

2025 기후변화경제학 이슈페이퍼

대한민국 철강 산업의 탄소 중립
전환: 수소환원제철(H-DRI) 경제성
평가 및 도입 과제

고 려 대 학 교

식 품 자 원 경 제 학 과

이승훈(2021140663)

2025 년 12 월 17 일

목차

<제목 차례>

목차	-----
1. 서론	-----
1.1 연구의 배경 및 필요성	-----
1.2 연구 질문 및 목적	-----
1.3 연구의 기대효과 및 활용 방안	-----
2. 이론적 배경	-----
2.1 산업 탄소중립 현황	-----
2.1.1 철강 산업 탄소중립 현황	-----
2.2 해외 H-DRI 기술 사례	-----
2.3 H-DRI 기술 정의	-----
3. 연구 설계	-----
3.1. H-DRI 기술의 경제성 평가	-----
3.2 H-DRI 기술 전환 시나리오 분석	-----
4. 분석 결과	-----
5. 결론	-----
5.1. 온실가스 저감 정책 제언	-----
참고문헌	-----

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 필요성

최근 전 세계적으로 기후 위기에 대한 대응과 탄소중립 실현을 위한 국제적 압력이 강화되면서, 각국 정부는 자국의 온실가스 배출 감축 전략 수립 및 이행을 중요한 정책 과제로 삼고 있다. 한국 역시 2021년 2050 탄소중립을 선언하고, 2030 국가 온실가스 감축목표(NDC)를 상향 조정하는 등 다각적인 노력을 전개하고 있다. 그러나 2024년 국가 전체 온실가스 배출량 중 산업 부문이 차지하는 비중은 약 41%에 달하며, 여전히 감축이 가장 어렵고 비용이 많이 드는 부문으로 평가된다. 현재 2030년까지 291.0 백만톤 감축이 필요한 상황이고 '96 IPCC 기준 88.6 백만톤을 감축한 상태이다. 특히, 국내 산업구조는 철강, 석유화학, 시멘트 등 에너지 다소비형 고배출 제조업 중심으로 구성되어 있어, 획기적인 온실가스 감축을 위해서는 기술적·경제적 타당성을 고려한 전략적 접근이 필요하다. 그 중 산업 부문에서 약 38%를 철강이 배출량 1위를 달성한 상황이다. 이로써 산업 부문의 온실가스 배출량을 낮추기 위해서는 철강 산업의 온실가스 배출의 저감이 필요한 상태이다.

한정된 정책 자원과 재정적 역량 하에서 국가 차원의 효율적인 감축 전략을 수립하기 위해서는, 어떤 산업이 가장 높은 감축 잠재력을 가지며, 그 산업 내에서도 어떤 공정이나 연료 전환이 효과적인지에 대한 정량적 분석이 선행되어야 한다. 이를 통해 정책적 우선순위를 명확히 하고, 중장기적 투자 방향을 설정하는 것이 탄소중립 이행의 핵심 과제로 대두되고 있다.

1.2 연구 질문 및 목적

본 연구는 국가 차원의 탄소 중립 시나리오를 바탕으로 철강 산업 중 특히 H-DRI 수소환원제철의 기술의 잠재력을 분석하고 현재 대한민국 철강산업의 방향성이 올바른지 판단을 하는 것을 목적으로 한다. 기존 전통 공정과 수소환원제철의 온실가스의 배출량 차이를 제시하고 이를 통해 철강 산업의 연료 전환 및 공정 개선 등 핵심 감축 수단의 효과성을 평가하고, 향후 정책적·재정적 지원이 집중되어야 할 부분과 방향에 대해서 제시하고자 한다.

1.4 연구의 기대효과 및 활용 방안

본 연구는 산업 부문 내 특히 철강 산업의 탄소중립 달성을 위한 실효성 있는 정책 설계와 투자 전략 수립에 기초 자료를 제공한다는 점에서 의의가 있다. 특히 철강 산업의 기술 중 핵심으로 대두되고 있는 수소환원제철(H-DRI)의 감축 잠재력과 연료 전환 효과를 제시함으로써, 향후 정부가

탄소중립 이행을 위해 정책적·재정적 자원을 효율적으로 배분하는 데 참고할 수 있는 기초자료로 활용될 수 있다. 또한, 철강 산업의 특성과 기술 여건을 고려한 정밀 분석 결과는 기업 및 산업계의 중장기적 감축 전략 수립에도 기여할 수 있으며, 실질적인 온실가스 감축 효과를 높이는 데 기여할 수 있을 것이라고 사료한다.

2. 이론적 배경

2.1. 산업 탄소중립 현황

에너지 부문 온실가스 배출량

에너지 부문 온실가스 배출 - 기준 시나리오(REF)

주요지표						비중 (%)		증가율 (%)	
	2000	2023	2030	2040	2050	2023	2050	00-23	23-50
총배출	415	569	541	486	412	-	-	1.4	-1.2
에너지당 배출(톤/toe)	2.69	2.29	2.15	2.00	1.86	-	-	-0.7	-0.8
GDP 당 배출(톤/백만원)	0.42	0.25	0.21	0.17	0.13	-	-	-2.1	-2.4
인구당 배출(톤/인)	8.84	11.01	10.55	9.71	8.75	-	-	1.0	-0.8
에너지상품별 온실가스 배출									
석탄	167	273	233	180	128	48	31	2.2	-2.8
석유	207	176	163	146	124	31	30	-0.7	-1.3
천연가스	41	121	145	160	160	21	39	4.8	1.0
부문별 온실가스 직접 배출									
산업	149	188	205	205	194	33	47	1.0	0.1
수송	70	96	84	66	48	17	12	1.4	-2.6
가정	29	28	26	24	21	5	5	-0.2	-1.0
서비스	33	16	16	15	14	3	3	-3.0	-0.5
에너지산업	14	20	20	19	16	3	4	1.4	-0.7
발전/열생산	120	221	189	157	119	39	29	2.7	-2.3

주: 전환부문의 온실가스 간접배출은 자가소비 및 유통손실에 의한 배출량을 의미

2023년 산업 부문의 온실가스 직접 배출량은 국내 총 배출량 569백만 tCO₂eq 중 188백만 tCO₂eq로 약 31.5%로 나타난다. 산업 부문의 온실가스 직접 배출량은 2000년부터 2023년까지 연평균 약 1.0%의 증가율을 보여왔으며, 2023년 이후 전망 기간(2023~2050년)에는 증가세가 둔화되어 연평균 0.04% 수준에 그칠 것으로 예상된다. 이는 전체 에너지 수요가 증가하더라도 전기, 가스, 재생에너지 등 배출계수가 낮은 에너지의 소비 비중이 확대됨에 따라 산업 부문 내 직접 배출이 점차 억제되는 구조로 전환되고 있음을 의미한다.

실제로 산업 부문 직접 배출량은 2023년 207.6백만 tCO₂eq에서 2030년대 초반 약 226.7백만 tCO₂eq까지 증가한 뒤, 점차 감소세로 전환되어 2050년에는 210백만 tCO₂eq수준에 이를 것으로 전망된다. 이는 2018년 배출량 대비 2030년에는 2.4% 증가, 2050년에는 4.8% 감소한 수준이다. 하지만, 현재의 정책 기반(REF 시나리오)만으로는 정부가 제시한 2030년 및 2050년 온실가스 감축 목표 달성이 어려울 것으로 분석된다. 이에 정부는 철강·석유화학·시멘트분야에 대해 2023년 5월 탄소중립

기술혁신 전략로드맵을 수립하여 구체적인 임무와 목표를 제시하고 있다.

2035 온실가스 감축목표 NDC 수립 과정에서 2030의 NDC 평가에서, 우리나라는 2018년대비 약 온실가스를 40% 감축을 목표로 하고 있고 현재 2025년에서 2030년이 2050 탄소중립 시나리오를 달성할 수 있는 골든 타임인, 아주 중요한 시기라고 판단했다. 2035 NDC 감축목표는 하한선(53%)와 상한선(61%)로 나뉘며 산업부문은 53%안에서 24.3%, 61%안에서 31% 감축 목표를 가지고 있다.

2.1.1 철강 산업 현황

철강 산업(조강)의 경우, 2022년 기준 총 생산량은 약 6,584.6만톤으로 확인되었다. 이 산업은 대표적인 에너지 다소비 업종으로, 석탄 중심의 에너지 구조를 유지하고 있다. 총 에너지 소비 중 석탄이 84.5%로 압도적인 비중을 차지하고 있으며, 그 외에 전력 8.0%, 가스류 6.62%, 열 0.55%, 석유류 0.33% 순으로 나타났다. 2024년에 철강산업이 전체 산업 중 35% 정도의 온실가스 배출량을 차지하고 있다. 이는 석유화학, 시멘트, 철강, 정유의 고배출 산업 분야 중 철강이 가장 큰 비율을 차지하고 있다. 그러므로 그만큼 빠르고 획기적인 감축이 필요한 분야이다.

철강산업은 2030년까지 2018년 대비 2.3% 감축 목표를 설정하고, 고로 효율화/전기로 확대/수소환원제철 도입 등 단계적 탈탄소 전환 추진중에 있다. 철강 산업 탄소중립 로드맵에 따르면, 2018년 대비 2050년의 온실가스 배출량을 95%까지 감축한다. 이 목표의 주된 수립 방식은 수소 환원 제철 기술 개발 및 철스크랩 전기로 활용을 통해 유연탄 연료 사용을 수소와 전기로 전환하는 것이다. 현재, 전로강 67%, 전기로강 33%의 비율로 산업을 운영 중에 있지만, 중장기적으로 전로강 생산 비중을 수소 환원 제철 공정과 철스크랩 전기로 공정으로 대체하는 경로를 이행 중에 있다.

2.2. 해외 H-DRI 기술 사례

스웨덴 SSAB의 HYBRIT 프로젝트

유럽은 철강 산업의 탈탄소 전환을 위한 가장 적극적인 선례를 제시하고 있으며, 특히 스웨덴 철강사 SSAB가 주도하는 HYBRIT(Hydrogen Breakthrough Ironmaking Technology) 프로젝트가 대표적이다. HYBRIT는 석탄 기반의 환원제 대신 청정 수소(H₂)를 사용하여 철광석을 직접 환원하는 것을 목표로 한다. HYBRIT 프로젝트는 2016년부터 시작해서 2020년 파일럿 시설을 가동하고 2021년 세계 최초 화석 연료를 사용하지 않은 철강을 생산하며 글로벌 시장의 선도적 기술적 우위를 선점했다.

SSAB는 2026년부터 상업 규모의 무(無)화석 철강 공급을 개시할 계획이며, 2029년까지 스웨덴 루레아(Luleå) 공장에 상업 시설을 완공할 예정이다. 이러한 전환을 통해 향후 10년간 1,430만 톤의 누적 CO₂ 감축을 전망하고 있다. SSAB의 로드맵은 기존 고로 설비를 수소환원제철로 전환하는 것을 넘어, 2026년이라는 조기 시점에 상업 규모의 생산을 시작하여 글로벌 저탄소 철강 시장을 선점하겠다는 전략적 의지가 반영된 결과이다. 이는 국내 POSCO의 2030년 상용화 완료 목표와 더불어 H-DRI

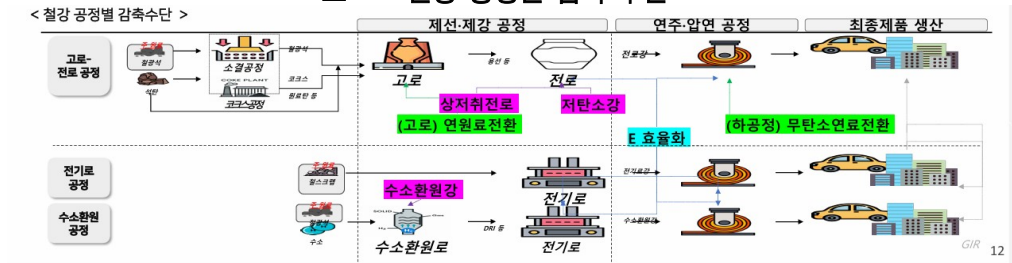
기술 개발 경쟁의 현주소를 보여준다.

HYBRIT 프로젝트의 성공적인 추진 배경에는 막대한 공공 자금 지원이 필수적인 요소로 작용했다. 첫 번째로는 EU 혁신기금(Innovation Fund)이다. 유럽연합은 탄소 중립 기술을 장려하기 위해 HYBRIT 프로젝트에 총 14.3 억 유로(약 1 조 8,850 억 원)에 달하는 혁신 기금을 지원했다. 두 번째로는 스웨덴 정부 지원이다. 스웨덴 정부는 'Industriklivet' 프로그램 등을 통해 약 3,800 억 원을 추가로 지원하며, 국가 차원에서 기술의 경제성 격차를 보전하고 조기 상용화를 위한 '마중물' 역할을 수행했다.

이러한 유럽의 사례는 H-DRI와 같은 현재 재정적으로 부담이 큰 기술이지만 필수적인 탄소 중립 기술의 도입에 있어, 기업의 자체 역량만으로는 불가능하며 EU 국제 단체 및 국가 차원의 대규모 공적 재정 투입이 성공적인 전환을 위한 결정적인 조건임을 시사한다.

2.3. H-DRI 기술 정의

<표 2> 철강 공정별 감축 수단



1. 수소환원제철(H-DRI) 도입

수소환원제철의 공정 과정을 아주 간단히 말하자면, 산화된철에서 산소를 분리하여 철 제품을 만드는 과정에서 환원제로 기존의 공법인 탄소대신 수소를 사용하는 방법을 말한다. 이는 철광석을 환원하는 과정에서 석탄 대신 청정 수소(H₂)를 사용하여 이산화탄소 배출을 획기적으로 줄이는 공극의 기술이다. 이 기술은 장기적으로 철강 생산 공정에서 발생하는 온실가스 대부분을 제거할 수 있는 유일한 대안으로 평가된다. 정부의 2035년 NDC 목표(48%~61% 감축안)에 따르면, 이 기술을 통해서 수소환원강 150 만 톤 생산을 핵심 목표로 설정하고 있다. 다만, 현재 예비타당성 조사는 통과한 상태이지만 막대한 초기 투자 비용, 청정 수소의 경제성 확보, 안정적인 공급 인프라 구축등 해결해야 할 난제가 있다. 65% 감축 목표달성을 위해서는 2035년 이전의 조기 도입이 요구되고 있으나, 현재로서는 이행의 불확실성이 높다고 평가된다.

2.저탄소강(Low-Carbon Steel) 실행

수소환원제철의 상용화까지는 긴 시간이 소요되므로, 그 과도기 동안 기존 공정의 감축 효율을 높이는 브릿지 기술로 저탄소강 생산 확대가 중요하게 논의된다. 저탄소강은 기존의 고로 용선(철광석 기반)과 전기로 쇳물(철스크랩 기반)을 혼합하여 사용하는 합탕(Hybrid)공정을 통해

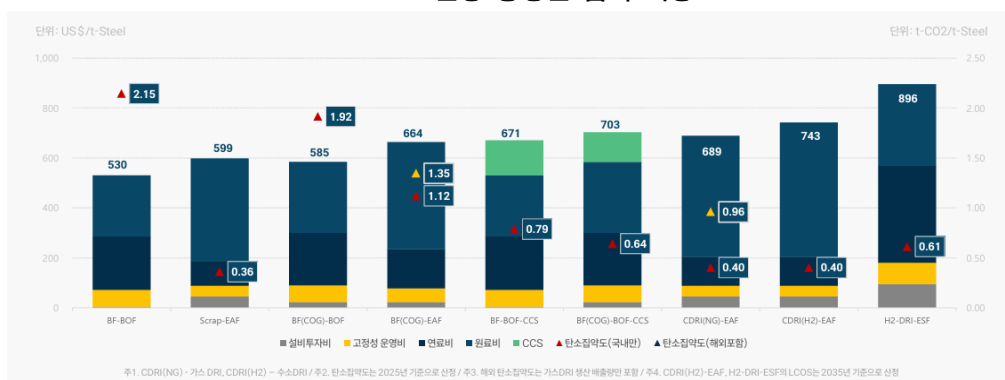
제조되며, 고로에 투입되는 연원료를 대체하거나 상저취전로(상부 및 하부 취입 전로)와 같은 기술을 활용하여 철스크랩 투입 비율을 높여 배출량을 감소시킨다.

2030년까지 글로벌 그린 철강 시장이 2억 톤 규모로 성장할 것으로 전망됨에 따라 저탄소강 생산 확대는 수출 경쟁력 강화 측면에서도 필수적이다. 정부는 저탄소강 생산량을 990만 톤 이상으로 증대하는 것(48%~53% 감축안 기준)을 목표로 설정하고 있다. 그러나 이 방식은 기존 고로 대비 높은 생산 비용, 고품질 철스크랩 등 저탄소 원료 수급 애로, 그리고 전기로 운영에 따른 전력 요금 부담 증가라는 과제를 안고 있다.

3. 연구 설계

3.1 H-DRI 경제성 평가

<표 3> 철강 공정별 감축 비용

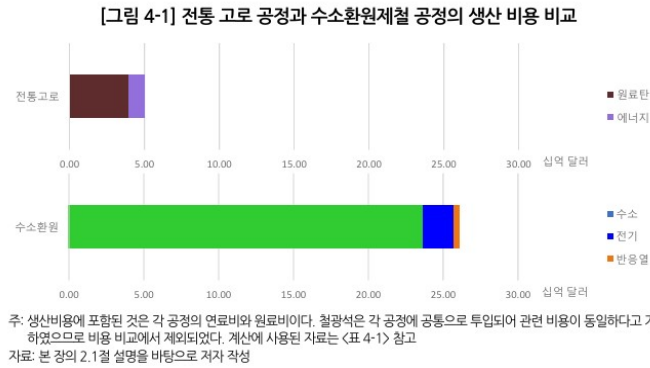


위 그래프는 철강 생산기술별 LCOS와 탄소 감축 비용을 나타낸 것이다. 그래프에서 알 수 있듯이, BF-BOF(고로-전로 공정)측 가장 기본적인 현재 기술로, 생산 비용이 530 US\$/t-Steel로 가장 낮다. 반면에 H2-DRI-ESF(수소환원제철 공정)은 수소 기반의 완전 탈탄소 기술로, 생산 비용이 896으로 가장 높은 것을 볼 수 있다. 이는 BF-BOF 대비 약 69% 증가한 수준 중간 브릿지 기술(BF(CO2)-EAF, DRI-EAF 등), CCS를 적용한 기술을 포함하여, 대부분 600~743 US\$/t-Steel 수준으로, 기존 고로 공정 대비 최소 25% 이상의 비용 상승이 예상된다.

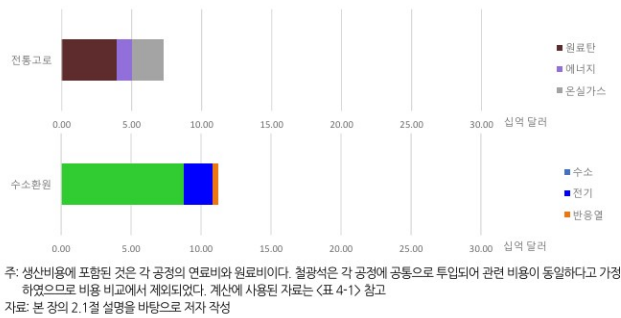
수소환원제철의 단위당 탄소감축 비용이 제일 높았으며, 이는 탄소가격이 최소 91달러/tCO2에서 최대 239달러/tCO2는 되어야 자발적 감축 유인이 생긴다는 것을 알 수 있다. 이러한 H-DRI 기술의 높은 비용과 탄소 감축 1단위당 생기는 높은 비용 때문에 현재 현실적으로 철강산업이 자발적으로 감축할 수 없다는 것을 알 수 있다. 우리나라에서 시행되는 배출권거래제만으로는 어렵기 때문에 정부의 적극적인 지원 및 탄소세와 같은 추가적인 탄소가격제도의 도입의 필요성이 대두되고 있다.

3.1 H-DRI 기술 전환 시나리오 분석

<표 4> 전통 고로공정과 수소환원제철의 기술 비용 비교



[그림 4-3] 전통 고로 공정과 수소환원제철 공정의 생산 비용 비교
(온실가스 비용 추가+2050년 수소 목표 가격 적용)



위 그래프는 에너지연구원에서 실시한 철강 생산공정 전환 시나리오를 분석한 연구이다. 첫 번째 그래프에서 알 수 있는 것은 수소환원제철 기술의 연구 개발비나 설비 건설비를 전혀 고려하지 않고 순수하게 연료비와 원료비만 비교했을 때, 현재의 에너지 가격 수준에서는 전통 고로 방식 대비 5 배 이상의 비용이 발생하는 것을 볼 수 있다. 두 번째 그래프에서는 기존 그래프에서 온실가스 비용과 2050 년의 수소 목표 가격을 적용하고 전통공정과 수소공정의 비용차이를 보여준다. 정부가 목표한 2050 년의 수소가격 2500 원을 달성한다하더라도 이 가격은 전통 고로 방식 대비 저렴해지지 않는다. 사실 수소가격의 달성도 아주 확실하지 않은 상태에서 이러한 결론은 수소환원제철의 기술의 2050 년까지의 미래가 어둡다는 것을 시사한다. 즉 연구에서, 수소환원제철이 2050 년경 전통 고로 방식 대비 경제성을 가지려면, 수소 가격이 목표 수준에 도달하는 것과 더불어, 전통 고로에 부과되는 탄소 가격이 2020 년 대비 3 배 수준까지 급격히 상승하고 배출권 유상할당 비율이 100%가 되어야 그나마 경제성을 확보 할 수 있다고 판단했다.

4. 결론

결론적으로, 대한민국 고배출 산업 부문인 철강 산업은 다른 산업들에 비해 가장 높은 감축 잠재력을 보이며, 산업 부문 탄소중립 경로에서 핵심적인 역할을 수행할 수 있을 것으로 평가된다. 철강 산업은 공정 기술 전환에 따른 연료 전환이 배출 저감에 미치는 영향이 지대하며, 이에 따라 단순 수요 감소가 아닌 구조적 전환을 통한 접근이 필수적임을 시사한다. 따라서, 본 연구는 현재 탄소 집약적 공정 구조와 높은 초기 기술 전환 투자 비용으로 인해 감축 이행에 어려움을 겪고 있음에도 불구하고, 가장 높은 감축 잠재력을 지닌 철강 산업을 중심으로 우선적인 정책 개입이 필요함을 제안한다. 특히 앞서 에너지연구원에서 실시한 철강 생산공정 전환 시나리오를 분석한결과 우리는 몇가지를 방향을 제시할 수 있다.

1) 장기적이고 예측 가능한 ‘탄소 비용 현실화’ 정책의 시급한 도입 수소환원제철(H-DRI)이 전통 고로 방식 대비 경쟁력을 갖기 위한 전제 조건은 탄소 배출 비용의 현실화이다. 연구 분석 결과, H-DRI의 경제성이 확보되는 최소 조건은 전통 공정에 부과되는 탄소 가격이 현재(2020 년 기준)의 2.8 배(82,154 원/톤)수준까지 상승하고 배출권 유상할당 비율이

****100%****가 되어야 함을 시사한다. 그러나 현재 철강업은 '비용발생도 및 무역집약도'를 이유로 2025년까지 배출권을 전량 무상할당받고 있는 실정이다. 이러한 탄소 비용 면제 상황이 지속될 경우, 시장에서는 탄소 중립 기술로의 전환 유인이 발생하지 않아 H-DRI 기술이 경쟁력을 가질 수 없다. 따라서 정부는 '2050 탄소중립 기본계획' 등을 통해 배출권 유상할당 확대 로드맵을 명확히 명시해야 한다. 특히, 2040년대에는 H-DRI가 전통 고로 기술 대비 확실하게 경제적 우위를 점할 수 있는 수준까지 탄소 비용을 단계적으로 부과하는 강력하고 장기적인 정책 신호를 시장에 제공해야 한다.

2) 청정 수소 공급 단가 하락을 위한 대안적 접근의 확대 H-DRI 전환의 또 다른 핵심은 연료인 수소의 공급 가격을 정부 목표인 2,500 원/kg 이하로 낮추는 것이다. 분석 결과, H-DRI가 경제성을 확보하기 위해서는 수소 공급 단가가 정부 목표보다 훨씬 낮은 1,356 원/kg 수준까지 하락해야 한다. [2] 국내 재생에너지 여건의 한계와 수입 시 발생하는 액화·수송 비용을 고려할 때, 그린수소만으로는 이 목표 달성이 어렵다. 따라서 수소 공급 단가를 획기적으로 낮추기 위한 대안을 폭넓게 고려해야 한다. 특히, 현재 발전단가가 가장 낮은 원자력을 활용한 수소 생산(원자력 수소, 또는 핑크 수소)은 고온 수전해 등과 결합할 경우 낮은 비용으로 청정 수소를 대량 공급할 수 있는 유력한 방안으로 적극 검토되어야 한다.

3) '2050 넷제로' 목표 시점의 합리적 재조정 철강업은 공정 특성상 탄소 저감 난이도가 가장 높은 업종이다. 현재까지의 연구 분석은 연구개발비 및 설비 건설비까지 고려할 경우, H-DRI가 전통 고로 방식을 경제적으로 추월하는 시점이 2050년 전후에 불과함을 보여준다. [2] 즉, 다른 부문의 감축 어려움을 무시하고 전 산업 부문의 탄소 중립을 2050년이라는 획일적인 시점에 맞춰 무리하게 추진하는 것은 비현실적이다. 철강 산업은 국내 제조업의 근간이 되는 기간산업이므로, 무리한 목표 설정으로 인해 국내 산업이 기술 격차와 비용 부담에 따른 심각한 타격을 입는 것을 방지해야 한다. 따라서 정부는 H-DRI 상용화의 기술적/경제적 현실을 인정하고, 타 부문과 차별화된 유연한 목표 시점을 재검토하여 정책의 속도와 목표를 합리적으로 조정할 필요가 있다.

5.1. 온실가스 저감 정책 제언

5.1.1. 수소환원제철 기술 혁신 투자

철강 산업 내에서 최근 주목받는 기술이 바로 POSCO가 개발 중인 수소환원제철(HyREX) 공정이다. HyREX는 제철 공정에서 석탄 대신

수소를 환원제로 활용함으로써, CO₂ 대신 H₂O(수증기)를 배출하는 친환경 제철 기술이다. 기존의 고로-전로 방식 대비 탄소배출량을 90% 이상 감축할 수 있으며, 전기로 공정과 연계될 경우 완전한 무탄소 철강 생산도 가능하다. POSCO는 2030년까지 수소환원제철 기술의 상용화를 목표로 하고 있으며, 이를 위해 연간 250만 톤급 데모플랜트 구축을 계획 중이다. 이는 연간 약 360만 톤의 CO₂ 감축이 가능한 규모로, 1GW급 태양광 설비가 약 6만 가구에 공급하는 전기량에 상응하는 수준이다.

수소환원제철 기술은 단순한 기술 개발을 넘어, 국제 무역 질서 변화에 능동적으로 대응하기 위한 산업 전략의 일환으로 이해할 필요가 있다. EU의 탄소국경조정제도(CBAM)가 본격화되면서, 고탄소 철강 제품에 대한 무역 장벽이 현실화되고 있는 상황이다. HyREX와 같은 탄소중립형 공정은 향후 수출 경쟁력 유지에 필수적인 요소이며, 글로벌 저탄소 시장에서의 우위를 선점하기 위한 기반 기술이다.

그러나 수소환원제철 기술의 확산을 가로막는 가장 큰 장애물은 초기 투자 비용과 수소 가격이다. 현재 HyREX는 전로 및 고로 생산 방식 대비 약 1.52배 이상의 설비투자비가 소요되며, 수소 활용으로 인해 추가적인 생산원가가 추가로 발생한다. 즉, 현재 기준으로 상당한 수준의 투자 비용 소요가 예상되며, 향후 수소 가격의 하락, 재생에너지 기반 전력의 보급 확대, 인프라 구축 등이 병행되어야만 기술 확산이 가능하다는 점을 의미한다.

수소환원제철 기술은 감축 단가만을 기준으로 우선순위를 판단할 수 없는 전략적 기술로, 장기적 관점에서 산업구조 재편과 글로벌 대응력을 동시에 고려한 정부의 선도적 개입이 요구된다. 이를 위해 다음과 같은 세 가지 정책 방향을 제안한다.

1. 청정수소 생산 및 공급망 인프라에 대한 선제적 투자.
2. 수소 환원 제철 기술 도입 기업에 대한 탄소 배출권 거래제 내 차등 인센티브 및 저탄소 인증제도 설계.
3. 민관 공동 R&D 펀드 조성을 통한 기술 실증 및 국산화 지원.

5.1.2. 공공 및 민간 협력 기반 투자 메커니즘 구축

우리나라는 2050 탄소중립 달성을 위한 국가 시나리오(B안)를 통해 산업부문에서 약 80.4%의 감축을 목표로 설정하고 있으며, 그 중 철강

산업은 고로·전로 중심의 기존 공정을 수소환원제철로 100% 전환할 경우, 최대 95%까지 배출 저감이 가능할 것으로 전망되고 있다. 하지만 현재 국내 철강 기업들의 수소 기반 기술 개발은 아직 실증 단계에 머물러 있으며, 관련 인프라와 제도적 유인은 충분하지 않은 실정이다. 특히 고로·전로 기반의 공정 특성상 탄소배출 밀도가 높고, 설비 교체에 막대한 초기 비용이 소요되기 때문에 민간 기업 단독의 대응만으로는 구조적 전환이 어려운 한계를 지닌다. 따라서, 온실가스 감축 핵심 산업으로 평가되는 철강 산업에 대해 정부 주도 하 공공과 민간의 협력 투자 방안이 마련되어야 실증적인 감축 이행과 향후 경쟁력 확보가 가능할 것으로 생각한다.

5.1.3. 청정수소 공급망 조성 및 에너지 인프라 확충

향후 탄소중립 전환 경로 하에서, Posco HyREX 와 같은 수소 환원 제철 기술의 전제는 안정적이고 저렴한 청정 수소의 대규모 공급이다. 현재까지 국내 수소 공급은 화석연료 개질 중심이며, 재생에너지 기반 수전해 비중은 미미하다. 따라서 수소 생산기지 구축, 수소 파이프라인 인프라, 수소 저장 및 운송체계 등 &수소 전주기 인프라&를 국가 기간산업으로 정의하고 지원할 필요가 있다.

5.1.4. 탄소배출권 거래제 강화를 통한 기술혁신 유인

현재 국내 탄소 배출권 거래시장 K-ETS 는 온실가스 감축을 위한 핵심 정책 수단으로 기능하고 있으나, 높은 무상할당 비중으로 인해 배출권 가격이 낮게 형성되는 구조적 문제를 안고 있다. 이러한 낮은 가격은 각 기업의 기술 혁신을 유도하는 것에 있어 충분한 기능을 하지 못한다. 따라서, 유상할당 비중 점진적 향상 등 국내 탄소 배출권 거래제 보완 및 강화를 통해 거래 시장 내에 적절한 가격 신호를 형성하여 기업이 스스로 기술 혁신을 수행할 수 있도록 유도하는 것이 요구된다. 이와 더불어, 현재 탄소 고배출 공정 구조와 높은 초기 투자 비용으로 인해 시장 신호만으로는 감축이 어려운 산업을 대상으로 배출권 거래제 시장 내에서 차등 인센티브를 제공하고 저탄소 인증을 제공하는 등의 지원 정책 마련이 요구된다.

참고문헌

- 강병욱. (2022). 탄소중립을 위한 철강 생산공정 전환 시나리오 분석 연구 (기본연구보고서 2022-03). 에너지경제연구원
- 환경부. (2025). 2035 국가 온실가스 감축목표(NDC) 대국민 공개 논의 자료집. (2025.9.19.~10.2.). 2035 국가 온실가스 감축목표(NDC) 대국민 공개 논의 자료집. 환경부·기획재정부·산업통상자원부. (2024).
- 관계부처 합동. (2021, 11 월 26 일). 제 1 차 수소경제 이행 기본계획 (요약). 한국에너지기술연구원. https://www.kier.re.kr/resources/download/tpp/policy_20211126.pdf
- 『대한민국 2050 탄소중립 전략(LEDs 보고서)』, 대한민국 정부
- 서울특별시 탄소중립지원센터. (2025, 2 월). 서울시 온실가스 인벤토리 보고서 (2022 년 도 분).<https://seoulnetzero.si.re.kr/wp-content/uploads/2025/02/%EC%84%9C%EC%9A%B8%EC%8B%9C-%EC%98%A8%EC%8B%A4%EA%B0%80%EC%8A%A4-%EC%9D%B8%EB%B2%A4%ED%86%A0%EB%A6%AC-%EB%B3%B4%EA%B3%A0%EC%84%9C2022%EB%85%84%EB%8F%84%EB%B6%84.pdf>
- 산업통상자원부, 한국에너지공단. (2022). EG-TIPS 에너지온실가스 종합정보 플랫폼.
- 에너지경제연구원. (2023, 12 월 15 일). 2024 장기 에너지전망. 산업통상자원부.
- 에너지경제연구원. (2024, 10 월 28 일). 2023 년 재생에너지 균등화발전비용 (LCOE) 동향. 재생에너지정책연구실. 세계에너지시장 인사이트 제 24-21 호.

에너지경제연구원. (2022). 2023 에너지총조사보고서. 산업통상자원부. (발간일: 2025.03.12)

이보람·손원주(2024), 「일본의 &GX 경제 이행채& 추진 현황 및 시사점」, 『세계경제 포커스』, 제 7 권 제 11 호, 대외경제정책연구원(KIEP).

통 계 청 . (2025). 총 인 구 , 인 구 성 장 륜 . e-나라지표.https://www.index.go.kr/unity/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=1009

탄소중립녹색성장위원회. (2024.4). 2023 년도 국가 탄소중립·녹색성장 기본계획 이행점검 결과.

포스코뉴스룸(2023), 「저탄소 친환경 제철 프로세스 대전환 특집 기획 ① — HyREX: 수소환원제철 기술 심층 소개」, 포스코뉴스룸, 2023.11.29,<https://newsroom.posco.com/kr/저탄소-친환경-제철-프로세스-대전환-특집-기획-①-hyrex>.

포스코(2023), 「저탄소 친환경 제철 프로세스 대전환 특집 — HyREX 기술 설명자료」, 포스코 사보 자료, 2023.11.

한국철강협회. (2024). 철강 탄소중립 현황 및 전망. 2035 NDC 컨퍼런스 자료. BOARD_ATTACH_1733883271009.pdf.