수 있는 융합 R&D 추진과 시장 육성을 위한 제도 보완

원천 기술 개발 추진 현황

CCS

CO₂ 포집 및 저장 처리 기술
* Korea CCS-2020 사업 ('11~'20)

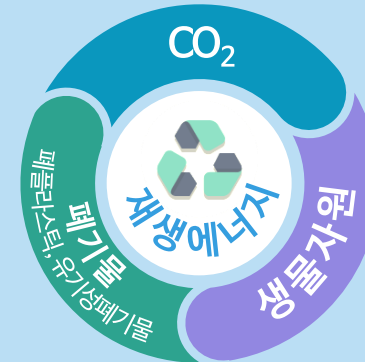
탄소 자원화

온실가스/부생가스/천연가스 활용 기술
* 차세대 탄소자원화 연구단 ('17~'21)
* 탄소자원화 범부처 프로젝트 ('17~'23)
* C1 리파이너리 사업 ('15~'23)

바이오 리파이너리

생물자원기반 연료 및 제품 생산 기술
* 차세대 바이오매스 연구단 ('10~'18)
* 기후변화대응기술개발 사업 ('09~)
바이오에너지 내역사업

탄소 순환형 융합 기술 R&D 추진



기술실증 및 시범사업 추진
온실가스 감축 효과 산정·평가 체계 구축



CCU 제품 시장 진입을 위한 제도 보완



CCU 관련 스타트업 기업 육성



감사합니다.

NGUP 차세대 탄소자원화 연구단
NEXT GENERATION CARBON UPCYCLING PROJECT