

한경협

ESG Bulletin

2024. 07 | 제 5 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.

탄소저감기술의 국제 트렌드: CCUS 를 중심으로

민배현 이화여대 기후에너지시스템공학과 교수
(한국경제인협회 ESG경영자문단)

오늘날 세계 각국이 당면한 기후에너지 난제는 2050 탄소중립, 에너지 전환, 에너지 안보라 할 수 있다. 현재 국가 온실가스 배출량의 대부분은 철강, 석유화학, 시멘트 등 중공업에 기인하며, 이러한 탄소 다배출 업체들이 당면하고 있는 ESG 이슈는 기후리스크¹⁾, 그 중에서도 저탄소 체제로의 전환 리스크(transitional risk)를 해결하는 기후테크(climate tech)의 접목이라 할 수 있다. Statista에 따르면 기후테크 글로벌 시장규모는 2023년 기준 203억 달러에서 2030년 945억 달러, 2033년 1825억 달러까지 연평균 24.5% 씩 성장할 것으로 전망된다.

이산화탄소 포집·활용·저장 기술(CCUS)

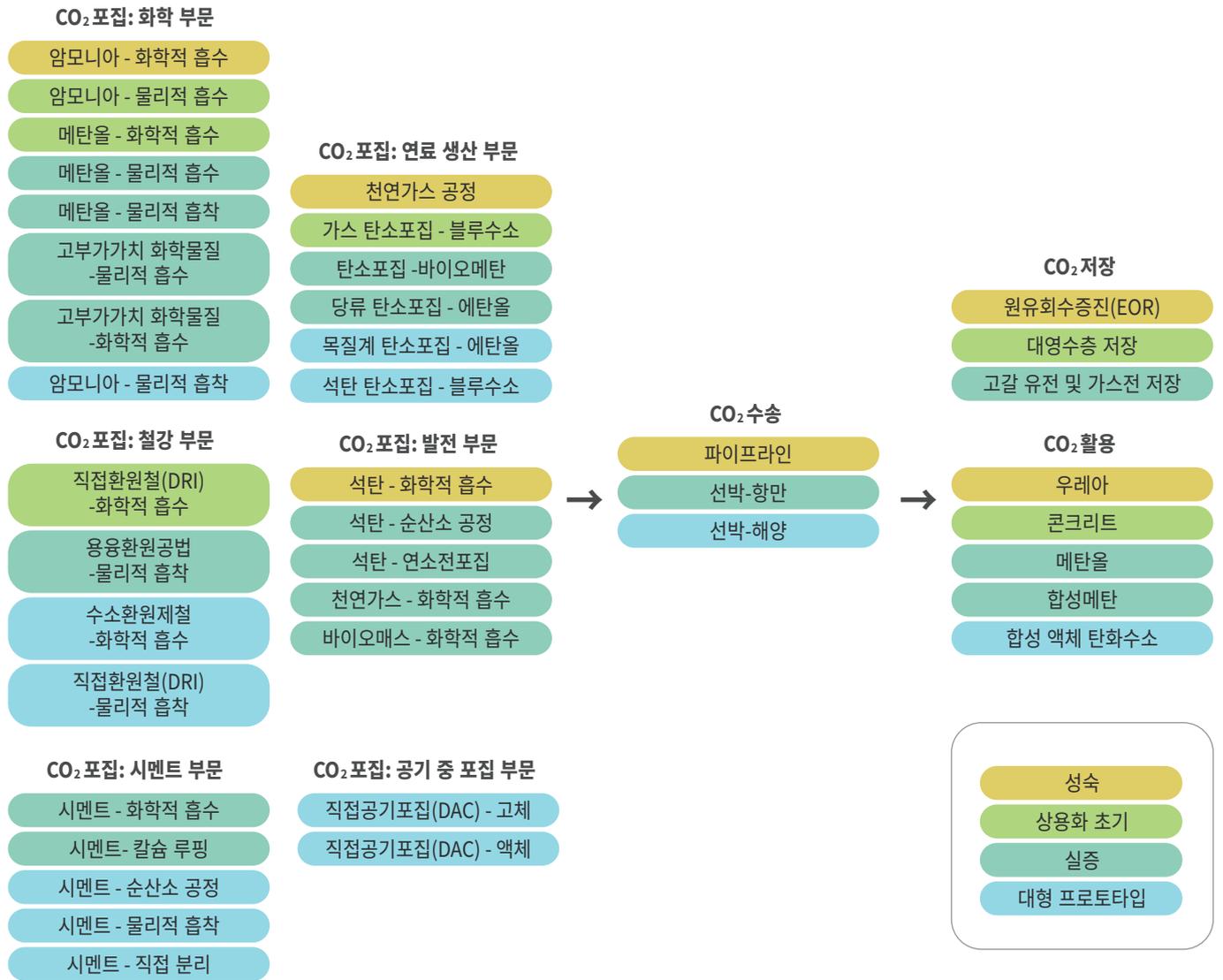
현재 대규모 탄소 감축을 위한 글로벌 기후테크의 핵심 트렌드는 이산화탄소 포집·활용·저장 (Carbon Capture, Utilization, and Storage, CCUS)이라 할 수 있다. CCUS는 공장 등 대규모 탄소배출원이

1) 기후리스크(climate risk)는 전환 리스크(transitional risk)와 물리적 리스크(physical risk)로 구분한다.

방출하는 배기가스에서 이산화탄소를 포집하거나 공기 중에서 이산화탄소를 흡수한 후, 심도 1km 내외의 육상 또는 해저 지층에 안전하게 주입 및 저장하여 폐기하거나(CCS) 경제적 가치가 있는 제품(포름산, 벽돌 등)으로 활용(CCU)하는 기술이다. CCUS는 1930년대부터 시작된 기술로 타 탄소저감 기술에 비해 높은 기술 성숙도(Technology Readiness Level, TRL)를 가지고 있다(그림 1). 일례로, 석유가스전에 이산화탄소를 주입하여 잔존 석유가스를 추가 생산하는 원유회수증진(Enhanced Oil Recovery, EOR) 기술은 국제에너지기구(International Energy Agency, IEA)의 CCUS TRL 11단계 중 가장 높은 11 단계에 해당하며, 고갈 유가스전 또는 대염수층에 이산화탄소를 저장하는 기술도 실증 단계에 있어 곧 상업화가 기대된다. 물론 이상적인 탄소 저감은 탄소 자체를 배출하지 않는 것이겠지만, CCUS는 현재의 화석연료 중심 에너지 믹스에서 2050 탄소중립까지 점진적인 에너지 전환 과정에서 실질적으로 탄소를 감축할 수 있는 현실적인 대안이라 할 수 있다.

그림 1. 11단계로 분류한 CCUS의 기술 성숙도(Technology Readiness Level, TRL)

개념	1	초기 아이디어 기본원리가 정의된 단계
	2	기술개념 활성화 및 응용분야 식별 기술 개념 및 응용분야가 형성된 단계
	3	개념 검증 주요 기능에 대한 분석/실험 또는 특성에 대한 개념입증이 필요한 단계
초기 프로토타입	4	실험실 환경에서 구성품 또는 실험용 조립품 수준의 성능 입증 실험실 환경에서 프로토타입의 성능 입증 단계
대형 프로토타입	5	유사 운용환경에서 구성품 또는 실험을 조립품 수준의 성능 입증 유사 운용환경에서 구성요소 수준을 검증하는 단계
	6	유사 운용환경에서 체계/부체계 모델 또는 시제품을 성능시험 유사 운용환경에서 프로토타입의 성능을 검증하는 단계
실증	7	운용환경에서 체계 시제품의 성능 실증 운용환경에서의 기술 성능을 실증하는 단계
	8	시험 및 시범을 통해서 실체계의 완성 및 입증 상용화 수준 및 실체계에서의 완성을 입증하는 단계
초기 입증	9	성공적인 임무 운용을 통한 실체계의 입증 기술이 상용화되었으나 경쟁력 유지를 위해 발전적 개선이 필요한 단계
	10	대규모 배치에서의 통합 성능 입증 기술이 상용화되어 경쟁력이 있으나 추가적인 통합 노력이 필요한 단계
성숙	11	최종 성장 단계 예측 가능한 성장 단계



(출처: 국제에너지기구, 2020. Energy Technology Perspectives 2020)

미국 원포인트파이브(1PointFive)와 탄소직접포집(DAC)

CCUS 산업은 기존 석유기업들이 종합 에너지 기업으로 진화하며 이끌고 있다. 7월 10일 마이크로소프트는 미국 석유기업 옥시덴탈(Occidental)의 자회사 원포인트파이브 (1PointFive)로부터 향후 6년간 탄소배출권 50만 톤을 구매하는 계약을 체결했다. 원포인트파이브는 블랙록으로부터 5억 5천만 달러를 투자 받으며 미국 텍사스 8만평 부지에 세계 최대 규모의 공기중 탄소직접포집(Direct Air Capture, DAC)

시설을 건설 중으로, 내년 중반부터 운영을 시작할 예정이다. 미국 정부는 CCUS 산업의 활성화를 위하여 인플레이션 감축법(IRA)을 통해 CCUS에 약 70억 달러의 예산을 책정하였다. 미국 에너지부(DOE)는 2021년 에너지 어스샷(Energy Earthshots™) 8대 분야를 선정하여 기가톤 규모로 이산화탄소를 제거하는 목표를 수립하고, 기초연구 지원 금액으로 2억 6,400만 달러 (3580억원)를 투자하여 2035년까지 풍부하고 저렴한 청정에너지 혁신을 달성할 수 있는 기후테크의 개발을 추진하고 있다(표 1). 블룸버그 뉴 에너지 파이낸스(Bloomberg New Energy Finance, BNEF)의 넷제로 시나리오에 따르면 전 세계는 2050년까지 7억 톤 이상의 이산화탄소 제거가 필요하며, CCUS 중 DAC로 약 10%인 7천만 톤 이상을 제거할 것으로 전망하고 있다.

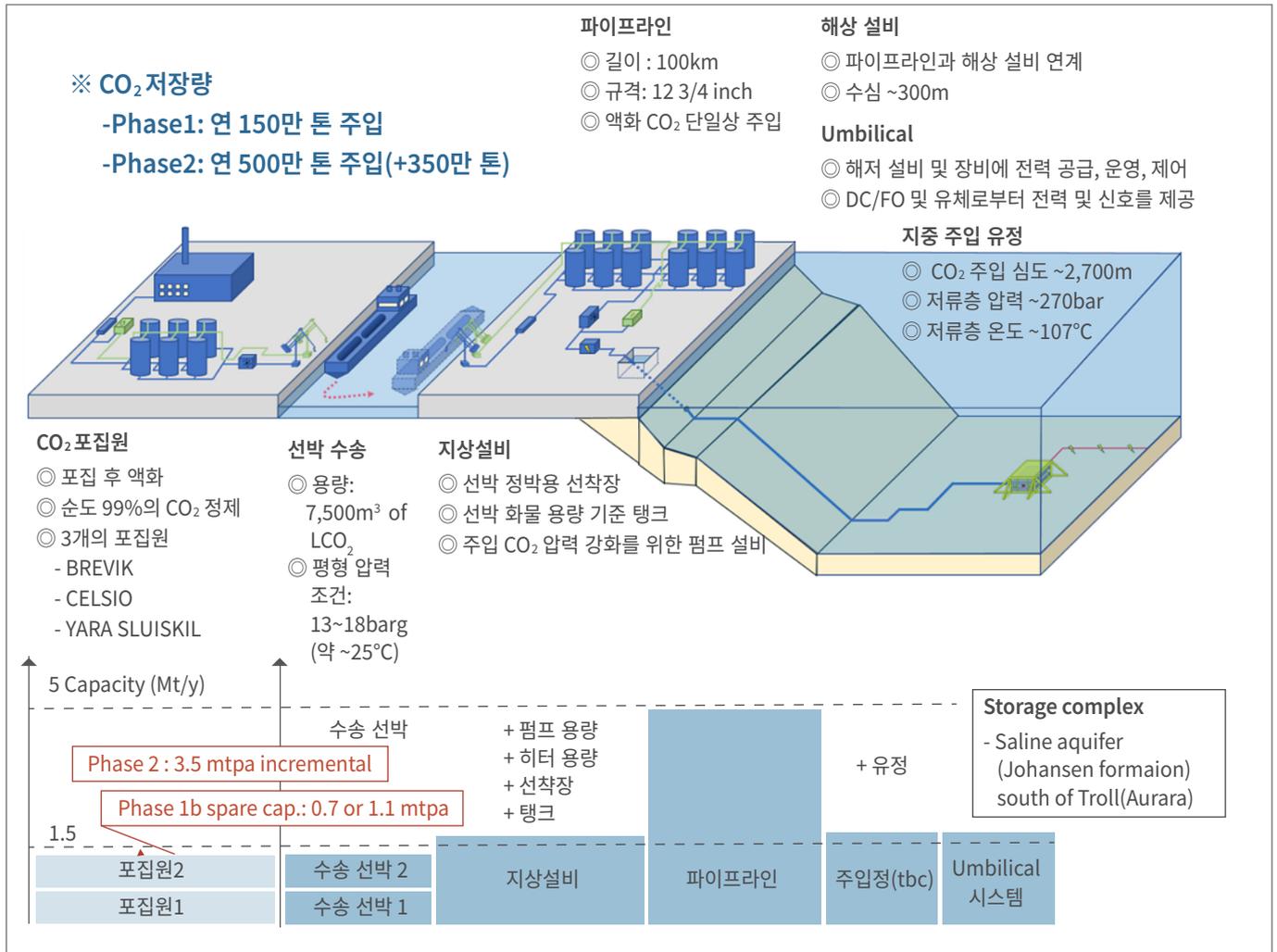
표 1. 미국 에너지부(DOE)의 Energy Earthshots™ 8대 분야와 목표

에너지 어스샷 8대 분야 (선정 일자)	분야별 목표
① 수소샷(Hydrogen Shot, '21.6.7)	수소 1kg 가격 1불 달성
② 장주기에너지저장샷(Long Duration Storage Shot, '21.7.14)	에너지저장 비용 90% 절감
③ 탄소제거샷(Carbon Negative Shot, '21.11.5)	탄소 1톤 포집비용 \$100 미만
④ 지열에너지샷(Enhanced Geothermal Shot, '22.9.8)	재생에너지 전력생산 단가 MWh당 45달러
⑤ 부유식해상풍력샷(Floating Offshore Wind Shot, '22.9.15)	재생에너지 전력생산 단가 MWh당 45달러
⑥ 산업열샷(Industrial Heat Shot, '22.9.21)	산업열 온실가스 배출 85% 저감
⑦ 청정연료및제품샷(Clean Fuels & Products Shot, '23.5.24)	연료 온실가스 배출 85% 저감
⑧ 저렴한주택에너지샷(Affordable Home Energy Shot, '23.10.12)	주택 탈탄소화 비용 50% 절감 및 에너지 요금 20% 절감

CCUS 산업의 성장과 비즈니스 모델 구조

원포인트파이브 사례처럼, CCUS 산업은 매년 급격히 성장하고 있다. 일반적으로 상용급 CCUS 시설은 이산화탄소 환산톤(tCO₂-eq)으로 연간 1백만 톤 이상을 처리하는 시설을 일컫는데, 아직까지는 모두 CCS 시설이다. 전 세계 CCUS 시설 수는 2022년 194개에서 2023년 392개로 약 2배 증가하였으며 이산화탄소 처리 용량은 2022년 2억 4천 1백만 톤에서 2023년 3억 6천 1백만 톤으로 1.5배 증가하였다. 현재 CCUS 시장 성장의 핵심 동력은 원유회수증진(EOR) 기술 등의 시장 수요 증가, 국가별 온실가스 감축 목표 강화, 국가 차원의 CCS 지원 제도 마련이라 할 수 있다.

그림 2. 노르웨이 Northern Lights CCS 프로젝트의 개념도.

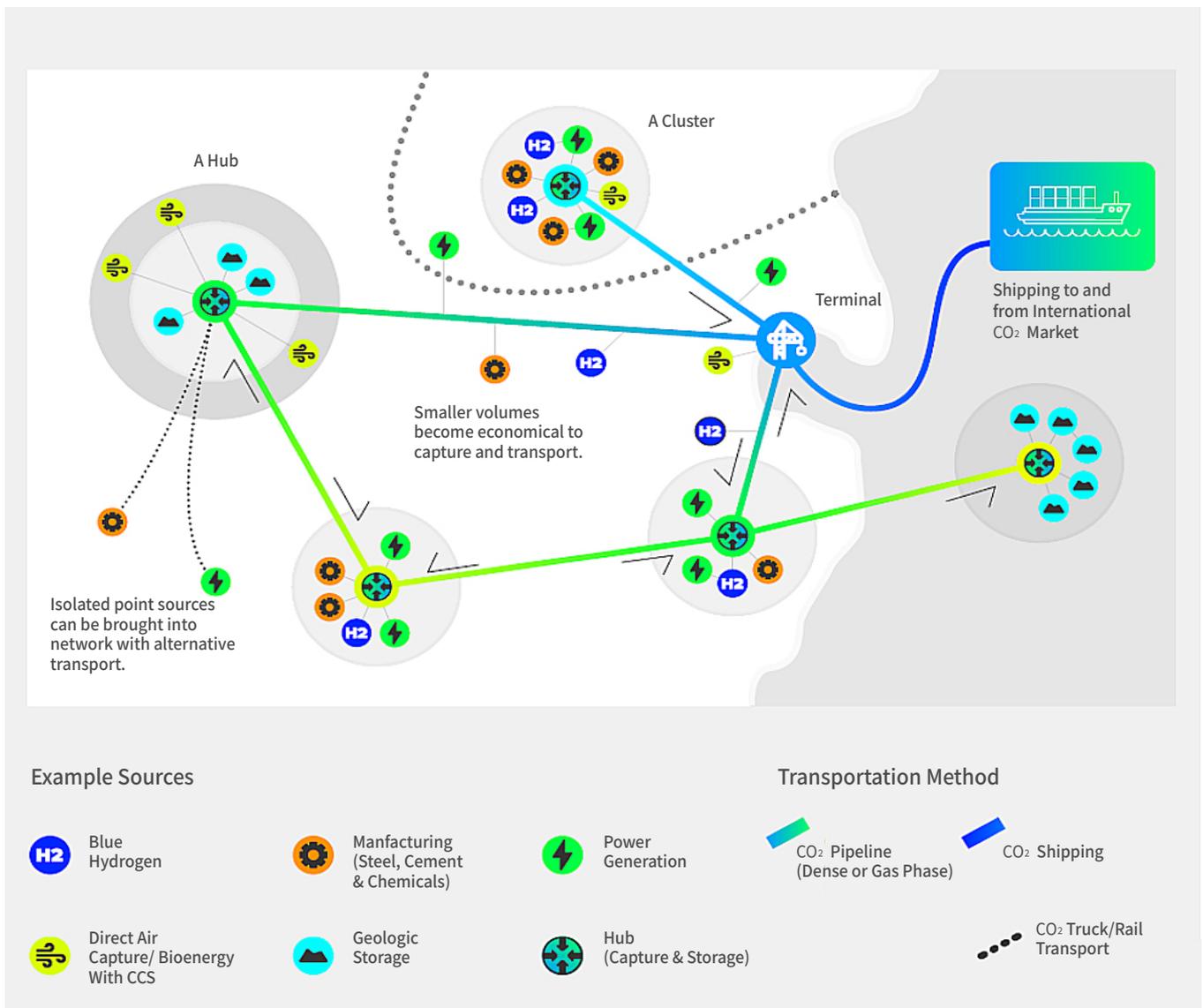


(출처: Northern Lights Summit 2020)

최근 국제적으로 주목받고 있는 범정부 CCUS 프로젝트로는 노르웨이의 Langskip 프로젝트가 있다. Langskip은 영어로 바이킹선 롱십(Longship)을 의미하는데, 약 27억 달러 규모로 노르웨이 산업 역사상 최대 규모의 탄소저감 프로젝트이다. Langskip 프로젝트의 일환인 노던 라이트(Northern Lights) 프로젝트는 세계 최초의 CCS 전용 프로젝트로, 노르웨이 국영 에너지 기업 에퀴노르(Equinor)가 셸(Shell), 토탈(Total) 등 글로벌 에너지 기업과 함께 파트너십을 맺어 2024년부터 운영을 준비하고 있다. 노르웨이와 네덜란드에 있는 폐기물 에너지 전환 시설, 시멘트 공장, 암모니아 비료 공장 등에서 각각 포집한 이산화탄소를 액화 이산화탄소 운반선(LCO₂ carrier)로 수송하여 노르웨이 베르겐 인근 허브터미널에서 취합한 후, 해저 수송관을 통해 북해(North Sea) 심도 약 2,700 m의 해저 지층에 연간

150만톤 이상의 이산화탄소를 저장하는 프로젝트이다(그림 2). 노던 라이트 프로젝트에서 보이는 것처럼 최근 CCUS 산업의 비즈니스 모델 구조는 단일 컨소시엄에서 포집, 수송, 저장 전 과정을 일원화하던 과거 풀 밸류체인(full value chain) 모델에서 각 과정을 전문화하는 네트워크 & 허브(network & hub) 모델로 진화함으로써 비용을 절감하고 공급망 리스크를 제거하고 있다(그림 3). 국내 CCUS 최신 동향으로는 2021년말 생산 종료된 동해 가스전을 이산화탄소 지중저장소로 전환하여 연간 120만톤의 이산화탄소를 30년간 저장하는 CCUS 프로젝트의 예비타당성 조사가 진행 중이다.

그림 3. CCUS 비즈니스 모델 중 네트워크 & 허브 모델의 개념도



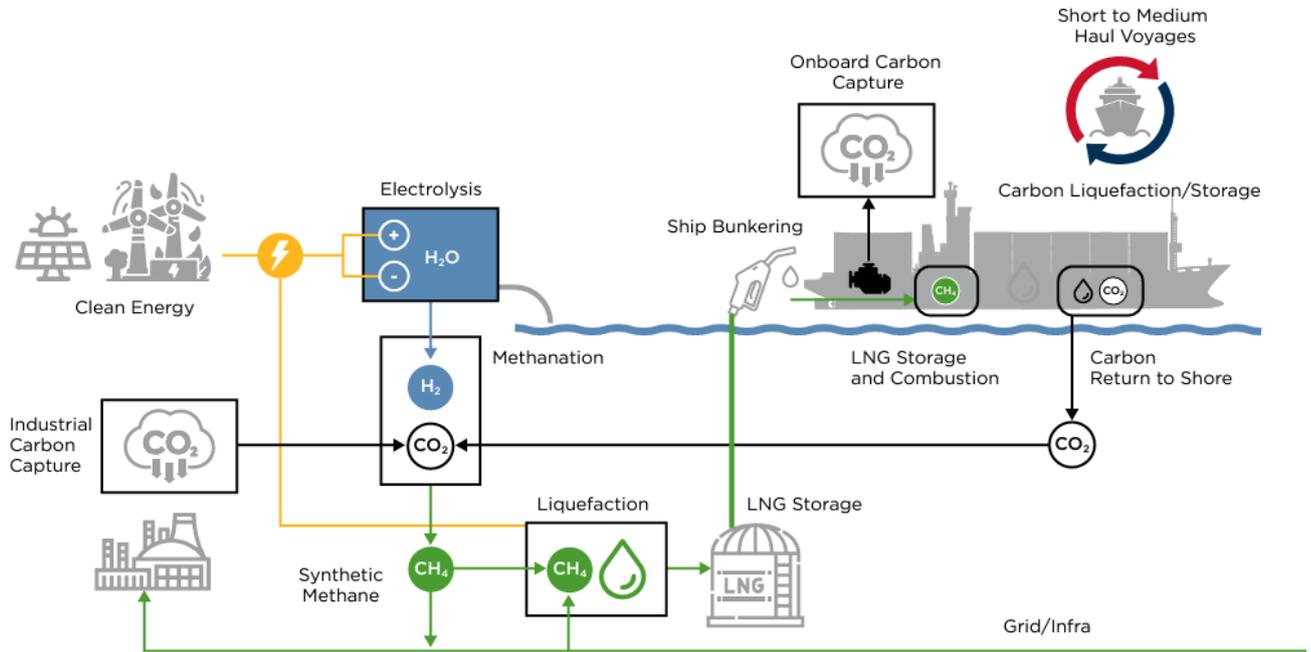
(출처: Global Status of CCS Report 2023)

액화 이산화탄소 운반선과 선박 탄소 포집 시스템 OCCS

CCUS 산업의 특징은 포집원과 저장원이 동일 국가가 아닐 수 있다는 것이다. 이산화탄소 지중저장 부지는 사암 기반 퇴적층을 선호하며, 따라서 CCUS 네트워크 & 허브 모델이 확산될수록 이산화탄소 지중저장에 적합한 사암 퇴적층을 다수 확보한 국가(예: 호주, 말레이시아 등)로 수송할 수 있는 대형 액화 이산화탄소 운반선의 중요성이 증가하고 있다. 삼성중공업은 2023년 7월 한국선급으로부터 액화 이산화탄소 운반선에 대한 개념승인(Approval in Principle, AIP)을 획득하였으며, 2023년 9월 한화오선도 70,000 m³ 급 액화 이산화탄소 운반선에 적용되는 화물창(cargo hold) 기술을 승인받았다.

액화 이산화탄소 운반선 사례처럼 현재 글로벌 무역의 80%는 해상 운송이다. 따라서 선박에 탄소 포집 장치를 설치하여 선박 운항 과정에서 발생하는 이산화탄소를 감축하는 선박 탄소 포집 시스템(Onboard Carbon Capture System, OCCS) 또한 중요한 탄소감축 트렌드로 떠오르고 있다. 2024년 국제해사기구 IMO는 해양환경보호위원회 제81차 회의에서 OCCS를 해운 산업에서 발생하는 이산화탄소 배출 감축의 해결책으로 제시하였다. 포집된 이산화탄소는 저온 고압 컨테이너에 액체 형태로 선내 저장하여 하역지까지 운송한다. OCCS는 공간 제약이 있는 선박 내에서 이산화탄소를 포집하고 저장해야 하므로 육상 CCS 대비 설비 규모를 줄이는 방향으로 기술들이 개발되고 있다. 2023년 10월 세계 최대 선급 협회인 노르웨이 선급 DNV는 OCCS에 대한 가이드라인을 제시하였다. 2023년 12월 그리스 기반의 선박 평형수처리 기업 ERMA FIRST는 DNV로부터 아민 흡수 기반 OCCS 시스템의 개념승인(AIP)을 받았다. 2024년 2월 네덜란드 Carbotreat이 개발한 EverLoNG 선박 기반 탄소 포집 SBCC(Ship-Based Carbon Capture)는 저온 연료인 LNG를 활용하여 기존의 냉각 장치를 대체함으로써 OCCS의 에너지 소비량을 줄이고 탄소 포집 설비의 크기를 줄였다. LNG 선박 Seapeak Arwa를 대상으로 수행한 시험에서 SBCC는 하루 동안 선박에서 배출되는 이산화탄소의 최대 85%인 250 kg의 이산화탄소 포집에 성공하였다. 한국의 경우 2024년 7월 삼성중공업에서 HMM, 한국선급, 파나시아와 함께 시간당 1톤의 이산화탄소를 포집 및 저장할 수 있는 OCCS 기술을 소개하였다.

그림 4. OCCS의 개념도



(출처: <https://safety4sea.com/abs-emerging-technologies-for-onboard-carbon-capture/>)

맺음말

CCUS는 현재 탄소저감 기술 중 가장 많은 양의 탄소를 처리할 수 있으므로 온실가스 배출권거래제 할당대상업체들의 ESG 경영과 탄소중립에 기여할 수 있다. 다만 CCUS가 정착하기 위해서는 사업자의 경제성을 보장할 수 있도록 정부의 세제 지원과 더불어 탄소 배출권 거래 가격의 현실화 또한 필수이다. GDP 대비 제조업 비중이 OECD 국가 중 2위인 한국의 상황을 고려할 때 급격한 배출권 가격의 상승은 탄소 다배출 기업들의 배출 부채에 부담을 줄 수 있다. EU 탄소감축 입법안(Fit for 55)과 미국 IRA 라는 대외 환경속에서 한국의 탄소저감 목표를 달성하는 현실적인 방안을 도출할 수 있도록 산학연관이 협력해야 할 때이다.