

<https://carboncredits.com/how-direct-air-capture-works-and-4-important-things-about-it/>

## Direct Air Capture 의 작동 원리(및 4 가지 중요 사항)



DAC(Direct Air Capture)는 정부와 기업이 기후 변화에 대처하기 위해 사용하는 핵심 기술 중 하나입니다.

기후 변화에 대한 최신 IPCC 보고서에 따르면 탄소 배출 활동과는 별개로 지구 온난화를 임계 1.5로 제한하는 것은 DAC 기술을 사용합니다.

그렇다면 이것은 어떻게 작동하고, 상위권 3 개의 Direct Air Capture 회사는 어디이며, 배출량을 감소하는 데 DAC 이 어떤 역할을 할까요?

이 가이드는 Direct Air Capture 가 어떻게 작동하는지에 대한 방식을 이해할 수 있도록 도와줍니다. 또한 기후 변화를 위한 투쟁에서 DAC 에 대해 알아야 할 네 가지 중요한 사항을 설명해줍니다.

## **DAC: 이산화탄소 제거 기술**

여러분은 지구 대기의 이산화탄소를 양동이처럼 생각할 수 있고 이제 그 양동이 안은 가득 차버렸습니다. 그 양동이가 넘치지 않도록 (또는 지구 온난화를 한계점 이하로 유지하기 위해), 온실가스 배출량을 줄여야 합니다.

많은 기후 운동가들에게 이산화탄소 제거(CDR)는 이산화탄소 버킷을 가득 채울 수 마지막 희망인 것 같습니다. 이는 엄청난 배출량 감축 노력과 함께 파리협정을 구체화하는 데 도움이 될 것입니다.

탄소 제거 경로에는 특히 Direct Air Capture 기술의 개발이 포함됩니다. 비록 DAC 만으로는 세계를 1.5°C 아래로 유지하지는 못하겠지만, 대기 중에 버려지는 배출량의 일부를 배출하는 데 도움이 될 수 있습니다.

이 CDR 기술은 이번 10 동안 순 배출 제로 도달의 열쇠이기 때문에 주목받고 있습니다. 따라서, 여러분은 DAC 를 가장 자주 듣게 될 것이며 DAC 가 어떻게 작동하고 무엇에 관한 것인지 궁금해할 가능성이 더 높아질 것입니다.

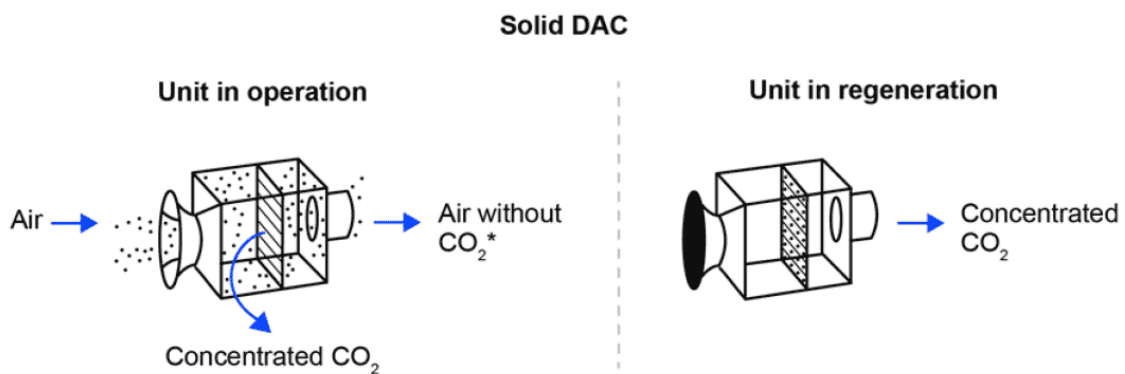
## **Direct Air Capture 작동 방식(고체 vs 액체 DAC)**

간단히 말해서 direct air capture 기술은 팬을 통해 공기를 빨아들입니다. 그런 다음 공기에서 이산화탄소를 흡수하는 물질을 통과합니다.

현재 대기로부터 이산화탄소를 포집하는 데 사용되는 두 가지 기술 접근법이 있습니다: **고체 DAC** 와 **액체 DAC**. 지금까지 DAC 운영사 중 최대 규모인 클라임웍스는 고체 필터를 사용합니다.

• **고체 DAC 기술(S-DAC)은 CO<sub>2</sub> 와 결합하는 고체 흡착 필터를 사용합니다. 이러한 필터에 공기가 가득 차면 팬을 수용하는 장치가 닫히고 가열됩니다. 일단 가열되면 필터는 저장 또는 사용을 위해 포집된 CO<sub>2</sub> 를 방출합니다.**

S-DAC 플랜트는 모듈식 설계로 제공되며 필요한 만큼 많은 유닛을 포함할 수 있습니다. 예를 들어, 가장 큰 규모의 S-DAC 플랜트는 연간 4,000 톤의 이산화탄소를 포집합니다. 아래 이미지는 고체 direct air capture 프로세스의 작동 방식을 보여줍니다.

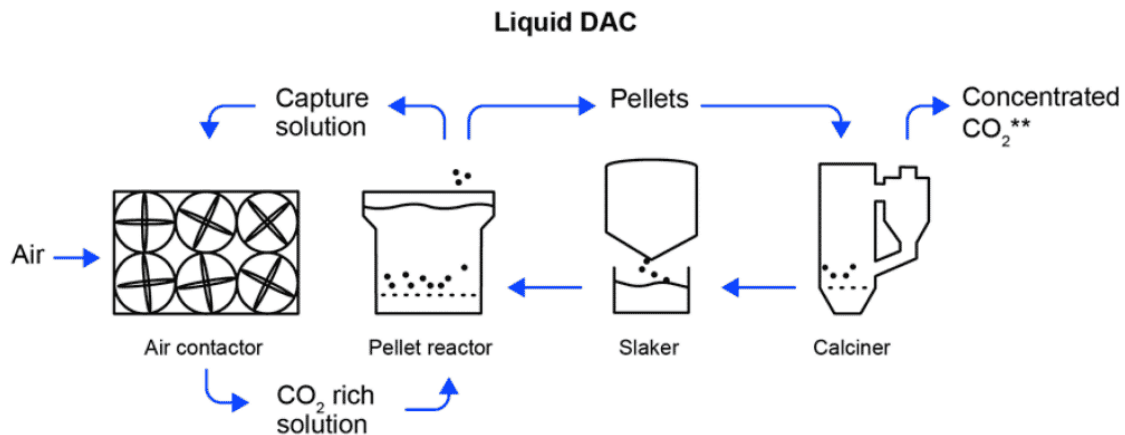


Air is drawn into the collector where the CO<sub>2</sub> is captured by a filter.  
Once the filter is saturated, the collector is closed and heated to release the captured CO<sub>2</sub> (regeneration).  
\* Very low CO<sub>2</sub> concentration.

반면, 액체 DAC 기술(L-DAC)은 수산화칼륨과 같은 화학 용액을 사용하여 이산화탄소를 끌어 들이는데, L-DAC 는 두 개의 닫힌 화학 루프를 기반으로 합니다.

첫 번째 루프는 공기를 수산화칼륨과 접촉시키는 접촉기 유닛에서 발생합니다. 두 번째 루프는 고온(300°C - 900°C)에서 작동하는 일련의 유닛에서 포집된 이산화탄소를 용액에서 방출합니다.

다음 그림은 L-DAC 기술이 작동하는 방식을 보여줍니다.



The capture solution reacts with the CO<sub>2</sub> in air to form a carbonate salt.  
 The salt is separated into small pellets that are then heated in a calciner to release the CO<sub>2</sub> in pure gas form.  
 Processed pellets are hydrated in a slaker and recycled back into the capture solution.  
 \*\* May include CO<sub>2</sub> captured from the energy used in the process as well as from the air.

L-DAC 플랜트는 연간 약 1 MtCO<sub>2</sub>를 포집 할 수 있습니다. Carbon Engineering은 이러한 종류의 direct air capture 프로세스를 사용하고 있습니다.

- 각 DAC 기술은 고유한 기능을 가지고 있지만, 둘 다 대기중의 이산화탄소를 제거할 수 있는 잠재력을 가지고 있습니다. 포집된 이산화탄소는 영구적으로 저장될 수도 있고, 탄소 중립 제품의 원료가 될 수도 있습니다.

게다가, 두 DAC 옵션 모두 작동하기 위해서 광대한 토지가 필요하지 않으며 서로 다른 온도에서 작동합니다. 대규모 작업(L-DAC)은 물론 소규모지만 모듈식 확장 가능한 작업(S-DAC)에도 적합합니다.

이 표는 두 개의 DAC 기술 접근 방식 간의 주요 기능을 구분합니다.

	S-DAC	L-DAC
CO <sub>2</sub> separation	Solid adsorbent	Liquid sorbent
Specific energy consumption (GJ/tCO <sub>2</sub> )	7.2-9.5	5.5-8.8
Capture capacity	Modular (e.g. 50 tCO <sub>2</sub> /year per unit)	Large-scale (e.g. 0.5-1 MtCO <sub>2</sub> /year)
Net water requirement (tH <sub>2</sub> O/tCO <sub>2</sub> )	-2 to none	0-50
Land requirement (km <sup>2</sup> /MtCO <sub>2</sub> )	1.2-1.7	0.4
Life cycle emissions (tCO <sub>2</sub> emitted/tCO <sub>2</sub> captured)	0.03-0.91	0.1-0.4
Levelised cost of capture (USD/tCO <sub>2</sub> )	Up to 540	Up to 340

아래 표는 이러한 DAC 기술 사용의 주요 장점과 단점을 비교한 것입니다.

	S-DAC	L-DAC
Main advantages	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Possible net water production</li> <li>• Less capital-intensive</li> <li>• Modular</li> <li>• Operation can rely on low-carbon energy only</li> <li>• Novel and therefore more likely to see cost reduction</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Less energy-intensive</li> <li>• Large-scale capture</li> <li>• Operation relies on commercial solvents</li> <li>• Technology adapted from existing commercial units</li> </ul>
Main trade-offs	<ul style="list-style-type: none"> <li>• More energy-intensive</li> <li>• Manual maintenance required for adsorbent replacement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• More capital-intensive</li> <li>• Relies on natural gas combustion for solvent regeneration (with potential for full electrification in the future)</li> </ul>

## DAC 에 대해 알아야 할 4 가지 필수 사항

이산화탄소 제거 계획의 증가가 예상됨에 따라, 점점 더 많은 사람들이 DAC 에 대한 다른 중요한 사항들을 요구하고 있습니다.

예를 들어, Direct Air Capture 기술은 많은 비용이 드나요? 대표적인 기업은 어디인가요? 순 배출 제로 목표를 달성하는 데 DAC 의 역할은 무엇이며 누가 DAC 에 투자하고 있나요?

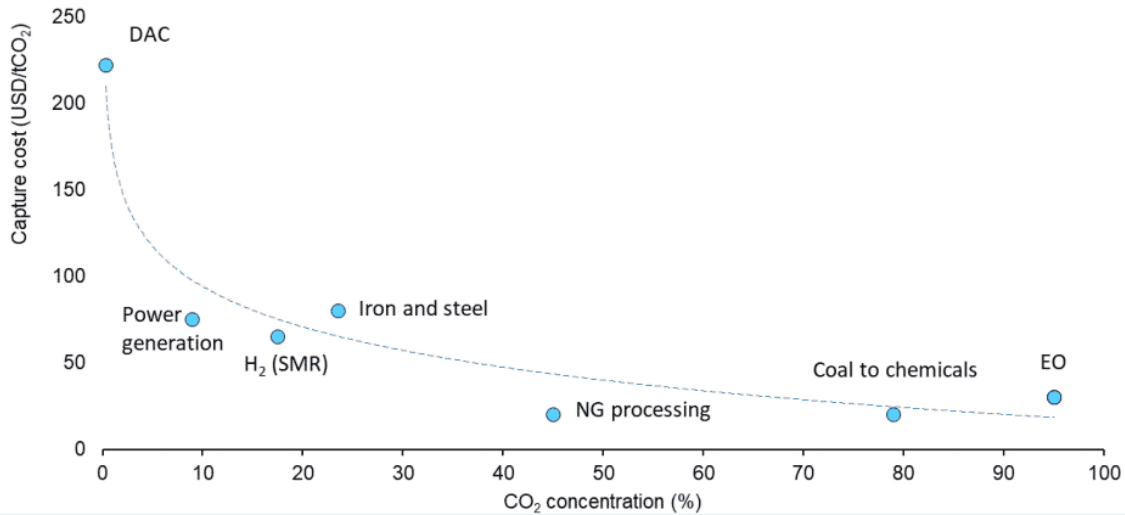
각 질문에 대해 하나씩 풀어보도록 하겠습니다.

## Direct Air Capture 비용

대기중의 이산화탄소를 포집하는 것은 포인트 소스에서 포집하는 것보다 더 많은 비용이 듭니다. 왜냐하면 대기 중의 이산화탄소가 발전소의 연도 가스보다 훨씬 더 희박하기 때문입니다. 이로 인해 다른 CDR 기술에 비해 DAC 의 에너지 요구량과 비용이 높아집니다.

다음은 이산화탄소 농도에 따른 이산화탄소 톤당 Direct Air Capture 비용입니다.

CO<sub>2</sub> capture cost at varying CO<sub>2</sub> concentrations, 2020



출처: IEA, 2022

**DAC 기술은 아직 대규모로 보여지지 않았기 때문에 비용이 불확실합니다. 포집 비용 추정치는 200 달러/t 에서 700 달러/t 까지 다양합니다.**

상위 DAC 기술 기업의 비용 추정치는 다양하지만 L-DAC 의 경우 \$95~\$230/tCO<sub>2</sub>, S-DAC 의 경우 \$100 ~ \$600/tCO<sub>2</sub> 입니다. 실제 DAC 비용은 다음과 같은 몇 가지 사항에 따라 달라집니다.

- 기술 선택,
- DAC 플랜트의 CAPEX(자본비용)
- 에너지원,

- 탄소 가격,
- DAC 구축 규모

이러한 모든 요인은 Direct Air Capture 를 통한 탄소 제거의 지역 비용에 영향을 미칩니다.

지역적 차원에서 CAPEX 은 유럽과 미국보다 중국, 중동, 러시아 및 북아프리카에서 더 낮을 가능성이 높습니다. 왜냐하면 세계안에서 그 지역들은 더 저렴한 재료들과 낮은 가스 가격을 형성하고 있기 때문입니다.

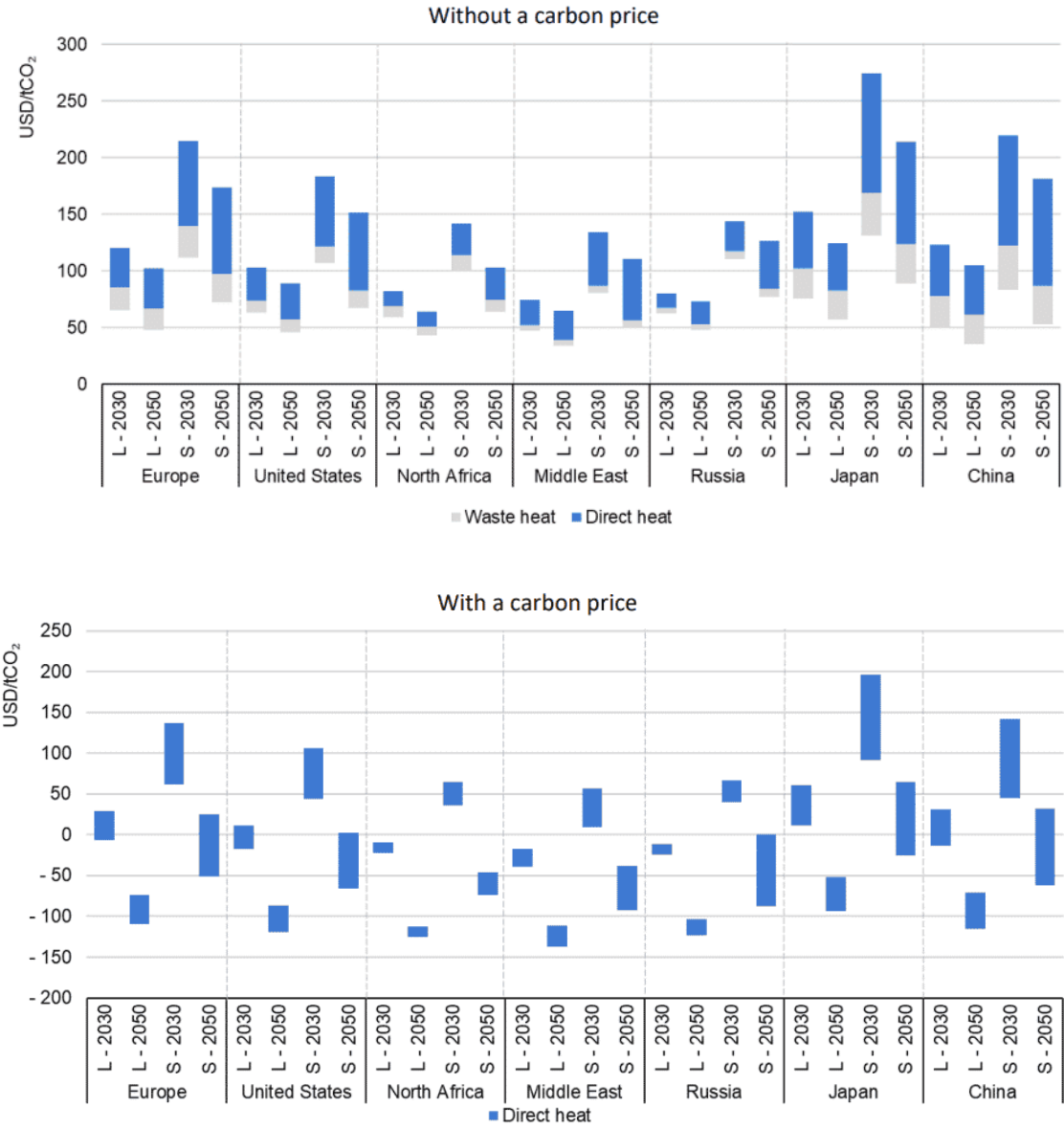
반면 이산화탄소의 가격은 다른 지역보다 유럽, 미국, 일본(최대 **\$250/tCO<sub>2</sub>**)이 더 높을 것입니다.

그러나 그래프에서 볼 수 있듯이 DAC 비용은 2020-2030 년 동안 31-43%, 2030-2050 년 동안 10-24% 감소할 것으로 보입니다. 이는 DAC 의 상당한 비용 절감 잠재력 때문입니다.

특히 실적 개선 가능성도 높습니다. 또한, 기후 위기에 대한 정책 대응으로 대규모 DAC 구축이 있을 것입니다.



**Levelised cost of capturing carbon by DACS technology for selected regions, 2030 and 2050**



출처: IEA, 2022

세금과 같은 탄소 가격이 없다면, 모든 지역은 **\$100/tCO<sub>2</sub>** 미만으로 대기중에서 직접 이산화탄소를 포집 할 수 있습니다. 당연히 중동은 **\$50/tCO<sub>2</sub>** 미만의 DAC 비용을 누릴 수 있습니다. 낮은 CAPEX, 낮은 천연가스 가격 및 낮은 전기 가격 덕분입니다.

한편, 2050년 탄소 가격이 250 달러/tCO<sub>2</sub>면 모든 지역에서 DAC가 수익을 낼 수 있습니다. DAC 발전소가 열 및 재생 에너지(태양광 PV 또는 육상 및 해상 풍력)로부터 전력을 공급받는 경우입니다.

글로벌 DAC 규모 구축에서 Net Zero 시나리오에 따른 CAPEX 비용은 2030년에 최대 49-65%, 2050년에는 65-80%까지 크게 감소할 수 있습니다.

**• 따라서, 높은 재생 가능 에너지원과 전기 및 열을 위한 최고의 DAC 기술은 총 direct air capture 비용을 줄일 수 있습니다.**

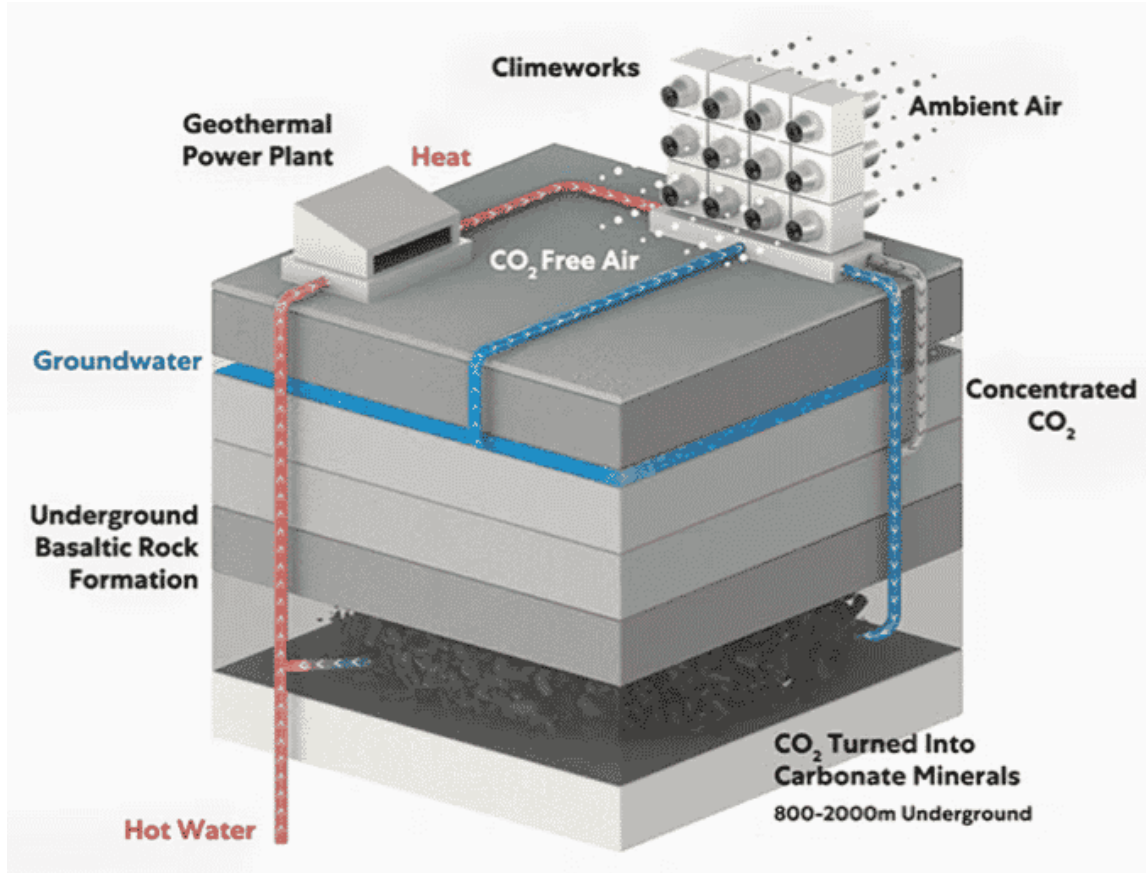
### Top 3 Direct Air Capture 기업

이 분야의 상위 3개 기업은 클라임웍스(Climeworks), 카본 엔지니어링 (Carbon Engineering) 및 글로벌 서모스탯 (Global Thermostat)입니다.

#### 클라임웍스:

취리히에 본사를 둔 클라임웍스는 2009년 연구 대학인 ETH 취리히의 자회사로서 설립된 DAC 기업입니다.

앞서 언급한 바와 같이 클라임웍스는 CO<sub>2</sub>를 흡수하는 고체 필터가 적용된 S-DAC를 사용합니다. 아래 이미지는 클라임웍스의 Direct Air Capture 기술이 어떻게 작동하는지 보여줍니다.



현재까지는 전 세계에 총 15 개의 DAC 플랜트를 건설했습니다. 대기중에서 이산화탄소를 빨아들이는 1,500 만 달러 규모의 Orca DAC 플랜트를 아이슬란드에 지었고 그것을 영구 저장하기 위해 깊은 지하에 펌핑했습니다.

오르카(Orca)는 연간 약 4,000 톤의 이산화탄소를 포획하는 최초의 산업 규모의 Direct Air Capture 및 저장 플랜트입니다. 이는 유럽에 거주하는 약 600 명의 연간 배출량에 해당합니다.

클라임웍스의 오르카는 이산화탄소를 가열하기 위해 재생 가능한 에너지의 이미 만들어진 원천인 지열 발전소 옆에 지어졌습니다. 반면 다른 DAC 발전소는 재생 가능한 자원이나 연소 폐기물 에서만 에너지를 얻는다.

DAC 에 의해 격리된 100 톤당 약 10 톤의 이산화탄소가 배출됩니다.

현재, 클라임웍스는 계속해서 규모를 확장되고 있습니다. 2010 년 Venture Kick 우승, 2017 년 Venture Leader, 2011 년부터 2014 년까지 TOP 100 Swiss 스타트업 중 하나였습니다.

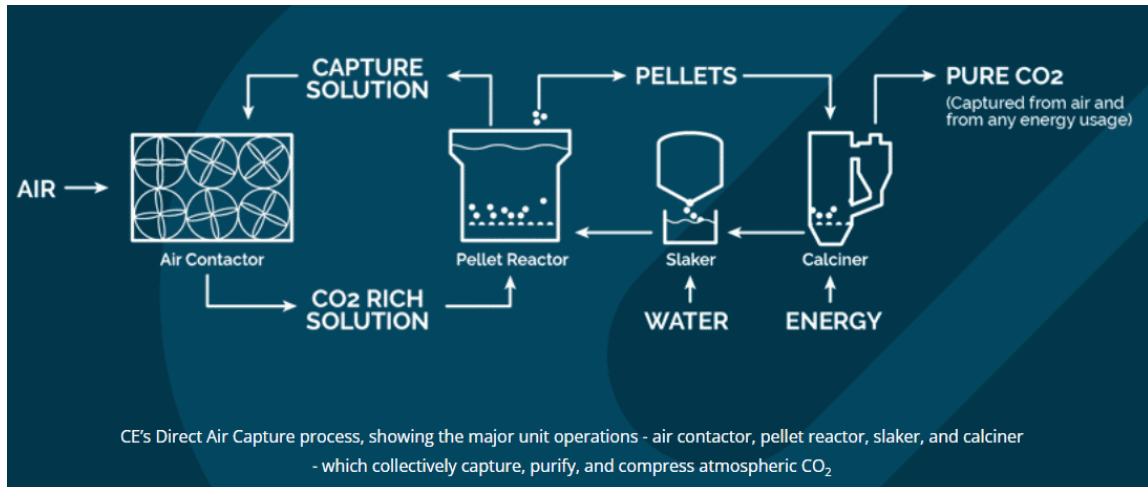
## **탄소 엔지니어링:**

밴쿠버에 본사를 둔 Carbon Engineering Ltd 는 브리티시 컬럼비아에 Direct Air Capture 파일럿 플랜트를 보유하고 있습니다. 또한 Calgary 와 Carnegie Mellon 대학교에서 탄소 관리 기술에 대한 학문적 연구를 통해 2009 년에 설립되었습니다.

카본엔지니어링(CE)은 자사의 기술을 1 Point Five(Oxy Low Carbon Ventures 와 Rusheen Capital Management 간의 합작 투자에 기술을 라이선스 했습니다. 2024 년에는 연간 100 만 t 의 이산화탄소를 포집 할 수 있는 DAC 플랜트를 건설하는 것을 목표로 하고 있습니다.

CE 의 DAC 기술은 팬으로 대기 공기를 빨아들입니다. 수산화 칼륨 용액(L-DAC)을 사용하여 포획된 CO<sub>2</sub> 분자를 결합합니다. 그런 다음 공기의 나머지를 환경으로 되돌리는 동안 일련의 화학 반응을 통해 가스 형태의 순수한 이산화탄소를 추출합니다.

**CE 의 액체 Direct Air Capture 프로세스는 다음과 같습니다.**



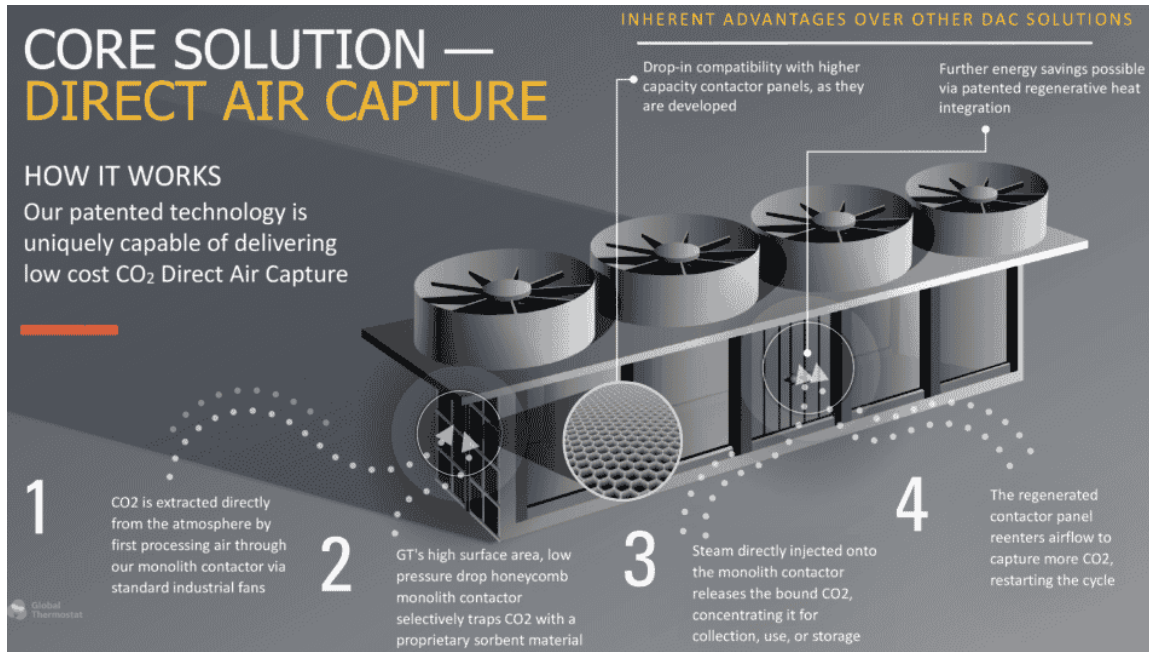
CE 는 영국 스코틀랜드 DAC 플랜트 개발에 대해 Pale Blue Dot Energy 와 함께 사전 FEED 를 (프런트 엔드 엔지니어링 및 설계)를 시작했습니다.

이 DAC 회사는 최근 2026 년에 캐나다에서 가동될 공력 연료 플랜트의 엔지니어링을 시작했습니다.

### 글로벌 서모스탯:

이 DAC 회사는 2010 년 컬럼비아 대학의 두 명의 학자에 의해 미국에서 설립되었습니다.

클라임웍스와 마찬가지로 GT(글로벌 서모스탯)도 이산화탄소를 포집하는 특허 고체 흡수제를 사용하고 있습니다. 아래 이미지는 GT Direct Air Capture 기술이 어떻게 작동하는지 보여줍니다.



GT 는 지금까지 두 개의 DAC 시범 파일럿 플랜트를 위탁했습니다. 현재 ExxonMobil 과 협력하여 DAC 기술을 발전시키고 확장하고 있습니다.

칠레의 Haru Oni eFuels 파일럿 플랜트에 DAC 장비를 공급하기도 했습니다. 이 DAC 플랜트는 포집된 이산화탄소를 수소와 혼합하여 합성 휘발유를 생산할 것입니다.

이 프로젝트는 시간당 최대 250kg 의 이산화탄소를 포집할 것이며, 이는 연간 약 2,000tCO<sub>2</sub>에 해당합니다.

DAC 는 항공 부문에서 배출량을 줄이는 데 사용할 수 있는 몇 안 되는 솔루션 중 하나에 기여한다는 점에 주목해야 합니다. 탈탄소화는 가장 어려운 에너지 분야 중 하나로 남아 있습니다. 포집된 이산화탄소를 사용하면 합성 연료(항공사에서 사용)가 수명 주기 동안 탄소 중립을 유지할 수 있습니다.

## 기타 소규모 다이렉트 에어 캡처 회사는 다음과 같습니다:

- CarbonCapture: 분자체를 사용하여 이산화탄소를 포집합니다.
- Herloom: 탄소 광물화를 기반으로 한 하이브리드 DAC 접근법을 제안합니다.

- Hydrocell: 이산화탄소를 포집하여 배기 가스에서 열을 회수합니다.
- Infinitree: 동봉된 농업용 애플리케이션을 위한 이산화탄소 농축 솔루션을 제공합니다.
- Skytree: 전기자동차의 대기질 관리에 초점을 맞춥니다.
- Solletair Power: 환기와 건물의 이산화탄소 포집을 결합합니다.

## 순 제로 배출량 충족을 위한 Direct Air Capture 의 역할

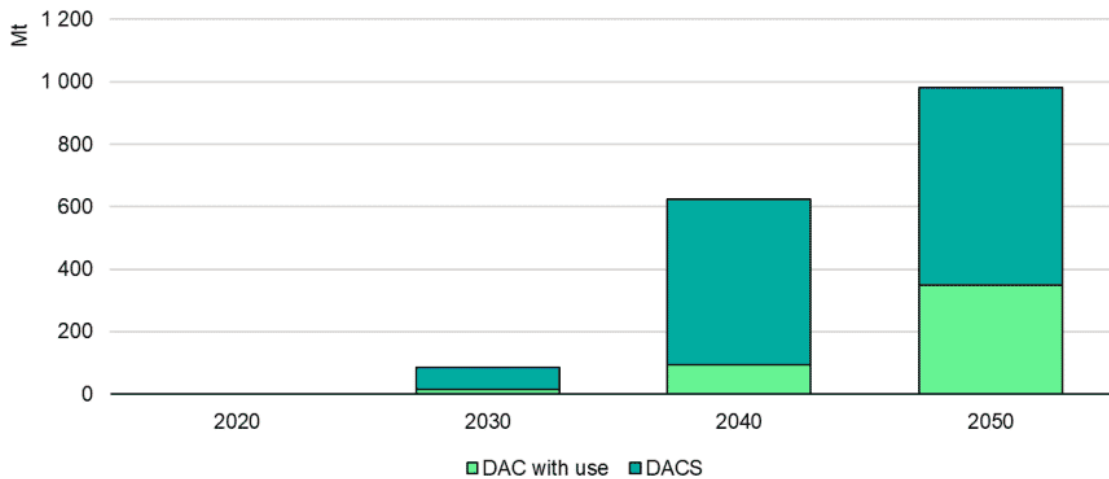
DAC 는 순 배출 제로 목표를 달성하는 데 중요한 역할을 합니다. 이는 핵심 CDR 접근 방식이자 탄소 중립 제품을 생산하는 데 필요한 포집된 이산화탄소의 원천이기 때문입니다.

- **순 배출 제로는 인간의 활동에 의해 대기 중으로 배출되는 이산화탄소가 대기에서 제거된 이산화탄소의 양과 균형을 이루는 지점에 도달하는 것을 의미합니다.**

오늘날 사용할 수 있는 다양한 CDR 접근법이 있습니다. 여기에는 자연 기반 솔루션(재조림/조림), 향상된 자연 프로세스 및 기술 기반 접근 방식이 포함됩니다. DAC 는 현재 많은 관심과 관심을 받고 있는 기술 기반 CDR 접근법입니다.

사실, 세계는 2050 년까지 세계 에너지 시스템을 배출 순 배출 제로로 조정하기 위해 DAC 가 필요합니다. 아래 그래프의 예측은 2050 년까지 순 제로 배출에 도달하는 DAC 의 잠재력을 보여줍니다.

## Global CO<sub>2</sub> capture from DACS and DAC with use in the Net Zero Scenario



IEA. All rights reserved.

국제 에너지 기구의 (International Energy Agency) 추정에 따르면 DAC 는 2030 년에 8,500 만 톤 이상의 이산화탄소를 포집할 수 있고 2050 년에는 9 억 8000 만 톤의 이산화탄소를 포집할 수 있습니다. 그러나 CDR 및 DAC 기술을 확장해 그러한 잠재력을 실현하려면 많은 작업이 필요합니다.

좋은 소식은 오늘날 세계적인 추세가 공공 및 민간 부문 모두에서 DAC 에 대한 더 많은 투자에 대해서 높은 관심을 나타내고 있다는 것입니다. 그리고 DAC 와 같은 배출 감소 전략을 통해 기업은 순 배출 제로 목표를 달성하거나 초과할 수 있습니다.

## DAC 기술에 대한 투자

배출량을 줄이기 위한 CDR 접근법으로 DAC 기술에 대한 인식이 높아지면서 더 많은 정책 지원과 투자로 이어지고 있습니다.

2020 년 초부터 DAC 연구, 개발 및 배포(RD&D)에 거의 **40 억 달러**의 공적 자금이 투자되었습니다. 마찬가지로, 선도적인 direct air capture 회사는 이산화탄소 포집 기술을 확장하기 위해 10 억 개 이상의 투자를 유치했습니다.



DAC 에 대한 민간 부문의 지원과 투자도 최근 몇 년 동안 확대되었습니다. Breakthrough Energy Ventures, Prelude, Lower Carbon Capital 과 같은 주요 기관들은 DAC 회사에 투자하고 있습니다.

Fortune 선정 500 대 기업들도 DAC 기술 향상을 위해 자금을 투자하고 있습니다.

올해 4 월에는 세계에서 가장 큰 5 개 기업이 CDR 기술에 9 억 2,500 만 달러를 투자하기로 약속했습니다. Stripe, Alphabet, Shopify, Meta 및 McKinsey 가 자금을 제공합니다. 또한 Shopify 는 지속가능성 펀드를 통해 DAC 를 지원하고 있습니다.

지금까지 클라임웍스는 DAC 기술을 확장하기 위해 6 억 5 천만 달러의 주식 자금을 조달했습니다. 이는 탄소제거 회사가 모금한 금액 중 역대 최대 규모입니다.

DAC 에 대한 추가 지원은 XPRIZE 와 같은 프로그램(DAC 를 포함한 혁신적인 탄소 제거 프로젝트에 최대 1 억 달러 제공)에서 제공됩니다. 또한, Breakthrough Energy's Catalyst 프로그램은 DAC 와 같은 CDR 기술에 투자하기 위해 다양한 출처에서 자금을 조달합니다.

**• 투자자들은 CDR 및 DAC 접근 방식을 확장하기 위해 자금을 투자하는 공통 목표를 가지고 있습니다: 배출량을 줄이거나 상쇄하는 것입니다.**

대부분의 탄소 상쇄권은 다른 곳에서 새로운 배출을 방지한다고 주장하는 것에 대한 배출권을 제공합니다. 탄소배출권은 법인이나 기업이 이산화탄소를 배출할 수 있는 허가증 같은 역할을 합니다. 1 개의 배출권은 1 톤의 이산화탄소 배출량과 같습니다.

DAC 에 대한 관심이 높아지면서 탄소배출권을 통한 투자도 현재 주목을 받고 있습니다. 국가와 기업들은 빠르면 2030 년, 늦어도 2050 년까지는 배출량을 줄여야 하는 시급한 상황에 처해 있습니다.

탄소배출권은 개인과 조직 모두 배출량을 줄이는 데 도움이 되는 시장 도구 중 하나입니다. 직접적인 배출량 감소와 결합될 때, DAC 프로그램에 의해 생성된 탄소 배출권은 기업이 막을 수 없는 배출량을 처리하여 순 배출 제로를 달성할 수 있습니다.

그들은 또한 과거에 배출된 배출물들을 처리하는 메커니즘을 제공합니다. 따라서 그들은 순 배출 제로를 달성할 수 있는 기회를 제공할 뿐만 아니라, 궁극적으로 기후 변화 효과를 뒤바꾸는 데 도움을 줍니다.

여러 가이드를 통해 이 계획이 어떻게 작동되는지 자세히 알 수 있습니다. 이 가이드에서부터 탄소 상쇄권과 탄소 배출권의 차이를 아는 것으로 시작하는 것이 도움이 됩니다.

또한 탄소 배출권 및 탄소 상쇄권에 대한 심층 기사를 확인 해 기업이 탄소 순 배출 제로에 도달하는 데 이것이 어떻게 도움을 주는지 자세히 알아볼 수 있습니다.