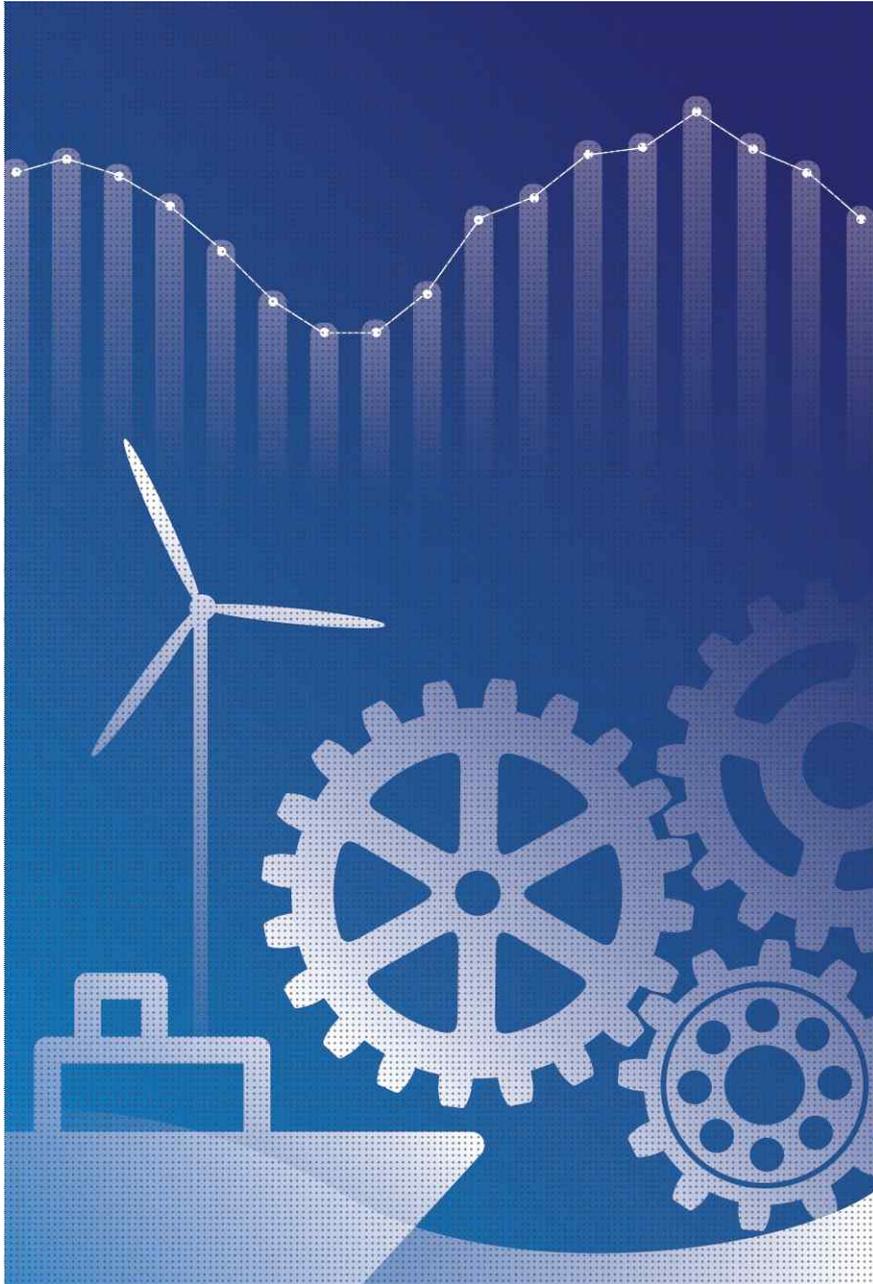


이슈보고서

산업경제팀

VOL.2022-이슈 (2022.11.22.)

넷제로 시대, CCUS 시장 동향 및 전망



CONTENTS

<요약>

I. CCUS 기술의 부상

II. 글로벌 CCUS 시장 현황 및 전망

1. 세계 시장규모와 전망

2. 포집 비용 현황

3. 투자 현황

III. 국내 CCUS 개발 현황

IV. 결론 및 시사점

작성

선임연구원 성동원 (6252-3611)

<요 약>

2050년 넷제로(net-zero) 달성을 위해 CCUS(Carbon Capture, Utilization and Storage, 탄소 포집·활용·저장) 기술이 핵심 수단으로 부상

- 전 세계 탄소포집 용량은 2021년 기준 43 Mtpa(Million tonnes per annum, 백만톤/년)으로 1972년 이후 연평균 10%의 높은 성장률을 기록해 왔으나 현재 설치 용량은 전 세계 배출량의 0.1% 포집에 그치는 수준
- 최근 3년간 대규모 CCUS 프로젝트 계획들이 발표되며, 미국 중심으로 탄소포집 용량이 확대되어 2021~2030년까지 연평균 23%로 성장, 2030년 총 279 Mtpa에 달할 전망
- 탄소포집은 탄소 처리 비용이 상대적으로 저렴한 천연가스 처리 공장에서 대부분 적용되어 왔으나 향후 점차 다양한 산업 부문으로 확대 적용될 전망
 - 화력발전 및 수소생산 부문이 향후 CCS 설비용량이 가장 확대될 것으로 기대되는 부문으로서 두 부문을 합쳐 2030년까지 140 Mtpa 이상의 이산화탄소가 포집될 전망
- 지금까지 구축된 탄소포집 프로젝트의 대부분은 주로 EOR(Enhanced Oil Recovery, 석유회수증진) 등의 활용에 의존해 왔으나 향후에는 이산화탄소 저장 인센티브 등에 힘입어 저장 중심의 프로젝트가 확대될 전망
- 현재 탄소포집 기술은 비용이 매우 높은 수준으로, ①새로운 포집기술 개발, ②운송·저장 인프라 공유, ③규모의 경제 달성을 통해 비용절감 가능
- 2022년 CCUS 투자는 1~9월까지 이미 35억 달러 이상의 투자가 실행되는 등 2022년 CCUS 투자가 역대 최고치를 기록할 것으로 예상
 - CCUS 투자가 지난 4년간 급증, 2020년 30억 달러를 기록한 이후 2021년은 23억 달러로 감소

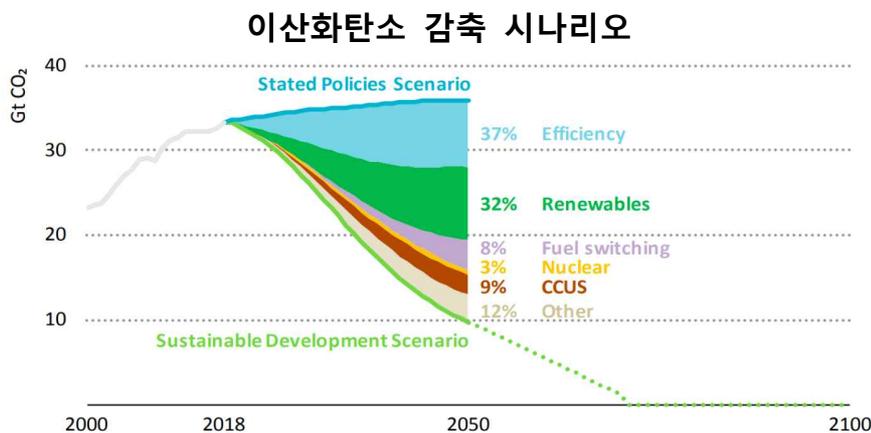
CCUS 기술은 시장 잠재력이 매우 크고 혁신적인 신기술 등장이 기대되는 분야로 국내업체들의 기술개발 노력과 지속적인 정책적 지원강화 필요

- CCUS 프로젝트 발표의 급증에도 불구하고, 2050년 넷제로 달성을 위해서 필요한 탄소포집 용량은 지금까지 발표된 용량의 6배 이상(BNEF)
- 온실가스 배출 비중이 높은 업종의 국내기업들은 K-CCUS 추진단 참여 등을 통한 탄소배출 저감을 추진하고 있으며, 한국의 탄소중립 기술은 선도국 대비 80% 수준
- 선도국과의 기술격차 해소를 위해 R&D를 확대하고, CCUS 협업 및 파트너십 기회를 모색할 필요
 - 몇 년 전까지만 해도 CCUS 시장에서 기술 제공은 기존의 소수 대형업체(MHI 등)가 주도했으나 최근 탄소포집기술 스타트업 등 업체가 다양해지고 있음
- 정부는 2030년 NDC(Nationally Determined Contribution, 온실가스감축목표) 달성 및 2050년 탄소중립 실현을 위한 핵심기술 개발 과제를 선정하고 개발일정 및 지원방안을 마련하였는바, 향후에도 지속적인 지원강화 필요

I. CCUS 기술의 부상

2050년 넷제로(net-zero) 달성을 위해 CCUS(Carbon Capture, Utilization and Storage, 탄소 포집·활용·저장)¹⁾ 기술이 핵심 수단으로 부상

- 전세계적으로 기후변화 대응을 위한 넷제로 선언이 확산되며 온실가스 배출 관련 규제와 정책도 강화되는 추세
 - 화석연료는 가장 큰 탄소 배출원이나 중장기적으로 화석연료 의존도가 여전히 높게 지속될 전망이며, 이에 따라 배출이 불가피한 탄소를 저감하는 기술에 대한 관심 증가
- 탈탄소를 위한 핵심 기술로 CCUS 기술이 부상하여, 미국 등을 위시한 주요국들은 CCUS 기술개발 로드맵 마련 등 기술력 강화에 주력하고 있으며, 글로벌 기업들도 시장 선점을 위한 R&D 투자 확대
 - 미국 등 대부분의 국가에서 '넷제로 배출(Net-zero emission)'을 국정 과제로 채택하고, 국제 에너지기구(IEA)는 CCUS 기술 없이 온실가스 배출량 제로 도달이 불가능하다고 밝힘(2020)
- 특히 CCUS 기술은 최근 탄소 감축이 어려운 산업부문(철강, 시멘트, 석유화학산업 등)의 탄소제거 방법으로도 주목받고 있음
 - 전 세계에서 배출되는 탄소의 절반 이상이 발전설비, 중공업 플랜트에서 발생하고 있으며, 산업 현장에서 나오는 대규모 탄소를 경감 가능한 거의 유일한 해결책이 CCUS 기술이 될 것으로 기대
 - IEA는 발전소, 중공업 부문에서 화석연료를 대체하는 것이 비싸고 비효율적이어서 당장 화석 연료 사용을 낮추기 어렵기 때문에, 이러한 부문에서의 화석연료 사용으로 인해 발생하는 탄소를 CCUS 기술을 통해 일정 부분 해결할 수 있다고 강조



자료: IEA

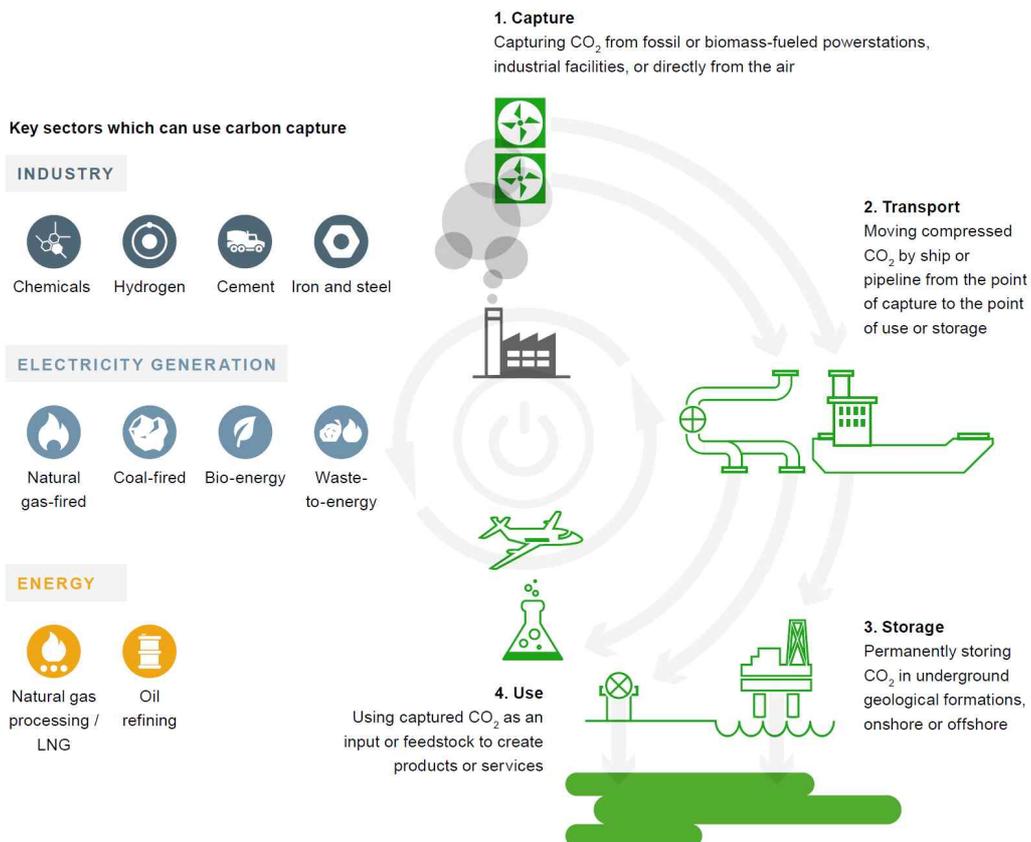
1) CCS(Carbon Capture and Storage)는 산업시설 등에서 발생하는 이산화탄소를 포집하고 지중 등에 저장하는 기술, CCU(Carbon Capture and Utilization)는 CCS 기술에서 저장을 제외하고 이산화탄소를 투입요소로 활용(Utilization)하는 생산공정, CCUS는 CCS와 CCU를 통합하는 기술로서 이산화탄소를 포집하고 저장하는 기술과 함께 이산화탄소를 활용하여 부가가치가 높은 유용 자원 물질로 전환하는 기술까지 포함

- CCUS는 산업, 발전, 에너지 부문 등에서 발생하는 이산화탄소를 포집하고 이를 지중 등에 저장(geological storage)하는 기술과 이산화탄소를 활용하여 부가가치가 높은 물질로 전환하는 기술을 포함
- 미국은 이미 CCUS 기술을 일부 산업(석유·가스 업스트림 산업)에 국한하여 사용 중이나 본격적인 상용화 및 대규모 사업화를 위한 추가적인 연구개발이 필요한 상황

CCUS 기술 개념(상)과 가치사슬(하)

구분	배출	포집	활용(전환)	활용(비전환)	저장
개념	발전, 산업공정에서 온실가스 배출	배출가스에서 이산화탄소의 선택적 포집	이산화탄소를 산업원료 및 제품으로 활용		이산화탄소를 지하 지층에 주입하여 저장
방법		1) 습식포집 2) 건식포집 3) 분리막포집	1) 화학전환 2) 생물전환 3) 광물화	전환하지 않고 그대로 사용	1) 해상저장 2) 육상저장
용도			1) 연료(수소 등) 2) 화학제품 3) 건설소재	1) 공업용 2) 식음료용 3) 농업용	

자료: 정부 관계부처 합동(이산화탄소포집·활용(CCU) 기술혁신 로드맵(안)), KTB투자증권 재인용



자료: BNEF, IEA, Global CCS Institute, HSBC 재인용

☞ 세계 CCUS 시장 규모와 비용, 투자 등 산업 동향과 국내 개발 현황을 살펴보고 그에 따른 시사점을 도출하고자 함

II. 글로벌 CCUS 시장 현황 및 전망

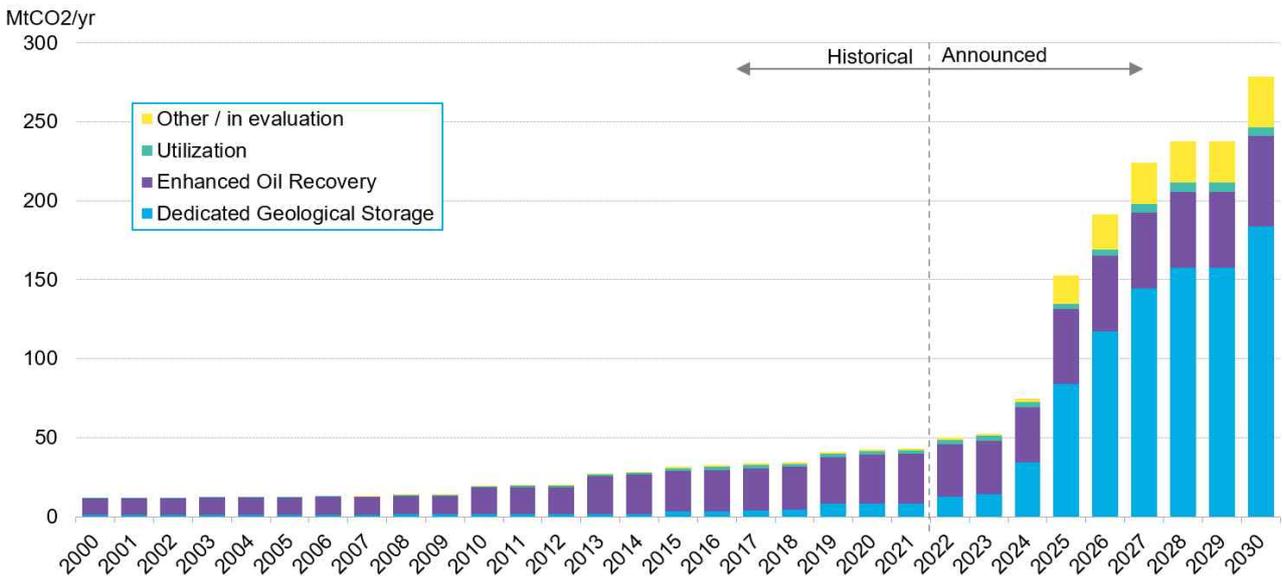
1. 세계 시장규모와 전망

전 세계 탄소포집 용량은 2021년 기준 43 Mtpa*으로 1972년 이후 연평균 10%의 높은 성장률을 기록해 왔으나 현재 설치 용량은 전 세계 배출량의 0.1% 포집에 그치는 수준

* Million tonnes per annum(백만톤/년)

- 최근까지 CCUS는 이산화탄소를 포집하여 염수층 또는 고갈된 유전과 같은 전용 지중 저장소에 저장하거나 제한적으로 EOR(Enhanced Oil Recovery, 석유회수증진)에 활용
- 지난 몇 년간 CCUS 산업이 온실가스 감축의 핵심수단으로 부상함에 따라, 대규모 배출자들은 탈탄소화 경로의 중요한 수단으로 탄소포집에 의존하고, 정부는 CCUS 기술의 대규모 상용화를 위한 인센티브를 제공하기 시작하는 등 큰 변혁의 시기 도래
 - 탄소포집 프로젝트를 발표하는 분야는 노후화 석탄 발전소에서 청정전력의 연중무휴 공급을 목표로 하는 가스 발전소로, 그리고 가스 처리 공장에서 시멘트 및 화학공장 등으로 다변화
 - 지리적 분포도 미국에서 유럽, 아태 지역 등지로 점차 다양화되고 있으며 CCUS 산업과 관련한 신규 비즈니스 모델들 부상

세계 용도별 CCUS 용량 추이 및 전망

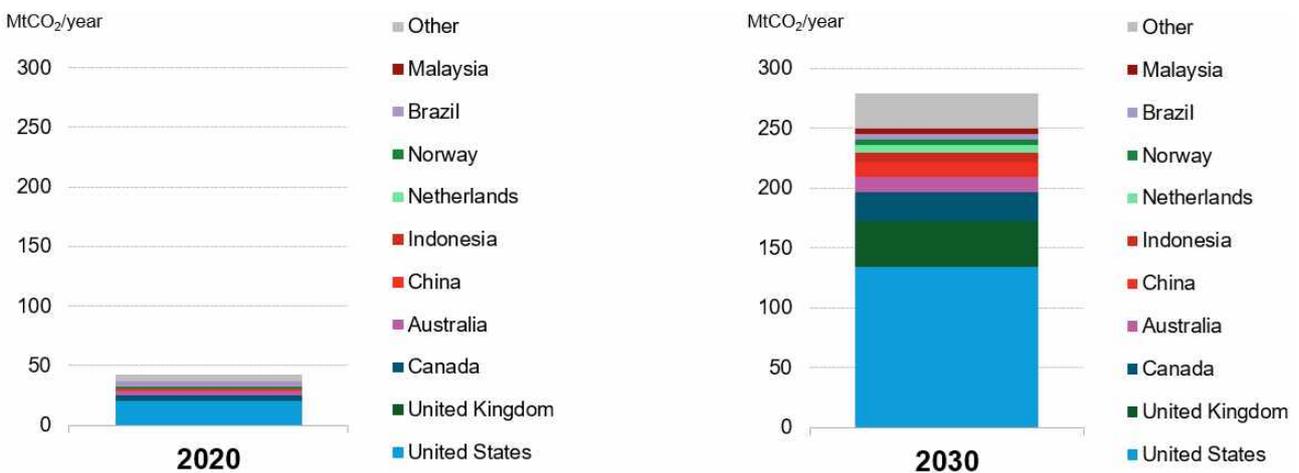


자료: BNEF

최근 3년간 대규모 CCUS 프로젝트 계획들이 발표되었고, 미국을 중심으로 탄소포집 용량이 확대되어 2021~2030년까지 연평균 23%로 성장, 2030년 총 279 Mtpa에 달할 전망

- 미국은 천연가스 처리 공장을 위한 대규모 CCUS 프로젝트에서 포집된 CO₂를 EOR에 활용하는 비즈니스 사례를 구축하는 등 세계 탄소포집 산업 주도
 - 미국은 '45Q Tax Credit'을 통해 CCUS 활용 설비에 대해 세액공제 혜택 제공, 다만 최근 45Q Tax Credit의 혜택 연장*에 따라 증설 예정인 프로젝트 중 일부는 지연될 가능성 존재
- * 인플레이션감축법(IRA)이 45Q Tax Credit 개정 전에는 2026년 1월 1일 이전까지 CCUS 프로젝트 건설을 시작해야 세액공제 신청이 가능했으나 개정 후에는 2032년 12월 31일까지 건설이 마감되는 한 신청 가능
- 지난 10년간 미국 외에 브라질, 호주 및 캐나다에서 대규모 프로젝트가 일부 건설됨
- 2030년까지 CCUS 프로젝트를 채택하는 국가가 더욱 증가하고, 2020년대 중반 이후에는 영국, 캐나다, 중국, 호주 등지에서도 CCUS 프로젝트가 대폭 확대될 전망
 - 미국, 영국 및 캐나다가 포집 설비 확장을 주도할 계획이며 대규모 용량을 신속하게 구축하기 위한 체계 구축 중
 - 네덜란드, 인도네시아, 말레이시아 등의 국가에서도 2030년까지 첫 대규모 프로젝트가 착수될 계획
 - 중국 등 그 외 지역은 탄소포집을 탈탄소화의 핵심 솔루션으로 인정했지만 발표된 포집 용량 및 정책적 인센티브 측면에서 선도국가들에 비해 여전히 크게 뒤쳐져 있는 상황
- 현재 탄소포집을 주도하는 국가들이 향후에도 CCUS 산업의 주도권을 이어갈 것으로 예상
 - 2030년 미주 지역은 세계 시장의 58%를 차지하며 전체 설비용량 확대 주도를 지속하고, 뒤를 이어 유럽, 중동 및 아프리카(25%), 아시아 태평양(16%)의 순이 될 것으로 예상

국가별 탄소포집 용량(2020 vs. 2030)

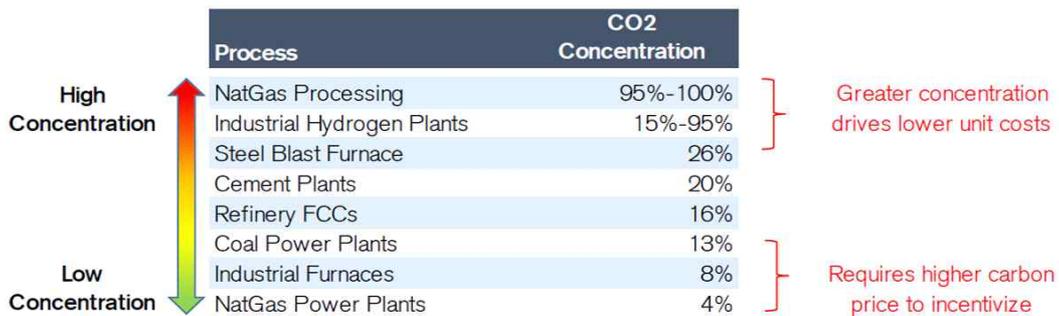


자료: BNEF

탄소포집은 지금까지 탄소처리 비용이 상대적으로 저렴한 천연가스 처리 공장에서 대부분 적용되었으나 향후 점차 다양한 산업 부문에서 적용될 전망

- 천연가스 처리 공장에서 발생하는 이산화탄소는 농도가 매우 높아 포집이 용이하기 때문에 포집비용이 상대적으로 매우 저렴(톤당 20달러 미만)

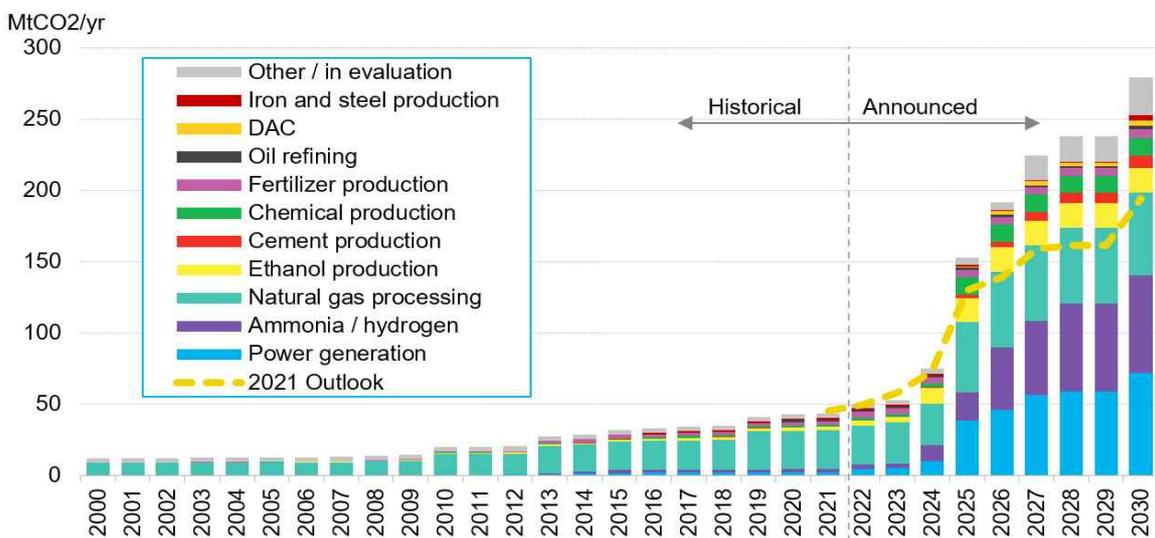
발생원별 이산화탄소 농도



자료: National Petroleum Council, Wood Mackenzie, Credit Suisse Research 재인용

- 가스 처리 공장에서 건설된 대규모 프로젝트²⁾들이 현재 대부분의 탄소포집 용량을 차지하고 있으나 2030년까지 점차 발전 및 수소 생산 부문에서 확대될 예정이며, 화학, 시멘트 및 대규모 DAC(Direct Air Capture, 직접 공기포집) 공장 프로젝트 계획도 발표

배출원별 탄소포집 용량 추이 및 전망



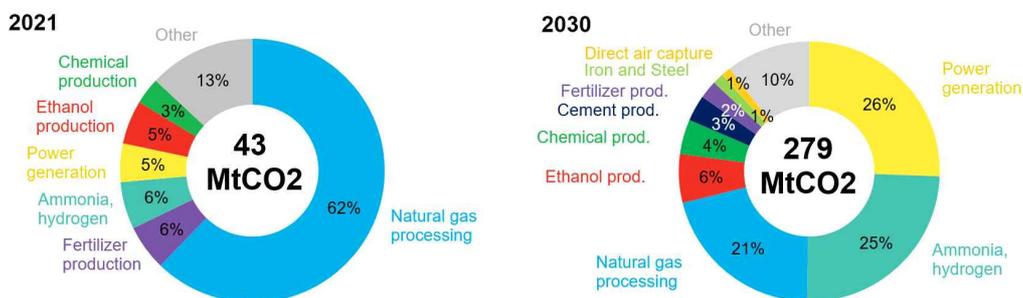
자료: BNEF

2) Shute Creek(7MtCO₂/yr), Century Plant(5MtCO₂/yr), Petrobras Santos Basin 프로젝트(4.6MtCO₂/yr).

화력발전 및 수소생산 부문이 향후 CCS 설비용량이 가장 확대될 것으로 기대되는 부문으로 두 부문을 합쳐 2030년까지 140 Mtpa 이상의 이산화탄소가 포집될 전망

- 화력발전 부문은 2030년까지 CCS 설비용량을 가장 많이 확대할 것으로 예상되는 부문으로 2030년 포집용량이 총 71.4 Mtpa에 달할 것으로 예상
 - 주로 석탄발전소 또는 가스발전소를 중심으로 CCS 프로젝트 설비 계획이 발표되고 있으며, 석탄발전소의 CCS 프로젝트는 일반적으로 개조(retrofit)된 형태로 진행되고, 미국과 중국의 화력발전소 포집설비는 신규 설비와 개조 설비가 혼재
 - 많은 국가들이 발전 부문의 CCS 프로젝트를 발표했지만, 대부분의 프로젝트가 미국, 캐나다, 영국 등지에서 이루어질 계획
 - BECCS(Bioenergy and Carbon Capture-Storage, 바이오에너지와 탄소포집·저장)³⁾ 프로젝트와 폐기물을 에너지로 전환하는 발전소의 CCS 프로젝트는 영국, 스웨덴, 미국, 노르웨이, 네덜란드 및 덴마크에서 발표되었으며 대개 개조된 설비가 될 전망
- 수소 생산부문은 발전부문의 뒤를 이어 CCS를 적용하는 두 번째로 큰 부문으로, 2030년까지 68.8 Mtpa의 이산화탄소가 포집될 것으로 예상
 - 수소 생산부문에서의 포집 프로젝트는 대부분 미국, 캐나다, 유럽의 신규 설비가 되겠지만 중국, 인도네시아, 인도 등에서도 대형 프로젝트가 개발될 계획
- 천연가스 처리부문은 세 번째로 큰 CCS 시장이 될 전망으로 2020년 27 Mtpa에서 2030년 58 Mtpa의 이산화탄소가 포획될 것으로 예상
 - 일반적으로 천연가스 처리 부문에서의 CCS 프로젝트는 개조된 설비였으나, 최근 발표되는 프로젝트에서는 일반적으로 미래의 배출량 규제 가능성을 고려한 신규 설비들로 구성
- 그 외 탄소 배출 저감을 위해 CCS 기술을 도입하고자 하는 새로운 부문들에는 에탄올, 시멘트, 화학 생산 부문, DAC 등 포함
 - 특히 DAC 부문의 포집용량 대부분은 미국, 유럽에서 구축될 것으로 예상되며, 기업들은 DAC 기술이 탄소배출 완화가 어려운 산업을 탈탄소화하고, 이산화탄소를 영구 제거하는 원천기술이 될 수 있는지 시연하는 것을 목표로 함

배출원별 탄소포집 비중 전망



자료: BNEF

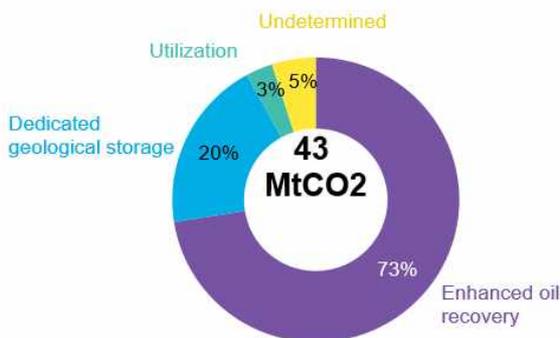
3) 바이오매스에서 바이오 에너지를 추출하고 탄소를 포집·저장하여 대기에서 제거하는 과정

지금까지 포집된 이산화탄소의 저장에 대한 인센티브는 거의 없었으며, 구축된 프로젝트의 대부분은 주로 EOR 등의 활용에 의존

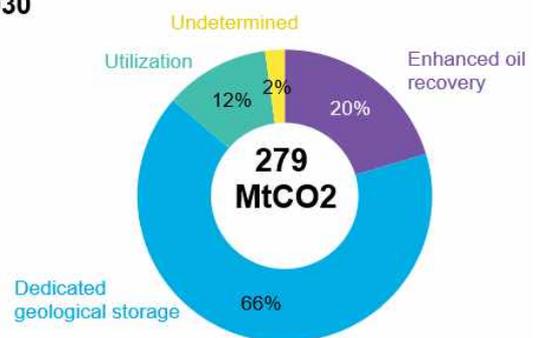
- 현재 포집된 CO₂의 73% 정도가 EOR에 활용되고 있으며, 몇 가지 예외적인 저장 사례* 존재
- * 1991년 노르웨이 Equinor가 개발한 Sleipner 및 Snøhvit 프로젝트는 이산화탄소 세금을 내지 않고 포집된 이산화탄소를 모두 저장하기 위해 건설
- 기존의 EOR 활용 중심으로 이루어졌던 탄소포집 형태는 향후 활용보다는 저장을 선호하도록 특별히 고안된 넷제로 목표 및 인센티브로 인해 변화할 것으로 예상
 - 이에 따라 2021년 탄소포집 후 저장은 전체 포집용량 중 20%를 차지하고 있으나 2030년에는 66%로 증가할 전망
 - EOR 형태의 활용 비중은 감소하겠지만 규모는 여전히 증가할 것으로 예상되며, 2030년까지 신설되는 CO₂ 포집 용량 중 25.5 Mtpa가 EOR 작업을 위해 사용할 것으로 예상
- 포집된 CO₂의 용도가 활용에서 저장으로 변경된 것은 ① 저장에 대한 보조금 강화, ② CCS를 사용하는 산업 유형의 변화에 기인
 - ① 저장에 대한 보조금 강화: 가령, 미국 45Q Tax Credit은 CO₂가 활용되는 것보다 저장될 경우 더 높은 인센티브를 제공하고 CCS에 대한 캐나다의 설비투자 세금공제와 같은 새로운 경기 부양 프로그램에서 EOR 작업은 제외
 - ② CCS를 사용하는 산업 유형의 변화: 역사적으로 천연가스 처리 공장에서 CO₂를 포집하던 석유 메이저 기업은 포집된 탄소를 사용하여 EOR을 통해 더 많은 석유를 생산할 수 있었으나, 최근 전력 또는 이산화탄소 저감/제거가 어려운 산업 부문에서 개발 중인 프로젝트는 탈탄소 도구로 CCS를 사용하며 활용 가능한 적절한 용도가 없음

탄소 저장·활용의 비중 변화

2021



2030



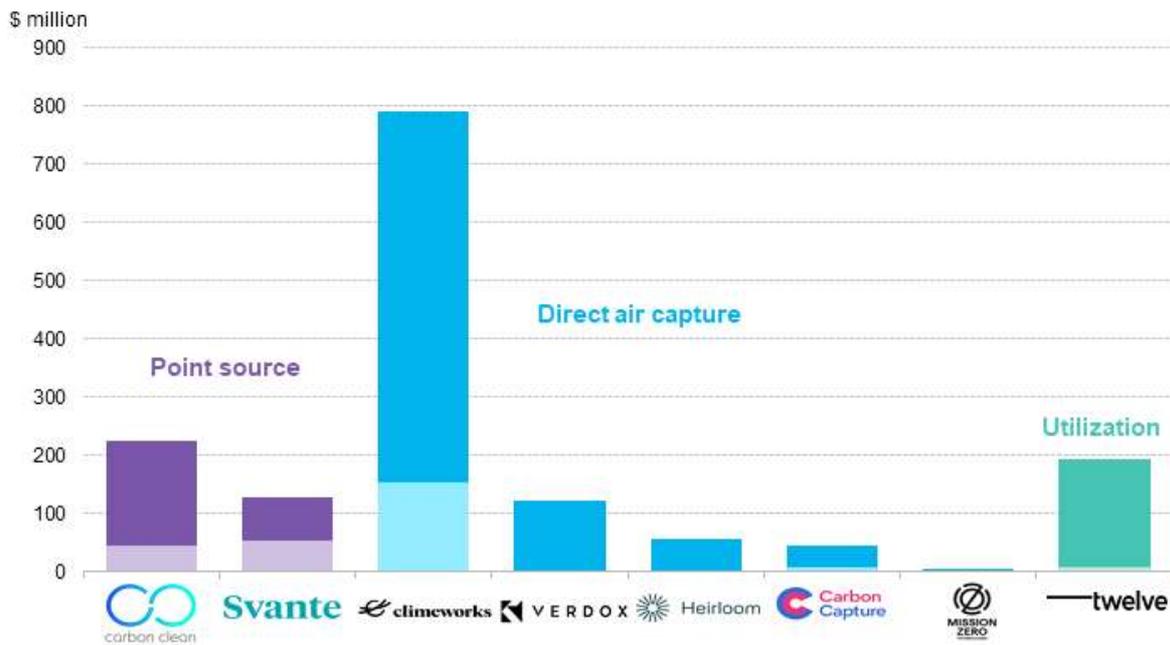
자료: BNEF

2. 포집 비용 현황

과거 CCUS 시장에서 기술 제공은 MHI 등 기존의 소수 대형 업체들이 주도했으나 최근 탄소포집 기술 스타트업 등 업체가 다양해지고 있음

- MHI가 대표적인 대기업으로서 프로젝트 발표가 증가하기 전 2019년까지 세계 13개의 상업용 공장에 포집 기술을 적용
 - 기존 업체들도 새로운 기술을 개발하고 제품을 확장하는 데 주력하고 있는바 MHI는 더 빠른 속도의 포집이 가능한 효율적인 용매 개발을 위한 연구개발을 하는 한편 Aker Carbon Capture는 고객이 CCS를 보다 쉽게 사용할 수 있는 탄소포집 제품을 개발 중
- 최근 몇 년간의 CCS 산업 성장으로 인해 CO₂ 농도가 일반적으로 13~20% 수준인 전력 및 산업부문 등의 탄소배출원 프로젝트에 맞는 새로운 포집 솔루션 개발에 관심 증가
 - Carbon Clean 및 Svante와 같은 CCS 스타트업 회사들은 혁신적인 기술의 시장 출시를 선도하고 있는데, 아직 대규모 플랜트를 건설하지 않았지만 새로운 솔루션을 시연하고 포집 비용을 30%에서 최대 50%까지 줄이는 것을 목표로 하고 있음
 - 새로운 탄소포집 솔루션에서 일하는 스타트업 회사들은 지난 2년 동안 수억 달러의 자금 조달에 성공

탄소포집 기술제공 신규 업체들의 자금조달 현황

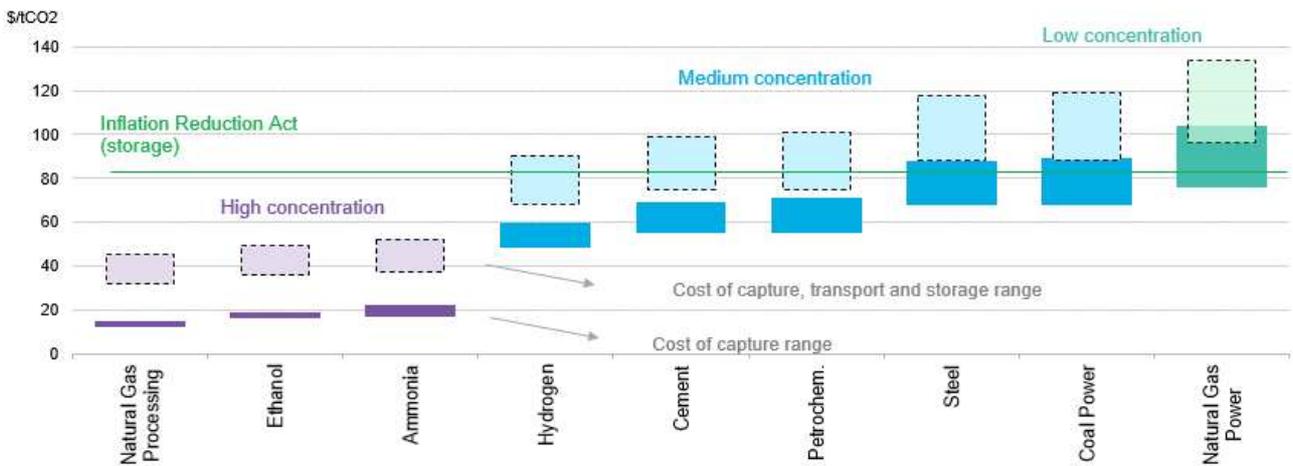


자료: BNEF

현재 탄소포집 기술은 비용이 높아 시장 확대를 위한 정책적인 인센티브가 필수적

- 1년 전만 해도 탄소포집 인센티브가 낮아 시멘트, 석유화학, 철강 등 탄소저감이 어려운 산업에서 탄소포집 사례를 찾기가 어려웠음
 - 전력 부문은 천연가스 처리 공정 부문 대비 CO₂ 농도가 낮아 포집 비용이 더 높은 수준
 - 미국 인플레이션 감축법(Inflation Reduction Act) 이전의 45Q Tax Credit은 고농도 CO₂ 프로젝트에서만 경제성 존재
- 그러나 올해 캐나다, 미국에서 발표된 새로운 인센티브는 탄소포집 시장에 큰 변화를 초래할 전망
 - 미국, 캐나다, 유럽 등이 프로젝트 비용의 상당 부분을 지원함에 따라 중간 농도 수준의 탄소 배출원 대상의 프로젝트가 전체 CCS 비용에 가까운 인센티브를 받을 수 있게 되어 CCS 사업이 수익성을 낼 수 있는 탄소배출 산업의 범위 확대

탄소배출 농도별 1세대 포집기술(습식포집)의 포집비용 비교



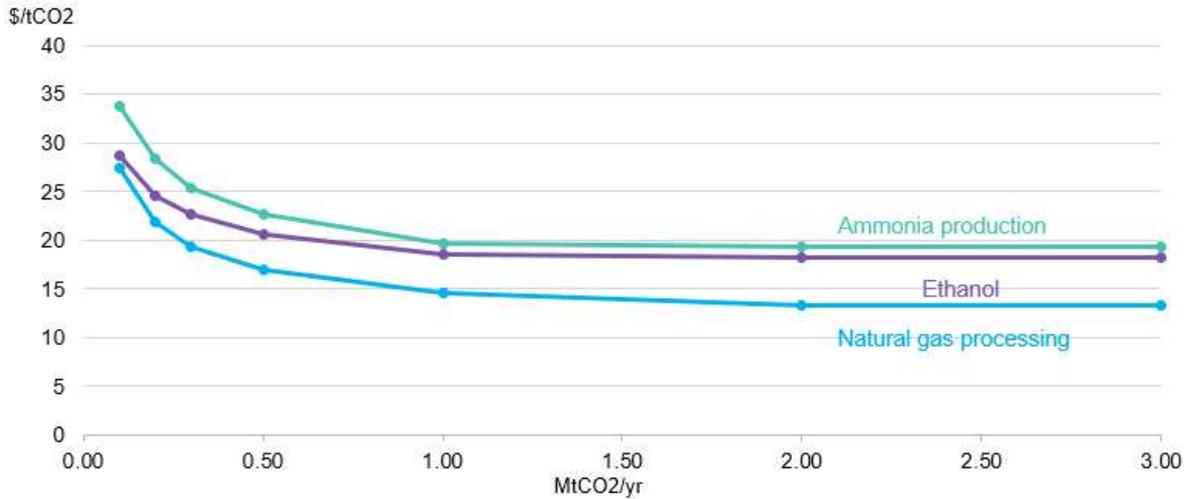
주: 탄소 수송 및 저장비용은 이산화탄소 톤당 \$20~30

자료: Great Plains Institute, BNEF 재인용

현재 기술 수준에서도 컨테이너 모듈방식으로 쉽게 확장 가능한 포집 시스템을 통해 탄소포집 톤당 비용 절감 가능

- 현재 CCUS 기술 수준에서는 소규모 설비가 대규모 설비 대비 톤당 비용이 훨씬 더 높음
 - 소규모 배출자의 CCS 사용을 확대하기 위해 기존의 기술 제공업체와 2세대 기술 제공업체 모두 모듈방식의 탄소포집 시스템 개발
 - 영국 스타트업인 Carbon Clean은 CycloneCC 기술을 통한 모듈방식 탄소포집 시스템*의 파일럿 테스트를 마쳤으며 시장 출시를 목표로 하고 있음
- * 포집용량은 제품에 따라 하루에 10톤 또는 100톤이며, 잠재적으로 300~2,000톤으로 확대 가능
- 전통적인 포집 기술의 선두 주자인 MHI도 모듈방식의 탄소포집 시스템을 연구하고 있으며 첫 번째 모듈을 이미 시장출시

고농도 탄소 배출원에 대한 미국 플랜트 규모별 포집 비용 비교



자료: Great Plains Institute, BNEF 재인용

CCUS 용량은 지금까지 발표된 것보다 훨씬 더 빠른 속도로 확장되어야 2050년까지 넷제로 도달이 가능하며, 이를 위해 탄소포집 비용을 낮추는 것이 중요

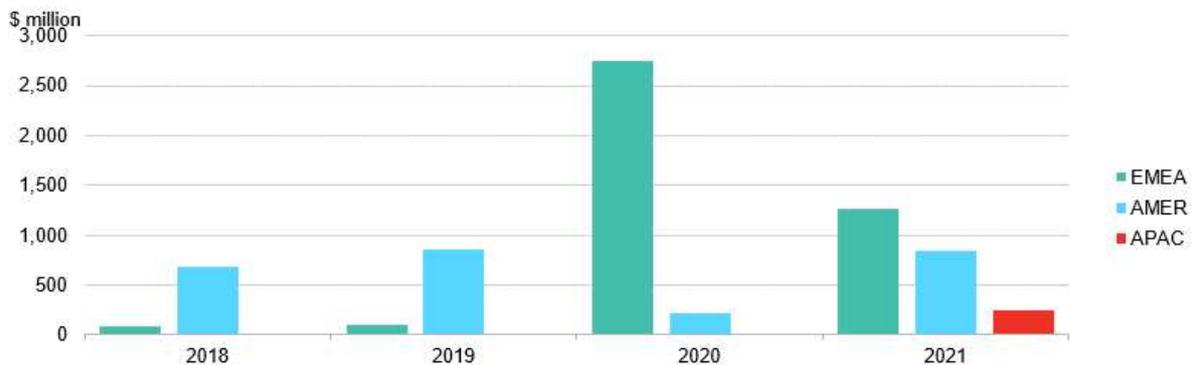
- 탄소포집 비용 절감은 주로 ①새로운 포집기술 개발, ②운송·저장 인프라 공유, ③규모의 경제 달성을 통해 실현 가능
- (① 새로운 포집기술 개발)** Carbon Clean, Svante 등 여러 2세대 포집 기술 제공업체들은 포집 비용을 \$30/tCO₂까지 낮추는 기술을 개발할 계획
 - 과거에 가장 일반적인 포집 방식인 습식포집은 두 가지 개선 방안을 통해 비용 절감 가능
 - 첫 번째는 결합된 CO₂를 더 낮은 온도에서 더 오래 방출하여 궁극적으로 포집 운영 비용을 줄일 수 있는 새로운 용매를 개발하는 것으로서 이러한 용매는 이미 개발되었으며 과거에 덜 효율적인 용매를 사용하던 시스템에 대체 적용 가능
 - 두 번째는 CO₂가 용매와 만나 용매에 결합되는 장비인 흡수 장치를 재설계하는 것으로 이는 Carbon Clean이 지향하는 방식
- (② 운송·저장 인프라 공유)** 전체 CCS 비용은 여러 배출원에서 배출되는 CO₂가 동일한 인프라를 사용하여 운송·저장될 때 더 낮출 수 있음
 - 이는 유럽과 같이 CO₂를 연안에 저장하는 경우, 적은 용량으로 저장소를 운영하면 개별 프로젝트 비용이 많이 들고 실행이 어려울 수 있기 때문
 - 운송·저장 인프라를 공유하는 것은 세계적인 추세가 되고 있으며 향후 CCUS 산업이 이러한 방식으로 구축될 것으로 예상
- (③ 규모의 경제)** 비용 절감을 위해 많은 대규모 공장을 건설해야 하는데 CCUS의 대형화는 프로세스를 보다 효율적으로 만들고 단위당 비용을 낮출 수 있으며, 또한 대규모 공장은 공급업체에 대해 훨씬 더 큰 교섭력을 갖게 된다는 장점

3. 투자 현황

CCUS 관련 투자가 지난 4년간 급증하여 투자액이 2020년 30억 달러를 기록한 이후, 2021년은 23억 달러로 감소했으나 2022년 역대 최고치를 기록할 전망

- CCS 프로젝트는 발표에서 시운전까지 보통 5~7년이 소요되며, 현재 발표된 프로젝트들에 대한 투자는 향후 10년에 걸쳐 이루어질 것으로 예상
 - 대규모 프로젝트 계획 발표와 플랜트 건설 사이의 시간차로 인해 프로젝트 발표 확대가 CCUS 투자 증가로 바로 이어지지 않음
- CCUS 업계는 지난 4년 동안 이미 수십억 달러의 투자 실행
 - 2018년 8억 달러 수준의 투자가 2019년 약 10억 달러로 증가했으며, 노르웨이의 Longship 프로젝트가 약 25억 달러(노르웨이 정부로부터 18억 달러, Shell, Total 및 Equinor에서 약 7억 달러)의 자금을 조달한 2020년에는 30억 달러로 급증
 - 2021년에는 그 어느 때보다 프로젝트 발표가 많았으나 대규모 투자 부재 등으로 총 CCS 자금 조달은 2020년보다 낮은 약 23억 달러 수준 기록
- 2018~2021년 CCUS 투자는 주로 미주지역(AMER)과 유럽 및 중동·아프리카(EMEA)에서 이루어졌으며, 지난 몇 년간 여러 프로젝트 계획이 발표되던 아태 지역(APAC)에서 2021년 첫 번째 투자 개시
 - 호주와 싱가포르 정부는 여러 프로젝트에 자금을 지원했으며 Santos는 호주 프로젝트 Moomba에 대한 최종 투자 발표
 - 유럽 및 중동·아프리카 투자의 대부분은 EU 혁신기금과 영국의 CCS 클러스터 개발 부문에 의해 이루어짐
- 2022년 1~9월까지 이미 35억 달러 이상의 투자가 이미 실행되는 등 2022년은 CCUS 투자가 역대 최고치를 기록할 것이 확실시 됨
 - 대규모 투자에는 Climeworks의 6.5억 달러 자금 조달, ExxonMobil의 미국 와이오밍 주 Labarge 가스전의 CCS 확장 프로젝트에 대한 4억 달러 최종 투자결정, EU 혁신기금이 투자한 4개의 CCUS 프로젝트, 미국에 있는 Carbon Engineering의 DAC plant 등이 포함됨

세계 지역별 CCS 투자비 추이

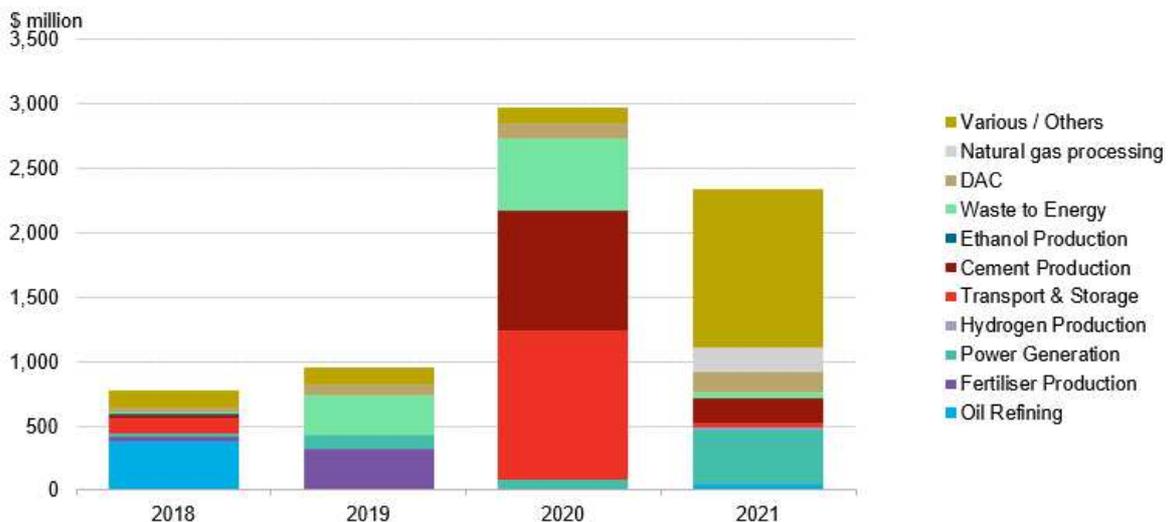


자료: BNEF

CCUS 투자 부문이 점차 다양해지고 있으며, 당분간 이러한 추세가 이어질 전망

- 지난 4년간 운송·저장 인프라 공유 부문과 시멘트와 같은 일부 탄소저감이 어려운 산업에 대한 투자가 크게 증가
 - 가령, 미국 중서부의 Summit Carbon Solutions 네트워크는 약 45억 달러의 비용이 들 것으로 추정되는데 총 프로젝트 비용의 80%는 운송·저장 인프라 구축에 사용
 - 유럽의 해상 운송 개발도 고비용 프로젝트로서, 노르웨이 '오로라 해상 CO₂ 저장 허브 프로젝트'에 대한 첫 번째 투자가 이미 개시된 한편 DAC 투자도 급증
- 석유·가스 부문의 메이저 기업이 탈탄소화 목표 달성을 위해 CCUS에 의존한다는 방침을 밝히고 광범위한 CCS 투자 계획을 발표하고 있으나 투자 규모가 더욱 확대될 필요
 - ExxonMobil은 2021년에 주로 CCUS와 같은 저탄소 기술에 2025년까지 30억 달러를 지출할 계획을 발표했으며 Oxy는 2035년까지 70개의 DAC 공장 건설 계획 발표
 - Aramco와 Qatar Energy는 각각 2035년까지 연간 11Mt CO₂를 포집할 계획이며, ADNOC는 2030년까지 연간 5Mt CO₂, CNPC는 2025년까지 연간 3Mt CO₂의 목표 설정
 - 석유·가스 메이저 기업의 투자는 향후 10년에 걸쳐 지속적으로 이루어질 것으로 예상되나 여전히 총 투자에서 CCS 비중이 더욱 증가할 필요
 - 현재 석유·가스 기업은 운송 및 저장 공급자로 포지셔닝하거나 천연가스 처리 작업에서 저렴한 비용으로 많은 양을 포집할 수 있는 프로젝트를 개발 중이며, 석유·가스 부문이 넷제로 도달을 위해 CCUS에 의존하고 있지만 아직 전체 투자 중 차지하는 비중이 매우 낮음

부문별 CCS 투자 추이



자료: BNEF

Ⅲ. 국내 CCUS 개발 현황

국내 온실가스 배출 비중이 높은 업종의 기업들이 K-CCUS 추진단⁴⁾에 참여하는 등 탄소 배출 저감 추진

- K-CCUS 추진단은 2025년까지 이미 개발된 기술에 대한 실증 투자를 확대해서 분야별로 상용화 가능한 기술을 확보한 뒤, 2030년까지 CCUS 기술을 탄소중립 신산업으로 육성할 예정이며 CCUS 법률안 등 제도적 기반을 마련해 기술개발을 뒷받침할 계획
- 한국은 에너지 다소비 중심의 제조업 구조, 화석연료 중심의 발전과 낮은 재생에너지 비중 등을 가지고 있으며, 2020년 기준 한국의 탄소중립 기술은 선도국 대비 80% 수준이며, 미국과 기술격차는 3년(녹색기술센터)
- CCUS 중에서 탄소를 잠재적 시장가치가 있는 새로운 자원으로써 응용할 수 있는 분야는 탄소를 활용하는 CCU이며 해당 기술은 크게 비전환 직접활용 기술과 전환기술로 분류
 - '비전환 직접활용 기술'은 포집한 이산화탄소를 석유 회수 시 생산성을 향상하기 위해 활용(EOR)하거나 용제나 열전달 유체 등으로 그대로 사용하는 방법
 - '전환 기술'은 탄소를 새로운 연료, 화학 물질, 건축 자재물 등 타 제품으로 바꿔 사용하는 방법
- 비전환 직접활용 기술 대비 전환 기술의 경우 신규시장 창출 가능성이 높다는 점에서, 2021년 6월 관계부처들이(과기부, 환경부 등) 공동으로 수립한 'CCU 기술혁신 로드맵'에서는 '전환 활용' 관련 기술개발에 집중
 - 로드맵에 따르면 2025년까지 기술개발을 선진국 대비 90% 수준까지 높이고 2028년까지 14개의 CCU 상용제품을 확보한다는 계획

K-CCUS 추진단 내용 개요

구분	내용	참여기관
민간기업		50개
1. 포집	철강, 시멘트, 석유화학, 수소, LNG발전 등 주요 산업별 단계적 실증사업 추진	SK이노베이션, 두산중공업 등
2H21 예타 추진 2021~2024년	동해가스전과 연계하여 중대규모 포집 실증 사업 추진 주요 업종별 상용 규모 포집 기술 확보	
2. 수송 및 저장	2022년 6월 가스 생산이 종료되는 동해가스전 활용해 중규모 통합실증사업 추진	현대중공업, 한국조선해양 등
2H21 2023~2024년	동해가스전 예타 추진 동해가스전 시설 구축	
2025~2054년	동해가스전 30년간 시설 운영 및 이산화탄소 총 1,200만톤(연간 40만톤급) 저장	
3. 활용	현재 CCU 기술은 상용 공정의 2% 규모. 조기 실증, 상용화 기술 선정해 집중 투자	GS칼텍스, S-Oil, 영풍산업, 삼표산업 등
2021~2024년	주요 CCU 제품(저탄소 시멘트, 폴리우레탄, 일산화탄소 등) 실증사업 착수	
공기업		10개
연구계		15개
학계		20개

자료: 산업통상자원부(2021.4.7일), KTB투자증권 재인용

4) K-CCUS 추진단이란 산업통상자원부가 에너지 관련 기업(SK이노베이션, GS칼텍스, S-Oil 등), 에너지 공기업(한국전력공사 등), 연구기관·대학 등과 함께 기술개발 및 상용화를 위해 만든 컨트론타워

정부는 2030년 NDC(Nationally Determined Contribution, 온실가스감축목표) 달성 및 2050년 탄소중립 실현을 위한 핵심 기술개발 과제를 선정하고 개발 일정 및 지원방안 마련

- 정부가 2021년 11월 발표한 '탄소중립 산업·에너지 R&D 전략'에서는 2050년까지 중장기적인 R&D 목표 제시
 - 단기적(~2030년)으로 조기 상용화가 가능하고 2030년 NDC 달성을 위해 시급한 기술 위주로 신속하게 개발
 - 중장기적(~2050년)으로 공정 등 생산방식을 근본적으로 혁신하는 원천기술로 2050년 탄소중립 실현에 필수적인 기술의 추적 및 확산에 주력
- 2030년까지 기술개발 1단계로 정부의 선제적인 마중물 투자 확대
 - 2022년 탄소중립 R&D 예산을 2021년 0.8조 원에서 1.2조 원으로 대폭 확대하고, 2030년까지 산업부 R&D의 30% 이상을 탄소중립에 전략적으로 투자한다는 방침
 - 기후대응기금·산업기술 진흥 및 사업화 촉진기금 등을 활용하여 탄소중립 R&D에 재투자하고, 탄소중립 기술혁신 펀드를 조성하여 민간의 탄소중립 투자 촉진
 - 추가적으로 기업의 투자부담 완화를 위해서 세액공제, 기술료 면제 등의 인센티브 방안을 검토하여 제공할 계획
- 2050년까지 탄소중립 시나리오안에 제시된 기술을 중점적으로 개발·상용화하고 2030년까지 1단계로 착수한 선행기술의 실증 프로젝트 본격화
 - 또한 개발 기술의 사업화 및 현장 적용을 위한 R&D 후속 지원을 강화할 방침

탄소중립 R&D 전략

구분		설명			
2030 NDC 달성 핵심기술	CO ₂ 포집	- LNG 발전 및 탄소 다배출 업종 파일럿 실증(업종별 상용규모)	~'25	~'28	~'30
		- 주요 다배출 업종(LNG발전, 석유화학, 정유, 철강, 시멘트 등) 중소규모 실증	- 가열로 조업 운영 최적화 등 100% 무탄소 연료전환 기술 확보	- 기술 상용화 및 보급 확산	
	CO ₂ 활용	- 14대 CCU 전략제품 조기 상용화를 위한 기술개발과 실증 및 기술 보급 확산	~'25	~'28	~'30
		- 플랫폼 화합물, 광물화 등 주요 선도제품 기술 개발 및 실증	- 14대 전략제품 상용화 기술 확보 - 차세대 핵심기술 개발	- 기술 상용화 및 보급 확산	
	CO ₂ 활용	- 연40만톤 중규모 통합 실증 후 연400만톤 주입 실증으로 확산	~'25	~'28	~'30
		- 운영관리, 주입 효율 향상 등 기술개발 및 실증 - 연 CO ₂ 40만톤급 저장 실증	- 주입시설, 저장층, 해저지반 등 안전관리 기술 고도화 - 연 CO ₂ 100만톤급 저장 실증	- 저장 주입 실증 및 실적 확보 - 연 CO ₂ 400만톤급 저장 실증	
2050 탄소중립 실현 핵심기술	발전 및 산업부문 CO ₂ 포집	- 해상 풍력발전단지과 연계한 50MW급 수중에너지저장 장치개발	~'30	~'35	~'50
		- (단위설비 기준) 연간 1백만톤급 포집	- 연간 3백만톤급 포집	- 연간 4백만톤급 포집 - 포집비용 \$20/t-CO ₂ 달성	
	CO ₂ 활용	- CCU 제품군(플랫폼 화합물, 연료 등) 생산기술 실증 확대로 경제성을 확보하고 대량 CO ₂ 감축 구현('50년)			
	CO ₂ 저장소 구축	- 연400만톤('30년)에서 연1,500만톤('50년) 규모로 CO ₂ 주입 실증규모 확대 및 저장소 구축 핵심기술 자립화	~'25	~'30	~'50
		- CO ₂ 저장소 효율 향상 기술, 주입설비 구축 기술 등 확보	- 연간 400만톤 규모 저장 부지 구축	- 저장소 구축 핵심기술 자립화 - 해양플랫폼(저장시설) 운영/관리	

자료: 산업통상자원부(탄소중립 산업·에너지 R&D 전략), 한국기업평가 재인용

IV. 결론 및 시사점

2050년 넷제로 달성을 위해서 필요한 탄소포집 용량은 현재 발표된 용량의 6배 이상

- CCUS는 탈탄소화를 위한 도구로서 넷제로 흐름과 맥을 같이 하며, 넷제로 도달에 CCUS가 필요하다는 과학적 합의 하에 전례 없는 속도로 프로젝트들이 발표되고 있음
 - 2022년 9월까지 발표된 CCUS 프로젝트 규모는 이미 전년 대비 40% 증가한 수준이며, 추가로 더 많은 프로젝트가 발표될 예정
 - DAC 스타트업이 10억 달러 이상의 자금을 조달하는 등 미국의 신규 세액 공제는 이미 세계 최대 탄소포집 시장인 미국 시장의 발전을 가속화할 전망
- CCUS 프로젝트 발표의 급증에도 불구하고, 2050년 넷제로 달성을 위해서 필요한 탄소포집 용량은 지금까지 발표된 용량의 6배 이상이 필요하다는 분석 제기(BNEF)
 - Global CCS Institute에서도 넷제로 도달을 위해 2050년까지 필요한 전 세계 CO₂ 포집·저장 용량은 3,600 Mtpa으로 분석하였는데 이는 현재의 CO₂ 포집·저장 용량의 약 100배 수준

지난 50년간 CCUS 프로젝트는 포집, 운송 및 저장 쏠분야를 관련하여 소수 업체가 모두 개발했으나 현재 탈탄소화를 위한 CCUS 산업은 매우 복잡하여 협업 및 파트너십이 중요

- 유럽에서 발표된 프로젝트 대부분은 산업 허브에 위치하고 일종의 공유 기반시설을 포함하기 때문에 다양한 이해 관계자를 포함하며, 특히 배출원의 탄소 농도가 낮은 산업 및 전력 분야에서 CCUS 확장을 위한 파트너십 필요
 - 고농도 배출원에서 CO₂를 포집하는 기술은 잘 알려져 있고 비용이 저렴하며 이미 대규모로 적용 중
 - 이에 반해 시멘트나 석유화학 등 탄소저감이 어려운 산업의 대규모 상업 프로젝트는 아직 건설되지 않았으며, 필요한 규모로 운영되기까지 일정 기간동안 테스트와 시범 프로젝트가 필요한 상황
- 각 산업의 배출원의 탄소 농도에 따라 파트너십에 대해 다소 다른 방식으로 접근하는바 고농도 배출원은 한 회사가 전체 CCS 프로젝트를 개발하는 것이 가능하지만 저농도 배출원의 경우 포집기술 제공업체 선택 및 파트너십이 중요하기 때문
 - (고농도 배출원) 천연가스 처리, 에탄올 및 비료 생산은 모두 고농도 배출원에서 메가톤 규모의 프로젝트로 개발되고 있으며, 이러한 프로젝트는 복잡한 포집기술에 의존하지 않고 신속하게 구축할 수 있고, 일반적으로 관련된 이해 관계자가 더 적음
 - 인도네시아에 있는 BP의 Tangguh 공장(4MtCO₂/yr), Repsol Sakakemang 공장(2MtCO₂/yr) 등 동남아시아의 천연가스 처리 작업에서 발표된 대규모 포집 프로젝트가 대표적
 - 미국 중서부에서 에탄올 생산에서 CO₂를 포집하는 Summit Carbon Solutions의 프로젝트도 한 회사가 전체 CCS 프로젝트 개발

- (저농도 배출원) 반면, 탄소저감이 어려운 산업의 프로젝트는 이해 관계자가 많고 개발 시간이 훨씬 더 오래 소요되며 포집 비용이 전체 CCS 비용의 대부분을 차지하기 때문에 포집 기술 제공업체를 선택하는 것이 매우 중요
- 시멘트는 대규모 프로젝트를 발표한 최초의 산업 부문 중 하나이나 Calix와 Heidelberg Cement가 개발한 유럽의 Leilac project 등은 여전히 파일럿 공장 수준이며, 대규모 프로젝트의 경우 시멘트 생산자는 2세대 기술을 평가 중에 있음
- 다만 단기간 내에 건설해야 하는 공장의 경우 업체들은 기존 포집기술 제공업체에 의존*
- * Heidelberg Cement는 Aker Carbon Capture와 협력하여 2024년까지 Brevik 시설에 0.4MtCO₂/yr 공장 건설 중
- 탄소포집 프로젝트가 더 복잡해짐에 따라 각 프로젝트에 여러 이해관계자들이 참여할 것으로 예상되며 신기술이 10년내에 시연되기 위해 기술 제공자와 배출자 간의 긴밀한 협력 필요
- 향후 10년간 연안 저장 장치가 시장에 출시되고, 광물화가 확장되는 등 활용 시장이 성장할 전망으로 이를 위해 각 가치사슬의 전문 지식을 가진 회사 간의 긴밀한 협력이 필수적

CCUS 기술은 1970년대부터 사용된 오래된 기술이나 향후 시장 잠재력이 매우 크고 혁신적인 신기술 등장이 기대되는 분야로 국내업체의 기술개발 노력과 정책적 지원 필요

- 모든 기업의 넷제로 달성이 필수적인 시대가 도래하였으며, CCUS 기술은 산업설비뿐만 아니라 일상생활에서 공기 중 탄소를 포집하는 기술을 개발하는 데까지 확대
- CCUS 기술은 현재 전 세계에서 넷제로 달성을 위한 가장 중요한 기술 중의 하나로서 국내 기업들이 CCUS 분야에 관심을 가지고 세계 기술개발 동향과 주요 국가들의 정책에 대해 지속적인 모니터링 필요
- 이를 통해 글로벌 핵심 플레이어들과의 협업 기회를 모색하고, CCUS 혁신기술 개발 기회를 포착할 필요
- 정부는 2030년 NDC 달성 및 2050년 탄소중립 실현을 위한 핵심기술개발 과제를 선정하고 개발일정 및 지원방안을 마련하였는바, 향후에도 지속적인 지원강화 필요

< 참고 문헌 >

1. 박일선, 전해영, "그린인프라: 탄소감축의 첫 번째 관문, CCUS", ktb투자증권, 2021
2. 산업통상자원부, "탄소중립 산업·에너지 R&D 전략", 2021.11월
3. BNEF, "2022 CCUS Market Outlook", 2022.10월
4. Credit Suisse, "Global Infrastructure Research: Compelling Carbon Capture Considerations", 2021.7월
5. Tarek Soliman, "Carbon Capture & Sequestration", HSBC, 2021.3월
6. www.bnef.com
7. www.iea.org 등