KIER

CT Brief

Climate Technology Brief No.41

CCUS 산업 동향 및 2030년 시장 전망

- '2021 CCUS Market Outlook, BNEF'를 중심으로 -

2021.09

한국에너지기술연구원
기후기술전략실

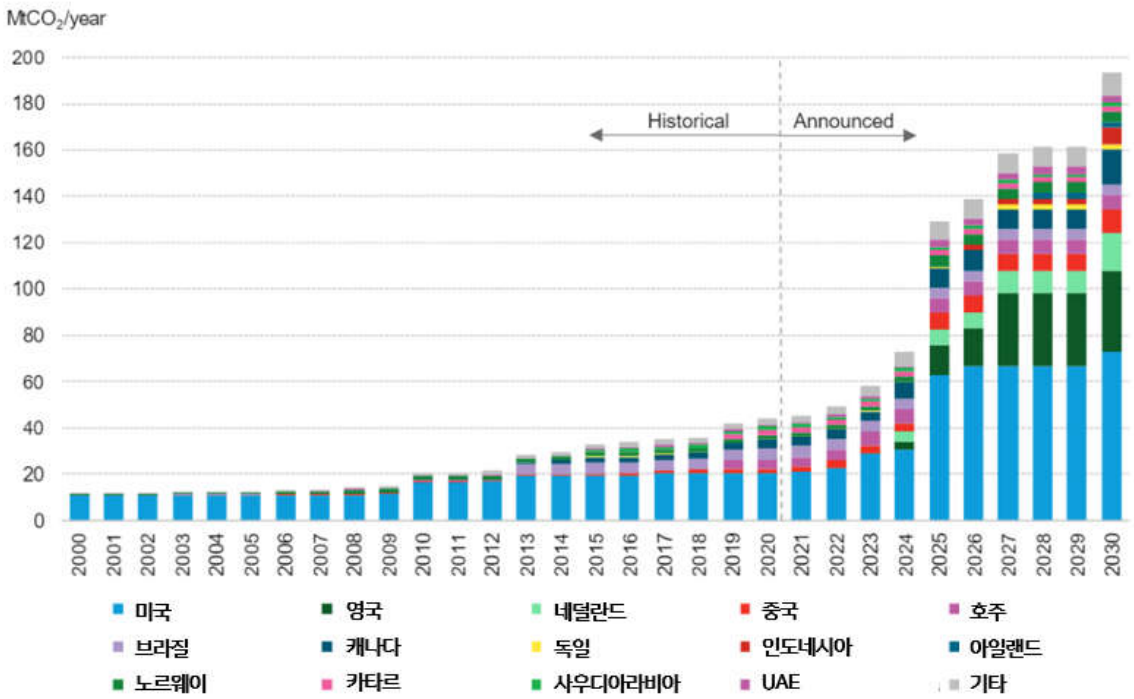
한국에너지기술연구원
KOREA INSTITUTE OF ENERGY RESEARCH

1. 글로벌 CCUS 대규모 프로젝트 시행 현황 및 전망

- 탄소 포집 및 활용·저장 기술(CCUS, Carbon capture, utilization and storage)은 그간 일부 산업에서 사용되었지만 본격적인 상용화를 위한 기술개발이 여전히 필요한 상황이며, 최근 탄소중립 목표와 맞물려 탄소감축이 어려운 산업 분야의 잠재적 탄소 제거 방법으로 각광 받는 중

- 1972년 첫 대용량 CCS 사업이 시작된 이후 작년까지 CCS의 연평균성장률(CAGR)은 약 10%로 현재 전 세계의 탄소 포집 용량은 39.5Mtpa이나, 이는 전세계 배출량의 0.1%에 불과하여 탄소 감축에서 CCUS의 역할은 미미했음
  - 최근 탄소중립 목표 달성에서 CCUS는 탄소감축이 어려운 산업에서의 탄소제거 감축 방안이자 기존 인프라 활용을 가능하게 한다는 점에서 새롭게 주목받고 있으며, 직접 공기 포집(DAC, Direct Air Capture)을 통한 탄소 역배출의 필요성이 강조됨
  - 지난 3년간 대규모 CCUS 프로젝트 계획 발표가 급증했으며 계획된 프로젝트가 모두 성공할 경우 '30년까지 연평균 16% 성장하여('20년~'30년), 전세계 탄소 포집 용량은 총 194 Mtpa가 될 것으로 기대
  - '45Q Tax Credit'* 과 같은 정책적 인센티브를 통해 전세계 CCUS 시장은 미국의 점유율이 절대적이였으나, 지난 10년간 브라질, 호주, 캐나다 등의 괄목할 만한 성장이 있었으며 향후 영국, 네덜란드의 폭발적 확대 계획

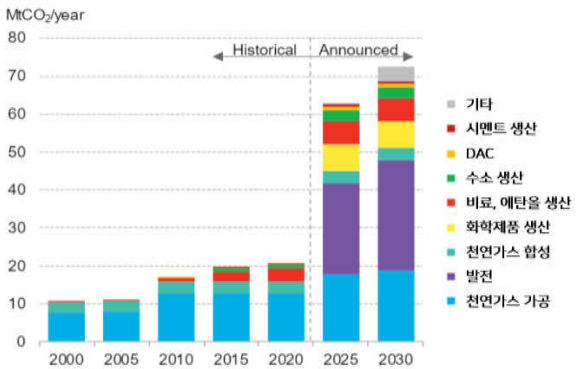
  * 45Q Tax Credit: CCUS 활용 시설에 세액공제 혜택을 제공하는 미국의 정책



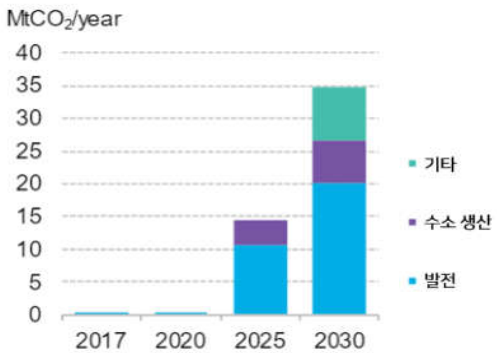
<국가별 CCUS 현황 및 전망, BNEF('21)>

▶ **(미국)** 총 설치용량 20.5 Mtpa 중 대부분이 석유회수증진법(EOR, Enhanced Oil Recovery)인 미국은 2030년까지 발전 및 산업 공정에 대한 프로젝트를 중심으로 현재 전세계 용량보다 큰 50 Mtpa를 추가 설치해 전세계 1위를 유지할 전망

▶ **(영국)** 산업허브와 비용 저감 연구 개발을 지원하는 CCS 전략을 바탕으로 경기침체를 겪고 있는 북부에 35 Mtpa를 설치해 세계 2위를 차지할 계획



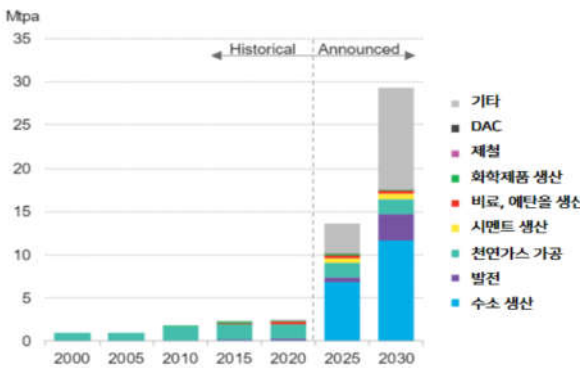
<미국 탄소 포집 현황 및 전망, BNEF('21)>



<영국 탄소 포집 현황 및 전망, BNEF('21)>

▶ **(유럽 대륙)** 노르웨이는 유럽 CCUS 산업의 선구자였으나 최근 네덜란드가 H-vision('30년까지 6Mtpa), Tata Steel, Porthos 등의 프로젝트를 추진하여 유럽 CCUS의 중심국을 노리고 있으며, 블루수소 생산 및 산업 부문으로의 CCUS 적용 범위 확대를 위해 45Q와 유사한 인센티브 제도 필요

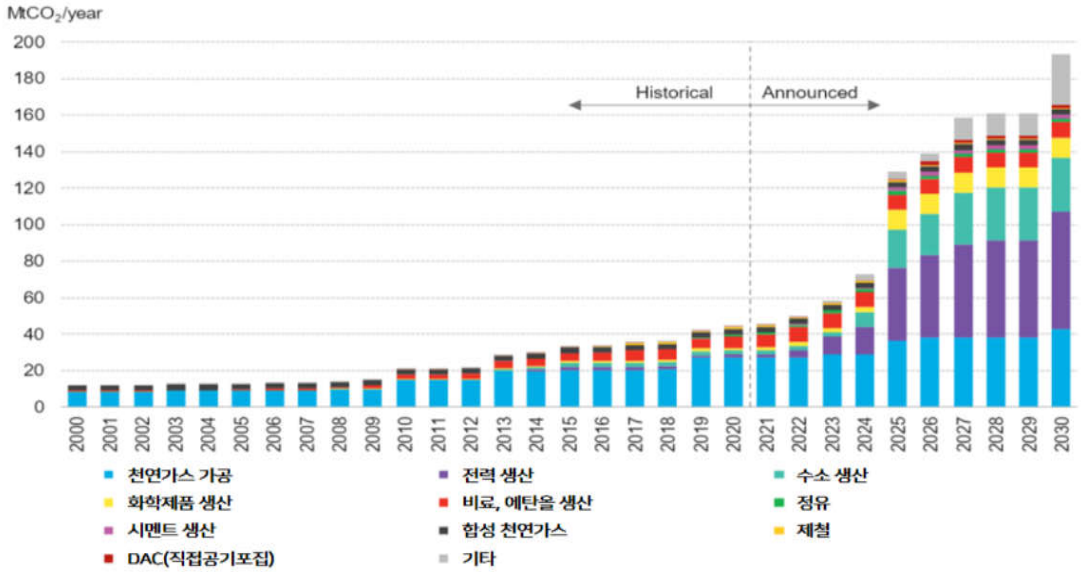
▶ **(중국)** 중국석유화공(Sinopec)의 블루수소 프로젝트(1Mtpa, 2025), 화넝그룹의 Huaneng GreenGen (2Mtpa) 등을 중심으로 CCUS 사업을 확장하고 있으며 중국 2060년 탄소중립 목표 달성을 위해 BECCS 활용 등을 고려



<유럽 탄소 포집 현황 및 전망, BNEF('21)>

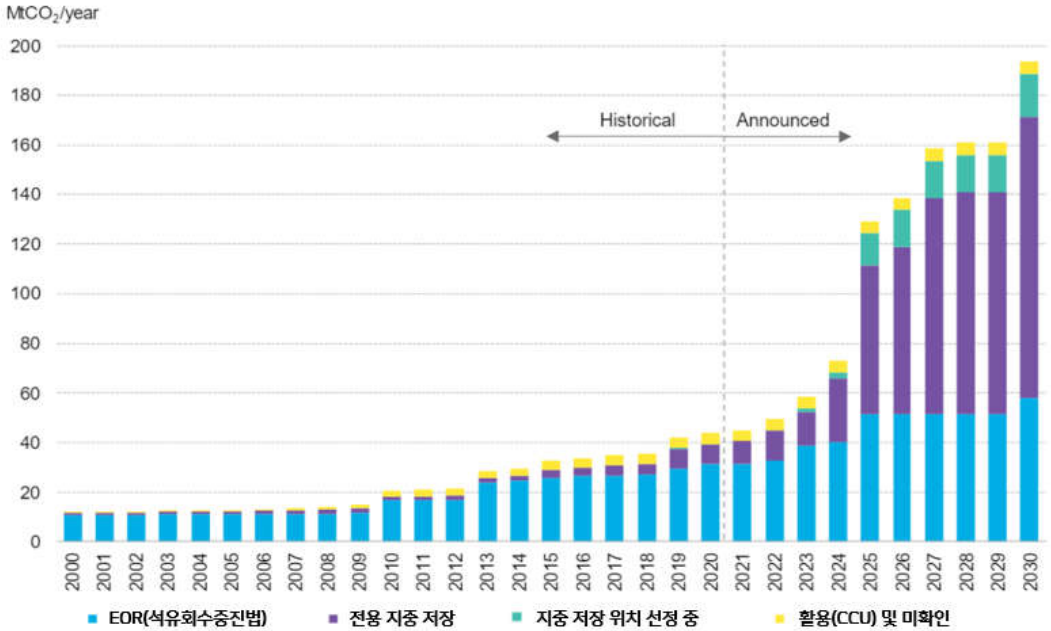
<중국 탄소 포집 현황 및 전망, BNEF('21)>

- **(탄소 포집)** 지금까지 탄소포집은 대부분 배출가스의 CO_2 농도가 높은 천연가스 가공시설에 설치되었으나, 향후 CCS 산업은 화력 발전, 수소 생산, 화학제품 생산, 시멘트, DAC 등에서 큰 폭의 성장 기대



<글로벌 탄소포집 현황 및 전망, BNEF('21)>

- **(탄소 저장 및 활용)** 주로 EOR에 사용되었던 CCUS는 지속적인 EOR 시장의 성장과 더불어 EOR 이산화탄소 저장 용량 보다 훨씬 많은 양이 지중 저장에 이용될 것으로 전망



<글로벌 탄소 포집, 저장·활용 현황 및 전망, BNEF('21)>

2. CCUS 관련 산업 동향

- 탄소 포집 및 저장의 관련 기업들은 회사별로 실증단계인 MTR社, ION社, 시범사업을 진행 중인 Carbon Engineering社, Calix社, 다년간의 플랜트 운영 경험이 있는 Mitsubishi社, Aker Carbon Capture社까지 다양한 기술 성숙도를 보유하고 있으며, 활용에서는 탄소광물화 분야의 Solidia社, CarbonCure社, 화학 전환의 Sunfire社, Covestro社 등이 있음

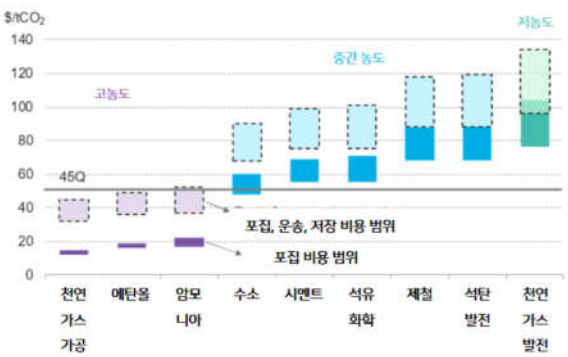
[탄소포집 키플레이어, BNEF('21)]

회사명	특징 및 보유 기술	주요 프로젝트	타겟 시장
Aker Carbon Capture (노르웨이)	· (액체 용매) 물/유기 아민 용매, 모듈형 포집 유닛에서 맞춤형 산업 플랜트까지 다양한 시스템 제공	· Sleipner(1996) : 천연가스 가공, 1Mtpa · Twence(2021) : 폐자원 에너지화, 0.1Mtpa · Norcem(2024) : 시멘트, 0.4Mtpa · Preem Refinery : 0.5Mtpa급 테스트 프로그램	· 특정 시장 타겟 없이 다양한 사업이 진행 중
Linde (아일랜드)	· (액체 용매) Rectisol 등 물리적 용매, Evonik社와 천연가스 가공 공정에서 CO_2/CH_4 분리막 개발 · (산소연료연소포집) BASF社와 협력	· Sunoco's Volney(2010) : 에탄올 생산, 0.2Mtpa · SABIC Jubail(2015) : 에틸렌 생산, 0.5Mtpa	· 화력, 폐자원 에너지 발전소 · CO_2/CH_4 분리막 : 천연가스 가공
Fluor (미국)	· 탄소포집, 파이프라인 및 압축 시스템 설계 및 시공 경험 · (액체 용매) 3종류의 CO_2 회수 용매 개발, 'Fluor Econamine FG Plus'이 가장 유명	· Quest(2015) :블루수소생산, 1.2Mtpa · Cal Capture(2024) : 천연가스 발전, 1.4Mtpa · Project Tundra(2026) : 석탄발전, 3.6Mtpa	· 수증기 개질, 가스터빈 및 엔진, 화력 발전 · 철강·시멘트로 확장 중
Mitsubishi (일본)	· 프로젝트 경험이 가장 많은 업체 중 하나로 세계적 아민 용매 개발 · (액체 용매) 연소 후 포집, 20년 이상 프로젝트 운영, '21년 상용화 목표로 새로운 용매 KS-21TM 개발 중	· IFFCO Aonlad(2003) : 천연가스 연소식 수증기 개질 플루 가스, 0.16Mtpa · QAFAC Mesaieed(2014) : 천연가스 연소식 수증기 개질 플루 가스, 0.18Mtpa · Petra Nova(2017) : 석탄화력발전, 1.4Mtpa	· 발전, 천연가스 수증기 개질 · BECCS(Drax社와 협력)
Toshiba (일본)	· 일본을 중심으로 10년 이상 경험 · (액체 용매) 연소 후 포집, 아민계 용매의 화학적 흡수	· Mikawa Pilot(2009) : 바이오매스 발전, 10t/일 · Mikawa Scale-up(2020) : 바이오매스 발전, 500t/일 · Saga(2016) : 폐자원 에너지화, 10t/일	· 석탄·바이오매스 발전 및 폐자원 에너지화 · 시멘트, 맥주 양조장으로 확대 중
CSIRO (호주)	· 호주 공공기관 · (액체 용매) 아민계 용매 등 다양한 기술을 호주, 중국에서 테스트 중	· 호주, 석탄 발전 실증 연구 : Delta Munmorah (300tpa), Tarong (1000tpa), Hazelwood (10ktpa) · Gaobeidian(2008, 중국) : 석탄발전, 3000tpa	· 석탄 발전 · CCS 비용 저감

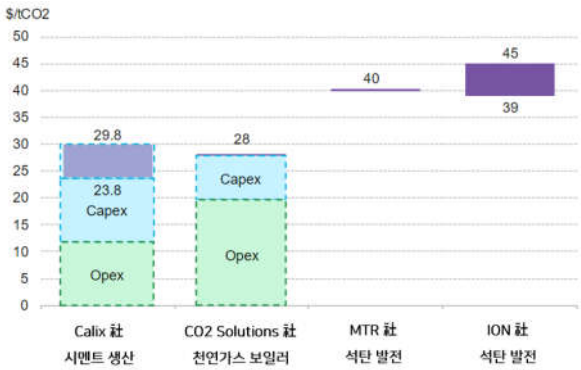
Air Liquide (프랑스)	· 폭넓은 경험을 기반으로 다양한 솔루션 제공 · (액체 용매) Linde社의 Rectisol 사용 · (고체 흡착) 가압교대흡착 (PSA. Pressure Swing Adsorption) · (분리막) Porogen(TM), Crycap	· Port-Jérôme(2015) : 수소생산, 0.1Mtpa · Calgren Renewable Fuels Tulare(2015) : 에탄올 생산, 0.16Mtpa · Tabangao 수소 개질 공장 · Exxon社, Arcelor Mittal社, Itochu社와 협력	· 수소 생산, 시멘트, 천연가스 가공 · 원별 솔루션 제공
ION Clean Energy (미국)	· 시범 사업 운영 중 · (액체 용매) MEA 용매 대비 매우 저렴한 차세대 용매	· Gerald Gentleman(2025) : 석탄발전소 retrofit, 3.8Mtpa	· 원래 발전 중심이였으나, 다른 분야로 확장 가능
MTR (미국)	· 분리막의 장점 : 증기 및 화학물질 불필요, 분리막 모듈화, 낮은 운영 요건 · (분리막) PolarCap™ 개발, Polaris ™ 중합체 분리막 기반의 포집 공정	· Dry Fork Pilot plant(2025) : 석탄발전, 3Mtpa	· 화력발전, 제철 및 시멘트 설비 · 다른 분야로 확장 가능
CO2 Solution (캐나다)	· (액체 용매) 새로운 형태의 포집 공정. 탄산칼슘에 탄산 무수화 효소를 첨가하여 산화에 강하고 무독성	· Parachem Montreal-East(2017) : 화학제품 생산, 10tpd · Resolute's Québec(2019) : 펄프산업, 30tpd	· 화석연료 발전 등 연도가스에 NOx, SOx가 섞인 시설
Calix (호주)	· (고농도) 시멘트 생산 맞춤형, 석회석 처리 중 순수한 CO_2만 분리 배출되도록 하소로 재디자인	· HeidelbergCement LEILAC1(2019) : 시멘트 · HeidelbergCement LEILAC2(2025) : 시멘트, 0.1Mtpa	· 시멘트
Air Products (미국)	· 대규모 탄소 포집 프로젝트 수행 · (액체 용매) 물리적 용매 흡착 · (고체 흡착) 증기개질반응기(SMR, Steam Methane Reformer) 경험의 일환인 가압교대흡착 기술	· Valero Refinery(2013) : 수소생산, 1Mtpa · Porthos社와 협력하여 앨버타州 수소에너지 단지에 수십억 투자 발표('21.6)	· 주로 블루수소
Svante (캐나다)	· (고체 흡착) Svante 용매는 시멘트, 철강, 알루미늄, 비류, 수소 등 연도가스에 질소가 포함된 곳에 적합	· Husky Energy社와 협력한 산업용 가스 보일러 실증 프로젝트, 30 tpd · LafargeHolcim社와 협력한 시멘트 공장 프로젝트 · Climeworks社와 협력한 DAC 비용 저감 프로젝트 · Chevron社와 프로젝트 개발 중	· 수소, DAC, 시멘트 · 다른 분야로 확장 가능하며, 특히 CO_2 농도가 15-20%인 곳에도 적용 가능
Carbon Engineering (캐나다)	· 천연가스로 운영되는 DAC 플랜트 설계 및 건설 · (산화칼슘 루핑) 값싼 화학물질을 이용해 대기 중 CO_2를 제거하는 신기술을 개발했으나 900℃에서 가동	· British Columbia Pilot plant(2015) : 365tpa · Oxy社와 DAC plant 계획(2024) : 1Mtpa · Storegga社와 DAC plant 계획(2026) : 0.5-1 Mtpa	· DAC

3. CCUS 비용 전망

- CCUS 산업은 높은 비용과 수익구조 부족 등으로 경제성 확보에 어려움을 겪었으나 탄소배출가격의 상승으로 인한 시장 확대 및 이산화탄소 농도, 플랜트 규모, 기술 발전 등으로 인한 비용 하락 전망
  - **(탄소발생원의 이산화탄소 농도)** 농도가 높을수록 크기가 작고 에너지 사용량이 적은 장비를 사용할 수 있어 초기 투자 비용 및 운영 비용 모두 절감 가능
  - **(플랜트 규모)** 플랜트 용량 0.25Mtpa 확대 당 $10/tCO_2$의 비용 감소하는 규모의 경제 효과 전망
  - **(기술 발전)** 건식포집, 분리막 등으로 확대된 2세대 기술은 아직 소규모 실증 단계임에도 1세대 기술과 비교해 30% 이상 비용 절감 효과 기대



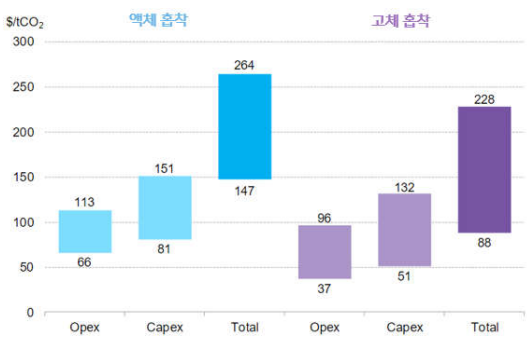
<1세대 기술 탄소포집 및 전체 비용, BNEF('21)>



<2세대 탄소포집 기술 비용, BNEF('21)>

※OPEX : Operating Expense, 운영 비용 / CAPEX : Capital Expenditure, 설비투자 비용

- **(DAC)** 현재 파일럿 규모에서 약 $600/t의 포집 비용이 발생하는 DAC는 '30년 약 $250/t, '50년 약 $100/t로 하락할 것으로 전망
  - 톤당 100불의 가격은 DAC가 탄소 상쇄 방안으로써 경제 확보 가능성이 있으며, 연·원료 생산을 위한 탄소 확보 방안이 될 수 있다는 것을 의미
  - Carbon Engineering社(액체 흡착)와 Climeworks社(고체 흡착)는 미국, 영국, EU에 첫 대규모 공장을 설립 예정



<DAC 시스템의 포집 방식별 비용 분석,BNEF('21)>

4. 시사점

- 최근 CCUS는 탄소중립을 위한 대안으로서 각광받고 있으며, 시멘트 등 탄소감축이 어려운 산업의 탄소제거 감축 방안이자 탄소 감축이 거의 불가능한 분야에서 DAC 등 역배출을 통한 상쇄 방안, 기존 인프라에 CCUS를 활용하여 저탄소 대안으로 재탄생시킬 수 있는 대안으로 기대되고 있으나, CCUS 높은 비용은 여전히 높은 수준
  - 플랜트는 건설이 거듭되고 규모가 커질수록 비용이 감소는 경향이 뚜렷하므로 CCUS의 경제성 조기 확보를 위해 대규모 실증 사업 및 프로젝트 수주 등에 정책적 지원 확대 필요
  - 탄소 감축이 거의 불가능한 산업의 상쇄 방안 등으로 활용될 수 있는 DAC는 향후 10년간의 기술 진보에 따라 장기 목표 달성 될 것으로 전망되며, 이에 따라 현재의 1/5 수준으로 비용을 절감하기 위한 적극적인 기술 개발 필요
  - 포집된 이산화탄소의 지중저장이 폭발적 확대될 것으로 전망되어 CCUS 수요 분석에 따른 지중 저장소 확보

- 탄소 감축에서의 역할 확대로 급속한 시장 성장이 기대되는 CCUS의 기술 개발과 규모 확장을 위해서는 키 플레이어들의 파트너십 확대 필수
  - 대규모 실증 프로젝트 확대 및 2세대 기술의 빠른 시장 도입을 위해 기업·연구기관 및 기업 간 협업 추진 필요

[참고문헌]

1. 2021 CCUS Market Outlook, BloombergNEF, 2021
2. CCUS Projects Database (1.1), BloombergNEF, 2021
3. CCUS Costs and Opportunities for Long-term CO_2 Disposal, BloombergNEF, 2020

[저자]
한국에너지기술연구원 기후기술전략실 / Tel. 042-860-3549 / E-mail. hljeong@kier.re.kr

※ 본 "CT Brief"에 게재된 내용은 필자 개인(연구진)의 견해이며, 기관의 공식적인 의견이 아님을 알려드립니다.
또한 본지의 내용을 인용할 때는 출처를 밝혀야 합니다.