

탄소경쟁력 시대의 철강산업 재편

: 저탄소 공정 확산과 선별적 자원 재배치

전기용 수석연구원, 철강연구센터 (kjeon@posri.re.kr)

목차

1. 검토 배경
2. 역사적 벤치마크: 美 미니밀 확산이 주는 교훈
3. 철강 탈탄소 전환의 조정 국면
4. 2040 공정 믹스 전환과 탄소경쟁력 중심 재편
5. 비용 역전 조건과 선별적 자원 재배치
6. 시사점

Executive Summary

- 글로벌 철강산업은 기존의 규모와 원가 중심 경쟁에서 벗어나 '탄소 경쟁력'이 기업의 생존 조건으로 부상하는 구조적 전환기에 진입함
- 이러한 관점에서 미국 미니밀 확산 사례는 중요한 역사적 벤치마크를 제공함
 - 초기 미니밀은 철근 등 품질 요구가 낮은 제품군에서 경쟁력을 확보한 뒤, 조업 및 압연 기술 발전에 따라 판재류 등 고부가가치 시장으로 영역을 확장함
 - 이 과정에서 일관제철소는 고정비 부담, 수입재 증가, 수요 둔화, 미니밀과 경쟁 압력에 직면했고, 비효율 설비 퇴출 등 '자원 재배치(reallocation)'가 진행됨
 - 이는 기술 전환이 단순히 신설비 추가가 아니라 경쟁력 있는 공정이 시장점유율을 확대하면서 기업의 생존 조건을 바꾸는 구조적 재편 과정임을 보여줌
- 현재 철강 탈탄소 전환 역시 저탄소 공정으로 생산 비중과 자원이 이동하는 '구조적 재배치' 과정으로 이해할 필요가 있음을 시사
 - 정책 불확실성, 수익성 악화, 수소가격 부담으로 저탄소 프로젝트는 속도 조절 중이나, 자동차 등 수요산업의 구매계약을 기반으로 선별적 시장 침투가 진행 중
- '40년까지 글로벌 철강산업은 고로 중심 구조에서 전기로 중심 구조('40년 EAF 비중 48%)로 점진적으로 이동할 전망
 - 글로벌 전기로 비중 확대와 함께 BF-BOF의 경쟁력은 연료 효율 개선 및 설비 개보수 전략에 따라 차별화될 전망
 - 특히 '30년 전후 現 고로 설비의 수명 종료 시점(전세계 고로 71%)이 집중되면서, 이 시기의 투자 결정이 '40년 이후 탄소배출 구조를 좌우할 핵심 변수로 작용할 것임
- 결국 철강산업 탈탄소 전환 속도는 기술의 존재 여부가 아니라 저탄소 공정이 기존 고탄소 공정 대비 어느 시점에 경제성을 확보할 수 있는가에 의해 결정될 가능성이 높음
 - 탄소가격(Ex, EU ETS 기반) 상승은 고탄소 공정의 총비용 부담을 높이는 반면, DRI EAF, BF BOF CCUS, H2 DRI EAF 등 저탄소 공정의 상대적 비용 경쟁력을 개선
 - 다만 탄소가격 수준이 충분히 높지 않은 전환기에는 그린 프리미엄과 공공조달·세제지원 등 탈탄소 지원 정책 설계가 필수
- 따라서 향후 철강산업의 탈탄소화는 전 세계적 전면 전환이 아니라, 탄소 비용이 가격에 반영되는 특정 권역(Ex, EU)과 프리미엄 수용력이 높은 전략적 수요처를 중심으로 단계적·선별적 자원 재배치 형태로 전개될 가능성이 높음
 - 저탄소 철강 시장의 자생적 확산에 한계가 존재하는 초기 단계에는, 공공조달을 통한 수요 창출, 인증 체계 마련, 핵심 인프라 구축을 주도함으로써 초기 시장 형성의 제도적 기반을 마련하는 정부의 정책적 역할이 무엇보다 중요함

1. 검토 배경

- 글로벌 철강산업은 '생산성' 중심의 경쟁에서 '탄소경쟁력' 시대로 패러다임 시프트 중
 - 전통적으로 철강 기업의 우위는 조강 생산량·생산능력, 원료 조달, 에너지 비용, 품질 안정성 등 공급자 중심의 지표에 의해 결정됨
 - 그러나 국가별 탄소중립 정책, EU ETS·CBAM¹, 수요산업의 Scope 3² 감축 요구가 전방위적으로 확대됨에 따라, 철강 제품의 경쟁력은 품질과 가격을 넘어 '탄소 효율성' 중심으로 급격히 재편되고 있음
 - 구체적으로 자동차 및 제조 부문을 중심으로 'Low-emission 강재' 장기 구매계약(offtake agreement)이 이어지면서, 수요산업 전반에 탄소 경쟁력 중심의 새로운 질서가 형성되고 있음
- 그러나 수소 가격, 재생에너지 활용 여부, 정책 가변성, 수요 둔화, 저탄소 설비 투자비 부담 등으로 인해 저탄소 철강시장의 확산 속도와 실질적인 감축 효능은 여전히 불투명한 상태임
 - 이는 현재의 탈탄소 설비 추진 및 프로젝트 발표 건수 증가가 산업 전체의 탄소 집약도 하락으로 즉각 전이되지 않기 때문임
 - 다시 말해, 단순히 저탄소 설비 도입 건수를 늘리는 것이 아니라 실질적 공정 믹스 내 저탄소 비중 확대를 통해 산업 전체의 탄소 집약도를 개선하는 것이 중요함
- 따라서 본 보고서는 탈탄소 전환을 단순한 설비 도입이 아니라 고탄소 공정에서 저탄소 공정으로 생산 비중과 자원이 이동하는 구조적 재편 과정으로 보고, 미국 미니밀 확산 사례를 통해 그 전환 조건을 분석하고자 함. 이를 바탕으로 저탄소 공정의 경제성 확보를 위한 정책 과제와 그린 프리미엄

¹ EU ETS는 EU 내에서 탄소 배출 기업에게 탄소비용을 부과하는 제도. CBAM(Carbon Border Adjustment Mechanism)은 EU ETS 하에서 역내 기업이 부담하는 탄소비용과 수입품 간의 형평성을 확보하고, 탄소 누출을 방지하기 위해 도입된 제도.

² 원료 구매, 부품 조달, 제품 사용 과정 등 공급망에서 발생하는 간접 배출을 의미함.

형성 조건을 도출하고 탄소 경쟁력 중심의 산업 재편 방향을 제시하고자 함

2. 역사적 벤치마크: 미국 미니밀(Mini-mill) 확산이 주는 교훈

□ 미국 철강산업에서 60년대 이후 나타난 자원의 재배치와 생존 질서의 재편은 철강산업에서 기술 전환이 산업구조를 어떻게 바꾸는지 보여주는 대표적인 사례임

- 미국 철강산업은 고로 기반 일관제철소(Vertical integrated mills)의 고정비 부담, 고임금·고복리 후생 구조, 수입재 증가, 수요 둔화 등으로 장기 구조조정을 경험함
 - 철강 수입침투율이 60년대 초 5%대에서 1968년 17%로 상승
 - 80년대 美 철강 가동률이 49.5% 까지 하락했고 고용은 '80년 40만명에서 '85년 21만명, '90년 16만명으로 급감 ³
- 이에 고로 조업 비중을 축소하고 미니밀(Mini-mill)이 대안으로 떠오르면서 이 두 가지 조업 기술의 경쟁구도가 형성되며 장기간에 걸쳐 시장 지배력(Markup) 변화와 재편이 가속화됨
 - 美 일관제철소의 마진율(Markup)은 수입재 비중 증가와 미니밀과의 경쟁 심화로 1.3에서 1.0으로 하락 ⁴
 - 마진율 하락으로 비효율적 공장은 시장에서 도태되었고, 생산성 높은 기업과 조업 방식으로 자원이 이동하는 '창조적 파괴'가 가속화됨
 - 1982~1992년 사이 전체 점유율의 20%에 해당하는 신규 공장이 진입하고 18%가 퇴출됨
 - 이처럼 시장 점유율 재편(Reallocation) 현상이 장기간에 걸쳐 나타났고, 기존 고로 조업을 유지했던 철강사들도 비효율 공장 폐쇄와 내부 재배치를 통해 미니밀 수준의 효율성을 따라잡기 위해 노력함
 - 미니밀은 고로 조업보다 평균 11% 높은 생산성을 보유했으며, 시장 점유율이

³ BLS 자료에 따르면, basic iron & steel mills 노동자의 평균 시간당 임금은 1978년 U\$8.32에서 1983년 U\$11.87로 상승하며 약 43% 증가

⁴ 마진율 1.3은 제품 가격이 한계비용 보다 30% 높게 책정되었음을 의미. 즉, 마진율 1.0은 가격이 한계 비용과 일치하는 수준($p = mc$)으로 떨어졌음을 의미

5%에서 40% 이상으로 확대(1962년~'05년)되면서 美 철강산업 생산성 증가분의 약 1/3을 견인함

- 기존 일관제철소 부문도 단순히 신설비로 교체하는 것이 아니라, 효율성 높은 공장에서의 생산을 집중함으로써 생산성 향상을 달성함
- 즉, 기술 전환은 단순히 새로운 설비가 추가되는 과정이 아니라, 경쟁 압력을 통해 기존 설비와 기업의 생존 조건을 바꾸는 과정임
- 미니밀은 초기 철근, 형강 등 상대적으로 품질 요구 수준이 낮은 제품 중심으로 경쟁력을 확보하고 이후 단계적으로 제품군을 넓힘
 - 전기로 미니밀이라는 기술이 기존 주력 공정을 즉시 전면 대체하기보다, 기술적·경제적 경쟁력을 확보할 수 있는 철근 등 강재에서 먼저 확산됨
 - 이후 전기로 조업 기술, 연속 주조, 압연 기술이 발전하면서 일부 판재류 시장으로 적용 범위를 확대함

□ 미국 철강산업의 미니밀 사례에서 보듯이, 전체 산업의 패러다임 전환은 신기술 도입을 넘어 효율적 공정으로의 '생산 비중 이동'에 의해 완성

□ 따라서 저탄소 중심의 성공적 구조 전환을 위해서는 탈탄소 기술이 특정 제품군의 초기 수요를 거점으로 산업 전반으로 자원을 재배치해 나가는 단계적이고 꾸준한 시장 침투가 필수적임

- 현재의 글로벌 철강산업의 고탄소 설비는 막대한 자본 집약적 설비로서 단순히 저탄소 기술이 존재한다는 이유만으로 급격한 폐쇄나 자원 이동이 일어나기는 현실적으로 어려운 상황
- 탈탄소로의 기술 전환 과정에서 기존 설비의 탄소 집약도를 낮추는 노력과 수소환원제철 등 저탄소 공정의 시장 비중을 얼마나 빠르게 확대할 수 있는지 여부가 향후 글로벌 철강산업 재편의 속도를 결정할 것으로 보임
- 즉 철강산업의 탈탄소 전환은 탄소 경쟁력이 높은 공정으로 산업 전체의 자원과 생산 비중이 이동하는 구조 개편 과정이라고 할 수 있음

3. 탈탄소 철강 전환의 조정 국면

□ 현재 글로벌 철강사들은 저탄소 전환이라는 대전제에는 동의하고 있으나,

단기적으로는 거시 경제적 불확실성과 정책적 변동성에 따른 '전략적 속도 조절' 단계에 진입함

□ 미국 트럼프 2기 '反 그린 정책' 추진과 EU CBAM 인증서 구매 의무 시점 조정 등은 기업의 투자 의사결정을 지연시키는 요인으로 작용

○ [미국] 정치적 가변성 증대에 따른 저탄소 공정의 시장 침투 속도 저하

- 정책 패러다임이 '그린'에서 '에너지 현실주의'로 회귀⁵

○ [EU] 탈탄소 정책의 방향 및 기조는 유지하되, 산업 경쟁력 보호 위한 '전략적 속도 조절' 가시화

- CBAM 확정 단계의 '26.1월 본격 시행 원칙은 고수하되, 업계의 현실적 여건을 고려하여 CBAM 인증서 판매·구매 시점을 1년 유예('26년→'27.2월)하고 분기별 최소 인증서 보유 요건을 80%에서 50%로 축소하는 등 제도 적용 수위를 조정

○ [일본] 탄소 중립 기조 내 '에너지 현실주의' 채택 및 정부의 재정적 역할 강화 요구

- GX(Green Transformation) 정책 기반의 대규모 기금(20조엔) 및 세제 혜택을 통해 저탄소 전환에 따른 마진 압박을 상쇄하려는 시도

- 업계 또한 탄소중립 목표는 유지하되, 기술적·경제적 장벽이 해소될 때까지 정부가 전환 비용을 분담해야 한다는 논리로 대응 중⁶

□ 수익성 악화와 투자비 급증은 주요 철강사의 실질적인 탈탄소 프로젝트 연기로 이어지고 있음

○ [ArcelorMittal] 수익성 악화에 따른 저탄소 자본 지출(CAPEX) 전면 재조정

- Dunkirk 프로젝트의 당초 수소 설비 기반 DRI 전환 계획은 경제성 부족으로 일부 공정이 취소되었으나, 年 200만톤 규모의 EAF 투자(13억 유로)는 '29년 가동 목표로 추진 중

· DRI와 수소 설비는 가스, 전력, 그린수소 가격, CBAM 지연, 수입재 대응 부족

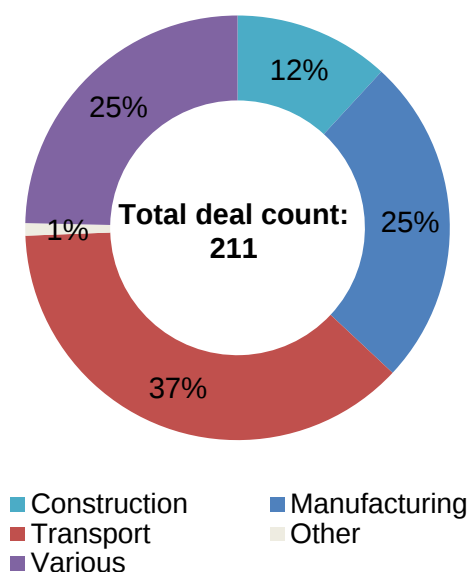
⁵ 기존 자산 수명을 인위적으로 연장시키는 정책으로서 저탄소 공정으로의 자원 재배치와 시장 점유율 전이를 지연시키는 병목 요인으로 작용할 전망

⁶ 과거 미국 미니밀 사례에서 보듯이 자원 재배치의 장기적 특성을 고려할 때, 산업 붕괴를 막기 위한 과도기적 보조 조치로 판단됨

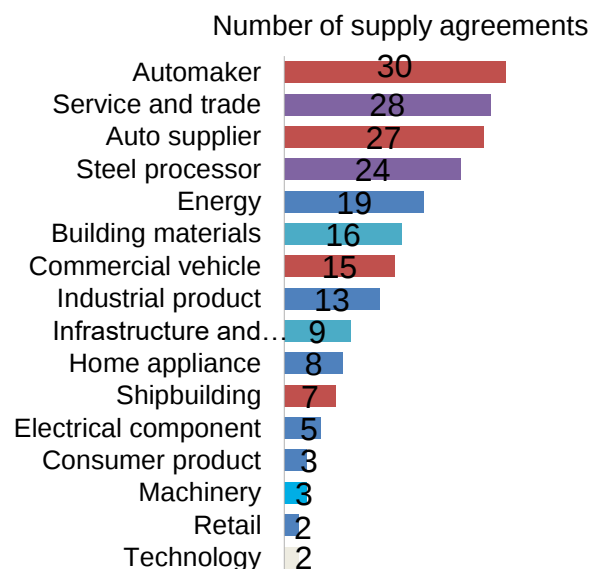
등으로 취소

- 당초 구상했던 “DRI+EAF 일괄 전환” 구상은 후퇴했으나 EAF 단독 중심의 탈탄소 프로젝트는 진행 중
- [Thyssenkrupp] ‘tkH2Steel’ 프로젝트는 청정 수소 외부 조달 입찰을 일시 중단하는 등 경제성을 원점에서 재검토 중
 - Duisburg DRI 프로젝트는 높은 수소 조달 비용으로 청정 수소 외부 입찰을 ‘25년 일시 중단했으나, 설비 건설은 지속 중 (초기에는 천연가스 기반 단계적 가동 예상)
- [Stegra] Boden 프로젝트는 자금 조달과 건설 지연으로 상업 가동 시점이 ‘26년에서 ‘27년 전후로 조정
 - ‘26.4월에 Wallenberg Investments 주도 컨소시엄이 14억 유로 신규 금융을 제공하기로 하면서 Boden 프로젝트는 계속 추진 중
- 계획된 ‘Green Steel Capacity’ 중 실제 건설 단계에 진입한 물량은 약 1/3 수준에 그쳐, 저탄소 철강 공급 확대는 계획 대비 더디게 진행되는 상황 (Reuters, ‘26.3월)

【 Low-emission 강재 Offtake 계약 건수 】



【 수요 부문별 Offtake 계약 건수 】



*자료 : BloombergNEF (‘26.2월)

주 : Low-emissions은 “green steel” 및 “clean steel” 등 탄소배출을 낮춘 방식으로 생산된 강재를 의미

- 그러나 수요 측면에서 현재 운송·제조 부문이 'Low-emissions' 강재 장기 구매계약의 62%를 차지하는 현상은 고부가가치 산업 중심으로 저탄소 강재의 시장 침투가 시작되고 있음을 시사
 - '26.1월 기준 전체 offtake 계약은 211건으로 운송 부문이 79건, 제조 부문이 53건 차지
 - 건설 부문은 25 건으로 12%에 그쳐 아직 상대적으로 제한적인 수요 형성 단계
 - 하위 수요 부문별로는 자동차 밸류체인과 철강 유통가공 부문이 Low-emission 강재 offtake 계약을 주도
 - 자동차 밸류체인이 전체 계약의 약 1/3 을 차지
 - 완성차 30 건, 서비스트레이드 28 건, 자동차 부품 27 건, 철강 가공 24 건 順
- 단기적으로는 정책·비용·수요 불확실성으로 인해 프로젝트 지연과 속도 조절이 나타나고 있으나, 중장기적으로는 탄소규제 강화와 노후 고로 교체 시점 도래로 인해 공정 믹스 전환 압력은 지속될 전망이다
- 따라서 단기 지연에도 불구하고 '40년까지의 산업 재편 방향은 저탄소 공정의 생산 비중 확대 여부에 의해 결정될 가능성이 높음

4. 2040 공정 믹스 전환과 탄소경쟁력 중심 재편

- 글로벌 철강 산업은 '40년까지 생산성 중심에서 탄소 경쟁력 중심으로 경쟁 패러다임이 전환될 것으로 전망
 - WSD(World Steel Dynamics, '26.1월)에 따르면, 글로벌 철강 산업은 공정 구조의 재편을 통해 '40년까지 배출량과 집약도를 획기적으로 개선할 것으로 분석됨
 - 글로벌 철강산업의 탄소 배출량(Scope 1&2)은 '24 년 36.6 억톤에서 '40 년 27.7 억톤으로 약 24% 감소 예상
 - 조강 1 톤 당 탄소 배출 집약도(Carbon intensity)는 현재 1.94tCO₂/tcs 에서 '40 년 1.45tCO₂/tcs 로 낮아지며 산업 전반의 집약도 하향 평준화가 가속화될 전망

- 지역별 인프라와 정책 차이에 따른 탈탄소 경로의 극명한 양극화 예상
 - 선진국은 탄소 규제 강화와 선제적 설비 전환을 통해 탄소 배출 규모가 5.59 억톤에서 3.53 억톤으로 축소
 - 중국은 생산량 감소와 공정 개선을 통해 총 9.65 억톤을 줄이며 글로벌 감축을 주도
 - 고탄소 공정의 생산량을 줄이는 동시에 전기로 비중을 10%에서 32%('40년)로 대폭 확대
 - 인도는 탄소 집약도는 개선되나, 급격한 생산량 증대로 인해 절대 배출량은 2.28 억톤 증가하면서 최대 탄소 배출 증가국이 될 것으로 예상

【 글로벌 탄소 배출량 및 집약 전망 】

구분	'24년	'30년(전망)	'40년(전망)
글로벌 배출 총량 (백만톤CO ₂)	3,660	3,260	2,770(△24%)
글로벌 탄소집약도 (tCO ₂ /tcs)	1.94	1.73	1.45

*자료 : World Steel Dynamics ('26.1월)

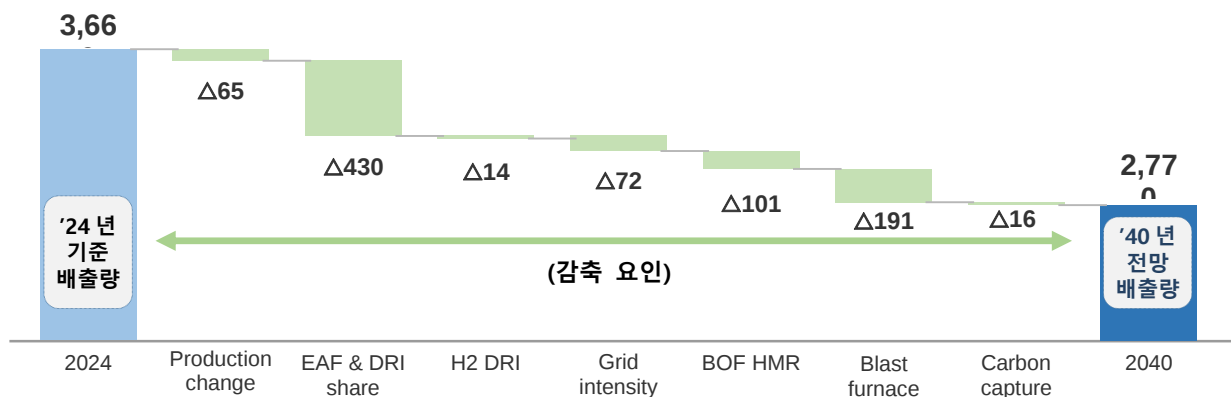
주 : 글로벌 조강 생산량은 '40년까지 1,800~1,950 MT 수준으로 정체 예상

□ '40년까지의 탈탄소화는 혁신 기술의 급진적 도입 보다는 기존 공정의 점진적 개선과 검증된 기술의 생산 비중 확대에 의존할 전망이다

- 글로벌 철강산업의 탄소 배출량(Scope 1&2)은 '24년 36.6억톤에서 '40년 27.7억톤으로 약 24% 감소 예상
- '40년은 고로 중심의 철강 생산 체제에서 전기로(EAF)와 직접환원철(DRI) 체제가 글로벌 주력 공정으로 자리 잡는 '공정 믹스의 전환' 시점이 될 것임
 - 글로벌 전기로 생산 비중은 현재 29%에서 '40년 48%까지 상승
 - 특히 중국을 제외한 글로벌 시장에서의 전기로 비중은 55%에 달해 기존 고로 공정을 압도하며 산업의 새로운 생존 질서를 형성할 전망이다
- EAF 생산 확대와 더불어 기존 고로-전로 공정(BF-BOF)의 연료 효율 향상 및 스크랩 장입비 확대(Hot metal ratio 개선)가 실질적인 감축을 견인

- '40년까지 탄소배출량 약 1억톤 가량 감축 예상
- 수소환원제철(H₂ DRI), 탄소 포집 및 저장(CCS) 기술은 높은 비용과 관련 인프라 구축의 시간적 제약으로 인해 '40년 이전까지는 전체 감축량에 대한 기여도가 상대적으로 미미할 것으로 예상
- 한편, 글로벌 철강산업 원료 수요는 철강생산 정체 흐름에 맞춰 대체로 보합세 유지
- 철스크랩 확대 비중은 현재 29%에서 40%로 증가하는 반면, DRI 용 철광석 비중은 7%에서 13%로 확대되고 기존 고로용 철광석 비중은 64%에서 47%로 하락 전망

【 글로벌 철강산업 탄소배출량 감축 요인(백만톤, '24~'40년) 】



*자료 : World Steel Dynamics ('26.1 월)

【 글로벌 생산량 및 EAF 생산 비중 】

Year	EAF 생산량 (백만톤)	BOF 생산량 (백만톤)	글로벌 생산량(백만톤)	글로벌 EAF 비중	중 국	Rest of world
'24	553	1,334	1,887	29%	10%	58%
'30	674	1,208	1,882	36%	15%	55%
'40	912	994	1,906	48%	32%	55%

*자료 : World Steel Dynamics ('26.1 월)

□ 무엇보다 전 세계 고로의 71%가 '30년 이전에 가동 수명 종료를 앞두고 있어, 이 시점의 투자 결정(신기술 전환 vs 기존 설비 개보수)이 '40년 재편 구도를 결정짓는 결정적 변수로 작용할 것으로 예상

- 만약 '30년 전후 시점에 고탄소 설비를 개보수(Re-lining)하여 수명을 연장할 경우, 석탄 기반 탄소 배출 구조가 '40년 중반까지 고착화되어 '50년 넷 제로 목표는 물리적으로 달성 불가능
- 반면, 이 시점에 글로벌 철강산업에서 탄소 비용을 견디지 못한 비효율 설비의 퇴출과 저탄소 공정의 단계적 시장 침투가 병행될 경우, 탄소비용이 가격에 반영되는 시장을 중심으로 저탄소 설비 투자와 제품 배분이 확대되는 '선별적 자원 재배치'가 나타날 가능성이 높음

5. 비용 역전 조건과 선별적 자원 재배치

- 결국 철강산업 탈탄소 재편은 기술의 존재 여부가 아니라 저탄소 공정이 기존 고탄소 공정 대비 어느 시점에 경제성을 확보할 수 있는가에 의해 결정될 가능성이 높음
- 철강 탈탄소 전환의 경제성은 단순 생산비용이 아닌, 탄소 가격을 반영한 '총비용(Total Cost)' 기준으로 재정의되어야 함 ⁷
- 이러한 관점에서 탄소 가격(Ex, EU ETS 기반)이 상승할수록 탄소 집약도가 낮은 신기술 적용 조업의 경제적 자생력은 고탄소 공정 대비 향상될 것으로 예상됨
- 고탄소 공정의 총비용이 저탄소 공정보다 높아지는 비용 역전 현상이 발생하는 시점에 산업 내 자원 재배치가 가속화될 것임
 - [BF-BOF 공정] 생산비용은 낮지만 탄소배출 원단위가 높아(약 2.2tCO₂/tcs) 탄소 가격 상승에 따른 총비용 증가 폭이 가장 크며 이로 인해 비용 경쟁력을 상실함
 - [EAF, DRI EAF, H2 DRI 등 공정] 초기 설비 투자 및 조업 비용은 높으나 탄소 배출 원단위가 상대적으로 낮아 탄소 규제 강화시 총비용 상승 폭이 제한적임 (탄소 배출 원단위 : EAF 약 0.6tCO₂/tcs, DRI EAF 약 1.4tCO₂/tcs, H2 DRI EAF 0.1tCO₂/tcs 미만 ⁸)
- 역설적으로 탄소 가격이 부재하거나 규제 비용이 높지 않은 상황에서는 기존 고로 공정의 총비용이 저탄소 공정 대비 낮게 유지됨에 따라 고로 기반 생산

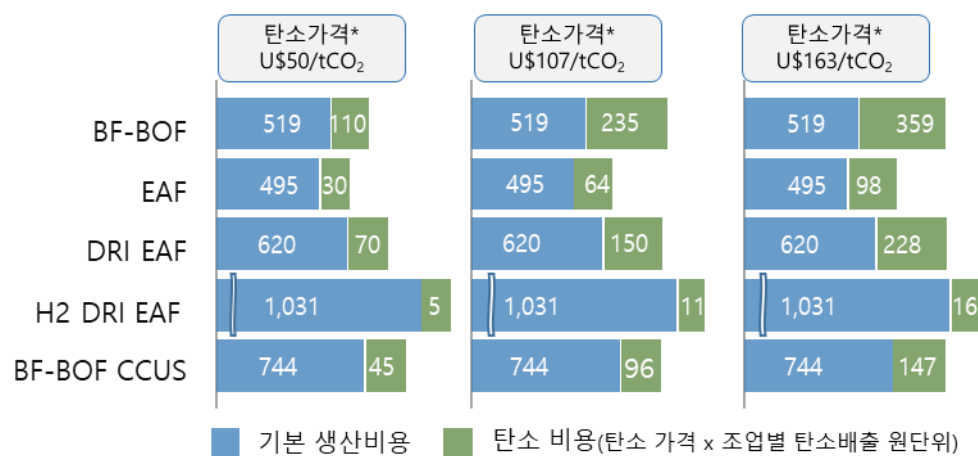
⁷ 총비용 = 기본 생산비용 + 탄소 비용

⁸ IEA, World Steel Association 기준

방식이 비용 우위를 점하게 됨

- 탄소 비용이 반영되지 않은 경우(탄소가격이 zero 시) BF-BOF 총비용은 다른 저탄소 공정 대비 낮은 원가구조를 보임⁹
- 現 수준의 탄소가격(EU ETS 기반 탄소가격, '25년 U\$107/tCO₂)만으로는 수소 기반 저탄소 공정의 경제성 확보가 제한적인 것으로 추정됨¹⁰
- 반면, 탄소가격이 상승할 경우 BF-BOF 비용 부담이 증가하면서 저탄소 공정의 상대적 경제성이 개선됨

【 탄소가격 시나리오별 비용 구조(U\$/tcs) 】



주 : 생산원가는 조강 1톤당 기준. 철광석 U\$103/t, 원료탄 U\$249/t, 전력단가 182.7원/kWh, 환율 1,510원/U\$ 적용('26.6월). 탄소가격 시나리오는 U\$50/tCO₂, U\$107/tCO₂, U\$163/tCO₂로 구분했으며, 이중 U\$107/tCO₂는 '25년 EU ETS 가격 추정치(BNEF, '25), U\$163/tCO₂(BNEF, '25)는 '30년 탄소가격으로 가정

□ 탄소 가격이 낮은 구간에서는 저탄소 공정의 높은 생산 원가를 시장 가격

⁹ 현재 탈탄소 전환은 초기 투자비와 운영비 부담이 크기 때문에, 탄소집약도 뿐만 아니라 생산비용과 탄소비용을 합산한 총비용 관점에서 경쟁력을 분석할 필요가 있음. 즉 공정 i의 총생산비용은 $TC_{it} = C_{it} + P_t^C e_{it}$ 으로 나타낼 수 있음. 여기서 TC_{it} 는 탄소비용을 포함한 총비용, C_{it} 는 일반 생산비용, P_t^C 는 탄소가격(Ex, EU ETS 기반 탄소가격), e_{it} 는 단위당 탄소배출량을 의미함. 즉 탄소 가격이 상승할수록 고탄소 공정의 총비용이 빠르게 증가하는 것을 나타냄. 고로 공정은 기본 생산비용이 낮더라도 탄소 배출량이 상대적으로 높기 때문에, 탄소 가격이 상승하면 총비용 부담이 크게 증가함. 반면 수소환원제철(H2 DRI EAF)과 같은 저탄소 공정은 기본 생산비용이 높지만 탄소비용 부담이 낮기 때문에, 탄소 가격이 높아질수록 상대적으로 경쟁력이 개선됨

¹⁰ 탄소가격은 '25년 EU ETS 수준인 U\$107/tCO₂를 적용하고, 원가 조건인 철광석 U\$103/t, 원료탄 U\$249/t, 전력단가 182.7원/kWh 등을 적용한 결과, 총비용은 EAF < BF BOF < DRI EAF < BF BOF CCUS < H2 DRI EAF 順으로 나타남. 공정별 총비용은 [참조 1]에서 확인할 수 있음

만으로 회수하기 어렵기 때문에 이를 보완할 그린 프리미엄(Green Premium)이 필수적으로 요구됨

- 그린 프리미엄은 저탄소 혹은 탄소저감 강재의 추가 생산 비용에서 탄소 가격 상승에 따른 비용 절감 효과를 차감하고 남는 실질적 비용 격차로 정의되며, 수요산업·기업의 추가 지불을 통해 탈탄소·저탄소 프로젝트의 경제적 자생력을 확보하는 핵심 기제로 작용함
 - H2 DRI-EAF 공정은 탄소비용 부담은 상대적으로 낮지만, 높은 에너지(수소·전력) 단가와 초기 설비투자로 인해 현시점에서는 기존 공정 대비 상당한 수준의 그린 프리미엄이 요구되는 상황임¹¹
 - 즉 탄소가격 상승은 그린 프리미엄을 낮추는 직접적인 요인이지만, 에너지 인프라 및 제철원가 안정화가 선행되지 않을 경우 저탄소 공정의 독자적인 시장 경쟁력 확보는 당분간 제한적일 것으로 보임¹²
- 따라서 고객사의 프리미엄 수용성과 공공조달, 장기 구매계약(Offtake), 재정 지원을 포괄하는 정부의 정책 설계가 산업 재편 속도를 좌우하는 핵심 변수가 될 것임

□ 다만, 글로벌 탄소 가격 체계의 불균형으로 인해 특정 공정의 비용 역전이

¹¹ Input data, 공정별 산출 결과는 [참조 1]에서 확인할 수 있음

¹² 저탄소 공정의 경제성은 기존 고로 공정 대비 추가 생산비용, 탄소비용 절감 효과, 시장에서 확보 가능한 그린 프리미엄에 의해 결정됨. 저탄소 공정의 단위당 수익성은 철강재 판매가격과 그린 프리미엄을 합산한 수입에서 생산비용과 탄소비용을 차감한 값으로 정의할 수 있음. 즉, $\pi_{L,t} = P_t + GP_t - C_{L,t} - P_t^C e_{L,t}$. 여기서 $\pi_{L,t}$ 는 저탄소 공정의 단위당 이익, P_t 는 시점 t의 철강재 가격, GP_t 그린 프리미엄, $C_{L,t}$ 는 저탄소 공정의 생산 비용, $P_t^C e_{L,t}$ 는 저탄소공정의 탄소 비용을 의미함. 반면 기존 고로 공정은 별도의 그린 프리미엄이 없다고 가정할 경우, 철강재 판매가격에서 고로 공정의 생산비용과 탄소비용을 차감한 값으로 수익성이 결정됨. 즉, $\pi_{BF,t} = P_t - C_{BF,t} - P_t^C e_{BF,t}$ 으로 표현됨. 저탄소 공정이 기존 고로 조업 보다 경제적으로 유리해지기 위해서는 저탄소 공정의 단위당 수익성이 고로 공정의 수익성 이상이어야 함($\pi_{L,t} \geq \pi_{BF,t}$). 이를 그린 프리미엄(GP_t) 기준으로 정리하면, 필요한 그린 프리미엄은 저탄소 공정과 고로 공정 간 생산비용 차이에서 탄소비용 절감 효과를 차감한 값으로 나타낼 수 있음. 즉, $GP_t \geq (C_{L,t} - C_{BF,t}) - P_t^C (e_{BF,t} - e_{L,t})$ 으로 표현할 수 있음. 이는 저탄소 공정의 생산비용이 높을수록 필요한 그린 프리미엄이 커지는 반면, 탄소 가격이 높아질수록 필요한 그린 프리미엄이 낮아지는 것을 의미함. 따라서 탄소 가격이 낮고 그린 프리미엄이 제한적인 상황에서는 저탄소 공정이 기존 고로 공정 대비 경제성을 확보하기 어려움. 반대로 탄소가격이 상승하거나 자동차·에너지·건설 등 수요산업이 저탄소 강재 혹은 탄소저감강재에 대한 프리미엄을 수용할 경우, 저탄소 공정의 상업화 가능성은 높아질 수 있음.

산업 전체의 즉각적인 재편으로 나타나기에는 한계가 있음

- EU ETS 등 일부 선진 시장에서는 탄소 가격제가 작동하고 있으나, ASEAN 등 대다수 지역은 여전히 탄소 가격이 낮거나 제도적 기반이 부재한 상황임
- 저탄소 공정의 비용 역전 현상은 전 세계적으로 균일하게 나타나기 보다, 탄소가격제가 실효적으로 작동하거나 CBAM 등 시장 접근 비용이 부과되는 권역을 중심으로 선제적으로 일어날 것으로 해석됨
 - 글로벌 철강시장의 탄소규제 수준은 지역별로 차이가 있으나, EU향 수출시 적용되는 CBAM은 국내 탄소 가격 수준과 무관하게 제품의 '내재배출 비용(Embedded Emission Cost)'을 EU 기준에 맞춰 반영하도록 요구함
 - 특히 자동차 등 수요기업의 Scope3 감축 요구는 시장 내에서 '유효 탄소 가격(Effective Carbon Price)'으로 작동하며, 이는 실질적인 규제 비용으로 기능하고 있음

- 따라서 초기 단계의 자원 재분배는 글로벌 전면 전환이 아니라, 탄소 비용이 가격에 반영되는 시장과 저탄소 혹은 탄소저감 강재에 프리미엄을 지불할 수 있는 수요처를 중심으로 선별적으로 나타날 가능성이 높음
- 결과적으로 저탄소 공정으로의 자원 재배치는 전 세계적으로 동시에 진행되는 전면적 전환이라기 보다, 탄소비용이 실제 비용구조에 반영되는 권역과 그린 프리미엄을 수용할 수 있는 수요처 중심으로 우선 전개될 가능성이 높음

6. 시사점

- 저탄소 공정으로의 전환은 기술 도입 자체 보다 경제성이 확보되는 시장을 선별하고 해당 시장에서 초기 수요를 안정적으로 창출하는 것이 핵심 과제임
 - 저탄소 기술의 시장 침투는 탄소 가격, 그린 프리미엄, 정책 지원, 수요산업의 조달 기준이 유기적으로 결합되어 생산 비중 확대로 이어질 때 본격화될 수 있음
 - 특히 탄소 가격은 저탄소 공정의 경제성을 개선하는 필수 요인이거나, 지역별 정책적 가변성이 지속되는 현 단계에서는 명목상의 탄소가격보다 실제 비용에 반영되는 '유효 탄소 가격'과 수요산업의 '프리미엄 지불 능력'을 통합적으로 고려할 필요

- 이에 따라 저탄소·탈탄소 공정 투자는 규제 강도가 높고 탄소저감 강제 조달 요구가 명확한 지역과 수요산업을 우선 타깃으로 설정하고, 해당 시장을 중심으로 단계적으로 추진할 필요가 있음
- 탄소 가격이 경제적 임계점에 미달하는 전환기에는 정부의 탈탄소를 지원하는 정책 설계가 자생적 시장 형성을 위한 필수 전제 조건임
 - 현재는 수요 산업의 그린 프리미엄 수용 여력이 제한적이기 때문에 기업의 자발적 투자와 민간 구매 계약만으로는 탄소저감 강제의 시장 확대 속도가 제한될 가능성이 높음
 - 따라서 초기 수요 창출과 투자 리스크 완화를 동시에 달성하기 위해 공공조달, 세제지원, 보조금, 인증체계, 인프라 구축을 연계한 다각적인 지원 체계 구축이 필요함
 - [공공조달] 초기 탄소저감 강제 및 저탄소 강제 수요를 안정적으로 확보하는 경제적 안전판 역할 수행
 - [세제 지원과 보조금] H2 DRI, EAF 전환, CCUS 등 대규모 설비투자의 초기 비용 부담과 높은 고정비 리스크 완화
 - [인증체계] 탄소저감 강제의 정의와 표준을 정립하여 시장 불확실성을 해소하고 그린 프리미엄 지불 근거를 마련
 - [인프라 구축] 재생에너지 및 수소 인프라의 가용성과 가격 경쟁력은 저탄소 공정의 실질적 운영 경제성을 결정짓는 핵심 외부 변수임

이 자료에 나타난 내용은 포스코경영연구원의 공식 견해와는 다를 수 있습니다.

[참조 1] Input 데이터 및 총비용·그린 프리미엄 추정치

- 공정별 조강 원가 추정 위한 Input 데이터

구분	항목	Input	단위	내 용
공통	원/달러 환율	1,510	원/\$	'26.6 월 환율 적용
공통	스크랩 가격	324	\$/t	490 천원/t ÷ 1,510 원/\$ 수준
공통	전력단가	121	\$/MWh	182.7 원/kWh 수준 ('26.5 월)
공통	EAF 전력 사용량	450	kWh/tcs	DRI 투입 EAF 기준
공통	전극비	15	\$/tcs	흑연전극 비용
공통	EAF 부원료·합금철비	45	\$/tcs	생석회, 합금철, 탄재 등
공통	EAF 노무·수선·고정비	55	\$/tcs	EAF 조업 및 고정비
DRI	DRI 투입 원단위	1.1	tDRI/tcs	조강 1 톤당 DRI 투입량
DRI	스크랩 투입 원단위	0.1	t/tcs	DRI-EAF 보완 스크랩 투입
DRI	펠릿 가격	120	\$/t	DR-grade pellet 기준 예시
DRI	펠릿 투입 원단위	1.45	t pellet/tDRI	DRI 1 톤당 펠릿 투입량
NG DRI	천연가스 가격	19	\$/MMBtu	NG DRI 환원가스 비용
NG DRI	천연가스 사용량	10	MMBtu/tDRI	DRI 1 톤당 천연가스 사용량
NG DRI	DRI 전력 사용량	120	kWh/tDRI	샤프트로, 부대설비 전력
NG DRI	DRI O&M·고정비	45	\$/tDRI	DRI 설비 운영비
H2 DRI	수소 가격	9.28	\$/kg-H2	그린수소 가격 가정
H2 DRI	수소 사용량	55	kg-H2/tDRI	DRI 1 톤당 수소 투입량
H2 DRI	DRI 전력 사용량	120	kWh/tDRI	샤프트로, 부대설비 전력
H2 DRI	DRI O&M·고정비	55	\$/tDRI	H2 DRI 설비 운영비
구매 DRI	구매 DRI 가격	380	\$/tDRI	외부 구매 HBI/DRI 가격
BF-BOF	철광석 가격	103	\$/t	철광석 구매 단가('26.6 월)
BF-BOF	철광석 투입 원단위	1.6	t/tcs	조강 1 톤당 철광석 투입량
BF-BOF	원료탄 가격	249	\$/t	원료탄 구매 단가('26.6 월)
BF-BOF	원료탄 투입 원단위	0.6	t/tcs	조강 1 톤당 원료탄 투입량
BF-BOF	코크스·소결 공정비	55	\$/tcs	코크스 및 소결 공정비
BF-BOF	부원료비	25	\$/tcs	석회석, 생석회 등
BF-BOF	전력·에너지비	30	\$/tcs	전력, 연료, 스팀 등
BF-BOF	산소·가스비	15	\$/tcs	산소, 질소, 가스 등
BF-BOF	노무·수선비	55	\$/tcs	노무비 및 설비 수선비
BF-BOF	감가상각·고정비	45	\$/tcs	감가상각 및 일반관리비
BF-BOF	부산물 credit	-20	\$/tcs	슬래그, 고로가스 등 차감
CCUS	BF-BOF 배출집약도	1.9	tCO2/tcs	CCUS 적용 전 배출량
CCUS	CO2 포집률	0.9	비율	배출량 중 포집 비율
CCUS	포집 비용	70	\$/tCO2	CO2 포집 OPEX/CAPEX 환산
CCUS	운송·저장 비용	50	\$/tCO2	운송 및 저장 비용

CCUS	CCUS 통합 고정비	20	\$/tcs	설비 통합 및 추가 고정비
------	-------------	----	--------	----------------

*자료 : WSA, CRU, Wood MacKenzie, CRU, BNEF 등 종합

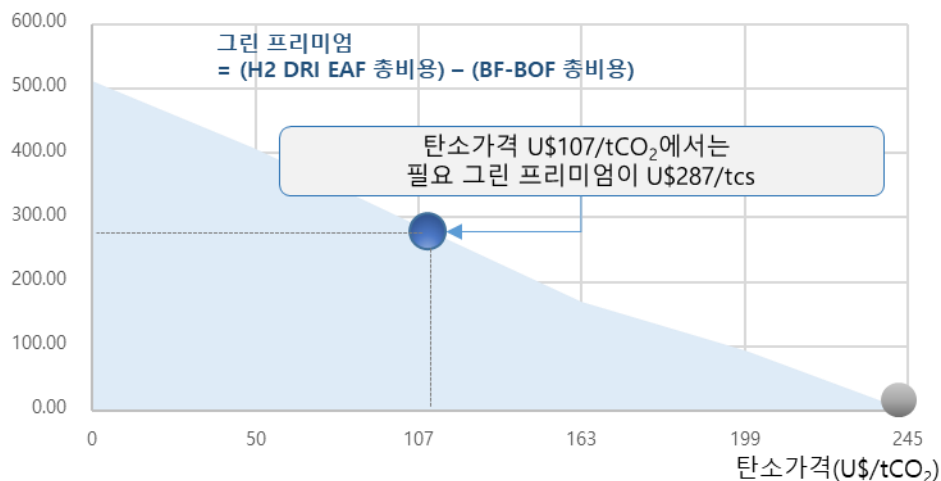
• 탄소 가격 시나리오별 총비용 및 필요 그린 프리미엄 추정(U\$)

탄소가격(U\$/tCO ₂)	0	50	107	163	199	245
공정별 총비용						
BF-BOF	519	629	755	878	957	1,058
EAF	495	525	559	593	614	642
DRI-EAF	620	690	770	848	898	963
H2 DRI EAF	1,031	1,036	1,042	1,047	1,051	1,056
BF-BOF CCUS	744	789	841	891	924	965
필요 그린프리미엄						
EAF	0	0	0	0	0	0
DRI-EAF	101	61	15	0	0	0
H2 DRI EAF	512	407	287	170	94	0
BF-BOF CCUS	225	160	86	13	0	0

주 : 탄소가격(U\$/tCO₂)은 EU ETS 가격 전망을 기준으로 설정했으며, U\$107 tCO₂은 '25년, U\$163 tCO₂은 '30년, U\$199 tCO₂는 '40년, U\$245 tCO₂는 '50년 EU ETS 추정치를 의미함(BNEF, '25)

• 탄소 가격 시나리오별 H2 DRI-EAF 조업의 '필요 그린 프리미엄' 추정(U\$/tcs)

필요 그린프리미엄(U\$/tcs)



주 : U\$107/tCO₂는 '25년 EU ETS 가격 추정치(BNEF, '25). U\$163 tCO₂은 '30년 EU ETS, U\$199 tCO₂는 '40년 EU ETS, U\$245 tCO₂는 '50년 EU ETS 추정치를 의미함. H2 DRI-EAF 공정은 U\$245/tCO₂ 이상에서는 프리미엄 없이도 경제성 확보 가능한 것으로 분석됨

[참고자료]

[보고서/논문]

BloombergNEF, Industrial Decarbonization Market Outlook 2025, 2026.

BloombergNEF and Climate Technology Coalition, Scaling up Hydrogen: The Case for Low-Carbon Steel, White Paper, January 11, 2024.

Collard-Wexler, Allan, and Jan De Loecker, "Reallocation and Technology: Evidence from the US Steel Industry," American Economic Review, 105(1), 2015, pp. 131–171.

Hasanbeigi, A., Zuo, B., Kim, D., Springer, C., Jackson, A., and Heo, E. H., Green Steel Economics, Global Efficiency Intelligence, TransitionAsia, and Solutions for Our Climate, 2024.

Kobayashi, Ryuki, "The Effects of New Technology on Productivity: Technological Improvement and Reallocation Efficiency in the Japanese Steelmaking Industry," Keio-IES Discussion Paper, 2022.

Mannes, Marie, Greta Rosen Fondahn, and Nick Carey, "EU Pushes Barely Available Green Steel as Auto Emissions Fix," Reuters, March 4, 2026.

OECD, "The Changing Characteristics of Steel Firms," OECD Science, Technology and Industry Policy Papers, 2020.

OECD, OECD Steel Outlook 2026.

Reuters, "Green Steel Startup Stegra Appoints Holm as CFO in Bid to Raise More Funds," February 5, 2026.

World Steel Dynamics, Global Steel Industry Decarbonization: A Luta Continua, January 2026.