

# 철강 CCUS의 미래, 어떻게 전개될 것인가?

박찬욱 연구위원, 철강연구실(pcw@posri.re.kr)

## Summary

- 세계 철강 생산의 70%를 점유하는 BF-BOF 설비가 존속하면서 CO<sub>2</sub> 감축 목표를 달성할 현실적 대안이 CCUS 기술이나, 아직 상용화까지는 갈 길이 멀
- 철강 CCUS 상용화가 부진한 이유는 ① 대형 고로에서 나오는 배가스에 25% 미만 함유된 CO<sub>2</sub>를 대량 포집해야 하는 기술의 현실적 제약, ② CO<sub>2</sub> 포집에 필요한 에너지 비용 및 설비투자 비용 부담, ③ CO<sub>2</sub> 운송 비용과 저장 공간 등 관련 인프라 부족 때문임
- 철강 CCUS의 미래를 예단하기 어려우나, CCUS 없는 넷제로 달성이 매우 어려운 것이 현실이므로 지속적인 CCUS 기술 개발과 정책적 지원이 요구됨
- CCUS 상용화를 촉진, 확산하려면, 1) 미국과 같은 세액공제 및 보조금 정책, 2) 클러스터 형태로 집적화된 CCUS Hub 등 탄소 CO<sub>2</sub> 운송, 저장 관련 인프라 투자, 3) 탄소 포집 효율과 처리 용량을 향상시키는 업계의 기술 개발 노력이 병행되어야 함

## 1. 배경

- 고로 배가스 내 CO<sub>2</sub>를 포집하여 활용, 저장하는 BF CCUS 가치와 당위론은 세계 철강 생산의 70%를 책임지는 고로의 완전 폐기가 어렵다는 점에서 자연스런 귀결임. 그러나 CCUS 기술 상용화가 더딘 상황에서 회의론도 적지 않음
- IEA(국제에너지기구)는 '50년 철강의 넷제로가 달성되려면 조강 생산의 53%가 CCUS 설비를 거쳐야 할 것으로 추정

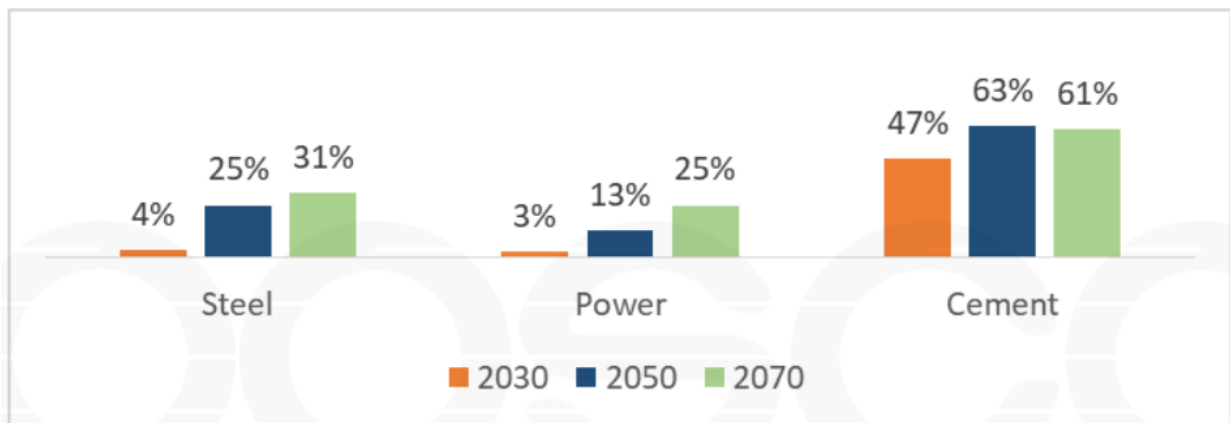
【 IEA의 철강 넷제로 시나리오에 근거한 제철기술 적용 전망 】

		'20	'30	'50
제법별 조강생산	with CCUS	-	6%	53%
	H2-DRI-EAF	-	2%	29%
	기타(광석전기분해 등)	-	0	13%
CO2 포집량 (Mt)		-	70	670
스크랩 사용률		32%	38%	46%

\* 자료: IEA, Net zero by 2050, '21.5.

- 한편, IEA의 SDS 시나리오(Sustainable Development Scenario, 각국 정부의 정책 약속 이행 및 추가 조치를 가정하나, 넷제로 전제는 아님) 에서는 '50년 CCUS의 CO<sub>2</sub> 감축 기여도를 25%로 전망함

【 CCUS의 세계 산업별 CO<sub>2</sub> 감축 기여도 전망: SDS 시나리오 기준 】

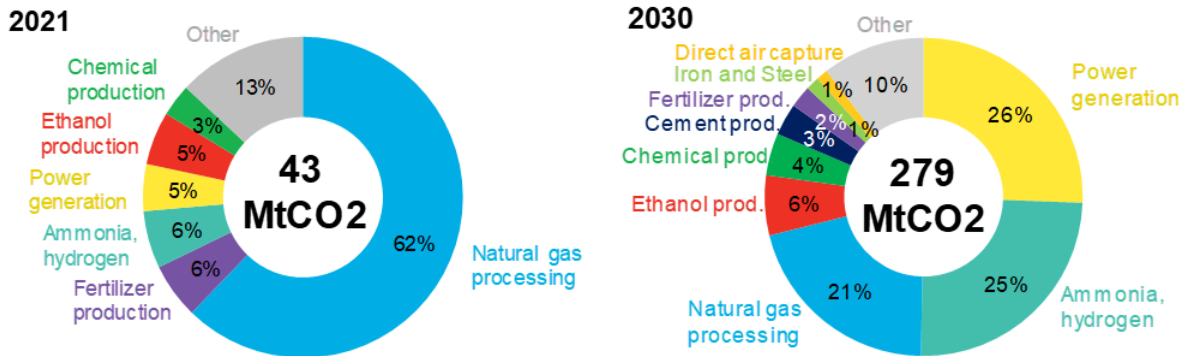


\* 자료: IEA, Energy Technology Perspectives, '20

- 아직까지 CCUS 설비는 주로 천연가스(62%) 및 발전(5%) 분야 중심이며, 철강업의 경우는 '30년 CO<sub>2</sub> 포집 능력이 지금보다 6배 증가한다고 가정해도 세계 산업 내 비중은 1%에 불과할 전망이다(BNEF)

[ '30년 세계 CCUS 설비능력의 산업별 분포 ]

Figure 1: Global carbon capture capacity by source, 2021 and 2030



Source: BloombergNEF.

\* 자료: <https://about.bnef.com/blog/global-carbon-capture-capacity-due-to-rise-sixfold-by-2030/>

\* 맥킨지는 세계 전체(모든 산업 분야를 포함)로 '50년 넷제로를 달성하려면 CCUS 처리 능력이 현재 대비 최소 60배, 최대 120배 증대된 4.2기가톤(Gt)에 달해야 한다고 평가

## 2. CCUS의 과제

- CCUS의 중요성에도 불구하고, 철강 산업에서 CCUS 상용화 프로젝트가 극히 부진한 이유는,
  - ① 대형 고로에서 나오는 배가스에 25% 미만 함유된 CO<sub>2</sub>를 대량 포집해야 하는 기술의 현실적 제약,
  - ② CO<sub>2</sub> 포집에 필요한 에너지 비용 및 설비투자 비용 부담,
  - ③ CO<sub>2</sub> 운송 비용과 저장 공간 관련 인프라 부족 때문임

### ① (변수1) 철강 CCUS의 상업적 기술 성숙도

- 현재 H<sub>2</sub>-DRI와 BF CCUS의 기술 성숙도는 6~7단계 내외(파일럿에서 데모 공장 수준으로의 진전)로 유사한 수준임. 그러나, 예정된 상용화 프로젝트로 보면, H<sub>2</sub>-DRI는 '30년 전후 본격화되지만, BF CCUS 상용화 로드맵은 아직 구체화되지 못함

【 BF CCUS 관련 기술의 CO2 감축효과와 기술 성숙도 】

	CO <sub>2</sub> 감축률 (BF-BOF 대비)	사례	기술성숙 (TRL)		
			'20	'30	'50
BF-BOF with CCUS	△60%	Carbon2Chem (TKS) Carbalyst/Steelanol (AM)	5~8	9	9
TGR* BF & CCUS (*Top Gas Recycling, BF Gas Injection)	△65% (TGR만으로는 15~30%)	IGAR (AM) JFE (Methanation) 보무팔일강철	5~8	8~9	9

\* 자료: IEA, Energies, Green steel for Europe 등 종합

## ② (변수2) CO<sub>2</sub> 포집 비용 및 설비투자 비용

- CO<sub>2</sub> 포집 기술은 아민 또는 암모니아수를 이용한 습식 흡수법, PSA(압력 순환식) 흡착법, 분리막 포집법, 심냉법 등으로 구분되며, 포집 비용과 기술 성숙도, 고로 배가스의 낮은 CO<sub>2</sub> 농도를 고려할 때 습식 흡수법이 가장 현실적인 기술로 평가됨

【 CO2 포집 기술 특징 비교 】

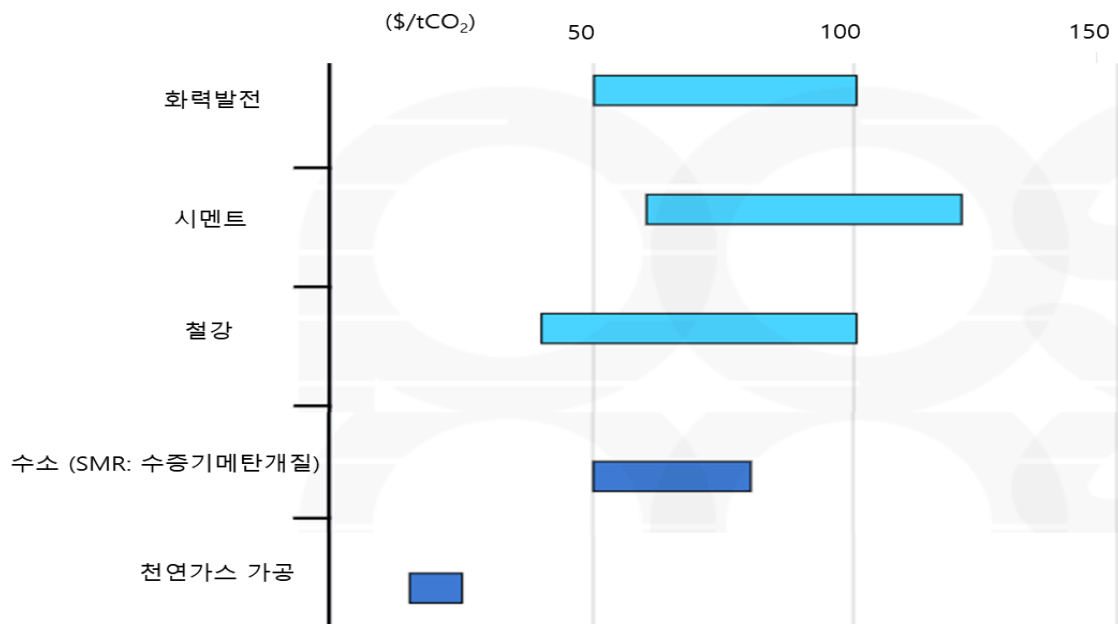
기술	CO <sub>2</sub> 제거율	에너지 소비량	CO <sub>2</sub> 포집비용
	%	GJ/tCO <sub>2</sub>	CU\$/tCO <sub>2</sub>
흡수법 (MEA: 모노에탄올아민)	85~90	3.8	63
흡착법	88~98	1.17	90
Membrane (분리막)	70~90	1.28	80
심냉법	90~99.9	1.8	52

\* 자료: Carbon capture science & technology, '21.12.

- CO<sub>2</sub> 포집 비용은 발생 배가스의 CO<sub>2</sub> 농도가 낮을수록 증가하는데, 포집에 필요한 전력 소비량이 늘어나기 때문임

\* 철강은 배가스의 CO<sub>2</sub> 농도가 낮아 포집 비용이 평균 U\$70대로 높으나, 천연가스는 고농도의 CO<sub>2</sub> 함유로 U\$20대로 낮아 3배 이상 비용 격차가 있음

[ 산업별 CO<sub>2</sub> 포집, 운송, 저장 비용 비교 ]



\* 자료: <https://www.iea.org/commentaries/is-carbon-capture-too-expensive>

③ (변수3) CO<sub>2</sub> 운송, 저장의 딜레마

- 포집된 CO<sub>2</sub>의 90% 이상은 지중 또는 해중 저장되는데, 탄소 포집량이 늘어날수록 저장 공간 확보 문제가 증폭되고, 운송 비용(파이프라인 또는 선박) 부담도 높아지는 CCS 딜레마가 발생함
- CO<sub>2</sub> 처리는 활용 방식보다는 저장 기능, 즉 CCS 역할이 중요함 ('30년: 저장 94% + 활용 6%, '50년: 저장 98% + 활용 2%)
  - 저장에는 EOR\* 포함 (\*석유회수증진법: CO<sub>2</sub>를 지층으로 밀어 넣고, 그 압력을 활용하여 지층 속 원유를 뽑아내는 기술)

3. 최근 변화 동향

- CCUS 상용화가 촉진되려면, 1) 미국과 같은 법제화된 인센티브 정책 (세액공제, 보조금 등), 2) CO<sub>2</sub> 운송 및 저장 관련 CCUS Hub 인프라 구축 지원, 3) 포집 효율을 높이는 업계의 기술 개발, 4) 처리 용량을 높인 상용화된 설비 개발과 확산에 따른 Capex 감축 효과 등이 뒤따라야 함

- 정책 지원에서는 최근 미국의 행보가 주목됨. 미국은 '21년 인프라 투자 및 일자리 법안에 의거, 탄소 포집 및 저장, 운송 관련 지원액 U\$110억 외에도 금년 8월 발효된 미국 인플레이션 감축법(IRA)에 의해 U\$32억을 추가 세액공제함

【 미국의 CCUS 지원 정책 내용 】

		기존	IRA 법안
CCUS (EOR)	U\$/tCO2	35	60
CCS (영구저장)		50	85
DAC & 사용		35	130
DAC & 저장		50	180
조건 완화 (최소 탄소포집량)		전력 500천톤/y, 산업 100천톤/y	전력 18.8천톤/y, 산업 12.5천톤/y
지원 방식		12년 세액 공제	5년 직접지불+7년 세액공제 (또는 12년 세액공제)
착공시한		'26.1월	'33.1월

\* 자료: <https://akercarboncapture.com/2022/08/ira-passed-enabling-biggest-pre2030-ccus-market/>

- 업계의 기술 개발은 요소 기술 및 EPC(설계·조달·시공) 기업이 참여하는 다자간 협력 방식으로 추진 중임. 대표적 사례로서 시멘트 기업 HeidelbergCement, 세계 최대 석유 기업 Aramco, ArcelorMittal 등이 협력하여 포집 능력을 파일럿 단계(400t/d)에서 1만3천t/d 수준으로 scale-up을 추진 중임(WEF)
- AM의 Dunkirk 제철소 3D 프로젝트의 경우 EU Horizon 2020 기금의 지원(4년간 1,930만 유로)을 받으며, 협력 파트너로 Total, ACP, Axens, Brevik 엔지니어링 등 10개 기업이 있음
  - AM의 3D 프로젝트는 아민 용매 대비 포집 효율이 좋은 DMX 프로세스를 자체 개발했으며, 톤당 포집 비용은 30~40유로로 아민 흡수법 대비 10~20유로 비용 절감 효과가 기대된다고 알려짐

## 4. 전망 및 시사점

- 결론적으로 철강 CCUS의 미래를 예단하기 어려우나, CCUS 없는 넷제로 달성이 매우 어려운 것이 현실임. 특히 아래와 같은 가정과 상황을 고려할 때 지속적인 CCUS 기술 개발과 투자 촉진을 위한 정책적 지원이 긴요함
  - ▷ (가정 1) 그린수소의 생산, 조달 인프라의 개선과 생산 비용 감축 속도가

예상보다 부진하고, 이로 인해 H<sub>2</sub>-DRI 체제로의 전환이 지연됨

- 단, 미국은 IRA 시행으로 그린수소 생산 세액공제가 최대 U\$3/kg이므로 10년 내 거의 제로 비용의 그린수소 생산도 이론적으로 가능

- ▷ **(가정 2)** CCUS 기술의 진전으로 CO<sub>2</sub> 포집률 향상과 에너지 비용 절감이 실현되어 CCUS 경제성이 획기적으로 개선됨
  - 2세대 CCUS 기술(Carbon Clean & Svante 등)은 U\$30/tCO<sub>2</sub> 가능 기대
- ▷ **(가정 3)** 미국 IRA 시행의 자극과 더불어 탄소중립 달성의 시간적 압박이 가해지면서 각국의 CCUS 보조금 및 세금 혜택 정책 경쟁이 일어남
- ▷ **(가정 4)** CCS 여건(운송~저장 비용 감소, 저장 공간의 확산, 법제도적 허용 절차의 간소화 등)이 개선되고, CCU 시장(화학 전환: 에탄올 등, 생물 전환: 미세 조류 이용 바이오 연료, 광물 탄산화: 탄산칼슘, 건설자재 등) 등 CCUS 생태계가 확장됨
- ▶ **(상황 1)** 넷제로 중간 목표('30~'40년 기간 중 CO<sub>2</sub> 감축량) 달성하려면 정도의 차이는 있어도 BF CCUS 역할을 높이면서 좌초 자산을 최소화할 필요가 있음
- ▶ **(상황 2)** 고로 외의 공정(열연 공장 가열로 등)에서 발생하는 CO<sub>2</sub> 포집을 위해서도 CCUS 설비는 여전히 필요함

---

이 자료에 나타난 내용은 포스코경영연구원의 공식 견해와는 다를 수 있습니다.

## [출처]

- BNEF, '22.10.18., <https://about.bnef.com/blog/global-carbon-capture-capacity-due-to-rise-sixfold-by-2030/>
- WEF, '22.10.5., 3 reasons why the future of carbon capture looks promising
- IEA, '21.5., Net zero by 2050
- Green steel for Europe, '20.
- Aker carbon capture, '22.8.
- Carbon capture science & technology, '21.12
- McKinsey, '22.10.28., <https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/scaling-the-ccus-industry-to-achieve-net-zero-emissions>