

Global Trends in CCUS Policies

한양에너지환경연구원(HY-IEE)

글로벌 탄소중립정책센터장

유럽아프리카 연구소장

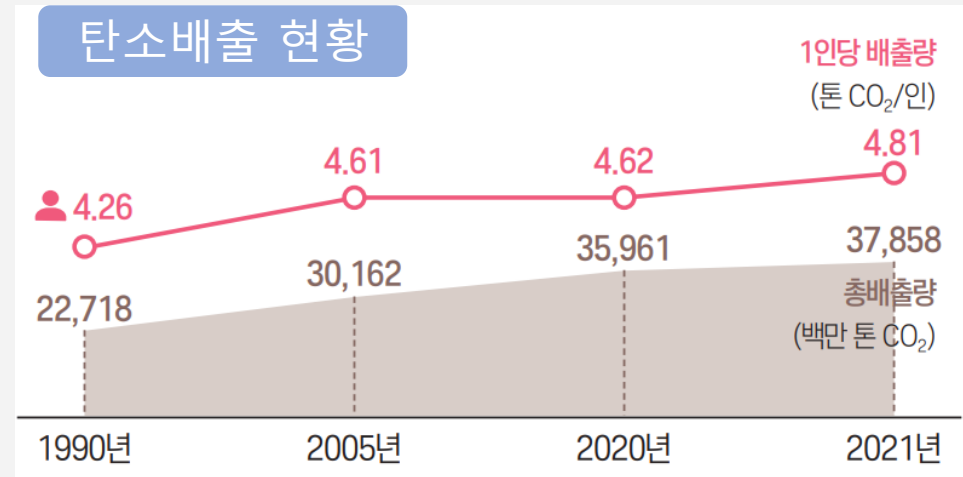
한양대학교 정치외교학과 김 성 수 교수

2023.12.1.
리버사이드 호텔

Background

- 전 세계 이산화탄소 배출량(2021 기준), 378억 5758만 톤: 1990년 대비 약 67% 증가
- 파리기후협정 이후 전세계 142개국 탄소중립 선언 (한국 등 25개국은 법제화)
- 각국의 탄소중립이 본격 추진되는 ‘과도기’에서 CCUS 기술이 필수
- 전 세계 약 40개 상업용 CCUS 시설이 운영 중이며, 500개 이상의 관련 프로젝트 진행 중
- 한국도 최근 CCUS 관련 법률안을 발의, 국회 산업통상자원중소벤처기업위원회에 계류 중: 각 유관부처는 법률안에 따른 하위 법령 마련 예정

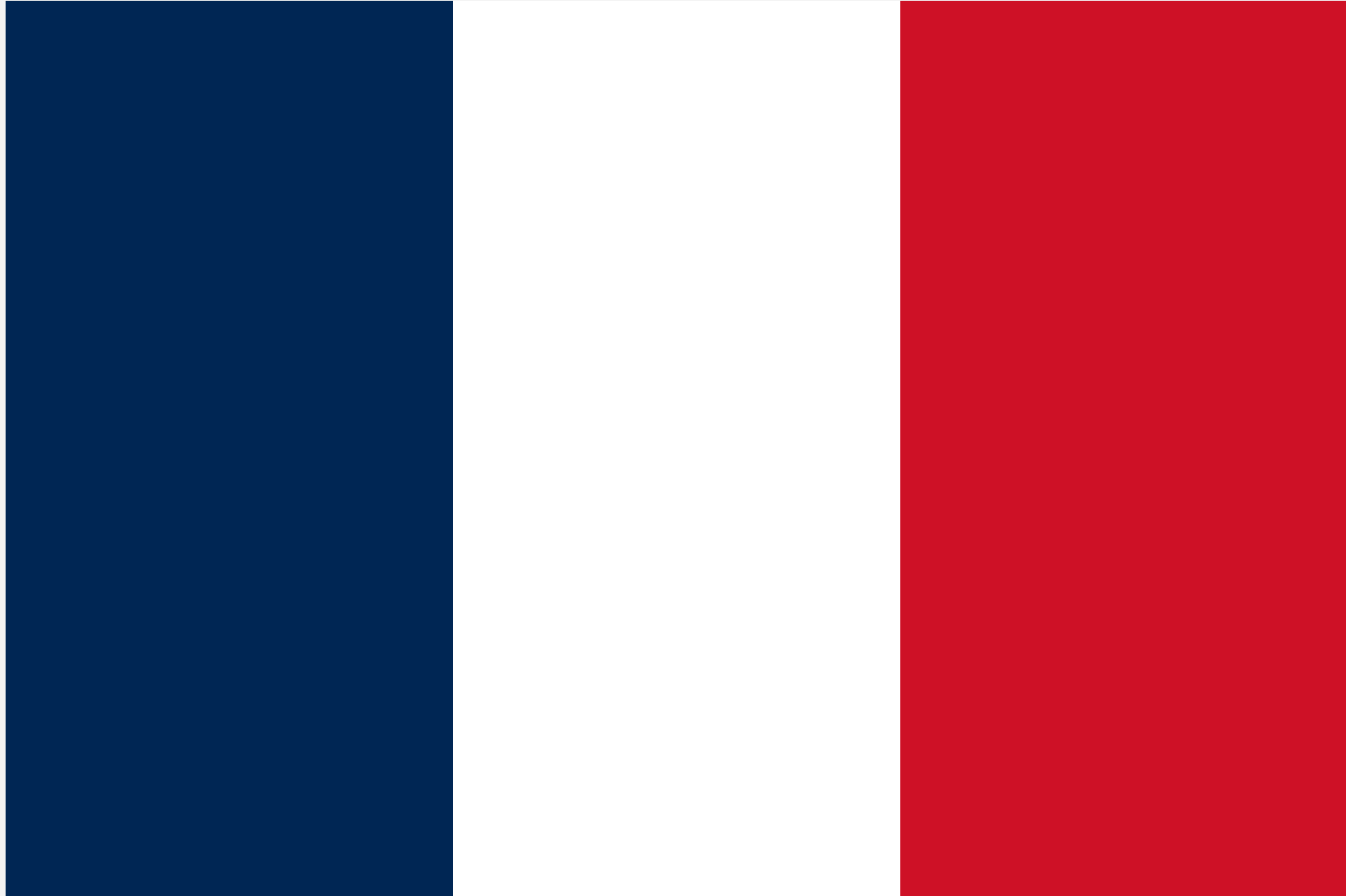
➔ 글로벌 동향 파악해 한국의 법제/정책 구성에 활용



지구 평균 온도 상승 시나리오별 기후변화

지구 평균 온도	현재(+1.1°C)	+1.5°C	+2°C	+4°C
최고온도	+1.2°C	+1.9°C	+2.6°C	+5.1°C
극한온도 발생 빈도	4.8배	8.6배	13.9배	39.2배
가뭄	2배	2.4배	3.1배	5.1배
강수량	1.3배	1.5배	1.8배	2.8배
강설량	-1%	-5%	-9%	-25%
태풍 강도		+10%	+13%	+30%

프랑스



저탄소국가전략(SNBC)과 CCUS

- 2015, 녹색성장 위한 에너지전환법 도입
- 2016년 파리기후협약 서명
- ➔ 2015, 국가전략 로드맵 **‘저탄소국가전략(Stratégie Nationale Bas-Carbone, SNBC)’** 도입

SNBC 내 공공정책의 주요 지향점

1. 2050까지 소비에너지 전면 탈탄소화(항공 운송 제외)
2. 검소하고 순환 중심의 생활방식 적용해 에너지 소비량 절반으로 감소
3. 농업 및 산업 공정 부문 비에너지 배출량을 최대한 감소
4. **탄소포집기술 확보**

저탄소국가전략(SNBC)과 CCUS

- SNBC는 탄소저장고 확대를 달성목표 중 하나로 설정

- 2050년경에도 여전히 비에너지 부문(농업, 산업공정)에서의

탄소배출은 불가피

➔ 탄소중립 달성 위해 자연적 탄소저장고(삼림 등) 확대

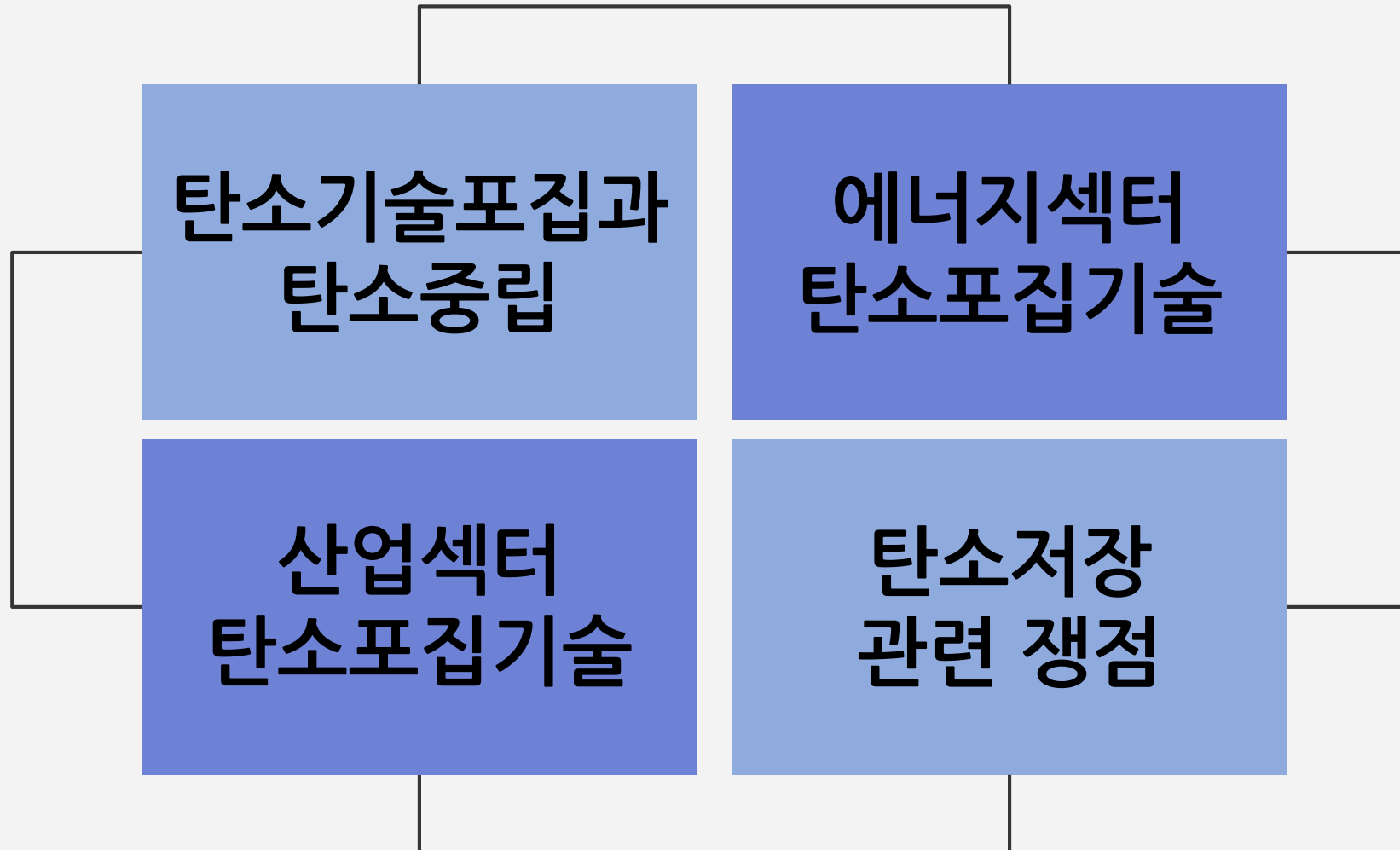
+ 탄소포집기술 개발 필요

SNBC 부칙5(Annexe 5):

탄소 포집, 저장, 이용 기술에 관한 사항을 다루고 있음.

저탄소국가전략(SNBC)과 CCUS

- SNBC 부칙5(Annexe 5) 주요 항목:



저탄소국가전략(SNBC)과 CCUS

• SNBC 부칙 항목별 주요 내용

- ▶ 바이오에너지와 CCS
 - 2050년경에는 산업부문에서 연 5MtCO₂ 상당 감소 예상
 - 바이오에너지와 탄소포집·저장 기술을 통해 매년 약 10MtCO₂ 마이너스 배출 가능
 - 한계: 바이오에너지와 탄소 포집·저장 기술, 기술 적용범위, 이산화탄소 저장용 부지에 대한 가용성 및 안전도 불확실

탄소포집기술과 탄소중립

- ▶ 대기 중 이산화탄소 직접 포집기술
 - 대기 중 이산화탄소 직접 포집기술(Capture directe du CO₂ de l'atmosphère) 또한 하나의 선택사항
 - 그러나 현재로서는 연구개발(R&D) 상 매우 초기 초기 단계

저탄소국가전략(SNBC)과 CCUS

• SNBC 부칙 항목별 주요 내용

에너지섹터 탄소포집기술

▶ 화석연료시설 내 탄소포집 기술 설치

- 탄소중립 정책 차원에서 프랑스에서는 다소 제한적
 - 다만, 바이오에너지와 탄소포집·저장기술(BECCS, 또는 프랑스어로 BECSC)의 경우, 바이오매스(바이오가스 또는 고형 바이오매스) 연소 시설에 설치가능
 - BECCS는 광합성 통해 대기 이산화탄소를 흡수, 지하에 저장하므로 마이너스 배출 가능
 - 이 점에서 화석에너지에 설치하는 탄소포집기술과 구분

저탄소국가전략(SNBC)과 CCUS

• SNBC 부칙 항목별 주요 내용

산업섹터 탄소포집기술

- ▶ 환경/경제 요건 충족 시점부터 탄소포집기술 고려해야
- 탄소 저장의 대안으로, 포집된 이산화탄소의 활용(또는 재활용) 검토 가능

저탄소국가전략(SNBC)과 CCUS

• SNBC 부칙 항목별 주요 내용

▸ 프랑스 국토 중 총 3곳의 퇴적분지를 탄소저장 위해 활용 가능
(예상 저장용량: 약 1~1.5GtCO₂).

• 파리분지(Bassin parisien)

• 아키텐 분지(Bassin aquitain)

• 남동·프로방스 분지(Bassin du Sud-Est et Provence)

탄소저장
관련 쟁점

▸ 3곳 이외 추가 장소 파악 어려워

추가 탄소 저장이 가능한 잠재적 지점에 대해 현재로서는 육상은 파악을 잘 못한 상태이며, 해상은 파악된 곳 없으나, 해상 저장소의 개발은 육상보다 사회적 수용 면에서 더욱 순조롭게 진행될 수 있을 것으로 전망

프랑스 탄소포집기술 현황(2020~22)

- ▶ 프랑스의 경우 탄소포집기술은 포집, 수송, 저장 세 단계로 구분
 - 탄소포집기술은 대형 고정 배출원과 관계하며, 탄소포집기술은 연간 이산화탄소 배출량이 100,000t이 될 때부터 적용 가능
 - 프랑스에서는 연간 배출량 100,000tCO₂를 기준으로 했을 때 88.5MtCO₂를 배출하는 지역이 148곳 있으며, 이 중 65MtCO₂를 배출하는 120곳의 이산화탄소는 산업 부문에서 발생
- ▶ 탄소포집기술은 석탄발전소, 가스발전 통한 전력 생산 부문에서는 제외
 - 석탄발전소 지역: 2023~4년까지 폐쇄, 가스발전은 이산화탄소 농도 낮아 이산화탄소 배출 흐름 포착 어려워 투자수익성 저해.

기술 적용 가능성

프랑스 탄소포집기술 현황(2020~22)

▶ 저장용량

- 안정적 지질학 환경 등 기준 적용

▶ 배출원과의 접근성

- 수송비 절감 위해 저장 지역은 공급원으로부터 최대 100~200km 이내 위치해야

▶ 지중 저장에 대한 사회적 반대

- 지중 저장 지역 개발에 대한 제약, 누출 발생 시 보건 및 환경 위험성 존재

▶ 법률/규제 측면

- 유럽에서 내륙 지중 저장에 관한 법률인 'CCS 지침'이 제정
- 이 지침은 장기적으로 이산화탄소 지중 저장 지역의 무결성과 안전 보장 위한 법적 틀

지중 저장 구역 관련 문제

프랑스 탄소포집기술 현황(2020~22)

비용

▶ 포집 비용이 가장 많은 부분 차지

- 비용에는 일반적으로 감가상각 기간인 20년 간 설비투자비용 및 운영비용 포함
- 전체 비용 중 포집 비용이 가장 많은 부분 차지(소스에 따라 60~75%)

▶ 공정비용 결정 주요 변수

- 포집비용: 10~100유로/tCO₂
- 수송비용: 10~25유로/tCO₂ (부피와 거리, 수송 지형 및 종류에 따라 달라짐)
- 저장비용: 1~20유로 /tCO₂ (위치와 지질 형성물 특성에 따라 결정)

프랑스 기후 및 탄소포집기술 관련 프로젝트 현황

진행중인 탄소 저감 프로젝트는

- 탄소 저배출 에너지원 개발,
- 친환경 재생 에너지로의 전환 프로젝트,
- 탄소 배출공정 내 탄소포집/저장 프로젝트 등이 주를 이룸.

구분	프로젝트 명	수주처	주요 내용
에너지	PHARES	SABELLA 등	재생 가능 에너지 솔루션 컨설팅
세라믹	The Pilot Plant	CTMNC	저탄소 파일럿 플랜트를 건설
수소	H2V NORMANDY	H2V Industry	기존 화석 연료 사용 공정에 녹색 수소 공급
수소	H2V 59	H2V Industry	H2V 59에서 생산 된 수소를 천연 가스 전송망에 주입
해양 에너지	Raz Blanchard tidal array project	Simec Atlantis Energy	Raz Blanchard에 10MW의 Multi-turbine tidal array 설치
재생 에너지	PHARES	Sabella	태양광 PV, 풍력 터빈, 조력 터빈 및 에너지 저장 장치로 변경
천연가스	Lacq	Total	CO2 포집 및 천연 가스 저장
제강	DMX Demonstration	ArcelorMittal 등	CCS 장착 제철소, 북해의 CO2 수송 및 저장
에너지	ANR TACoMA	GDF Suez 등	CO2 포집을 최적화 할 수 있는 산소 연소 공정 기술 개발
에너지	France Nord Project	GDF SUEZ Tota 등	CCS 인프라 설치의 타당성 조사
에너지	Lacq Basin CCS Pilot Project	Total	산소 연료 연소 기술 활용, CO2 포집 및 CCS 기술 개발
에너지	Le Havre C2A2	Alstom Veolia	탄소 포집 기술 테스트 및 상업화
에너지	ULCOS Florange	ULCOS	Florange 제철소에 CO2 포집 시설 건설

프랑스 기후 및 탄소포집기술 관련 프로젝트 현황

프랑스 기후 및 탄소포집기술 관련 기업 현황

기업명	사업분야	보유기술
토탈(Total S.A.)	기후, 지속가능	이산화탄소포집, 저장, 회수 기술 등
사벨라(SABELLA)	지속가능	조력에너지 기술 등
수에즈(SUEZ)	물, 폐기물	자원관리기술 및 솔루션 등
H2V	기후, 지속가능	녹색수소기술 등 최근, 이산화탄소포집 저장기술 프로젝트 진행
클럽CO2(CLUB CO2)	기후, 지속가능	이산화탄소포집, 저장, 회수 기술 등
엔지(ENGIE)	기후, 지속가능	재생가능가스, 에너지효율개선기술 등

* 출처: 해외환경통합정보시스템. (2021). 프랑스 기후·대기 산업 심층 분석 리포트, 8-9.

프랑스 기후 및 탄소포집기술 관련 최근 이슈

프랑스 2030 플랜

- 마크롱 대통령, 2021년 프랑스2030플랜 발표, 경제 탈탄소화 의지 강조
- 플랜 전체에 책정된 총 예산(300억 유로, 약 40조 1,193억 원)의 40% (120억 유로, 약 16조 477억 원)가 탄소중립을 위한 관련 사업에 투입될 예정

산업단지 중심 강도 높은 탄소저감 정책 시행 계획

- 프랑스는 2015년~2030년까지 탄소배출 35% 감축하는 중기목표를 설정, 2021년 기준 실질적 감축률 4%에 그쳐
- 탄소배출 비중 가장 높은 10 여개 산업단지 대상으로 강도 높은 탄소저감 정책 시행 계획

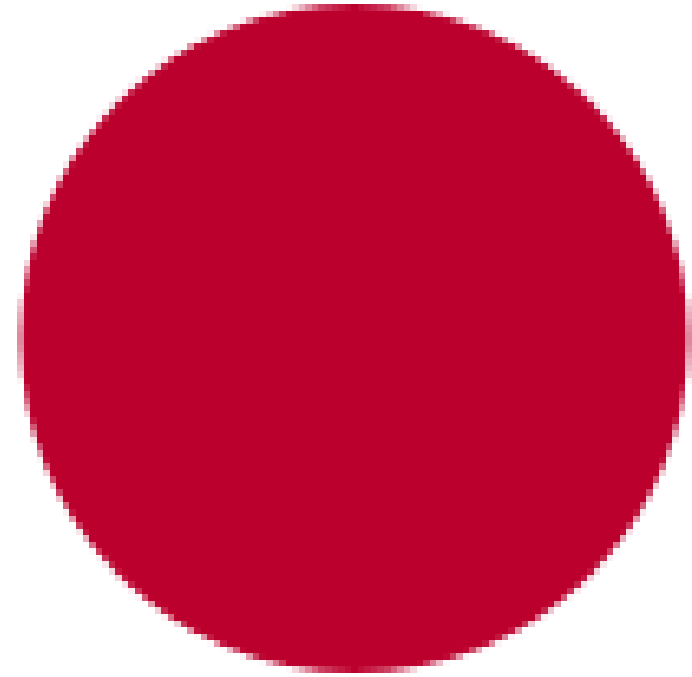
프랑스 내 탄소포집기술, 사실상의 탄소저감 정책으로 발전할 것

- ‘프랑스 내 탄소포집기술이 현재 탈탄소 플랜의 직접적 방식은 아니나, 향후 사실상의 탄소저감 정책으로 발전해 나아갈 것’이라 전망

프랑스 CCUS 현황의 시사점

- ▶ 별도 부칙을 통해 CCS 관련 사항을 제도화
- ▶ 프랑스 내 탄소포집기술, 사실상의 탄소저감 정책의 중심으로 간주

일본



일본의 CCUS 기술 관련 현황

정부지원 정책 주도: 경제산업성 + 환경성

- 일본 경제산업성이 국립연구개발법인 <신에너지산업기술종합연구기구(NEDO)>에 2022년도 CCUS 연구개발 및 실증 관련 사업을 위해 편성한 **예산은 82.3억 엔(한화 약 705억 5,249만원)**
- 일본은 CCUS 연구개발 및 운용비용 확보 위한 국가 주도 펀드를 운영하고 있지 않음.
- 다만, ‘일반사단법인 카본 리사이클 펀드’에서 CCUS 및 카본 리사이클 관련 펀드 설립, 운영 중

일본의 CCUS 기술 관련 현황

일본의 CCUS 기술 수준

- **아직 실증 및 검증 단계**

- 2030년까지 CCUS 관련 카본 리사이클 상용화 로드맵 제시

- **카본 리사이클 상용화 로드맵**

- 크게 3가지 국면으로 구분하여 설정
- 2030년부터 소비 확대, 2050년경부터 보급 목표

Phase 1.

- 카본리사이클 관련 기술 개발 진행
- 2030년까지 보급가능성 기대되는 기술 중점

Phase2.

- 2030년까지 보급하는 기술 관련 저비용화
- 2050년 이후 보급될 기술 및 수요 많은 범용품 제조 기술 중점 개발

Phase 3.

- 저비용화에 돌입

* 참고 자료: 일본 경제산업성 자원에너지청(經濟産業省資源エネルギー庁) > 高いポテンシャルのあるアジア地域のCCUSを推進! 「アジアCCUSネットワーク」発足(2021.8.16.). 2022.5.18. 인용

일본의 CCUS 기술 관련 현황

일본의 CCUS 기술 수준

- CCS 관련 특허 건수 세계 3위
 - CCS에 관해서는 2019년 기준, 일본은 **카본 리사이클(탄소 리사이클) 관련 분리회수(CCS) 특허가 총 113만 6,507건**
 - **중국 172만 9,685건, 미국 172만 7,312건에 이어 3위를 차지**
 - 향후 전 세계 점유율 30%(년간 25톤의 탄소량을 분리 회수)를 목표
- CCS 2022년 현재 일본 국내에 저장소 직접 소유한 기업은 없음
 - 2019년 기준 미쓰비시중공업이 CCS 기술을 전 세계 70% 이상 점유, 전 세계 14개소에 회수장치를 납품
 - 특히 미국 텍사스주에 하루 4,776톤급 이상의 플랜트 갖춘 CO₂ 회수기능 가진 상용기를 납품한 실적은 있음.
 - **일본 국내에 독자적으로 저장소 기능을 갖춘 시설은 보유하고 있지 않음.**

* 참고 자료: 일본 MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES > 事業領域 > CCUS. <https://solutions.mhi.com/jp/ccus/>

일본의 CCUS 기술 관련 현황

일본의 CCUS 기술 수준

• 일본은

호주·아세안 등과 파트너십을 구축, CCUS 상용화 및 기술 확보에 힘을 모으고 있음

2020년

CCUS 네트워크 구성

- 인재육성, 정보공유
- 역내 포센셜 확인
- 로드맵 작성

2025년

프로젝트개발과 사업환경 정비

- 배출원, 저장지 최적매칭
- 공동규범 만들어 ASEAN 역내 CCUS 적용 환경 정비
- 신규기술 수요 결합 프로젝트 진행

2030년

CCUS 상용화, 네트워크화

- 인도태평양권 전개
- ASEAN에서의 CCUS 프로젝트 상용화
- 아시아 허브&클러스터 구상

일본 CCUS 현황의 시사점

▶ 탄소 리사이클 관련 특히 강점

- 미쓰비시중공업이 CCS 기술을 전세계 70% 이상 점유
- 일본 국내 독자적 저장소 기능 갖춘 시설은 없음

▶ 호주 및 아세안 CCUS 파트너십 구축 추진

- 호주 및 아세안과 파트너십 구축하여 CCUS 상용화 및 기술확보에 힘을 모으고 있어

미국



미국의 CCUS 기술 관련 현황

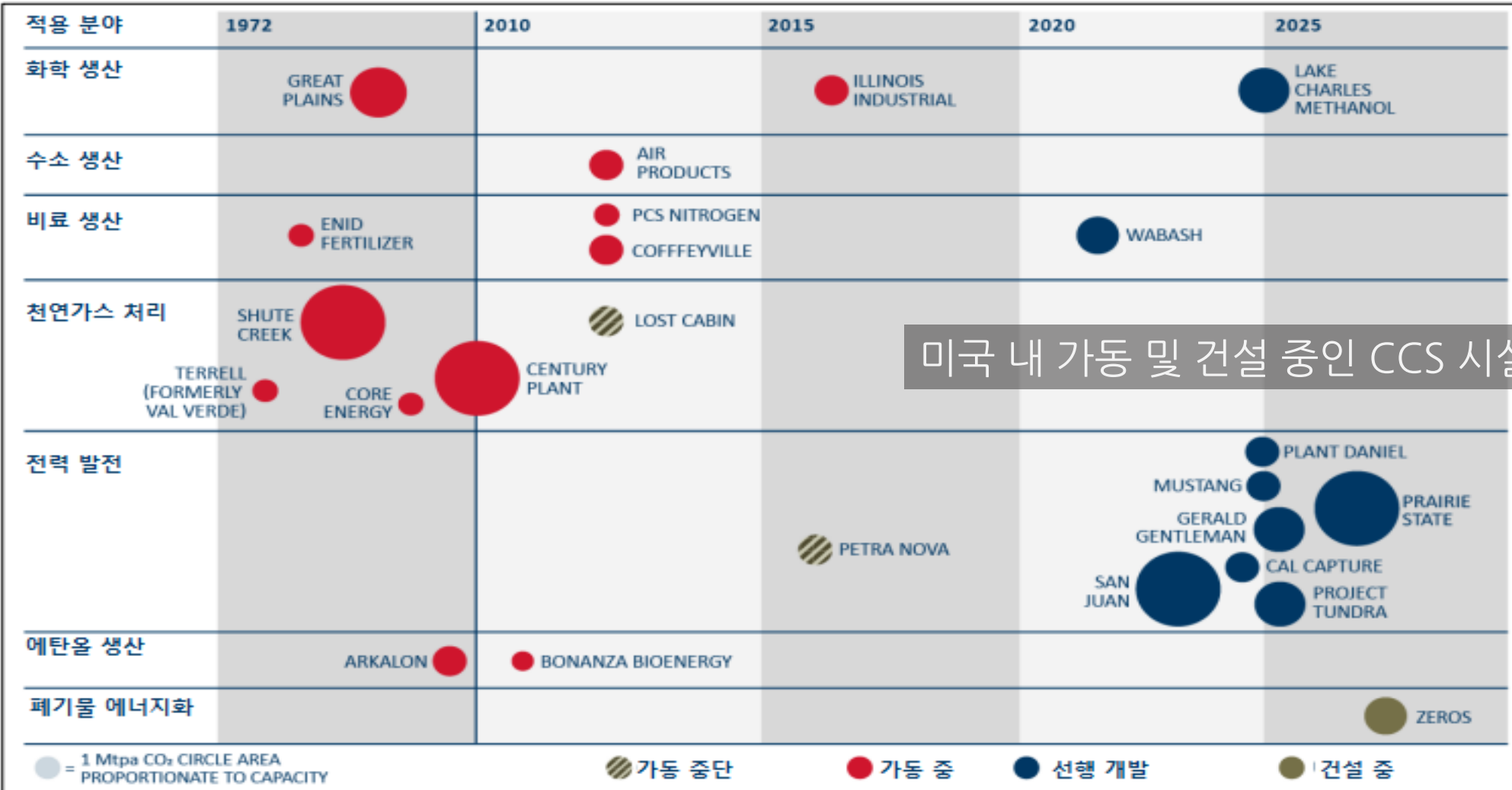
전세계 24개 CCS 시설 중 12개, 미국에 소재

- 2020년 기준, 전 세계 총 24개의 민간 CCS 시설이 있으며, 이 중 12개는 미국에 소재

(글로벌 CCS 연구소(Global CCS Institute, GCCSI) 수집 데이터)

- 24개 CCS시설의 연간 탄소 포집 및 저장 용량은 **4,000만 톤**에 달함.
- 미국에서 가동 중이거나 개발 중인 CCS 시설은 화학 생산, 수소 생산, 비료 생산, 천연가스 처리, 전력 발전 등 5가지 산업에서 나타남.

미국의 CCUS 기술 관련 현황



미국 내 가동 및 건설 중인 CCS 시설(2020년 기준)

* 자료: CRS. (2021.10.18). Carbon Capture and Sequestration (CCS) in the United States, 14.

미국 내 가동 중인 민간 CCS 시설 현황

시설명	가동연도	산업 부문	시설 설명
Air Products Steam Methane Reformer	2013	수소 생산	<ul style="list-style-type: none"> • 텍사스 소재 정유소 내 메탄증기 개질기(Steam Methane Reformer, SMR) 2개를 새로 장착, 가스 증기 처리 과정에서 이산화탄소를 분리. • 완전 가동 시, 포집용량은 1Mtpa, 포집된 이산화탄소는 텍사스의 유전으로 수송됨. 가동 이후 총 6백만 톤의 이산화탄소가 포집됨.
Arkalon CO ₂ Compression Facility	2009	에탄올 생산	<ul style="list-style-type: none"> • 2015년부터 총 19만 톤의 이산화탄소가 EOR 공정에 사용.
Bonanza BioEnergy CCUS EOR	2012	에탄올 생산	<ul style="list-style-type: none"> • 2012년 가동 이후 매년 10만 톤의 이산화탄소를 포집, 근교에 소재한 Stewart 유전에 공급.
Century Plant	2010	천연가스 처리	<ul style="list-style-type: none"> • 탄소포집 용량은 5Mtpa • 포집된 이산화탄소는 Permian 분지에 지중 저장을 위해 배관 수송됨.
Coffeyville Gasification Plant	2013	비료 생산	<ul style="list-style-type: none"> • 이산화탄소 압축 및 건조 시설을 도입하여, 2013년 가동 이후 EOR (원유회수율 높이는 기술) 공정을 위해 이산화탄소를 공급. • 포집 용량은 0.9Mtpa.
Core Energy CO ₂ -EOR	2003	천연가스 처리	<ul style="list-style-type: none"> • Antrim 셰일가스부지에서 생산된 이산화탄소 50만 톤 중 약 40만 톤을 포집 • 2016년 말 기준, 2백만 톤의 이산화탄소를 주입했다고 발표.

주: Mtpa란 Million Ton Per Annual의 약자. 무게 단위로 사용됨. 1Mtpa는 연 100만 톤을 의미

*자료: Global CCS Institute. Facilities Database(2022년 기준) <https://co2re.co/FacilityData>

미국 내 가동 중인 민간 CCS 시설 현황

시설명	가동연도	산업 부문	시설 설명
Enid Fertilizer	1982	비료 생산	<ul style="list-style-type: none"> 질소 비료를 생산하여 순도와 농도가 높은 이산화탄소를 배출 포집된 이산화탄소는 압축, 냉각, 건조시설을 거쳐 오클라호마 남부의 고갈된 유전으로 수송되어 EOR 공정에 사용됨.
Great Plains Synfuels Plant and Weyburn-Midale	2000	합성천연가스	<ul style="list-style-type: none"> 석탄가스화공정의 일환으로 고순도의 이산화탄소를 생산. 포집 용량은 약 3Mtpa이며, 포집된 이산화탄소는 배관을 통해 캐나다 서스캐처원의 유전으로 수송됨. 지금까지 약 3,900만 톤의 이산화탄소가 포집되어 운송됨.
Illinois Industrial Carbon Capture and Storage	2017	에탄올 생산	<ul style="list-style-type: none"> 기존 옥수수-에탄올 공장에 압축 및 건조 시설을 신규로 추가하여 탄소 포집 용량 1Mtpa를 확보함. 탄소 주입은 2017년 4월부터 시행됨.
PCS Nitrogen	2013	비료 생산	<ul style="list-style-type: none"> 걸프연안지역의 이산화탄소 EOR 공정 지원을 위해 이산화탄소를 공급하고 있으며, 2013년 가동 이후 연간 20~30만 톤의 이산화탄소를 포집함.
Shute Creek Gas Processing Plant	1986	천연가스 처리	<ul style="list-style-type: none"> 2010년 공장 확장이 완료된 후 연간 이산화탄소 포집 용량은 7Mtpa에 달함. 포집된 이산화탄소는 배관을 통해 와이오밍과 콜로라도 소재의 고갈된 유전으로 보내지며, EOR 공정에 사용됨.
Terrell Natural Gas Processing Plant	1972	천연가스 처리	<ul style="list-style-type: none"> 1970년대 초부터 천연가스 처리 과정의 일환으로 이산화탄소 포집을 시작함. 포집 용량은 약 0.4~0.5Mtpa임.

주: Mpta란 Million Ton Per Annual의 약자. 무게 단위로 사용됨.

1Mtpa는 연 100만 톤을 의미

*자료: Global CCS Institute. Facilities Database(2022년 기준) <https://co2re.co/FacilityData>

미국의 CCUS 정부 지원 현황

미국 에너지부(DOE)

- 미국 에너지부(DOE)는 주로 ‘화석에너지 및 탄소 관리 연구, 개발, 시연, 보급 프로그램(Fossil Energy and Carbon Management Research, Development, Demonstration, Deployment program, FECM)’을 통해 **1997년부터 통합 CCS 체계의 주요 3단계 과정에 대한 R&D 지원**을 시작, **통합** 탄소포집저장 시설 개발을 지원
- 2010년 이후에는 FECM 중 석탄 프로그램에서 **CCS기술에 중점을 둔 R&D 지원 비중이 크게 증가**
 - 2010~2021 회계연도의 FECM 지원액이 총 73억 달러에 이룸.
- 과학, 공학, R&D 지원, 과학기술 교육 등에 대한 지출을 골자로 한 「미국의 회복과 재투자법안(American Recovery and Reinvestment Act, ARRA)」에 따라 CCS 사업에만 34억 달러 추가 지원

미국의 CCUS 정부 지원 현황

바이든 행정부 CCUS 관련 예산 현황

- 2022 회계연도 예산 요청에서
- FECM의 연구, 개발, 시연 및 사업에
- **8억 9,000만 달러**를 편성함.

프로그램 영역		편성액 (단위: 천 달러)
CCUS과 전력시스템	탄소 포집	\$150,000
	탄소 활용	\$38,000
	탄소 저장	\$117,000
	신에너지 및 수소 시스템	\$82,000
	융복합연구	\$36,500
	탄소 제거	\$63,000
	광물 지속가능성	\$45,000
	소계	\$531,500
천연가스기술		\$130,000
국립에너지기술연구소		\$190,400 (\$38,100 추가)
총계		\$890,000

미국 CCUS 현황의 시사점

- 1997년부터 통합 CCS 체계의 주요 3단계 과정에 대한 R&D 지원을 시작
 - 미국에서 가동 중이거나 개발 중인 CCS 시설은 화학 생산, 수소 생산, 비료 생산, 천연가스 처리, 전력 발전 등 5가지 산업에서 나타나고 있음.
 - 미국 의회는 특히 **기술 투자에 대한 세금 인센티브 제공, 행정 부담 더는 등 법제 차원 노력**을 병행

종합 시사점(정리)

실질적
탄소저감정책,
CCS(프랑스)

글로벌
CCS 네트워크
(일본)

R&D 및 인센티브
중심의 법제/정책
구성(미국)

→ 관련 법률안이 계류 중(2023년 11월 기준)인 한국의 경우 법률 발효 이후 각 부처에 위임될 세부 법령 및 하부 정책의 구체적 구성에 있어 인허가 규제 뿐 아니라

세금 인센티브, R&D 지원, 해외 네트워크 확장, “탄소저감 정책의 중심으로서의 CCS” 등이 강조될 수 있도록

단일법 중심의 법제화, 산업계 참여 중심 프로젝트 활성화



감사합니다.