

# 한경협

# ESG Bulletin

2025. 3 | 제 13 호

K-ESG 얼라이언스 사무국에서는 회원서비스 강화와 ESG 저변 확대를 위해 한경협 ESG경영자문단이 ESG 핵심 이슈에 대해 꼭 짚어 설명드리는 'ESG Bulletin'를 매월 발행하고 있습니다.

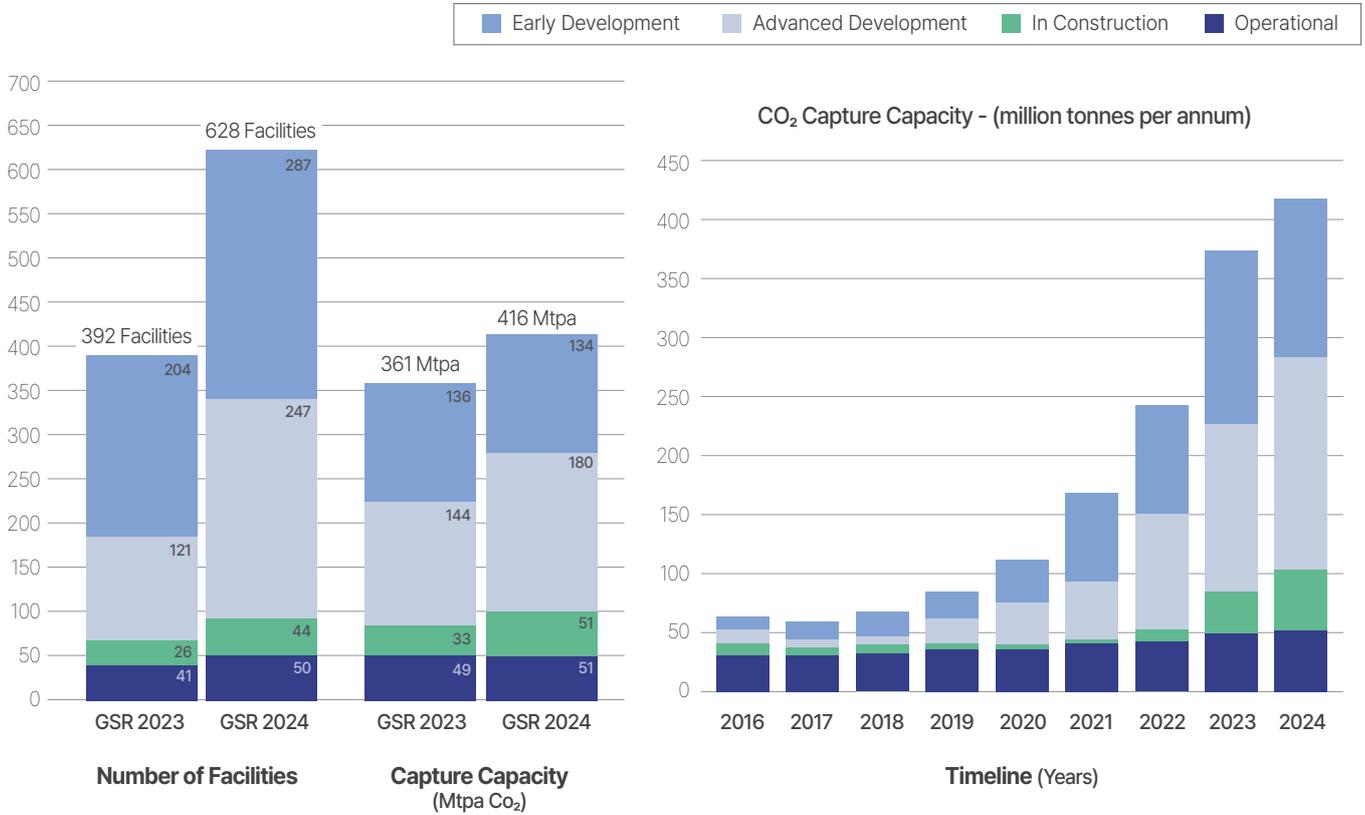
## 주요국 2025년 CCUS 산업 전망 및 최신 기술 동향

민배현 이화여자대학교 기후에너지시스템공학과 교수  
(한국경제인협회 ESG경영자문단)

이산화탄소 포집, 활용 및 저장 기술(Carbon Capture, Utilization, and Storage; CCUS)은 플랜트 등 배출원이나 대기에서 이산화탄소를 포집한 후, 노후 유가스전 또는 대수층에 안전하게 지중저장(CCS)하거나 오일증진회수 또는 탄소중립연료(e-fuel) 생산 등 산업에 활용(CCU)하는 기술이다. 이에 CCUS는 철강, 시멘트, 정유, 석유화학 등 이산화탄소 발생을 근본적으로 줄이기 어려운 난감축 산업 분야(hard-to-abate sectors)의 주요 탄소감축 수단으로 주목받고 있다. 호주 Global CCS Institute에 따르면, 2024년 기준 전 세계에서 628개의 CCUS 시설이 개발(Development), 건설(In Construction), 또는 운영(Operational) 중이며, 이는 2023년 대비 60% 증가한 수치이다(그림 1). 2024년 포집 용량은 4억 1,600만 톤/연으로, 전년 대비 15% 증가하였다(그림 2). CCUS 기술은 주로 천연가스 처리, 수소 및 암모니아 생산, 바이오에너지 산업에서 발생하는 이산화탄소 감축에 활발히 적용되고 있으며, 점차 다양한 탄소 다배출 산업으로 확산되는 추세이다.

[그림 1] 전 세계 CCS 시설의 개수 및 연간 포집 용량.

[그림 2] 전 세계 CCS 시설의 연간 포집 용량 추이.



(출처: Global Status of CCS 2024)

## 미국

미국은 글로벌 CCUS 산업을 선도하는 국가로 현재 전 세계에서 가장 많은 276개의 CCS 프로젝트가 진행 중이며, 이는 전년 대비 79% 증가한 수치이다 (Global Status of CCS 2024). 특히, 인플레이션 감축법(Inflation Reduction Act; IRA)을 토대로 CCUS 산업에 대한 투자를 지원하고 있다. 산업 및 발전 시설에서 포집한 이산화탄소의 경우 CCS는 \$85/톤, CCU는 \$60/톤의 보조금을 45Q 세금 공제 형태로 지원받으며, 직접 공기 포집(Direct Air Capture; DAC) 방식으로 포집한 이산화탄소의 경우 CCS는 \$180/톤, CCUS는 \$130/톤의 보조금을 지원받는 강력한 인센티브를 제공하고 있다. IRA의 정책적 지원에 힘입어 2024년 미국의 탄소 포집 용량은 연간 1억 8000만 톤으로 2023년 대비 3.5배 증가하였으며, 2030년에는 연간 2억-2억 5000만 톤에 이를 것으로 전망된다. 미국에서는 연방 차원 뿐만 아니라 개별 주 차원에서도 CCUS 정책을 마련하여 프로젝트의 시행 및 확장을 추진하여 왔다. 다만, 도널드 트럼프 2기 행정부가 2025년 1월 20일 집권하면서 IRA 폐지 또는 수정 등 정책적 불확실성이 존재하므로 향후 정책 방향에 따라 CCUS 산업의 발전 속도는 영향을 받을 수 있다.

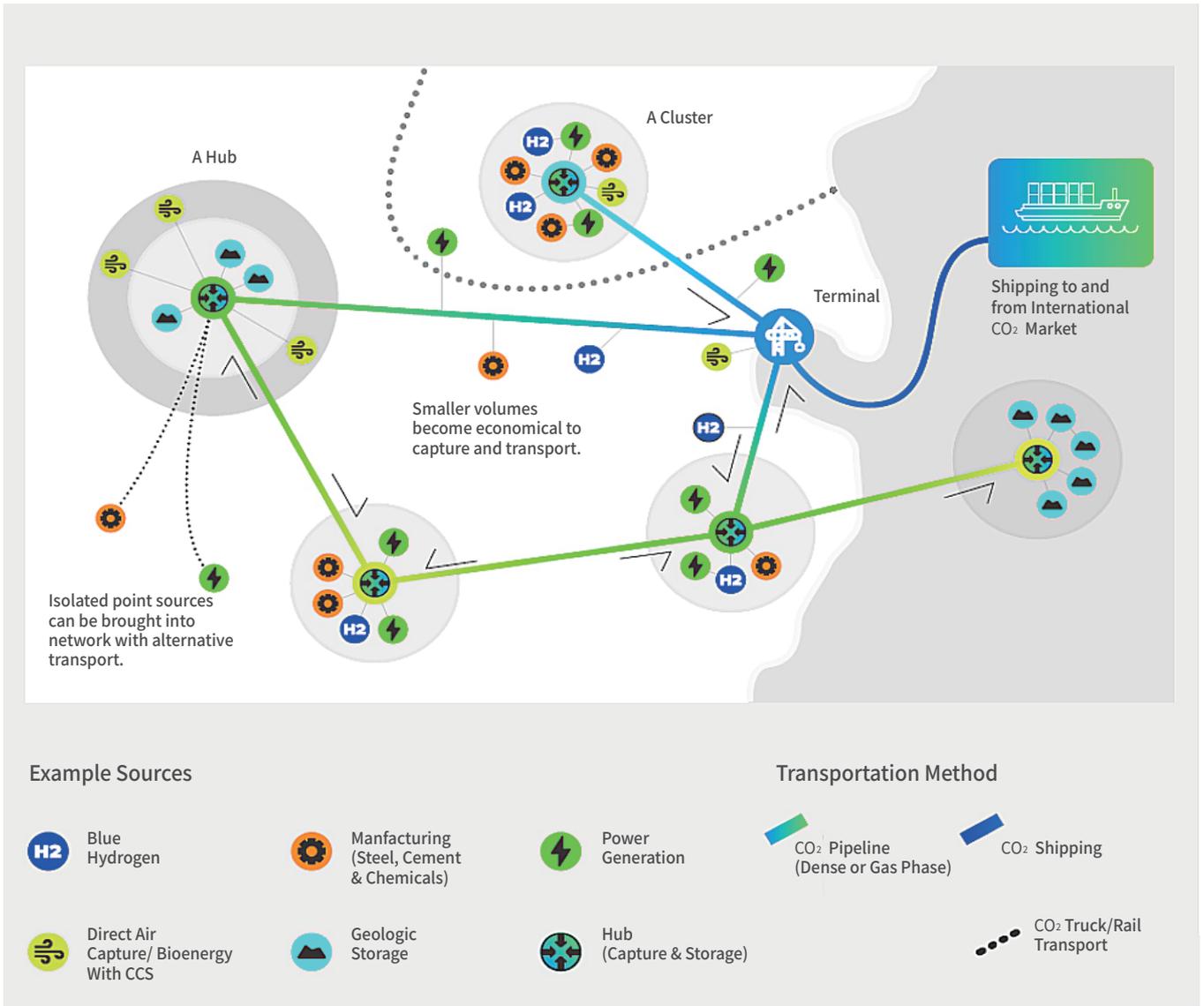
미국 CCUS 분야에서 최근 주목할 만한 기술혁신 성과로는 2024년 10월 Nature에서 발표된 포집제 COF-999가 있다. 미국 UC 버클리 대학교 Omar Yaghi 교수 연구진이 산학연 협력하여 개발한 이 물질은 공유결합성 유기 골격구조체(covalent organic frameworks)이며, 약 200g의 COF-999는 나무 한 그루가 1년 동안 흡수하는 양인 20kg 내외의 이산화탄소를 대기 중에서 포집할 수 있는 우수한 성능을 보였다. 특수 재료를 사용하지 않아 비용 효율적일 것으로 예상되며, 100회 이상 재사용해도 성능 저하가 크게 없어 CCUS 총 비용의 70-80%를 차지하는 포집 비용 절감에 크게 기여할 것으로 기대된다.

## 유럽, 영국

유럽과 영국은 탈탄소 에너지 시대로의 성공적인 전환을 위한 주요 수단으로 CCUS 산업 성장을 가속화하고 있다. EU는 2024년 6월 29일 발효된 기후중립산업법(Net Zero Industry Act; NZIA)을 통해 2030년까지 연간 5천만 톤의 이산화탄소 지중 주입 용량을 확보하는 것을 목표로 하고 있으며, 회원국이 지정한 석유 및 가스 생산업체들이 이 목표 달성에 기여해야 함을 명시하고 있다. 또한, 탄소국경조정제도(Carbon Border Adjustment Mechanism; CBAM)를 통해 산업의 저탄소 전환을 가속화하고 있다. 2023년 10월부터 단계적으로 시행된 CBAM은 철강, 시멘트, 비료, 알루미늄, 전력 등 탄소 집약적 제품의 수입에 탄소 비용을 부과하여 EU 역내 기업을 보호하고 글로벌 공급망의 탈탄소화를 촉진할 예정이다. CBAM은 2026년부터 본격 시행될 예정이다.

유럽과 영국에서 주목할만한 CCUS 기술 동향은 허브&클러스터(hub & cluster) 형태의 대규모 네트워크 구축이다(그림 3). 여러 산업단지에서 포집된 이산화탄소를 허브를 거쳐 해양 지중저장소까지 파이프라인 또는 선박으로 수송하는 통합 네트워크 시스템을 구축함으로써 CCUS의 운영 효율성 제고, 비용 분담 구조 확립, 투자 리스크 감소 등의 효과를 기대할 수 있다. 2024년 9월 기준 전 세계적으로 개발 중인 40여 개의 CCUS 허브 중 절반 이상이 유럽에 집중되어 있으며, 유럽연합(EU)은 2024년 2월 '산업 탄소 관리 전략(Industrial Carbon Management Strategy)'을 통해 이산화탄소 수송 규제 프레임워크를 수립할 계획을 발표하였다. 다만, 국가별 법제화가 2029년 이후로 예상됨에 따라 현재는 노르웨이와 네덜란드를 중심으로 네트워크 인프라 구축이 활발히 진행되고 있다. 대표적 국경 간 CCUS 네트워크 사례인 노르웨이 노던 라이트(Northern Lights) 프로젝트는 2024년 9월 연간 150만 톤 규모의 1단계 시설(허브터미널, 해상 파이프라인, 주입 설비)을 완공하고 금년도 주입을 시작할 예정이다. 이 프로젝트는 노르웨이와 네덜란드 산업단지에서 포집된 이산화탄소를 선박으로 수송한 후, 베르겐 인근 허브 터미널에서 집적해 북해 해저 2,600m 지층에 저장하는 통합 네트워크로 구성되어 있다. 향후 2단계 확장을 통해 저장 용량을 연간 500만-1,500만 톤으로 증설할 예정이다.

[그림 3] CCUS 네트워크 개념도 (Global Status of CCS 2023)

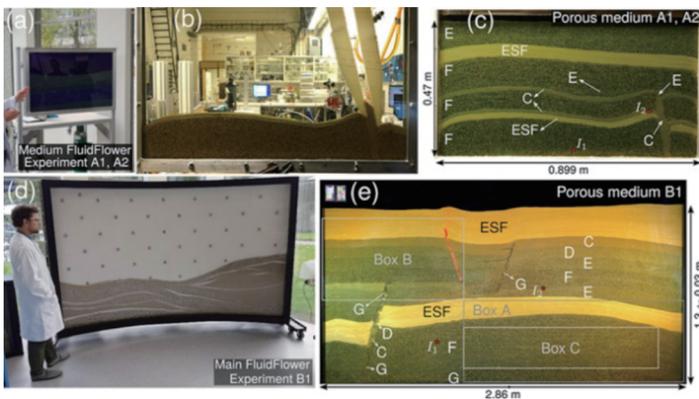


국가 차원의 CCUS 네트워크도 활발히 구축 중이다. 네덜란드의 Porthos 프로젝트는 2024년 4월 착공하여 2026년 중 운영을 시작할 예정으로, 총 13억 유로를 투자하여 연간 250만 톤의 이산화탄소를 15년 동안 저장함으로써 누적 3700만 톤의 이산화탄소를 북해 해저 3-4km 깊이의 고갈된 가스전에 저장할 계획이다. 이는 한국의 동해 노후 가스전 CCUS 전환 계획에 참고가 될 수 있다. 영국은 2024년 10월, 향후 25년간 최대 2127억 파운드(약 38조원)의 CCUS 투자 계획을 발표하였다. 2030년까지 한 지역 내 여러 산업 시설이 인프라를 공유하여 이산화탄소를 포집, 저장하는 CCUS 클러스터를 4개 조성하여 연간 2000-3000만 톤의 이산화탄소 감축을 목표로 하며, 우선 화학 및 철강 산업 지구인 테사이드(Teesside)와 중공업 및 제조업 지구인 머지사이드 지역(Merseyside) 클러스터에서 연간 850만 톤의 이산화탄소를 포집할 계획이다. 다만 CCUS

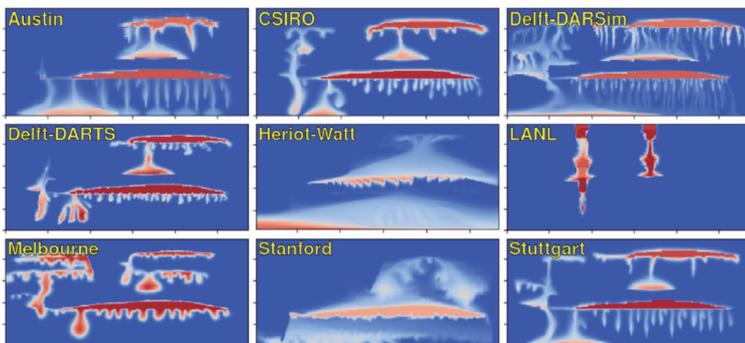
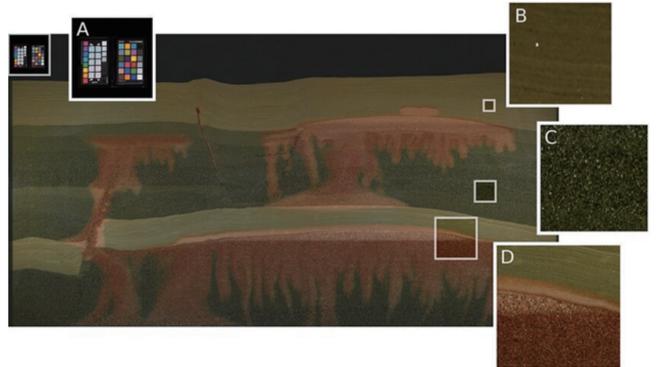
프로젝트의 경제성 확보는 여전히 과제로 남아 있다. 2024년 12월 스웨덴 바텐폴(Vattenfall)이 CCS 시장 미성숙과 경제적 조건 부족을 이유로 연간 15만 톤 규모의 CCS 프로젝트를 중단한 사례는 CCS 산업이 직면한 경제적 불확실성을 보여준다.

유럽과 영국의 주목할만한 CCUS 기술 동향 중 하나는 이산화탄소 지중저장소의 디지털 트윈 구축이다. 2021년부터 2027년까지 진행되는 PoroTwin 프로젝트가 대표적으로, 영국의 Harbour Energy의 지원을 받아 노르웨이 베르겐 대학교, SINTEF 연구소, 노르웨이 과학기술대학교(NTNU)가 수행하고 있다. 이 프로젝트의 핵심인 FluidFlower 실험은 가로 세로 약 2m 규모의 사암층 이산화탄소 지중저장소를 모사한 장비를 구축하였는데(그림 4), 실험 장비에 이산화탄소를 주입한 후 이산화탄소가 시간에 따라 이동하고 저장되는 현상을(그림 5) 수치 모델링하고 시뮬레이션하여 디지털 트윈으로 구현함으로써 CCUS 기술을 혁신하고 있다. 특히, 미국 텍사스 주립대 오스틴, 스탠포드 대학교, 호주 CSIRO, 멜버른 대학교, 네덜란드 TU Delft 공대, 영국 Heriot-Watt 대학교, 미국 로스 알라모스 국립연구소(LANL), 독일 Stuttgart 대학교 등 여러 기관에서 수행한 시뮬레이션 결과를 비교 분석하여 CCUS 디지털 트윈 기술의 정확도를 높이고 있다(그림 6). 이러한 연구는 CCUS 기술에 대한 대중과 연구자들의 이해를 크게 향상시키는 데 기여하고 있다.

[그림 4] FluidFlower CO<sub>2</sub> 주입 실험 장비(물리적 트윈).



[그림 5] FluidFlower CO<sub>2</sub> 주입 실험 결과(물리적 트윈).



[그림 6] FluidFlower CO<sub>2</sub> 주입 실험을 재현한 모델링 및 시뮬레이션 결과(디지털 트윈).

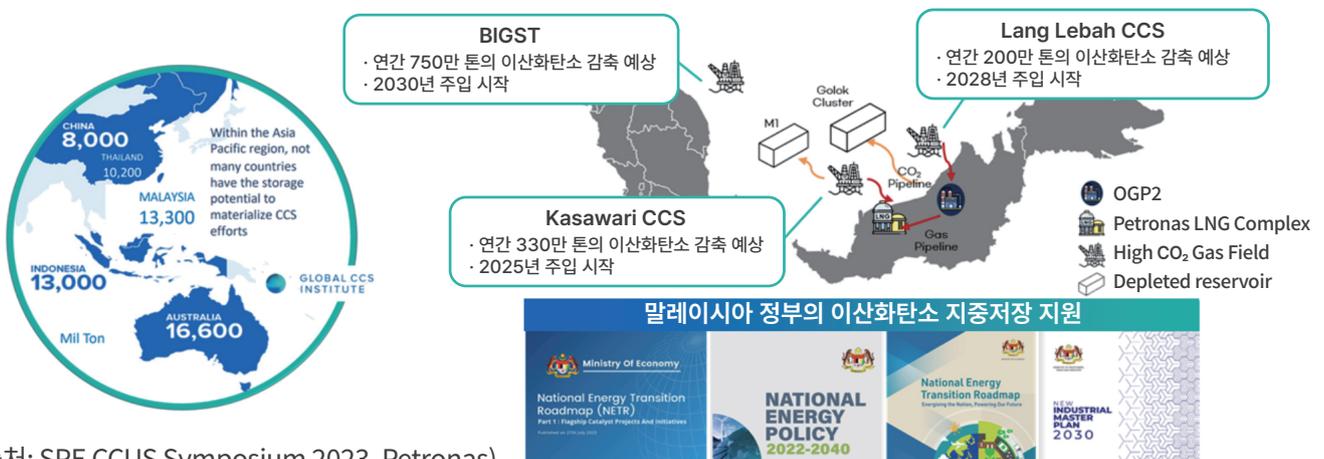
(출처: <https://fluidflower.w.uib.no/>)

## 아시아·태평양

아시아·태평양 지역 또한 국경 간 CCS 네트워크 구축에 대한 관심이 높아지고 있다. 특히 저장 용량이 높은 말레이시아, 인도네시아, 호주와 이산화탄소 배출량이 많은 한국, 일본 간 협력을 통한 다국적 CCUS 허브 구축이 논의되고 있다. 다만 현재 아시아·태평양 지역에서는 국경 간 이산화탄소 이동시 측정, 보고, 검증(Measurement, Monitoring and Verification, MMV) 기준 미흡, 국가 간 감축 기여 회계 처리 규정 부재 등 정책적 불확실성이 존재한다. 따라서 CCS 네트워크 활성화를 위해서는 규제 표준화 및 민간 투자 유도가 중요한 과제가 될 것으로 전망된다.

말레이시아는 2050년까지 탄소중립 달성을 목표로 하며 2030년까지 탄소집약도를 2005년 수준 대비 45% 감축하고자 한다(그림 7). 이를 위해 '국가 에너지 정책(2022-2040)'과 '국가 에너지 전환 로드맵'을 수립하여 CCUS를 주요 전략으로 채택하였다. 구체적으로 2030년까지 3개의 CCUS 허브를 개발하여 연간 1,500만 톤, 2050년까지는 총 8,000만 톤의 이산화탄소 저장 용량을 확보할 계획이다. 이를 위해 2023년부터 2050년까지 약 44-47조 원을 투자할 예정이며, 국영 에너지기업 Petronas가 주도적으로 CCUS 프로젝트를 진행하고 있다. 일련의 투자와 국제 협력을 통해 말레이시아는 아시아·태평양 지역의 CCUS 중심지로 도약하고자 한다. 특히, 일본과의 협력을 통해 2028년부터 연간 최대 1,500만 톤의 이산화탄소를 처리하는 국가 간 CCS 비즈니스 모델을 구축할 계획이다. 일본과 말레이시아는 2024년 3월 CCS 협력 양해각서를 체결하여 2028년부터 일본에서 포집된 이산화탄소를 액화 운반선을 통해 말레이시아 저장시설로 운송 및 주입하는 것을 목표로 하고 있다. 일본 에너지·금속광물자원기구(JOGMEG)는 2024년 9개의 CCS 프로젝트를 선정하였으며 그 중 5개는 일본 국내 저장, 4개는 아시아·태평양 지역 내 저장을 목표로 하며, 총 연간 2,000만 톤의 이산화탄소 지중저장을 계획하고 있다. 아시아·태평양 지역의 국경 간 CCS 프로젝트는 일본과 말레이시아의 CCUS 네트워크를 시작으로 향후 지역 전체로 확대될 가능성이 높다. CCUS 산업의 성장을 위해서는 국경을 넘는 이산화탄소 운송 및 저장과 관련된 규제, 기술, 경제적 과제를 해결하는 것이 핵심이 될 전망이다.

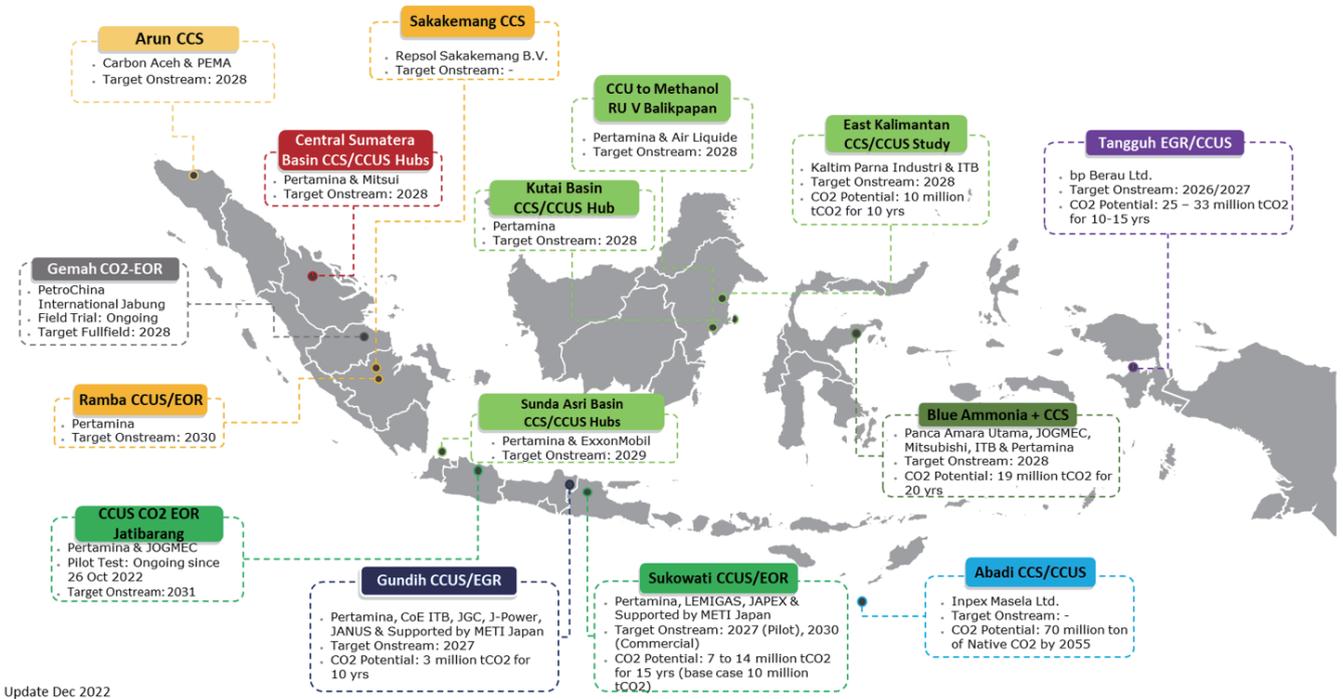
[그림 7] 말레이시아의 CCUS 프로젝트 추진도.



(출처: SPE CCUS Symposium 2023, Petronas)

인도네시아는 국영 에너지기업 Pertamina의 주도로 대규모 CCUS 프로젝트를 진행하고 있다. 고갈 유가스전에 43억 톤, 염수층에 6,420억 톤 규모의 이산화탄소 지중저장 가능성을 확인했으며, 2027-2031년까지 15개 이상의 CCUS 프로젝트 운영을 목표로 하고 있다. 현재 평가가 완료된 8개 프로젝트의 총 연간 주입량은 1,000만 톤 규모에 달한다. Asri Basin, Kutai Basin, Central Sumatera에서 CCUS 허브를 개발 중이며, Jatibarang에서는 포집한 이산화탄소를 주입하여 석유 생산을 증진하는 오일증진회수(CO2-EOR) 기술을 도입하고 있다. 이러한 노력들은 인도네시아가 CCUS 기술을 통해 탄소 중립 목표 달성과 동시에 에너지 산업의 지속가능한 발전을 추구하고 있음을 보여준다.

[그림 8] 인도네시아의 CCUS 프로젝트 추진도.



(출처: Indonesia Tabled CCS and CCUS in Net Zero Emission Road Map: Opening Possibilities for Cross-Border Carbon Trading/Storage – Asia CCUS Network, 2023)

호주의 Gorgon 프로젝트는 세계 최대 규모의 CCUS 프로젝트로, 기술적 도전과제를 보여주는 대표적인 사례이다. 연간 4백만 톤의 이산화탄소 포집 및 저장을 목표로 40년간 누적 1억 톤 이상 저장 계획으로 시작되었으나, 2019년 8월 가동 이후 2024년까지 누적 약 1천만 톤을 주입에 그쳤다. 2019년부터 2023년까지 5년간 평균 포집률은 44%로 목표인 80%에 미치지 못하였는데, 이는 저장소의 압력이 안정적으로 유지되지 않아 지중저장할 수 있는 이산화탄소 주입량을 줄여야 했기 때문이다. 즉, Gorgon 프로젝트는 CCUS의 기술 성숙도 향상을 위해 지속적인 투자와 혁신의 필요성을 강조하는 사례로 살펴볼 수 있다.

## 대한민국

2025년 대한민국 CCUS 산업의 주요 화두는 동해가스전 활용 CCS 실증사업의 추진과 이산화탄소 포집·수송·저장 및 활용에 관한 법률(이산화탄소저장활용법) 시행이라 할 수 있다. 동해가스전 CCS 실증사업은 국내 최초의 대규모 실증 사업으로 연간 120만 톤의 이산화탄소를 30년간 주입해 총 3600만 톤 감축을 목표로 한다. 2024년 1월 예비타당성 조사 대상에 선정된 후 현재 평가 중이며, 사업 승인 시 2025년부터 2030년까지 6년간 최대 2조 9,528억 원(국고 8,168억원, 민자 2조 471억원 등)이 투입될 예정이다. 이 사업은 산업통상자원부와 해양수산부 주도로 동해가스전 지중저장 인프라 구축 및 CCS 기술혁신을 통해 민간 진입장벽 해소를 목표로 한다. 포집부터 수송, 주입, 저장의 전 과정 기술 검증을 통해 NDC 달성에 기여하고 CCS의 국내 기술 수준을 실용화 단계(기술 성숙도 7-8)까지 향상시킬 것으로 기대한다.

2025년 2월 7일부터 시행된 이산화탄소저장활용법은 기존 40여 개의 개별법에 흩어져 있던 CCUS 관련 규정을 일원화하였다. 이 법은 육상 및 해양 저장후보지 선정·공표 절차, 저장사업 허가, 모니터링 기준을 체계화하고, CCU 기업 지원, 기술 및 제품 인증, 실증 및 사업화 지원, 사업비 보조 및 용자 등 다양한 기업지원 내용을 포함하고 있다. 또한 CCUS 집적화단지 지정 및 지원 제도, CCUS 진흥센터 설립 근거를 마련하여 산업 생태계 활성화를 위한 법적 토대를 구축하였다. 다만 세부 제도 정비, 배출권 거래제와의 연계, 투자 리스크 완화 등의 과제가 남아 있어, 이를 해결하기 위한 정부와 산업계의 긴밀한 협력이 필수적이다.

## 맺음말

NDC 상향안 달성을 위한 2030년이 5년 내로 다가오면서 CCUS 산업의 필요성과 중요성은 더욱 증대될 전망이다. EU의 CBAM과 미국의 IRA 등 강력한 기후 대응 정책이 글로벌 산업 구조를 재편하는 가운데, 대한민국을 포함한 주요국들은 CCUS 기술 개발과 인프라 확장을 통해 국제 경쟁력 확보에 주력할 필요가 있다. CCUS 시장의 안정적 성장을 위해서는 경제성 확보를 위한 일정 수준 이상의 탄소 가격 유지, 배출권 거래제와의 효과적 연계, 규제 표준화, 지속적인 기술 개발 지원이 필요하다. 또한, 정부와 산업계의 긴밀한 협력, 민간 부문의 적극적 투자와 혁신이 동반될 때 CCUS 산업의 지속적 확장이 가능할 것이다.