

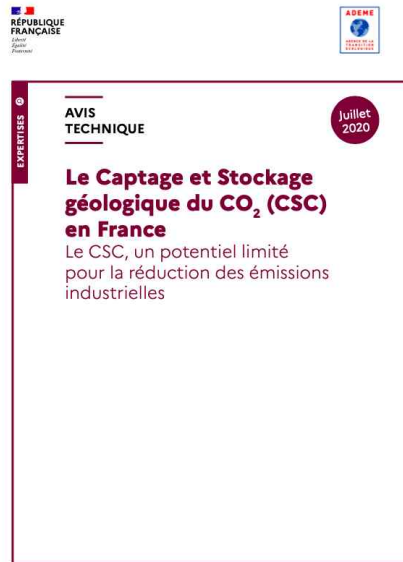
국내외 IP 요약보고서

프랑스 이산화탄소 포집 및 지중 저장

출처: 프랑스 ADEME

프랑스 이산화탄소 포집 및 지중 저장

- CSC란 무엇인가?
- 저장지 확인
: 프랑스 CO₂ 포집 및 저장 가능성
- 지중 저장 구역을 둘러싼 문제
- 비용
- 저장 외 CO₂ 포집과 관련된
다른 문제들



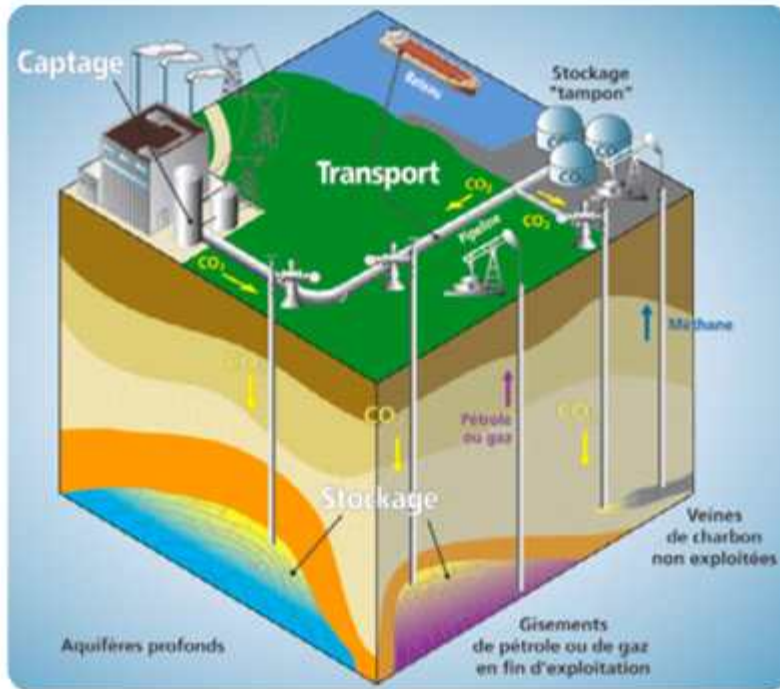
프랑스 이산화탄소 포집 및 지중 저장

최근의 탄소 중립이라는 목표는 COP21 이전에 개발된 미래 전망 연구에 새로운 관점을 제시했다. 이처럼, 국가 저탄소 전략(SNBC, Stratégie Nationale Bas Carbone)이 수정되는 동안 CO₂ 배출량 감축을 위한 이전의 기술 포트폴리오에 포함되지 않았던 이산화탄소 포집 및 지중 저장(CSC, Captage, Stockage géologique du CO₂)이 부상하였고, 이는 잔류 배출량(émissions résiduelles)과 온실가스 흡수원(puits de carbone) 사이의 균형에 이바지할 것으로 보인다. 탄소 저배출 기술, 신재생 에너지 발전, 전기화와 같은 다른 솔루션을 우선적으로 시행함으로써 배출량을 원천적으로 줄이는 것이 목표이기 때문에 이산화탄소 포집 및 지중 저장을 통한 CO₂ 배출량 감축 목표는 2030년부터 시작하여 산업 분야에서의 5MtCO₂를 포함한 연간 15MtCO₂다.

프랑스 CSC 개발 목표의 결정적인 요소를 더욱 잘 이해하기 위해 프랑스 환경 에너지 관리공단(ADEME)은 (과학 및 기술적 장애물을 고려한) 기술-경제적 실현 가능성 분석과 더불어 기존 산업 지역 및 현재의 산업 배출량에 대한 영토적, 사회적 타당성 분석을 바탕으로 프랑스의 CO₂ 포집 및 지중 저장의 잠재성을 평가할 것을 제안한다.

CSC란 무엇인가?

CO₂ 포집 및 지중 저장(CSC, Captage et Stockage géologique du CO₂)은 대기 중 CO₂를 지중에 주입하여 가둬두는 것을 의미한다. CSC는 포집, 수송, 저장 세 단계로 나뉘며, 고유 기술로 특징지어진다.



<그림1> CSC 공정 - 포집(Captage), 수송(Tansport), 지중 저장(Stockage géologique)

○ 저장지 확인 : 프랑스 CO₂ 포집 및 저장 가능성

2017년 프랑스의 탄소 배출량은 465MtCO₂로, 이 중 전체 배출량의 23%에 해당하는 107MtCO₂는 연소 시설(전력) 및 산업 시설에서 배출되었다. CSC 기술은 대형 고정 배출원과 관계가 있다. 기후 변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC)의 보고서에 따르면, CSC는 연간 CO₂ 배출량이 100,000t이 될 때부터 적용 가능하다고 한다. 프랑스에서 연간 배출량 100,000tCO₂을 기준으로 했을 때, 88.5MtCO₂를 배출하는 지역이 148곳이 있으며, 이 중 65MtCO₂를 배출하는 120곳의 이산화탄소는 산업에서 발생한다(공정 및 연소 과정에서의 합산 배출량).

프랑스 중장기 에너지 프로그램(Programme Pluriannuelle de l'Énergie)에 따르면, 대규모 배출 지역에 해당하는 석탄 발전소 지역은 CSC의 목표에

서 제외될 예정이다. 2023~24년도까지 석탄 발전소가 폐쇄될 예정이기 때문이다. 가스 발전소의 경우, 매연 내 CO₂ 농도는 매우 낮으며(약 5%), 이로 인해 CO₂ 배출의 흐름을 더 포착하기 어렵게 만든다(12%의 농도를 가진 석탄 발전소와 비교하여 약 20%의 추가 비용이 든다). 그러나 무엇보다도, 가스 발전소는 피크 타임에 가동되며, 이러한 간헐적인 가동(약 연간 3,000~4,000시간)은 투자 수익성을 저해한다. 따라서, 전력 생산과 관련된 배출량은 CSC와 관련된 CO₂ 배출량 감축 가능성에서는 제외된다.

“포집 가능한” CO₂ 부피는 포집 기술 제약과 배출원의 특수성에 따라 결정된다.

다양한 제약 조건을 고려했을 때, 잠재 포집량(P)은 산업 CO₂ 배출량(E)으로부터 예측할 수 있다. 이러한 측정은 포집에 필요한 에너지 소비로 발생하는 추가적인 CO₂ 비중(a)과 처리된 매연의 비중(p), 포집 비율의 비중(t)을 바탕으로 한다. 즉, $P = E * (1 + a) * P * t$

지중 저장 구역을 둘러싼 문제

- 저장 용량

장기간의 CO₂ 지중 저장 지역을 확인하기 위한 기준은 아래와 같다.

- CO₂를 저장하는 “저류암(roche réservoir)”에 적합한 공극률(porosicté), 두께(épaisseur), 투과성(perméabilité)
- 불투수성이 우수한 덮개암의 존재
- 안정적인 지질학적 환경

- 배출원과의 접근성

앞서 언급된 기준과 더불어 지중 저장 지역은 수송비를 줄이기 위해 가능한 CO₂ 공급원에서 가장 가까워야 하며, 최대 100km~200km 이내에 있어야 한다.

- 지중 저장에 대한 사회적 반대

추후 저장 용량 추정치가 추후 수정되어야 할지라도, 이는 프랑스에서 CSC 성장의 강한 제약이 되지 못할 것이다. CO₂ 공급원이 근처에 있으면, 지중 저장 지역 개발에 대한 주요 제약은 지역 사회의 반대이다.

CO₂ 지중 저장 지역 선정에 있어서 지역 반대를 불러일으키는 이유는 누출이 발생 시 보건 및 환경적 위험성이 있기 때문이다.

- 법률적, 규제적 측면

유럽에서 ‘CCS 지침’이라고 불리는 내륙 지중 저장에 관한 법률이 제정되었다. 이 지침은 장기적으로 CO₂ 지중 저장 지역의 무결성(intégrité)과 안전을 보장하기 위한 법적 틀을 정의하고 있다. 프랑스에서 ‘CCS 지침’은 2010년에 표결되고 제정된 Grenelle2법에 따라 국내법으로 수용되었다.

해상 지중 저장의 경우, 폐기물이 배출국 국경을 넘어 수출되는 것이 법적으로 허용되지 않는다(현재, CO₂는 폐기물로 간주된다). 해상 지중 저장은

- 배출원과 저장 지역의 교차점

최종적으로 CSC가 가능한 지층을 확인하기 위해서는 ‘포집 가능한’ CO₂ 지층과 CO₂의 지중 저장의 가능성에 대한 분석이 진행되었다. 포집 공정에서 사용된 에너지원이 화석연료인 경우 24MtCO₂로 확인된 매장지는 배출량의 약 20%를 차지하는 포집 부문과 관련된 추가적 배출을 고려한다. 그러나, 매장지는 CSC 프로젝트에 앞선 탈탄소화 프로젝트를 통해 감소할 수 있는 배출량은 고려하지 않는다.

비용

이전의 방침 요소들이 암묵적으로 비용 접근법을 고려했다 하더라도 다양한 프로젝트, 연구원, 이 주제에 대한 연구로부터 추론할 수 있는 가격 수준에서의 분석을 완료하는 것이 중요하다. 달리 명시되지 않는 한, 비용에는 일반적으로 CCS 프로젝트에서 고려되는 감가상각 기간이 20년인

CAPEX(설비투자 비용)과 OPEX(운영 비용)이 포함된다.

CSC 프로젝트 비용은 포집, 수송, 저장과 같은 다양한 부문에서 측정된다. 전체 비용 중 포집 비용이 가장 많은 부분을 차지하며, 소스에 따라 60~75% 차지한다.

CSC 공정 비용을 결정하는 주요 변수는 다음과 같다.

- 포집 비용 : CO₂ 소스와 포집 기술에 따라 주로 결정되며, 10~100 €/tCO₂ 사이이다.
- 수송 비용 : 부피와 거리, CO₂가 수송되는 지형에 따라 달라진다. 수송 종류에 따라(파이프 또는 배), 지중 혹은 해양 지중에 따라 10~25€/tCO₂ 사이이다.
- 저장 비용 : 위치와 지질 형성물의 특성에 따라 결정되며, 유형에 따라 (지중 또는 해양지중) 1~20€/tCO₂ 사이이다.

CO₂ 소스, 포집 공정, 수송 수단, 저장 방식의 다양성은 CSC 프로젝트 구현을 가능하게 하기 때문에 공정의 경제적 비용 역시 다양해진다.

저장 외 CO₂ 포집과 관련된 다른 문제들

• CCU

CO₂ 활용은 지중 저장과는 구분되어야 한다. 이 경우, CO₂ 포집은 자원으로써 화학, 에너지 제품 또는 재료 생산에 사용되는 탄소 물질을 제공하는 것이다. 이러한 공정을 CCU(CO₂ Capture and Utilisation), 즉 이산화탄소 포집 및 활용 또는 CO₂ 활용이라고 한다.

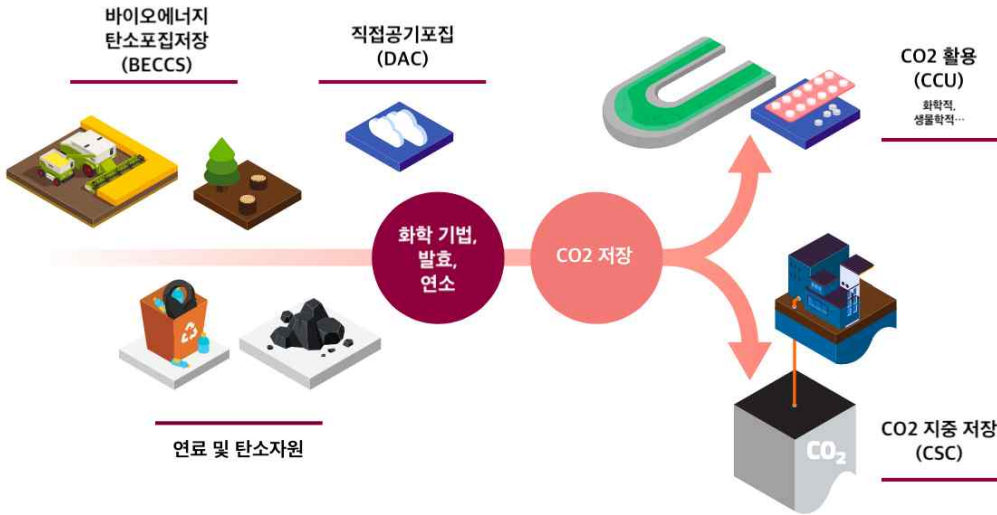
• DAC

CCS와 CCU와 더불어 공기로부터 직접적으로 포집하는 DAC가 있다. 이 기술은 현재 이론에 머물러 있으며, 이 이론에 따르면, 잠재적으로 다른 온실가스인 CO₂가 대기에서 바로 제거된다.

• BECCS

BECCS 또는 Bio-CCS는 바이오 연소에 의한 biogenic CO₂를 포집하여 지

중 저장소에 저장하는 것이다.



¹ Extrait de la SNBC révisée : <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/strategie-nationale-bas-carbone-snbc>

<그림2> CSC와 연관된 다른 기술 : CCU, BECCS, DAC

주요 결론

CO₂ 운송 인프라의 발전, CO₂ 지중 저장의 지역 설치와 낮은 사회적 반대를 고려해볼 때, CO₂ 포집 및 저장의 잠재성은 연간 24MtCO₂에 이를 것으로 보인다. 이는 (에너지 효율성 또는 신재생 에너지 활용과 같은) 다른 방식에 의한 CO₂ 배출량 감축은 고려하지 않은 채 측정되었다. 이러한 가능성은 CSC와 관련된 주요 제약을 확인하기 위해 배출 지역과 CSC 기술의 기술적, 경제적 특성을 바탕으로 측정되었다.

※ 동 보고서는 요약 및 번역본입니다. 상세 내용은 원문을 참조하십시오. 원문은 https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/captage-stockage-geologique-co2_csc_avis-technique_2020.pdf에 게재되어 있습니다.

국내외 IP 요약보고서