

이산화탄소 대기직접포집(DAC) 기술과 활용



Net Zero by 2050

이 수 출

2024. 07. 05

목 차

I. Direct Air Capture (DAC) 개요

II. DAC 필요성

III. DAC 기술

IV. DAC 기술 동향

V. DAC 경제성

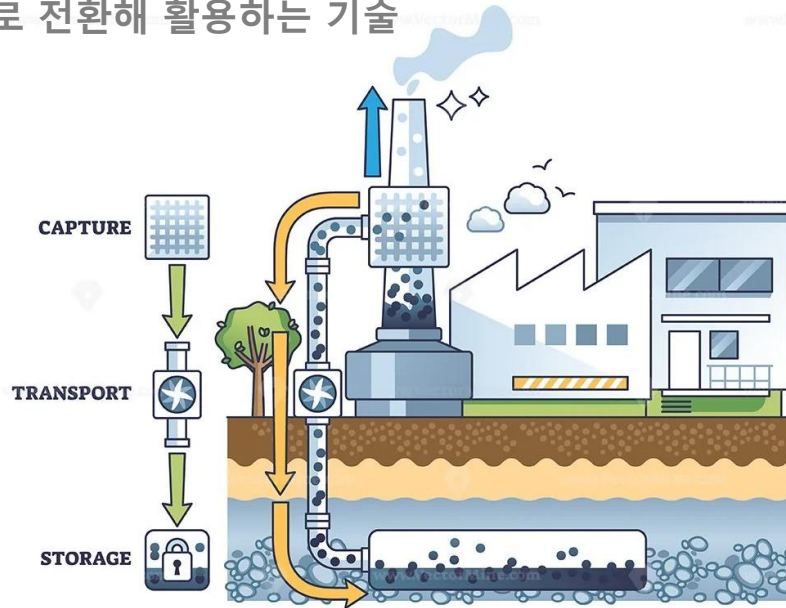


1. Direct Air Capture (DAC) 개요

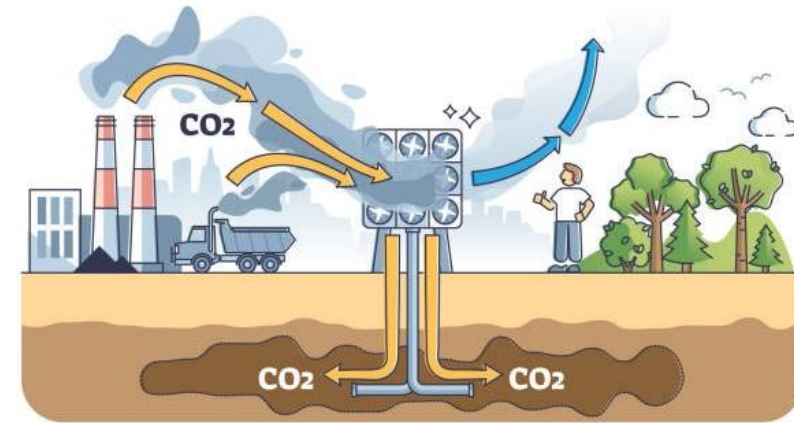
■ CCUS(Carbon Capture, Utilization, and Storage) 기술

CO₂를 포집·저장하는 CCS(Carbon Capture and Storage) 기술 및 포집·활용하는 CCU(Carbon Capture Utilization) 기술

- (CCS) CO₂가 발생하는 발전소, 시멘트 공장, 제철소 등의 배출원으로부터 CO₂를 포집해 압축하고 운반 후 지중, 해양 퇴적 암반층에 주입함으로써 대기 중으로 부터 CO₂를 격리키는 기술
- (CCU) CO₂를 다른 유용한 물질로 전환해 활용하는 기술로, 이산화탄소를 포집해 자원화 하거나 에탄올 메탄올 등 화학산업 원료 등 유용한 물질로 전환해 활용하는 기술



출처: <https://vectormine.com/>



출처: <https://www.linkedin.com/>

■ Direct Air Capture (DAC) 기술

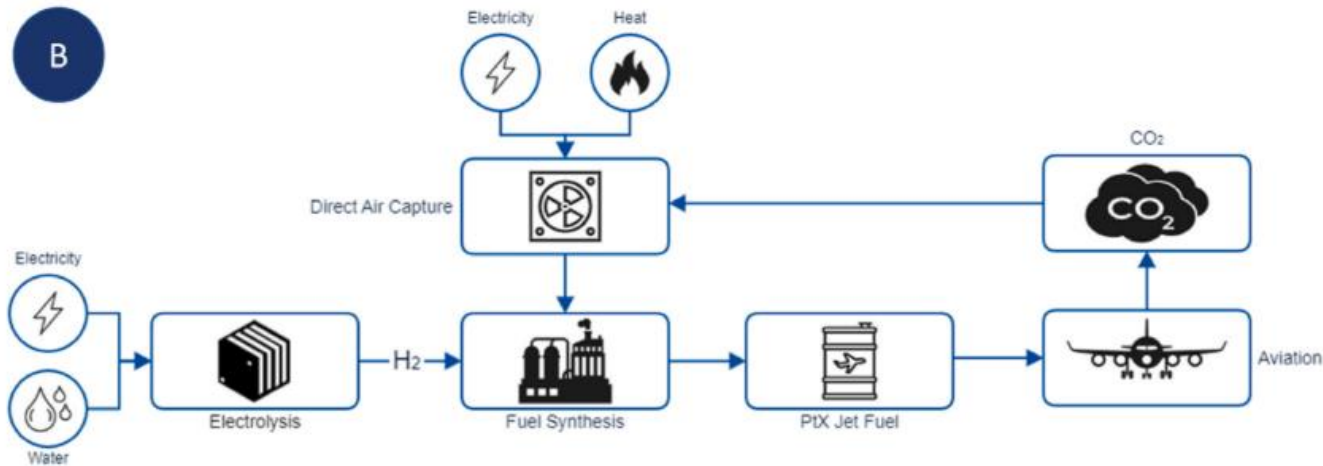
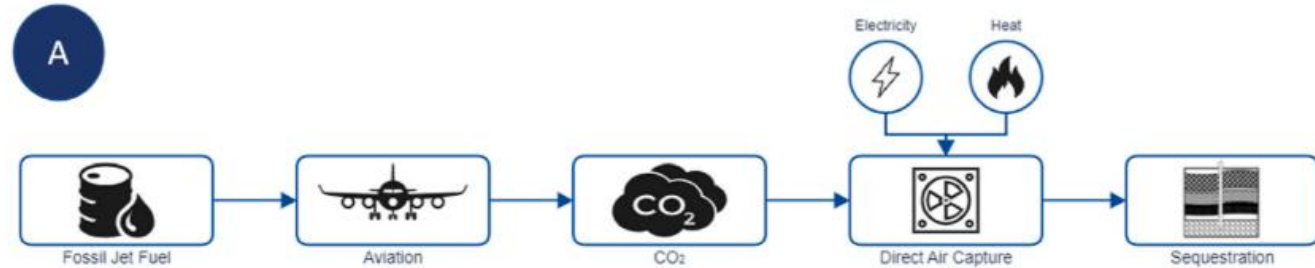
공기 중에 있는 CO₂를 포집하는 기술로 DACS와 DACU 분류할 수 있음.



1. Direct Air Capture (DAC) 개요

■ Direct Air Capture (DAC) 기술

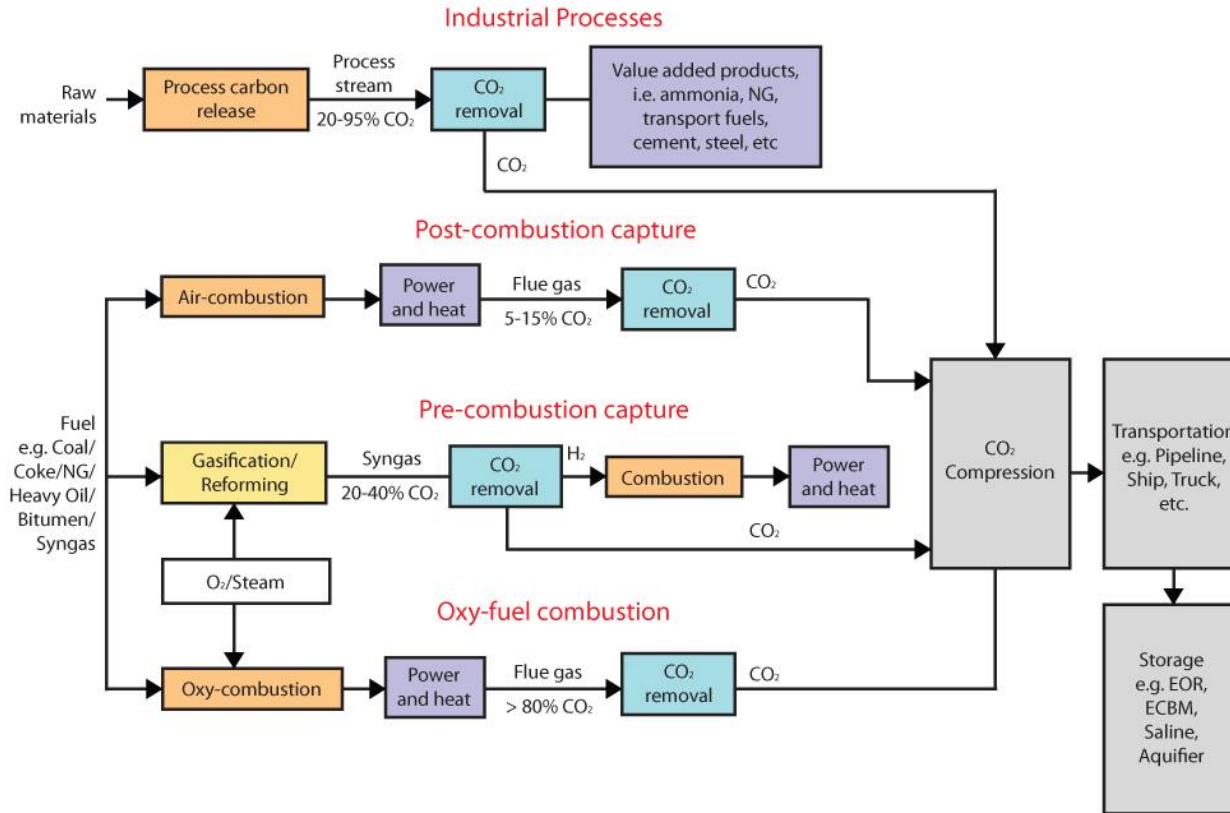
공기 중에 있는 CO_2 를 포집하는 기술로 DACS와 DACU 분류할 수 있음.



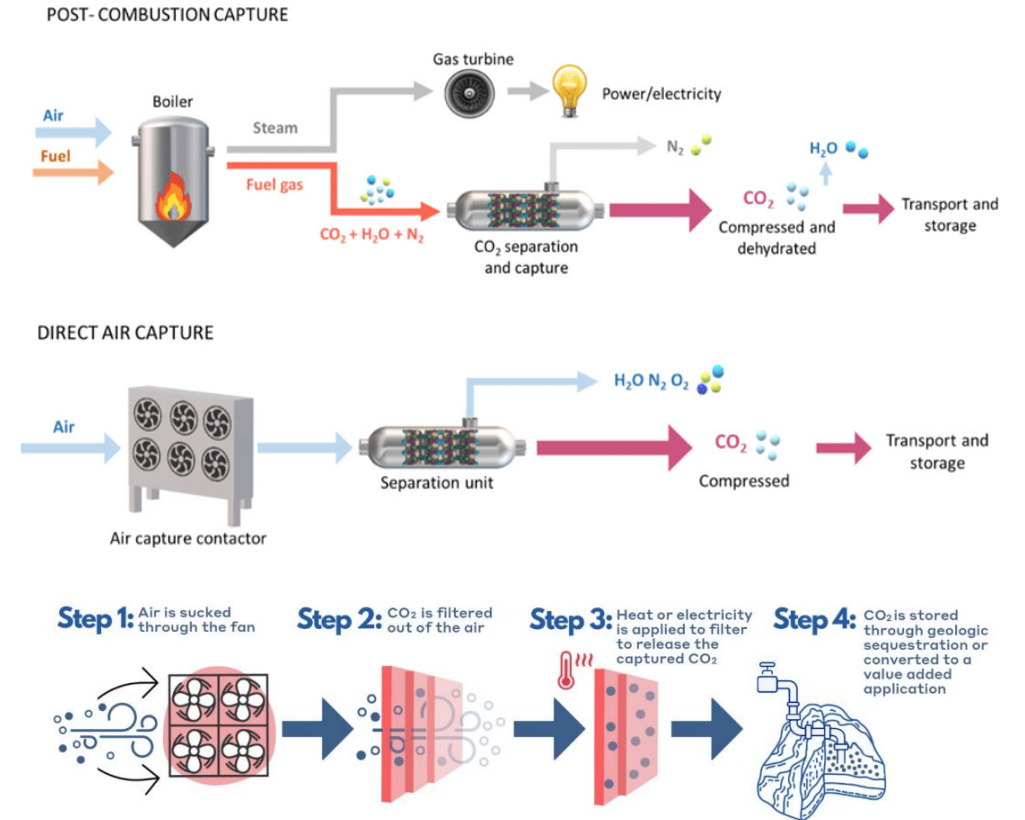
Overview of linear (A) and circular (B) uses of direct air capture in decarbonising aviation.

1. Direct Air Capture (DAC) 개요

■ CCS와 DACS 기술 비교



출처: <https://geoviridien.com/>



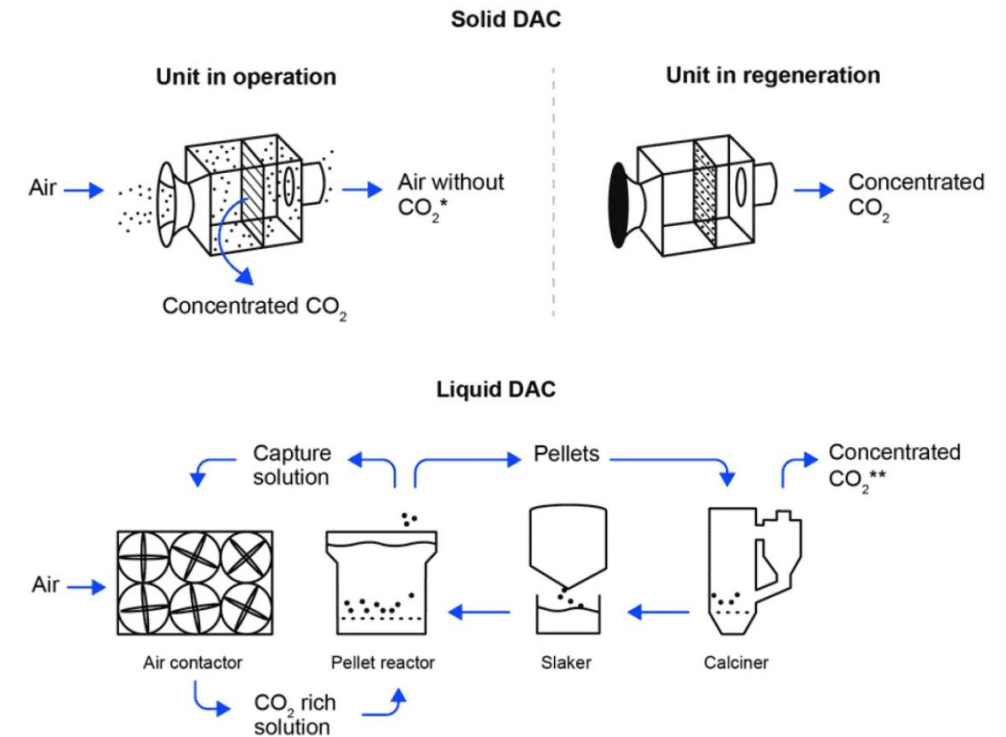
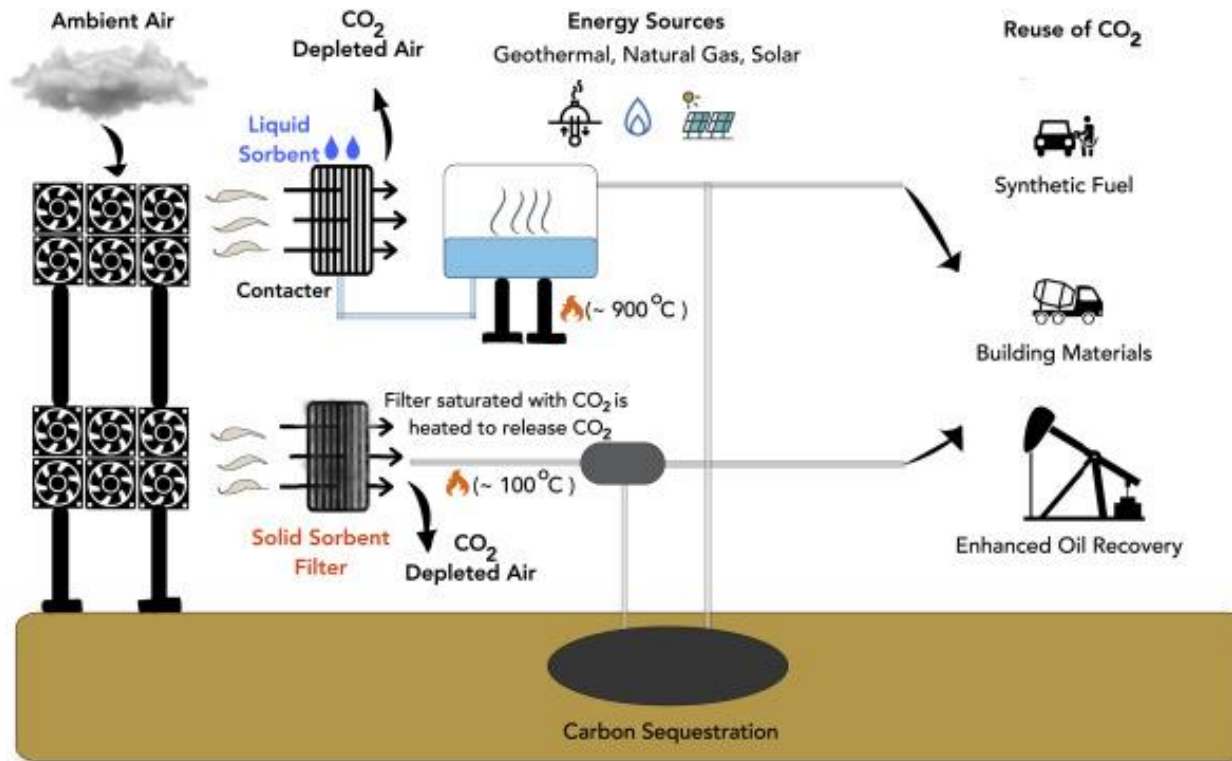
출처: <https://www.researchgate.net/>



1. Direct Air Capture (DAC) 개요

■ Direct Air Capture (DAC) 기술 개요

공기 중에 있는 CO₂를 포집하는 기술로 포집 기술은 흡수제의 종류에 따라 S-DAC와 L-DAC로 구분



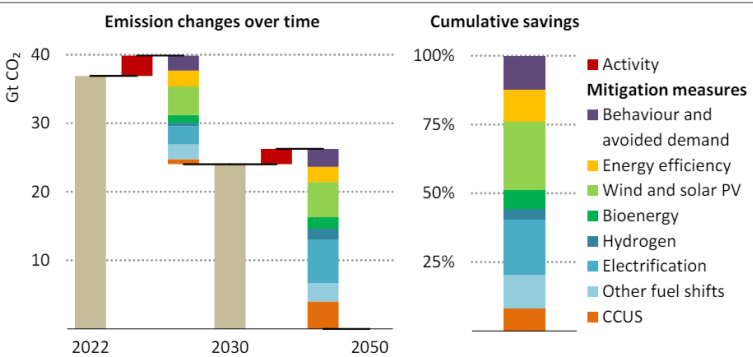
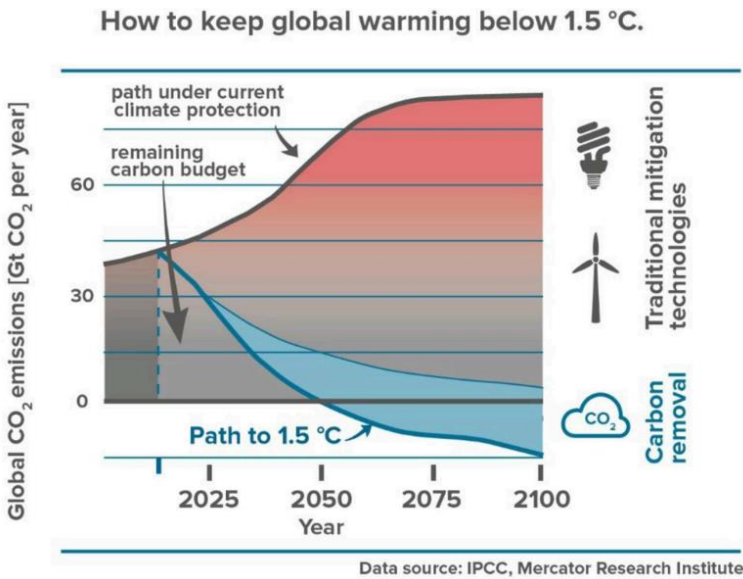
출처: <https://srrweb.cc.lehigh.edu/app/DAC>

출처: IEA, DAC 2022



2. Direct Air Capture (DAC) 필요성

■ IPCC scenarios와 IEA NZE



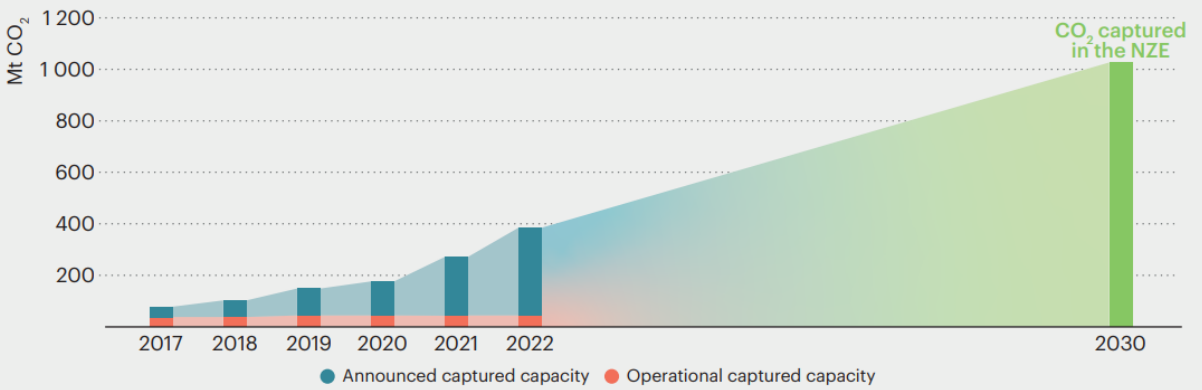
Expansion of solar PV, wind and other renewables, energy intensity improvements and direct electrification of end-uses combined contribute 80% of emission reductions by 2030

Notes: Activity = energy services demand changes from economic and population growth. CCUS includes BECCS and DACS.

출처: Net Zero Roadmap, 2023

Carbon capture, utilisation and storage

Capture capacity



Milestones	2022	2030	2035	2050
Total CO ₂ captured (Mt CO ₂)	45	1 024	2 421	6 040
CO ₂ capture from fossil fuels and industrial processes	44	759	1 712	3 736
Power	1	188	568	811
Industry	4	247	769	2 152
Merchant hydrogen	0	161	285	756
Other fuel transformation	38	163	90	17
CO ₂ capture from bioenergy	1	185	506	1 263
Power	0	44	204	438
Industry	0	23	77	232
Biofuels production	1	114	213	474
Other fuel transformation	0	5	13	121
Direct air capture	0	80	203	1 041
Total CO ₂ removed (Mt CO ₂)	1	234	632	1 710

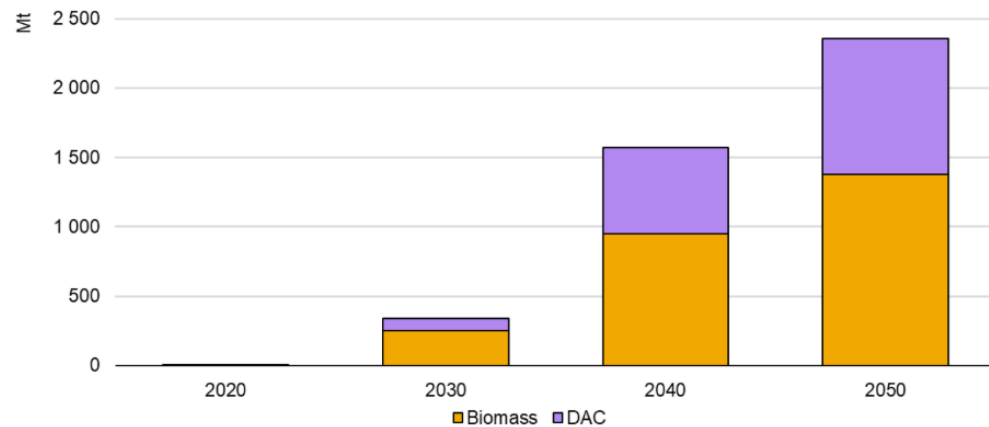
출처: Net Zero Roadmap, 2023

2. Direct Air Capture (DAC) 필요성

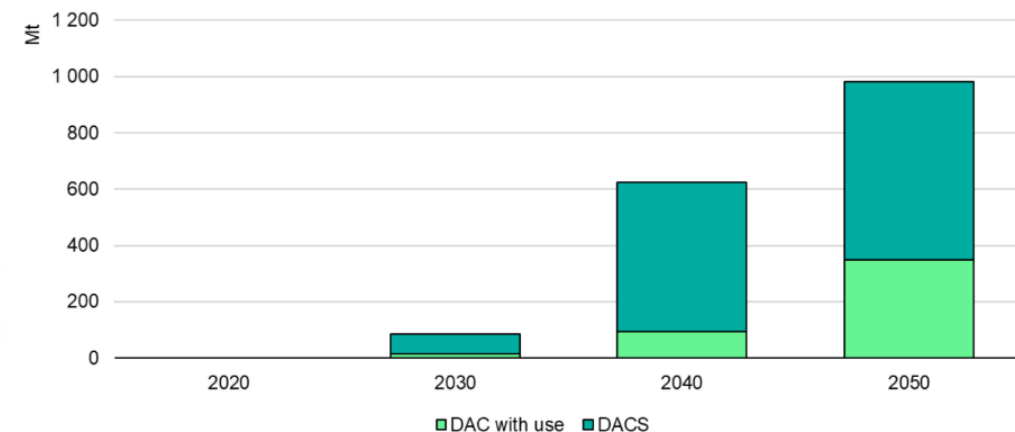
■ IEA NZE에서의 DAC의 역할

- IEA NZE를 위해서는 2030년에 DAC를 통해 90 MtCO₂/년 포집 필요 (현재 약 7,700 tCO₂/년). 2040년에는 620 MtCO₂/년, 2050년에는 980 MtCO₂/년 포집 필요.
- 2050년 DAC 통해 1 GtCO₂ 포집하기 위해서는 약 6 EJ의 저탄소 에너지가 필요, 저탄소 에너지 수요의 약 90%는 열 사용

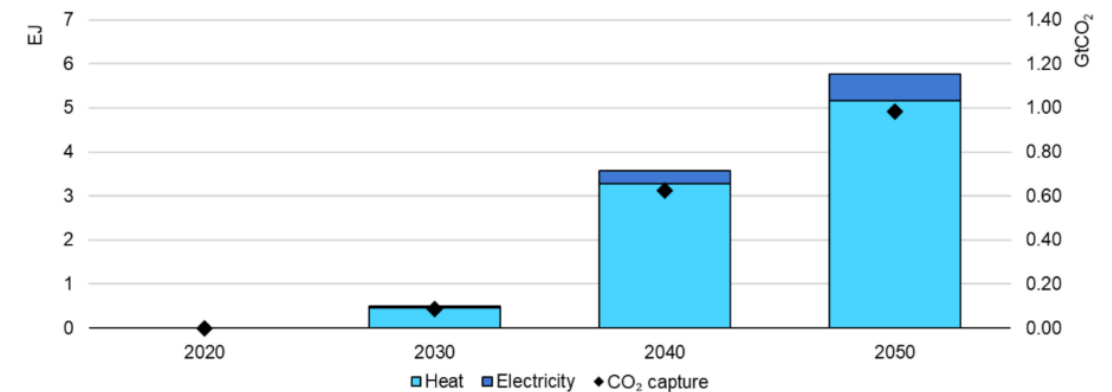
Global CO₂ capture from biomass and DAC in the Net Zero Scenario



Global CO₂ capture from DACs and DAC with use in the Net Zero Scenario



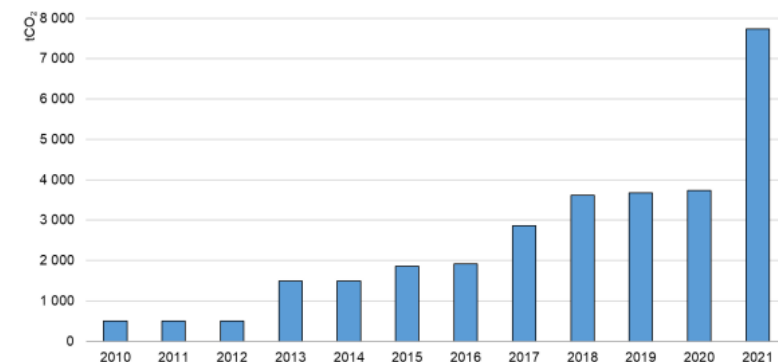
Global energy consumption (left) and CO₂ capture (right) from DAC in the Net Zero Scenario



Note: Global CO₂ capture from DAC based on the deployment of both L-DAC and S-DAC.

IEA. All rights reserved.

DAC global operating capacity, 2010-2021



IEA. All rights reserved.

출처: IEA Direct Air Capture, 2022

2. Direct Air Capture (DAC) 필요성

2050 Net Zero 달성에서 CCUS 기여도

(단위 : 백만톤CO₂eq)

구분	부문	'18년	초안			최종본		비고
			1안	2안	3안	A안	B안	
배출량		686.3	25.4	18.7	0	0	0	
배출	전환	269.6	46.2	31.2	0	0	20.7	· (A안) 화력발전 전면중단 · (B안) 화력발전 중 LNG 일부 잔존 가정
	산업	260.5	53.1	53.1	53.1	51.1	51.1	
	건물	52.1	7.1	7.1	6.2	6.2	6.2	
	수송	98.1	11.2 (-9.4)	11.2 (-9.4)	2.8	2.8	9.2	· (A안) 도로부문 전기수소차 등으로 전면 전환 · (B안) 도로부문 내연기관차의 대체연료(e-fuel 등) 사용 가정
	농축수산물	24.7	17.1	15.4	15.4	15.4	15.4	
	폐기물	17.1	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	
	수소	-	13.6	13.6	0	0	9	· (A안) 국내생산수소 전환수준 수소(그린 수소)로 공급 · (B안) 국내생산수소 일부 부생·추출 수소로 공급
	탈루	5.6	1.2	1.2	0.7	0.5	1.3	
흡수 및 제거	흡수원	-41.3	-24.1	-24.1	-24.7	-25.3	-25.3	
	이산화탄소 포집 및 활용·저장 (CCUS)	-	-95	-85	-57.9	-55.1	-84.6	
	직접공기포집 (DAC)	-	-	-	-	-	-7.4	· 포집 탄소는 차량용 대체 연료로 활용 가정

- (CCUS) 모든 에너지를 무탄소 전원으로 공급, 공정상 필요 수소는
그린수소 및 해외 도입 수소 사용

부 문	2018년	2050년	
		A안	B안
① 저장(CCS)	-	38.8	59.6
② 활용(CCU)	-	16.3	25.0
감축량	총합	55.1	84.6

- (국내) 발전·산업 분야 포집원과 유망 대륙붕 저장소를 연계한 CCS 프로젝트를
개념적으로 설계하여 도출 ⇒ 30백만톤 흡수
- (해외) 국제 공동 저장 사업이 활성화되는 환경 변화를 반영 ⇒ 30백만톤 흡수
- (화학적 전환) 포집한 이산화탄소로 유기고분자, 메탄올 등 화학제품으로
합성,윤활기유·항공유로 활용 ⇒ 10백만톤 감축 ⇒ 수소 1.0~1.6백만톤 필요
- (생물학적 전환) 화력발전소 유허지, 농업 유허지 활용 및 해양 배양, 고밀도
조류배양 등 ⇒ 5.18백만톤 감축
- (광물탄산화) 시멘트·콘크리트 양생시 활용하거나 건설자재로 활용,
탈황석고·인산석고 처리 등 ⇒ 10백만톤 감축
- (DAC) 직접공기포집을 통한 7.4 백만톤 CO₂ 제거. 포집 이산화탄소는
차량용 대체 연료로 활용

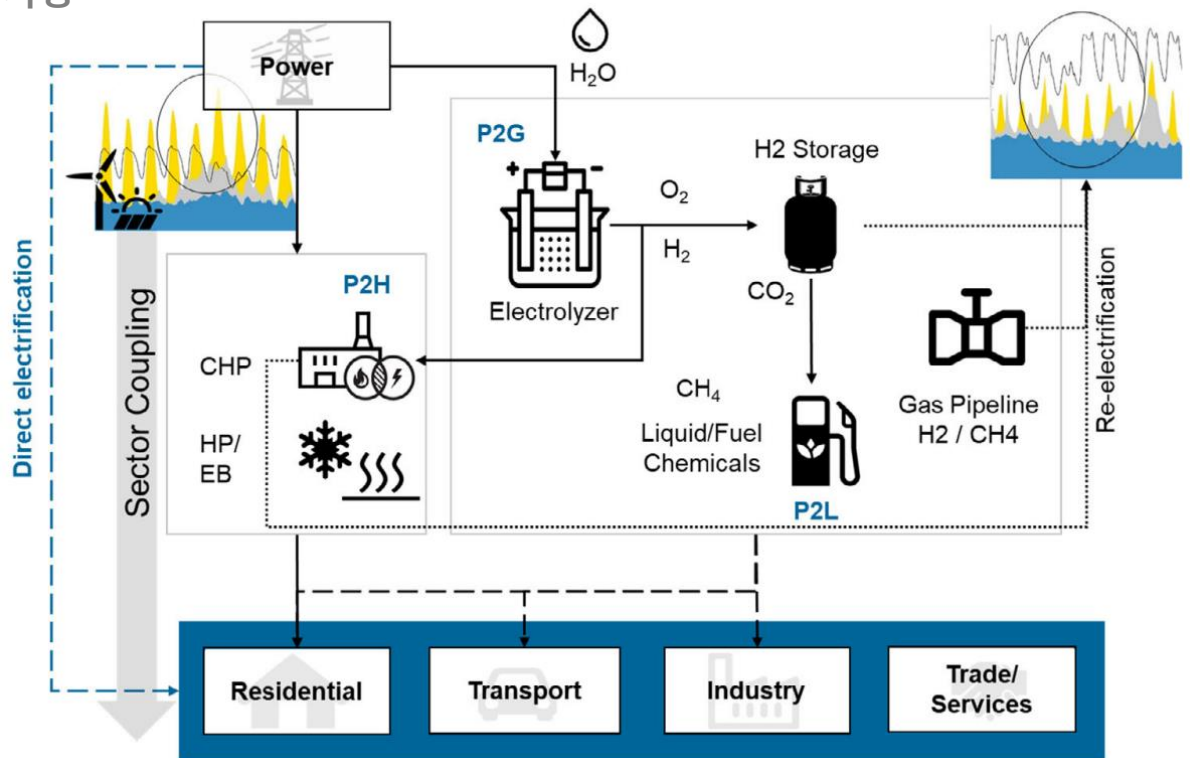
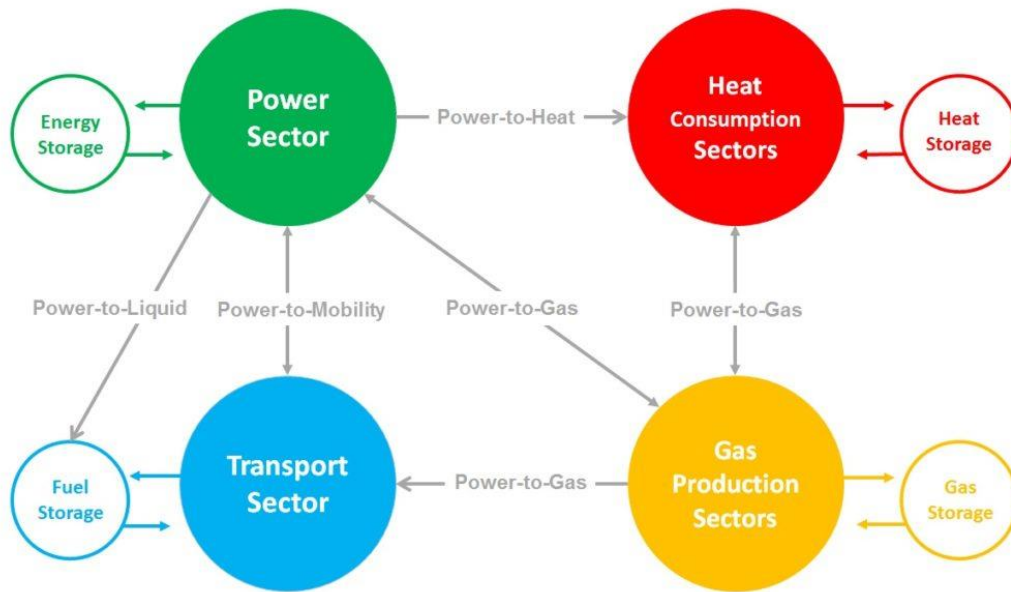


2. Direct Air Capture (DAC) 필요성

■ 섹터커플링 (Sector Coupling)_에너지 저장 및 이송

■ (정의) 가변적인 재생에너지전력을 다른 에너지의 형태로 변환하여 사용, 저장하고 부문 간 결합하는 시스템으로 'Power-to-X'로 나타냄.

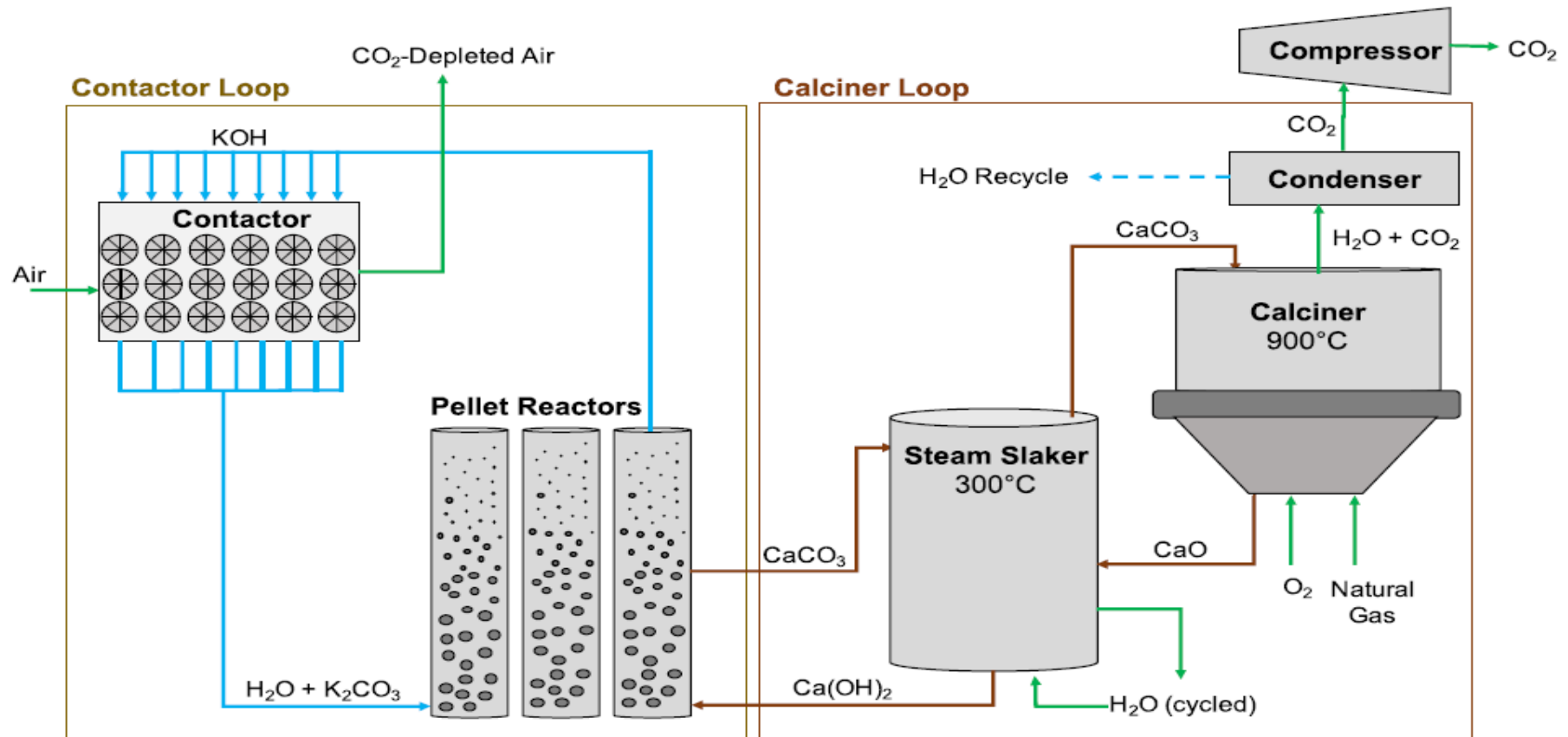
- (P2H, P2C) Power to Heat/Cooling: 전력을 히트펌프 등을 통해 열로 변환하여 사용하는 기술로 냉난방 부문을 전력화 하는 기술
- (P2M) Power to Mobility: 전력을 배터리 등에 저장하여 운송 부문을 전력화 하는 기술
- (P2G, P2L) Power to Gas/Liquids: 전기를 수전해해서 수소 및 메탄과 같은 가스·액화연료를 생산 및 저장하는 기술. 에너지 저장 시 유용하며 가스 및 액화연료 전환 후 다른 분야의 원료로 사용



3. Direct Air Capture (DAC) 기술

■ L-DAC_Carbon engineering

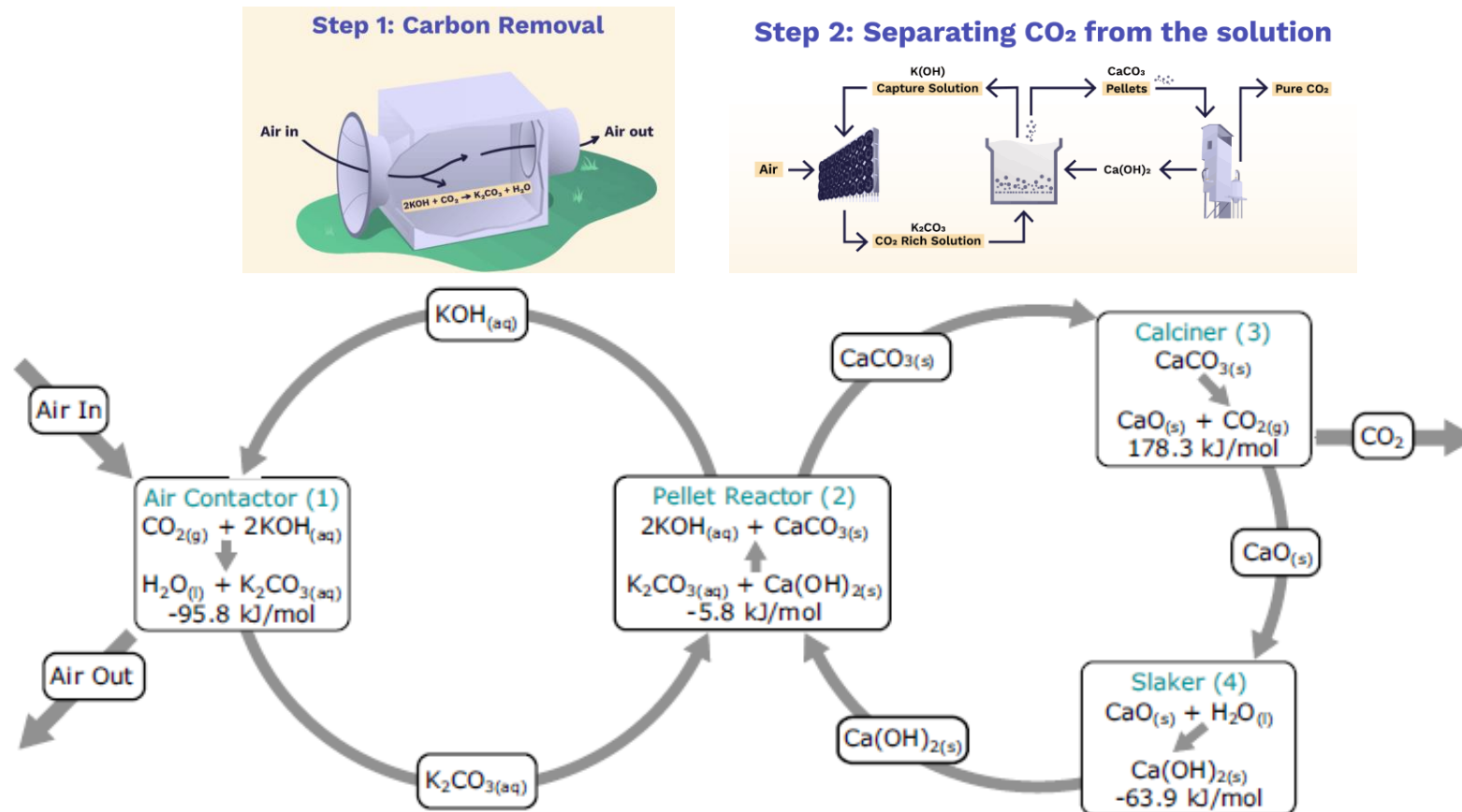
카본 엔지니어링 DAC 공정은 공기를 끌어당겨 CO_2 를 수산화칼륨 용액과 반응하는 air contactor, 수산화칼슘을 이용하여 포집된 이산화탄소를 고체 형태로 전환하는 pellet reactor, pellet을 소성하여 CO_2 를 탈착시키고 CaCO_3 를 CaO 로 전환하는 calciner, 물과 석회를 반응시켜 수산화칼슘을 생성하는 장치인 steam shaker 공정으로 구성



3. Direct Air Capture (DAC) 기술

■ L-DAC_Carbon engineering

카본 엔지니어링 DAC 공정은 공기를 끌어당겨 CO_2 를 수산화칼륨 용액과 반응하는 air contactor, 수산화칼슘을 이용하여 포집된 이산화탄소를 고체 형태로 전환하는 pellet reactor, pellet을 소성하여 CO_2 를 탈착시키고 CaCO_3 를 CaO 로 전환하는 calciner, 물과 석회를 반응시켜 수산화칼슘을 생성하는 장치인 steam shaker 공정으로 구성

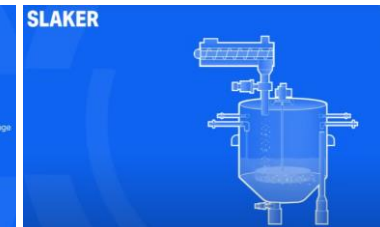
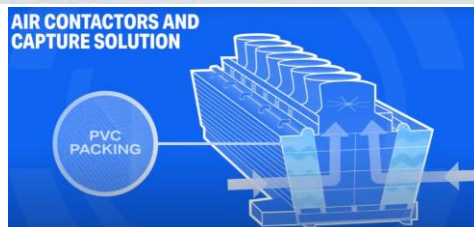
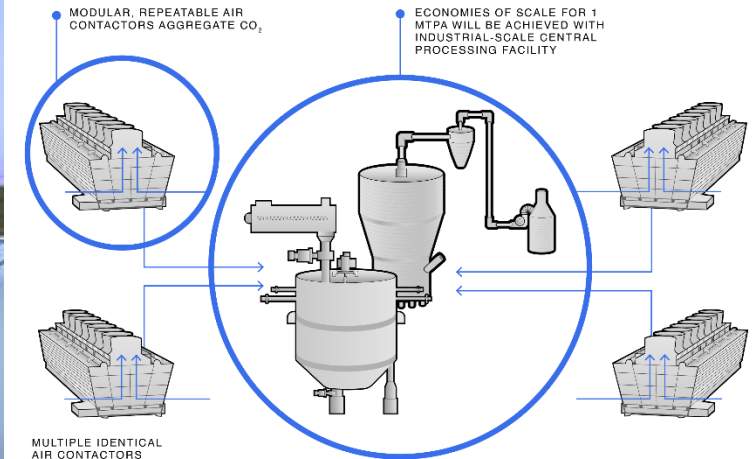


3. Direct Air Capture (DAC) 기술

■ L-DAC_Carbon engineering

2021sus Stratos 프로젝트 (1pointFive Direct Air Capture) 착공(Oxy, Carbon Engineering, Worley 프로젝트 파트너).
2025년 50만톤 CO2 포집 목표

- 1PointFive는 2035년까지 전 세계적으로 100개 이상의 DAC 시설을 배치할 시나리오를 발표



출처: <https://www.1pointfive.com/>



3. Direct Air Capture (DAC) 기술

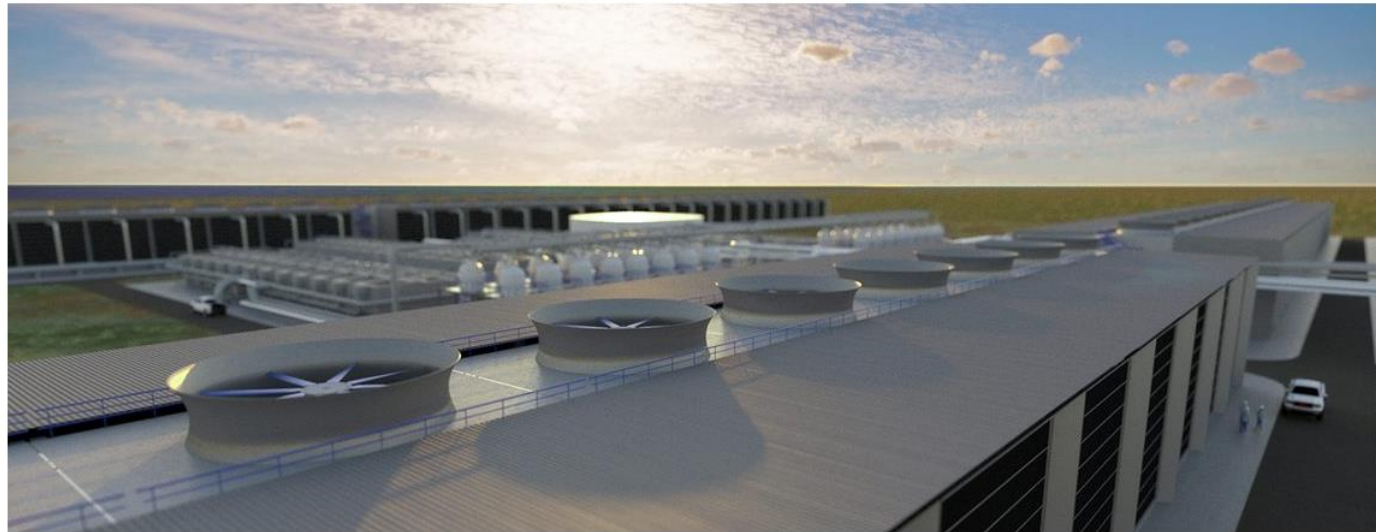
■ L-DAC_Carbon engineering

연간 대기 중 이산화탄소 50만 톤에서 100만 톤을 영구적으로 제거 가능한 대규모 DAC 시설로 스코틀랜드 북동부에 위치할 예정. 2026년 운영 목표

- 영국의 스토레가와 캐나다의 Carbon Engineering는 연간 50만 톤에서 100만 톤의 DAC 설비 설계 중

JUNE 23, 2021

Engineering begins on UK's first large-scale facility that captures carbon dioxide out of the atmosphere



출처: <https://carbonengineering.com>

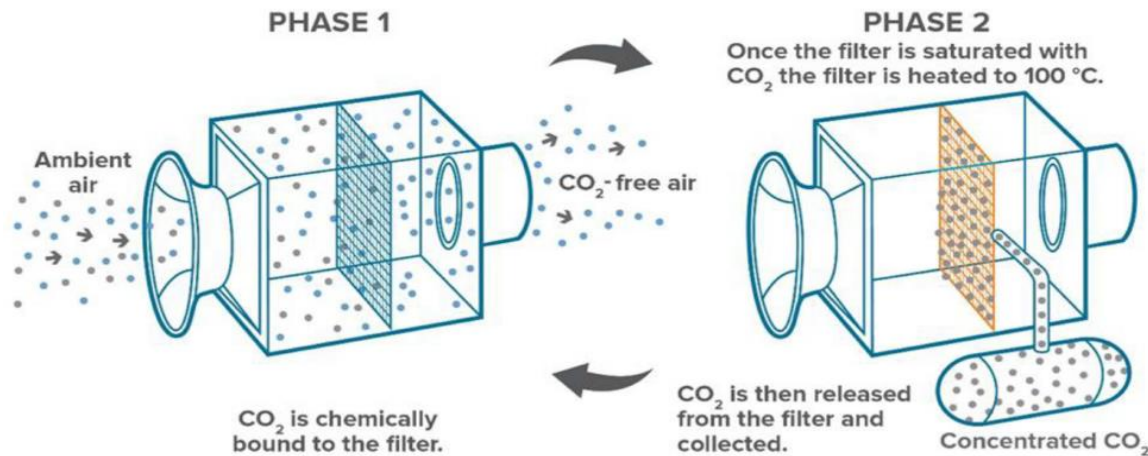


3. Direct Air Capture (DAC) 기술

■ S-DAC_Climeworks

알칼리성 또는 아민계 고체 흡착제를 이용한 흡착·탈착 공정(TVSA)이며, 대기조건에서 CO_2 를 흡착한 후 온도-진공-교대 공정(시스템 내 압력은 낮추며, $80^\circ\text{C}\sim 120^\circ\text{C}$ 까지 온도 증가)의해 CO_2 를 탈착하는 시스템임. 99.8% 순도의 CO_2 를 얻을 수 있음.

- 2017년 스위스 hinwil 지역에 세계최초로 상업용 DAC 플랜트를 건설하여 운영중에 있으며, 연간 약 900톤의 CO_2 를 포집



출처: Frontiers in climate_Direct Air Capture and Mitigation_2019.

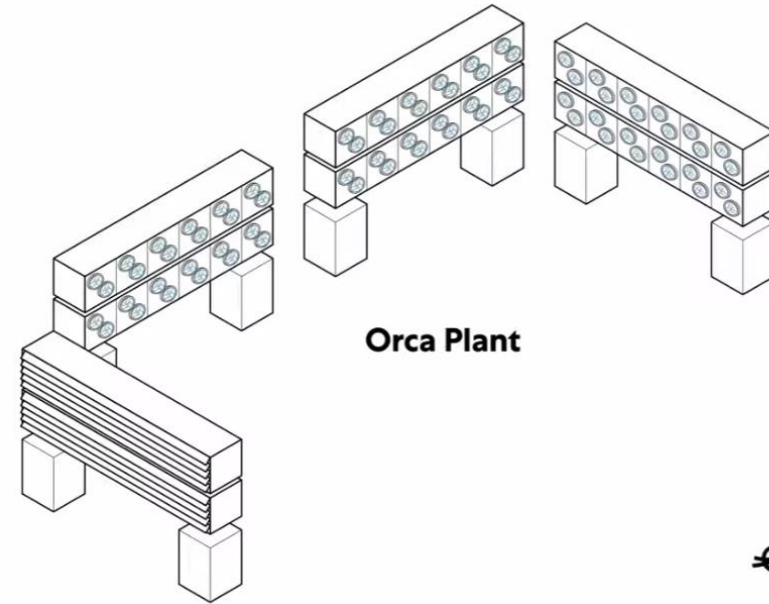


3. Direct Air Capture (DAC) 기술

■ S-DAC_Climeworks

Orca plant는 아이슬란드에 위치한 세계 최초의 대규모 이산화탄소 제거 공정. 8개의 collector container로 구성되어 있으며, 각각 연간 500 톤의 CO₂를 포집할 수 있음.

- 2021년 Iceland, Hellisheidi 지역에 세계최초로 대규모 DAC 플랜트를 건설하여 운영 중에 있으며, 연간 4,000톤의 CO₂를 포집
- 아이슬란드 풍경에 자연스럽게 통합도록 자연스러운 느낌을 주는 흙빛 색상과 천연 재료를 선택



 climeworks

출처: <https://climeworks.com/plant-orca>



Orca plant는 아이슬란드에 위치한 세계 최초의 대규모 이산화탄소 제거 공정. CO₂ 포집 용량은 4,000 ton/y 8개의 collector container로 구성되어 있으며, 각각 연간 500 톤의 CO₂를 포집할 수 있음.

- 직접 공기 포집 공정을 운영하는 데 필요한 열과 전기는 Hellisheidi 지열 발전소에서 공급
- 탈착된 CO₂는 물과 함께 혼합되어 지하 깊은 곳에 주입되어 광물화. CO₂는 현무암 암석과 반응하여 안정적인 탄산염 광물을 형성

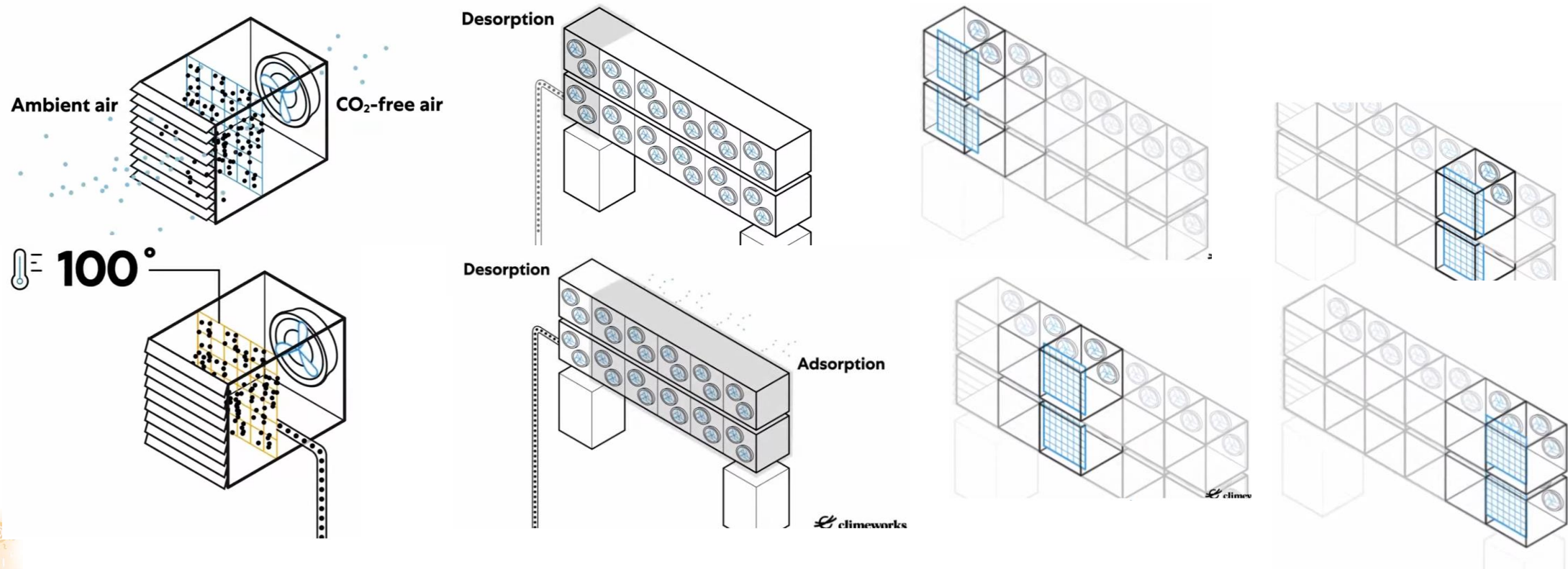


출처: <https://climeworks.com/plant-orca>

3. Direct Air Capture (DAC) 기술

■ S-DAC_Climeworks_Orca plant

Orca plant는 아이슬란드에 위치한 세계 최초의 대규모 이산화탄소 제거 공정. CO₂ 포집 용량은 4,000 ton/y
8개의 collector container로 구성되어 있으며, 각각 연간 500 톤의 CO₂를 포집할 수 있음.



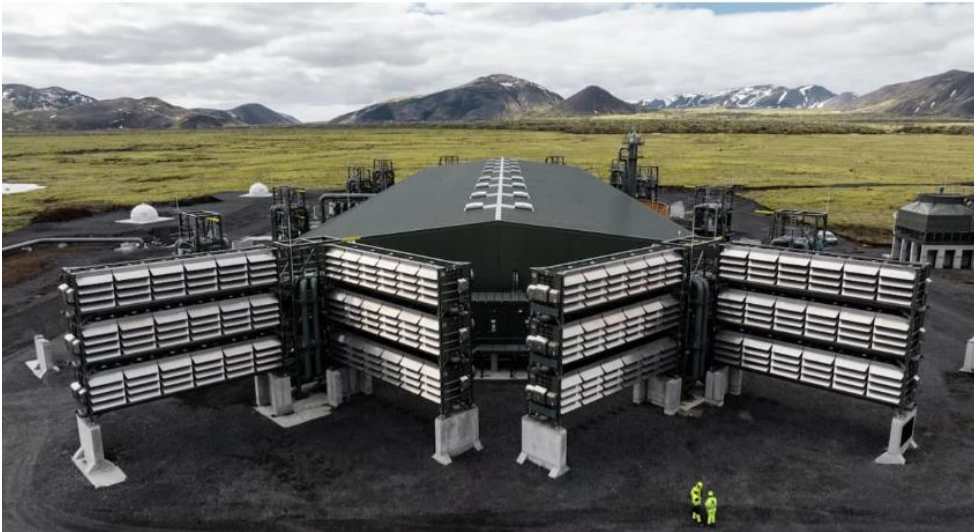
출처: <https://climeworks.com/plant-orca>

3. Direct Air Capture (DAC) 기술

■ S-DAC_Climeworks_Orca plant

북유럽 아이슬란드 헬리세이디 지열발전소 인근에 위치한 DAC(직접공기포집) 설비 '맘모스' 운영. 연간 탄소포집 규모는 3만 6,000톤. 포집시설이 창문 블라인드 모양을 띠고 있어 V자 형태로 배치되었으며, 모듈형으로 설계된 덕에 확장성 큼.

- 맘모스의 포집 규모는 클라임웍스의 첫 DAC 시설 '오르카(Orca)'보다 약 10배 더 큰 수준
- "맘모스" 시설의 가동은 2030년 메가톤(Mt·100만 톤) 단위의 포집, 2050년 기가톤(Gt·10억 톤) 규모의 포집 능력을 갖추겠다는 목표
- 아이슬란드 에너지 기업인 카브픽스는 이산화탄소를 물과 함께 탄산수 형태로 지하 800~2,000m 아래 현무암 지층에 주입. 2년안에 탄산수가 탄산염 광물로 전환되며 영구 격리
- 클라임웍스는 맘모스 시설의 톤당 포집 비용은 현재 1,000달러(약 136만원)이지만 2030년까지 톤당 포집 비용을 300~350달러(약 40만~47만원) 선까지 낮추는 것을 목표



출처: <https://climeworks.com/plant-orca>

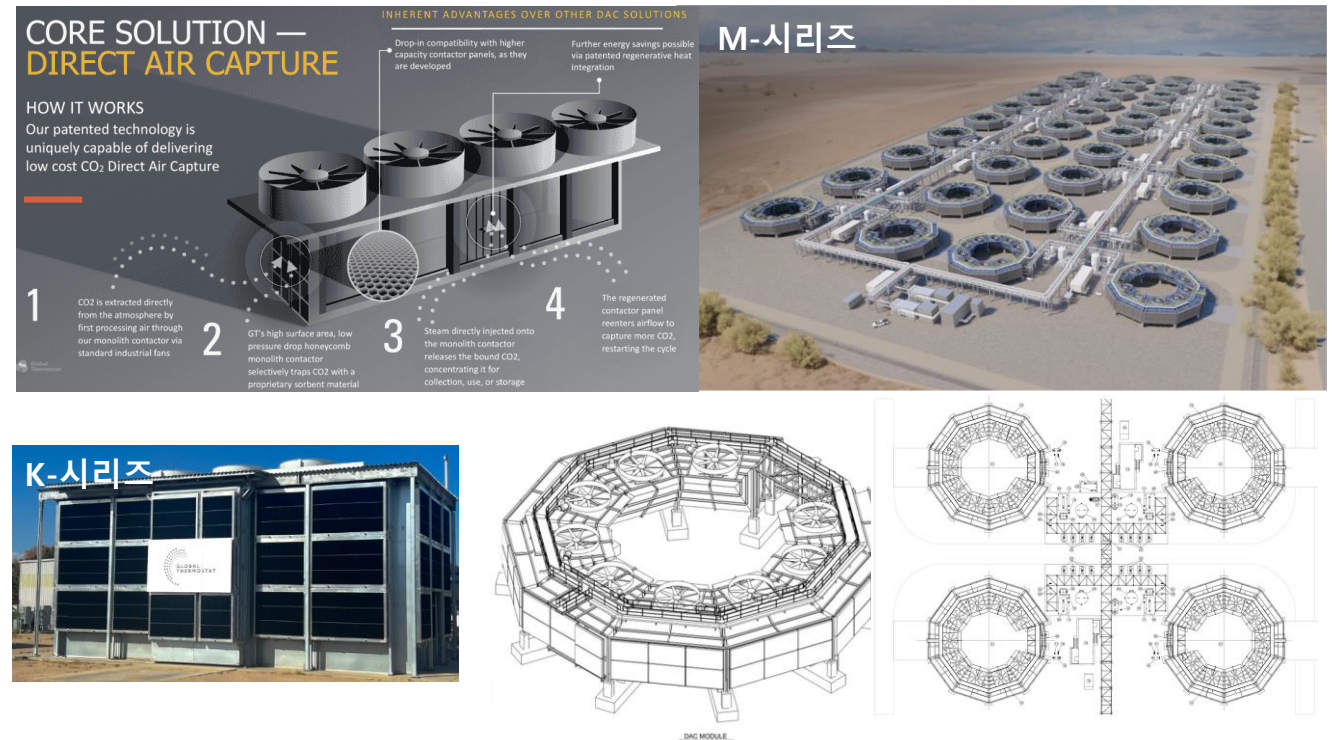
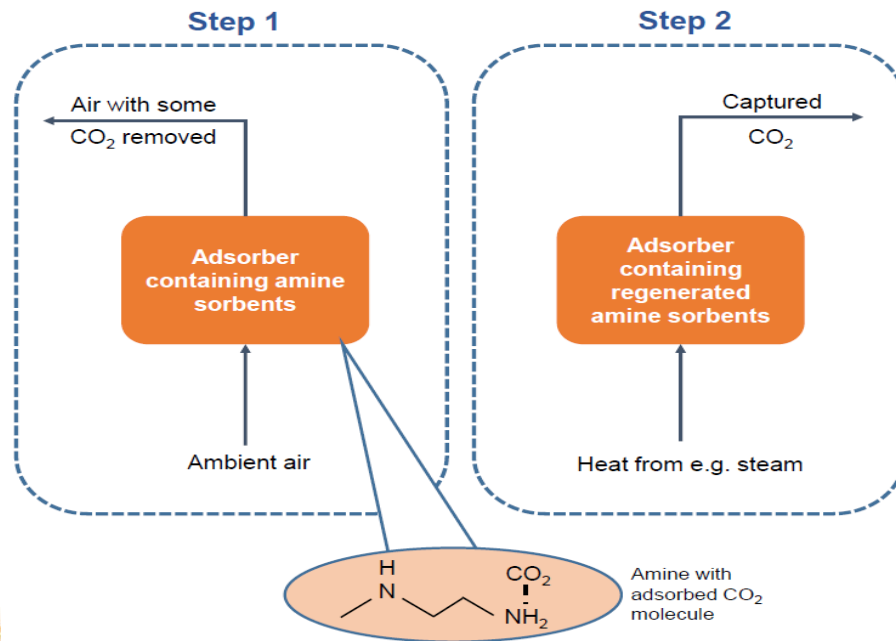


3. Direct Air Capture (DAC) 기술

■ S-DAC_Global Thermostat

다공성 벌집모양의 세라믹 모노리스(monolith)에 아민(amine) 기반 흡착제를 사용하여 CO₂를 포집하며, 약 85°C~100°C의 저온 증기를 사용하여 98%의 이산화탄소를 얻을 수 있음.

- Global Thermostat은 2022년부터 콜로라도주 덴버 근처 본사에서 킬로톤 규모의 K-시리즈 운영
- 2023년 12월 11일, 콜로라도주 커머스 시티 설치 예정인 Global Thermostat는 연간 100만 미터톤 이상의 이산화탄소를 포집할 수 있는 M-series 직접 공기 포집 설비 설계 공개



출처: One Earth Primer_Direct Air Carbon Capture and Sequestration_2019

출처: <https://www.globalthermostat.com/>

4. Direct Air Capture (DAC) 기술 동향

■ Direct Air Capture (DAC) 기술 비교

	Carbon Engineering [17, 22, 30]	Climeworks [25, 27, 28]	Global Thermostat [26, 29, 31]
Founding year	2009	2009	2010
Current scale (tCO ₂ yr ⁻¹)	~365	~1000 s	~1000
Thermal energy requirements (GJ tCO ₂ ⁻¹)	5.25	5.76	— ^a
Required temperature of thermal energy (°C)	900	80–120	Preferably 105 °C–120 °C but up to 130 °C
Electricity requirements (kWh)	366	400	— ^a
Current costs (\$ tCO ₂ ⁻¹)	—	500–600	— ^a
Projected costs (\$ tCO ₂ ⁻¹)	168–232 first-of-a-kind 94–170 ^b nth-of-a-kind	Target of 200–300 within five years and 100 within ten years ^c	— ^a
Past projects	Pilot scale plant in British Columbia capturing 0.6 t d ⁻¹	14 commercial DAC plants throughout Europe. First commercial DAC plant capturing 900 tCO ₂ yr ⁻¹ delivered to a next door greenhouse. CarbFix and CarbFix2 Projects	Pilot plant with SRI in Melano Park, CA captured roughly 1000 tCO ₂ yr ⁻¹
Future projects	Industrial scale plant with Oxy Low Carbon Ventures capturing up to 1 MtCO ₂ yr ⁻¹ slated to begin construction in 2022	Goal to remove 225 MtCO ₂ yr ⁻¹ by 2025	Two pilot scale plants with the capacity to remove 3000–4000 tCO ₂ yr ⁻¹ . Industrial scale plant construction with Exxon Mobil

Key features of S-DAC and L-DAC technology approaches

	L-DAC	S-DAC
CO ₂ separation	Liquid sorbent	Solid adsorbent
Specific energy consumption (GJ/tCO ₂)	5.5-8.8	7.2-9.5
Share as heat consumption (%)	80-100%	75-80%
Share as electricity consumption (%)	0-20%	20-25%
Regeneration temperature	Around 900°C	80-100°C
Regeneration pressure	Ambient	Vacuum
Capture capacity	Large-scale (e.g. 0.5-1 MtCO ₂ /year)	Modular (e.g. 50 tCO ₂ /year per unit)
Net water requirement (tH ₂ O/tCO ₂)	0-50	-2 to none
Land requirement (km ² /MtCO ₂)	0.4	1.2-1.7
Life cycle emissions (tCO ₂ emitted/tCO ₂ captured)	0.1-0.4	0.03-0.91
Levelised cost of capture (USD/tCO ₂)	Up to 340	Up to 540

출처: <https://climeworks.com/plant-orca>

출처: IEA, DAC 2022

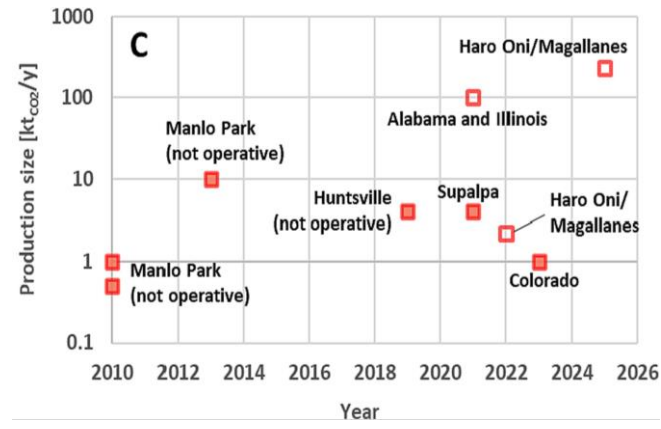
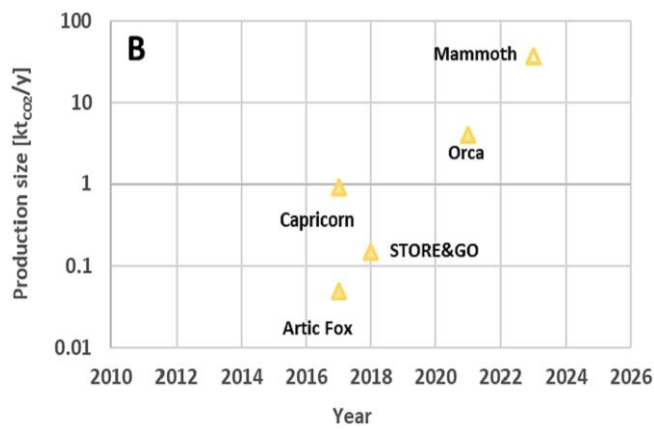
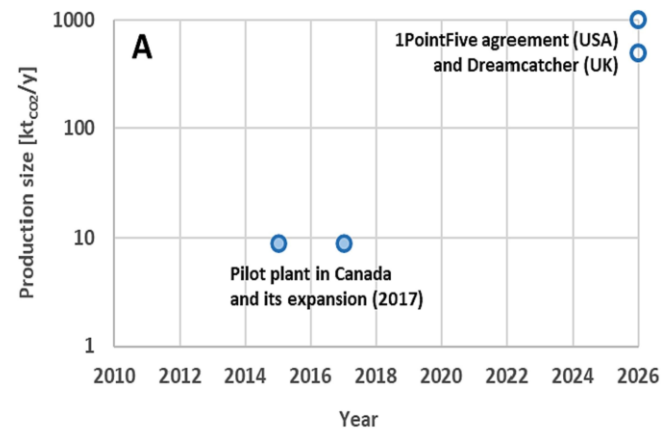


4. Direct Air Capture (DAC) 기술 동향

■ Direct Air Capture (DAC) 기술 수준 및 현황

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Climeworks										
Global Thermostat										
GreenCap										
Susteon Inc										
Kawasaki										
Average										
Carbon Engineering										
CSIRO										
Average										
Verdox										
BPMED										
MZT										
Average										

Company	Country	Sector	CO ₂ disposal	Start-up year	CO ₂ capture capacity [kt _{CO2} /y]
Global Thermostat	United States (Manlo Park)	R&D	Unknown	2013	10.0
Climeworks	Germany	Customer R&D	Use	2015	0.001
Carbon Engineering	Canada	Power-to-X	Use	2015	Up to 0.365
Climeworks	Switzerland	Power-to-X	Use	2016	0.050
Climeworks	Switzerland	Greenhouse fertilisation	Use	2017	0.900
Climeworks	Iceland	CO ₂ removal	Storage	2017	0.050
Climeworks	Switzerland	Beverage carbonation	Use	2018	0.600
Climeworks	Switzerland	Power-to-X	Use	2018	0.003
Climeworks	Italy	Power-to-X	Use	2018	0.150
Global Thermostat	United States (Huntsville)	-	-	2019	4.00
Climeworks	Germany	Power-to-X	Use	2019	0.003
Climeworks	Netherlands	Power-to-X	Use	2019	0.003
Climeworks	Germany	Power-to-X	Use	2019	0.003
Climeworks	Germany	Power-to-X	Use	2019	0.050
Climeworks	Germany	Power-to-X	Use	2020	0.050
Climeworks	Germany	Power-to-X	Use	2020	0.003
Climeworks	Germany	Power-to-X	Use	2020	0.003
Climeworks	Iceland	CO ₂ removal	Storage	2021	4.00
Global Thermostat	United States (Sapulpa)	Power-to-X	efuels	2021	4.00 (2 plants of 2 kt/y each)
Global Thermostat	Magallanes (Chile)	Power-to-X	efuels	2022	2.20



Pilot plant for solvent-DAC Carbon Engineering (A), solid-based DAC Climeworks (B), and Global Thermostat (C)

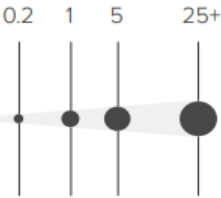


4. Direct Air Capture (DAC) 기술 동향

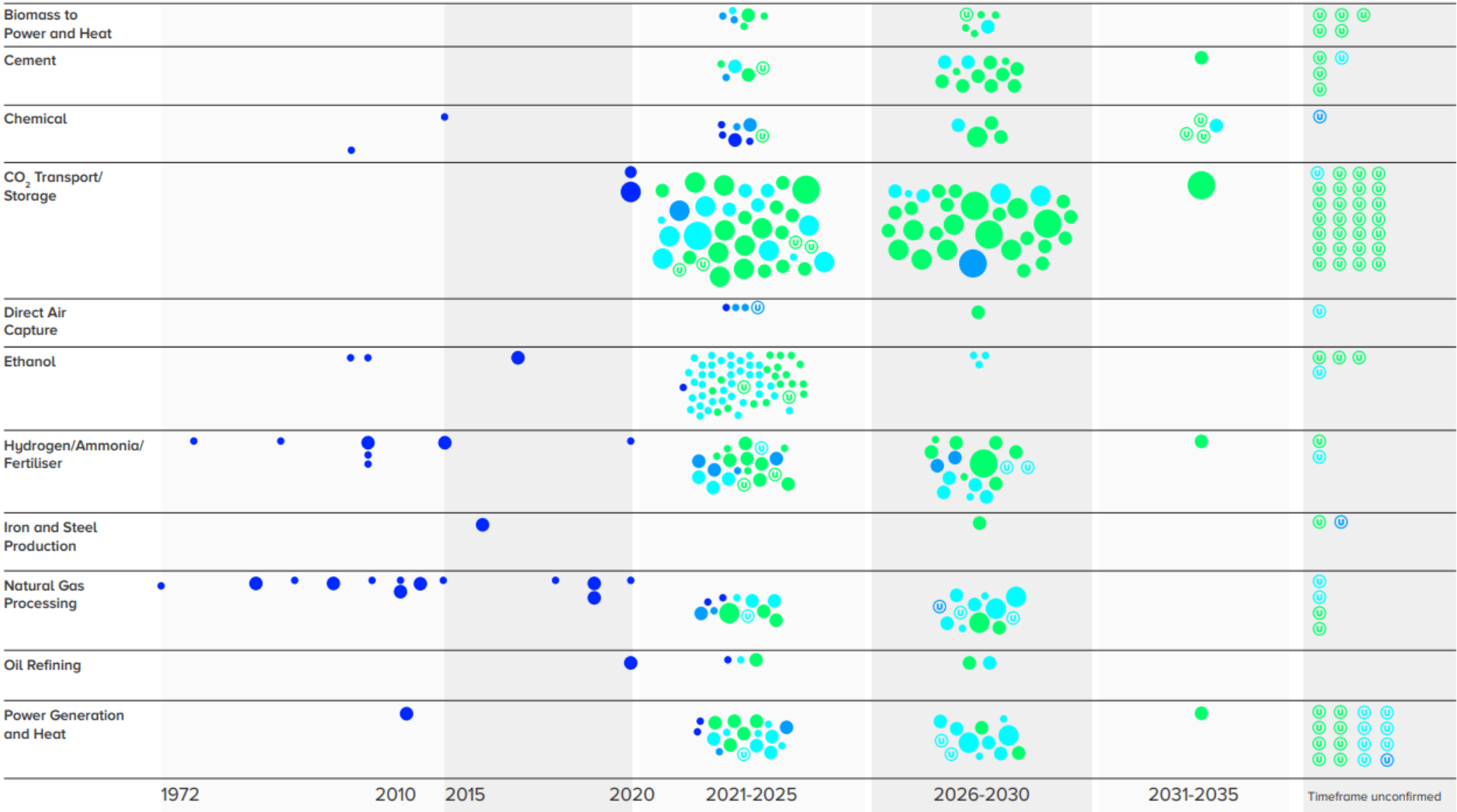
■ 2023 글로벌 대규모 CCS 현황

Figure 3.1-3:
CCS project pipeline
by industry and year
of operational
commencement.

Capture, transport
and/or storage
capacity (Mtpa CO₂)



- Early development
- Advanced development
- In construction
- Operational
- Ⓢ Under evaluation



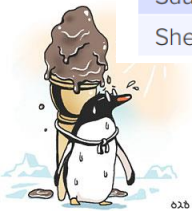
4. Direct Air Capture (DAC) 기술 동향

■ 글로벌 대규모 CCS 현황

Operational

Facility	Country	Operational date	Facility industry	Capture, transport and/or storage capacity (Mtpa CO ₂)	Facility storage code
Occidental Terrell	USA	1972	Natural Gas Processing	0.5	Enhanced Oil Recovery
Enid Fertilizer	USA	1982	Hydrogen / Ammonia / Fertiliser	0.2	Enhanced Oil Recovery
ExxonMobil Shute Creek Gas	USA	1986	Natural Gas Processing	7	Enhanced Oil Recovery
MOL Szank Field	Hungary	1992	Natural Gas Processing	0.16	Enhanced Oil Recovery
Equinor Sleipner	Norway	1996	Natural Gas Processing	1	Dedicated Geological Storage
Great Plains Synfuels Plant and Weyburn-Midale	USA	2000	Hydrogen / Ammonia / Fertiliser	3	Enhanced Oil Recovery
Core Energy CO ₂ -EOR South Chester plant	USA	2003	Natural Gas Processing	0.35	Enhanced Oil Recovery
Equinor Snohvit	Norway	2008	Natural Gas Processing	0.7	Dedicated Geological Storage
Petrobras Santos Basin Pre-Salt Oil Field	Brazil	2008	Natural Gas Processing	10.6	Enhanced Oil Recovery
Arkalon CO ₂ Compression Facility	USA	2009	Ethanol	0.5	Enhanced Oil Recovery
Longfellow WTO Century Plant	USA	2010	Natural Gas Processing	5	Enhanced Oil Recovery
Gary Climate Solutions Bonanza BioEnergy	USA	2012	Ethanol	0.1	Enhanced Oil Recovery
Yanchang Integrated Demonstration	China	2012	Chemical	0.05	Enhanced Oil Recovery
Air Products and Chemicals Valero Port Arthur Refinery	USA	2013	Hydrogen / Ammonia / Fertiliser	0.9	Enhanced Oil Recovery
Contango Lost Cabin Gas Plant	USA	2013	Natural Gas Processing	0.9	Enhanced Oil Recovery
Coffeyville Gasification Plant	USA	2013	Hydrogen / Ammonia / Fertiliser	0.9	Enhanced Oil Recovery
PCS Nitrogen Geismar Plant	USA	2013	Hydrogen / Ammonia / Fertiliser	0.3	Enhanced Oil Recovery
SaskPower Boundary Dam	Canada	2014	Power Generation and Heat	1	Enhanced Oil Recovery
Saudi Aramco Uthmaniyah	Saudi Arabia	2015	Natural Gas Processing	0.8	Enhanced Oil Recovery
Shell Quest	Canada	2015	Hydrogen / Ammonia / Fertiliser	1.3	Dedicated Geological Storage

출처: GLOBAL STATUS OF CCS 2023, GCCSI

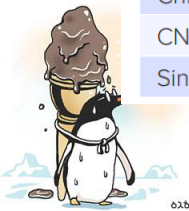


4. Direct Air Capture (DAC) 기술 동향

■ 글로벌 대규모 CCS 현황

Operational

Facility	Country	Operational date	Facility industry	Capture, transport and/or storage capacity (Mtpa CO ₂)	Facility storage code
Xinjiang Dunhua Karamay	China	2015	Chemical	0.1	Enhanced Oil Recovery
ADNOC Al-Reyadah	United Arab Emirates	2016	Iron and Steel Production	0.8	Enhanced Oil Recovery
ADM Illinois Industrial	USA	2017	Ethanol	1	Dedicated Geological Storage
CNPC Jilin Oil Field	China	2018	Natural Gas Processing	0.6	Enhanced Oil Recovery
Chevron Gorgon	Australia	2019	Natural Gas Processing	4	Dedicated Geological Storage
Qatargas Qatar LNG	Qatar	2019	Natural Gas Processing	2.2	Dedicated Geological Storage
Enhance Clive Oil Field	Canada	2020	CO ₂ Transport / Storage	1.12	Enhanced Oil Recovery
NWR Sturgeon Refinery	Canada	2020	Oil Refining	1.6	Enhanced Oil Recovery
WCS Redwater	Canada	2020	Hydrogen / Ammonia / Fertiliser	0.3	Enhanced Oil Recovery
Wolf Alberta Carbon Trunk Line	Canada	2020	CO ₂ Transport / Storage	14.6	Enhanced Oil Recovery
China National Energy Guohua Jinjie	China	2021	Power Generation and Heat	0.15	Dedicated Geological Storage
Climeworks Orca	Iceland	2021	Direct Air Capture	0.004	Dedicated Geological Storage
Sinopec Nanjing Chemical	China	2021	Chemical	0.2	Enhanced Oil Recovery
Yangchang Yan'an CO ₂ -EOR	China	2021	Chemical	0.1	Enhanced Oil Recovery
Entropy Glacier Gas Plant	Canada	2022	Natural Gas Processing	0.2	Dedicated Geological Storage
Red Trail Energy Richardton Ethanol	USA	2022	Ethanol	0.18	Dedicated Geological Storage
Sinopec Qilu-Shengli	China	2022	Chemical	1	Enhanced Oil Recovery
Yangchang Yulin CO ₂ -EOR	China	2022	Chemical	0.3	Dedicated Geological Storage
China National Energy Taizhou	China	2023	Power Generation and Heat	0.5	Enhanced Oil Recovery
CNOOC Enping	China	2023	Natural Gas Processing	0.3	Dedicated Geological Storage
Sinopec Jinling Petrochemical (Nanjing Refinery)	China	2023	Oil Refining	0.3	Enhanced Oil Recovery



4. Direct Air Capture (DAC) 기술 동향

■ 글로벌 대규모 CCS 현황

In construction

출처: GLOBAL STATUS OF CCS 2023, GCCSI

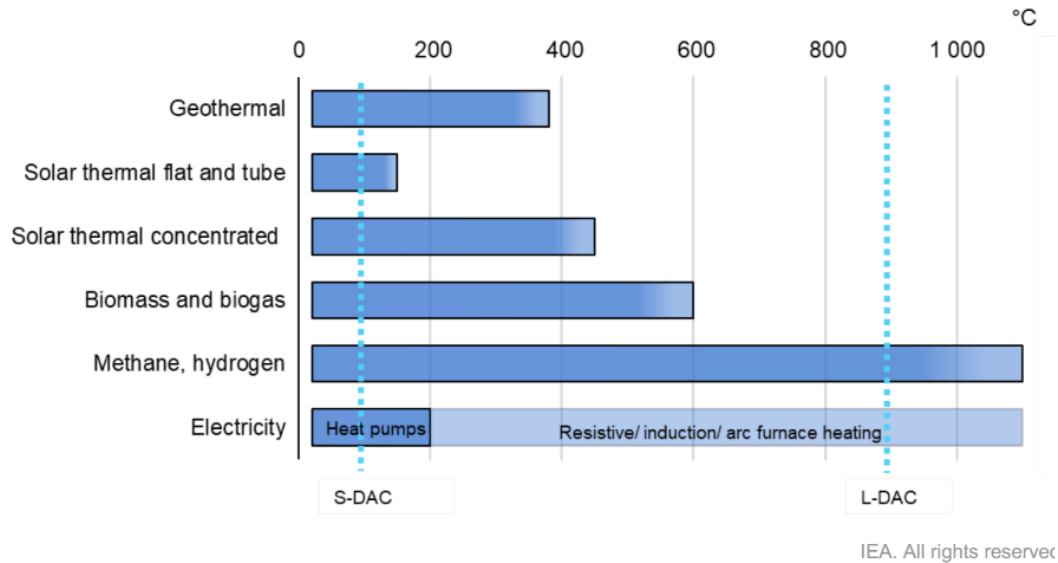
Facility	Country	Operational date	Facility industry	Capture, transport and/or storage capacity (Mtpa CO ₂)	Facility storage code
Guanghui Energy Methanol Plant	China	2023	Chemical	0.1	Enhanced Oil Recovery
Targa Red Hills natural gas processing complex	USA	2023	Natural Gas Processing	0.36	Dedicated Geological Storage
44.01 Project Hajar	Oman	2024	Direct Air Capture	Under Evaluation	Dedicated Geological Storage
Air Product Blue But Better	Canada	2024	Hydrogen / Ammonia / Fertiliser	3	Enhanced Oil Recovery
Hafslund Oslo Celsio Waste-to-Energy Plant	Norway	2024	Biomass to Power and Heat	0.4	Dedicated Geological Storage
Heidelberg Materials Brevik Cement Plant	Norway	2024	Cement	0.4	Dedicated Geological Storage
Northern Lights Transport and Storage	Norway	2024	CO ₂ Transport / Storage	1.5	Dedicated Geological Storage
Shell Energy and Chemicals Park Rotterdam	Netherlands	2024	Biomass to Power and Heat	0.38	Dedicated Geological Storage
CarbFix Mammoth	Iceland	2024	Direct Air Capture	0.03	Dedicated Geological Storage
China National Energy Ningxia	China	2024	Chemical	3	Enhanced Oil Recovery
Santos Cooper Basin	Australia	2024	Natural Gas Processing	1.7	Dedicated Geological Storage
OCI Iowa Fertiliser Company	USA	2025	Hydrogen / Ammonia / Fertiliser	0.45	Dedicated Geological Storage
CF Industries Donaldsonville	USA	2025	Hydrogen / Ammonia / Fertiliser	2	Dedicated Geological Storage
Huaneng Longdong Energy Base	China	2025	Power Generation and Heat	1.5	Dedicated Geological Storage
Linde Beaumont hydrogen plant	USA	2025	Hydrogen / Ammonia / Fertiliser	2.2	Dedicated Geological Storage
Petronas Kasawari	Malaysia	2025	Natural Gas Processing	3.3	Dedicated Geological Storage
Qatar Petroleum North Field East	Qatar	2025	Natural Gas Processing	2.1	Under Evaluation
Silverstone	Iceland	2025	Power Generation and Heat	0.03	Dedicated Geological Storage
STRATOS (1PointFive Direct Air Capture)	USA	2025	Direct Air Capture	0.5	Dedicated Geological Storage
Air Products and Chemical Louisiana Clean Energy Complex	USA	2026	Hydrogen / Ammonia / Fertiliser	5	Dedicated Geological Storage
QAFCO Ammonia-7 Blue Ammonia Facility	Qatar	2026	Hydrogen / Ammonia / Fertiliser	1.5	Dedicated Geological Storage
CapturePoint Solutions Central Louisiana Regional Carbon Storage (CENLA) Hub	USA	2027	CO ₂ Transport / Storage	10	Dedicated Geological Storage
Energy Transfer Haynesville Gas Processing (CENLA Hub)	USA	2027	Natural Gas Processing	Under Evaluation	Dedicated Geological Storage
Baotou Steel	China	Under Evaluation	Iron and Steel Production	0.5	Dedicated Geological Storage
Xinjiang Jinlong Shenwu	China	Under Evaluation	Power Generation and Heat	0.2	Enhanced Oil Recovery
Yulin Integrated Coal-to-Liquification	China	Under Evaluation	Chemical	4	Enhanced Oil Recovery



5. Direct Air Capture (DAC) 경제성

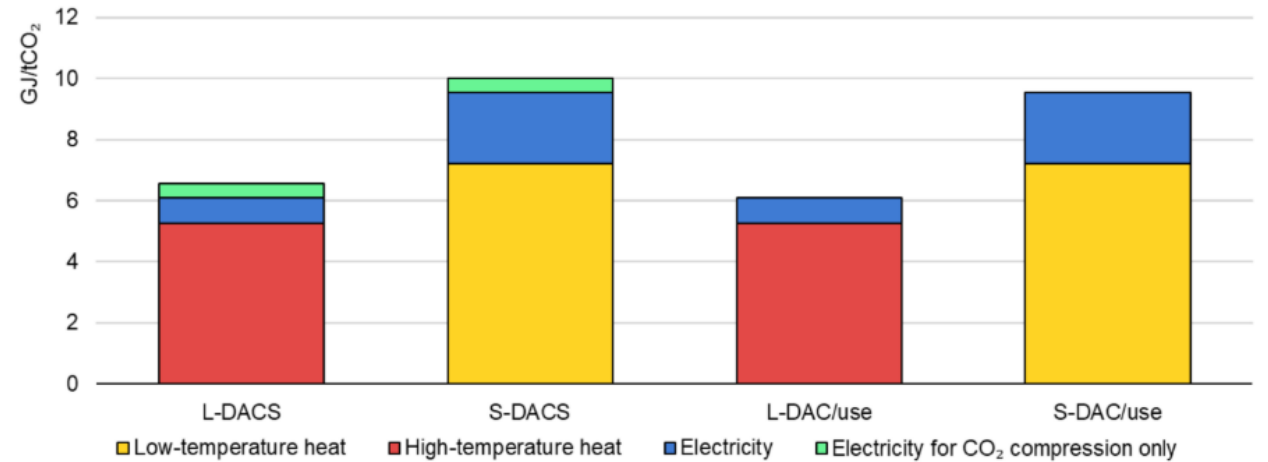
■ Direct Air Capture (DAC) 운영 온도 및 에너지 소모량

Operating temperature for various heat-generating technologies



Notes: The vertical dashed lines indicate the maximum operating temperatures for S-DAC and L-DAC respectively.
Sources: IEA (2019), [Renewables 2019](#).

Energy needs of DACs and DAC with CO₂ use by technology and CO₂ destination



IEA. All rights reserved.

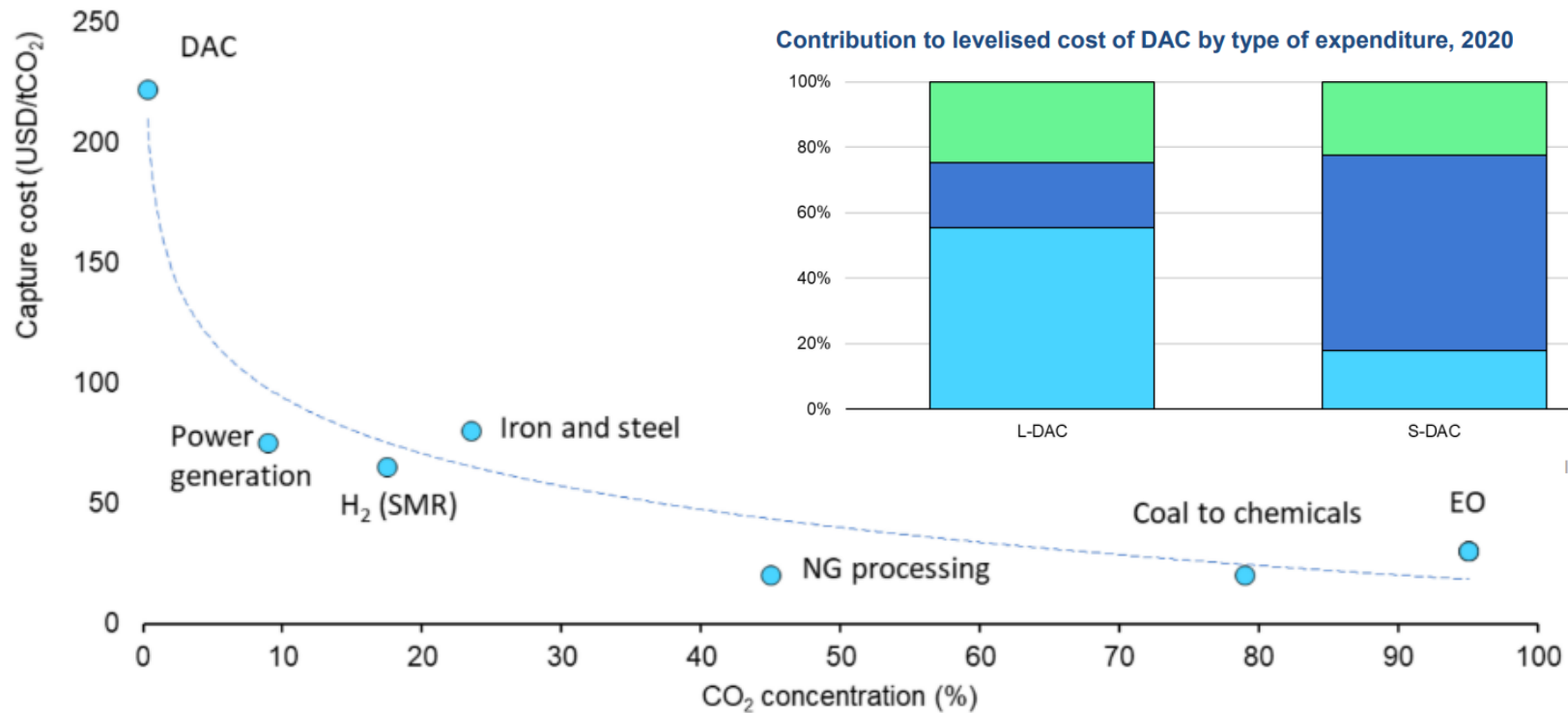
출처: IEA, DAC 2022



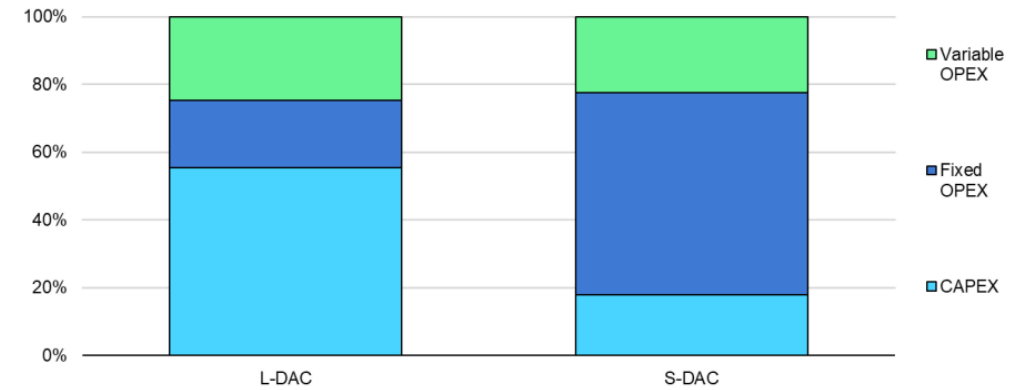
5. Direct Air Capture (DAC) 경제성

■ CCS 및 DAC 비용

CO₂ capture cost at varying CO₂ concentrations, 2020



Contribution to levelised cost of DAC by type of expenditure, 2020



IEA. All rights reserved.

IEA. All rights reserved.

Notes: Average values by application. H₂ = hydrogen; SMR = steam methane reforming; NG = natural gas; EO = ethylene oxide. The empirical trend line shows the correlation between capture cost and CO₂ concentration.



Thank You !



Net Zero by 2050



E-mail: soochool@knu.ac.kr

휴대폰: 010-2552-2885