

SFO°C

Solutions for Our Climate

° Report



녹색 철강의 미래, 수소환원제철

- 탄소중립 핵심기술 개발을 위한 정부 주도의 투자 필요성



철강 산업은 우리나라의 기간 산업인 동시에 대표적인 온실가스 다배출 산업이며, 산업 부문 배출량의 약 40%, 국가 전체 배출량의 약 15%를 차지함. 해당 산업의 장기적인 경쟁력 유지를 위해서는 성공적인 탈탄소 전환이 관건



저탄소 철강 생산 기술 개발을 위해 추진 중인 한국 정부 지원액은 약 2,685억 원이며, 이는 타 국가 대비 현저히 낮은 수준임. 독일의 경우, 생산량은 한국의 절반 수준이나, 약 38배의 정부 예산을 투입하여 철강 산업 탈탄소화를 추진 중



탄소배출이 없는 한국형 수소환원제철(HyREX) 기술 개발 및 설비 전환에 2050년까지 최소 20조 원이 필요할 것으로 예상되나, 현재까지 확정된 '23-'25년 정부 지원액은 269억 원에 불과함



글로벌 경쟁력 1위* 유지와 탄소배출량 감축을 동시에 이뤄내기 위해서는 정부 지원금 증액을 통해 수소환원제철 원천기술 확보 및 생산 설비의 전환 시점을 앞당기는 것이 필요

*월드스틸다이내믹 철강사 경쟁력 순위 2024 자료 기반

01 국내외 철강산업의 저탄소 전환 추세

- 한국 철강산업은 높은 생산량 및 수출량을 가진 국가 주요 산업이자 동시에 대표적인 온실가스 다배출 산업
 - '23년 기준 조강 생산량 약 6,700만톤으로 조강 생산량 세계 6위, 수출량 세계 3위의 국가
 - 국내 철강산업 배출량은 산업부문 배출량의 약 40%, 국가 전체 배출량의 약 15%를 차지
 - 높은 탄소 배출량은 국내 조강생산량의 약 70%를 차지하는 석탄 기반의 고로 공정이 가장 큰 원인
 - 이로 인해 국내 철강 산업은 생산량과 온실가스 배출이 정비례하는 구조
- 저탄소 경제체제를 향한 국제적 동향 및 글로벌 통상 규제를 통한 저탄소 철강 생산 요구 증대
 - 파리 협정 체결 이후 많은 국가들은 자발적 탄소배출량 감축 목표 발표, 탄소중립 선언 등 저탄소 경제체제로의 전환 추진
 - 유럽의 탄소국경조정제도(Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM), 미국-EU 간 글로벌 지속가능 철강협정(Global Arrangement on Sustainable Steel and Aluminum, GSSA) 등 전 세계적 탄소국경 관세 확산 시작
 - 철강산업은 높은 탄소배출량으로 인해 이러한 탄소 관련 규제에 직접적인 영향을 받는 산업
 - 오랫동안 난감축(hard-to-abate) 산업으로 간주되어온 철강산업은 획기적인 배출량 감축 수단 모색 필요

- 글로벌 철강사를 보유한 주요 선진국들의 적극적인 탈탄소 기술 개발 및 설비 전환 지원 정책 추진
 - (유럽) 독일과 스웨덴 등 철강사를 보유한 유럽 국가들은 일찌감치 탄소배출 저감 기술 개발을 위한 보조금을 강화하고 관련 설비 및 인프라 구축 마련을 위한 지원제도를 마련하는 등 국가 주도의 적극적인 탈탄소 투자를 진행
 - (일본) 철강 산업을 포함한 모든 산업의 저탄소 구조 전환을 위한 탄소중립 기술 개발 로드맵을 마련하고, 이를 위한 기금 신설 및 민간합작투자 유치 등 막대한 양의 보조금을 투입하여 산업 탈탄소화 추진
 - (미국) 높은 전기로 생산 비중과 풍부한 재생에너지 인프라를 활용하는 방식으로 탄소배출 저감 노력을 펼쳐왔으며, 최근 자국 내 수소환원제철 설비 건설을 위한 투자를 발표하며 청정 공정으로의 전환을 추진
- 국내 철강산업은 글로벌 경쟁력 유지와 탄소중립 목표를 동시에 달성해야 하는 과제에 직면
 - 글로벌 규제 대응과 2050 탄소중립 목표 달성을 위해서 국내 철강산업의 탄소중립 전환은 필수적
 - 또한, 주요 경쟁국들의 철강 탈탄소화 추진은 국내 철강산업의 경쟁력 약화 초래 위험
 - 자동차, 조선, 건설 등 고품질 철강제품이 필요한 제조업이 발달한 국내 산업구조의 특성상 생산량 감소를 통한 탄소 배출량 감축 전략은 실현 가능성이 낮음
 - 따라서, 생산량을 유지하는 동시에 탄소중립이라는 목표를 달성해야 하며, 이를 위해서는 철강 산업의 탈탄소 구조전환이 필요

02 우리나라 철강 정책 현황

- 대내외적 여건 변화 아래, 한국 정부는 관련 정책 수립을 통해 저탄소 철강 생산 기술 개발 지원을 추진
- 철강산업의 탄소배출 감축 수단은 1)기존 생산 공정인 고로 및 전기로의 설비 개선을 통해 탄소배출을 일부 저감하는 방식과 2)신규 기술을 적용한 청정 공정으로의 전환을 통해 탄소배출을 저감하는 방식으로 구분
 - 국내에서는 기존 설비를 활용하는 방식을 우선적으로 도입하여 '17년부터 국가 기술 개발 과제로 추진
 - 기존 설비를 활용하여 배출량을 저감하는 방식과 더불어 최근 청정 공정으로의 전환을 지원하는 정책을 발표
 - 특히, 탄소중립에 가장 근접한 기술로 평가되는 수소환원제철 기술 개발을 위한 정책적 지원을 시작
 - 장기적으로, 수소환원제철 설비로의 완전한 전환을 통해 철강산업 탄소중립을 달성하겠다는 계획
- '23년 2월, 산업통상자원부는 해당 내용을 담은 『저탄소 철강생산 전환을 위한 철강산업 발전전략』¹을 발표
 - △원료 공급망 강화 △저탄소 기술 개발 △ 고부가소재 개발 △수출경쟁력 확보 등 4개의 세부 전략 수립
 - 저탄소 기술 개발을 위한 세부 과제 중 하나로 수소환원제철 기술 개발을 통한 공정 전환 지원을 시작
 - 이 외에도, 철강생산 저탄소화 얼라이언스 구성, 저탄소 민간펀드 조성 등의 내용을 포함

1 산업통상자원부(2023)

- 하지만, 현재까지 확정된 정부 지원금의 규모는 철강산업 구조전환에 필요한 비용 대비 불충분하며, 특히 수소환원제철 기술 개발 및 상용화를 위해 배정된 예산이 현저히 낮은 상황
 - 다배출 산업의 구조적 전환을 위해서는 기존 공정을 대체할 기술 개발, 신규 기술의 실증, 신규 설비 구축 등 많은 양의 자금이 필요
 - 정부는 저탄소 철강 기술 개발 예산액으로 약 **2,685억**원을 편성하였으며, 1) 현존 설비 개선 및 2) 신규 설비로의 전환을 위한 예산액으로 각각 2,416억원, 269억원을 편성함 (그림1)

그림1. 저탄소 철강 기술 개발 자금 지원 계획

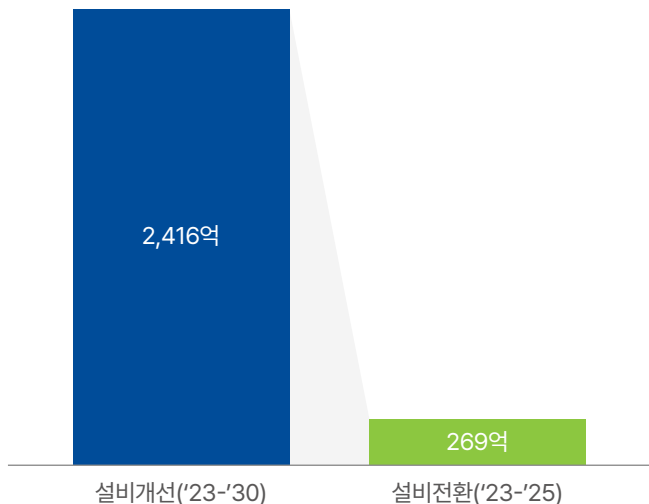
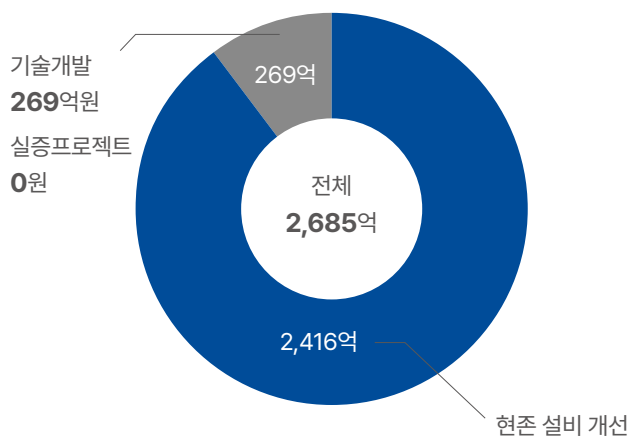


그림2. 세부 자금 집행 계획

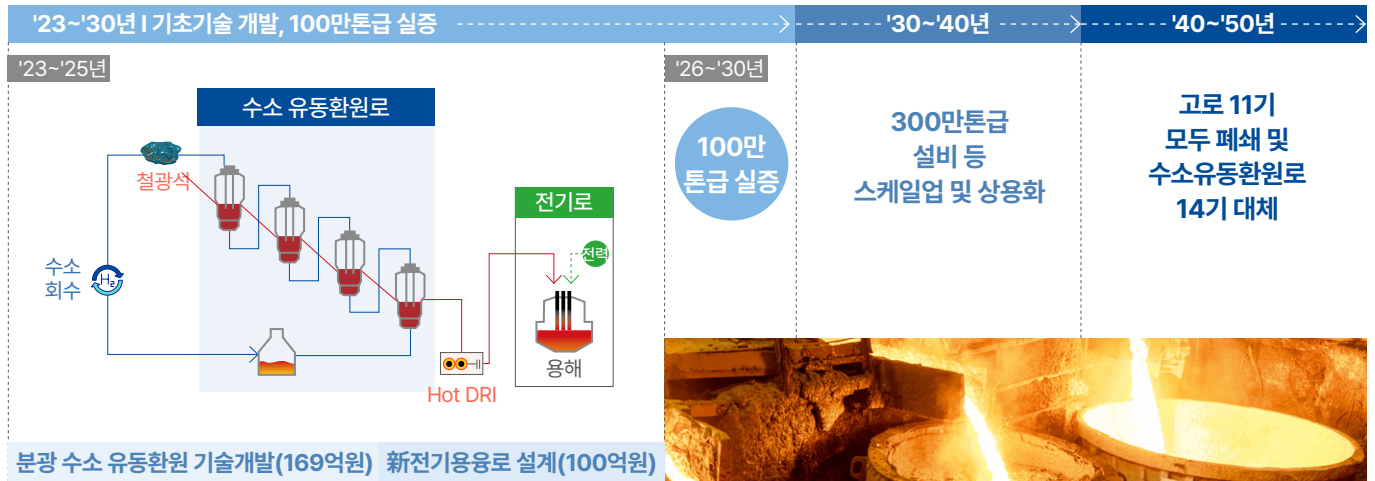


출처: 산업통상자원부(2023) 바탕으로 SFOC 재구성

- 전자의 경우 비교적 적은 개발비용과 시간으로 탄소저감을 추진할 수 있으나, **주 배출원인 석탄 사용을 유지하는 형태이기에 탄소 배출량 감축에는 효과가 제한적**
- 후자의 경우 철강 생산 공정에 투입되는 석탄을 수소로 대체하는 수소환원제철 기술의 내용이며, 이는 **궁극적으로 탄소 배출이 없는 공정으로 전환하는 것이기에 획기적인 탄소배출량 감축이 가능**
- 철강산업의 탄소중립을 위해서는 수소환원제철 기술 개발 및 해당 설비로의 전환을 위한 적극적인 투자가 필요함에 불구하고 **저탄소 기술 개발 예산액 중 약 90%가 탄소배출 감축이 제한적인 현존 설비 개선에 배정된 실정**
- 특히, 현존 설비 개선의 경우 '30년까지의 예산 계획이 존재하나, 신규 설비로의 전환을 위한 구체적인 예산 계획은 기술 개발 완료 예상 시점인 '25년 이후 부재인 상황
- 해당 예산 편성을 위해 '22년 실시된 탄소중립기술 개발 예비타당성 조사 당시, 수소환원제철 기술 개발 및 실증사업을 위해 제시되었던 **총 8천억원의 금액 중 269억원만 반영**되었으며, 이는 기초기술 개발 이후 해당 기술의 실제 적용 가능성과 효율성 등을 평가하는 **실증 프로젝트 예산이 배제된 결과** (그림2)

- 실증 프로젝트 지원을 위한 정부 예산액의 부재는 신규 수소환원제철 설비의 상용화 시점을 더욱 늦출 위험 존재
 - 정부 계획에 따르면, '25년까지 기초기술 개발 완료 후 '30년까지 100만톤급 실증 설비 및 '40년까지 300만톤급 상용 설비 구축을 목표. 이후 모든 고로 설비를 수소환원공정 설비로 교체하여 '50년까지 탄소중립을 달성하겠다는 계획 (그림 3)
 - 하지만, '26년부터 필요한 신규 기술의 실증을 위해 배정된 예산이 부재한 상황
 - 수소환원제철 기초기술 개발 완료 시점이 다가오는 상황에서, 기술의 실증 및 상용화를 위한 구체적인 지원 계획이 필요

그림3. 수소환원제철 기술 상용화 및 설비 전환 계획



출처: 산업통상자원부(2023)

- 정부의 소극적인 지원으로 인해 다가오는 녹색철강 시장에서 한국 철강산업의 경쟁력 후퇴 우려
 - 주요 철강 생산국들은 정부 주도의 대규모 투자를 통해 '30년 이전 수소환원제철 기술의 상용화를 목표
 - 기술 개발 속도가 가장 빠른 스웨덴의 경우 '25년부터 상용화 설비 구축하여 판매용 철강 생산을 시작할 예정
 - 현재 추진 중인 한국 정부의 설비 전환 계획 및 국내 철강사의 기술 개발 수준은 주요 경쟁국 대비 뒤쳐진 상황
 - 신규 설비 구축에 필요한 기반 및 금액을 감안하면 기 확정된 정부 지원액은 이러한 상황을 만회하기에 턱없이 부족

03 수소환원제철 설비 전환 비용

- 국내 철강 생산량의 대부분을 차지하는 POSCO는 **한국형 수소환원제철 기술인 하이렉스(HyREX) 기술 개발을 추진 중**
 - 유럽에서 개발 중인 수소환원제철 기술에는 고품위 철광석 기반의 펠릿(pellet)이 필요하며, 한국은 지리적 여건 상 고품위 철광석을 수입해야 하는 국가
 - 또한, 선도적으로 기술 개발이 진행되고 있는 유럽식 수소환원제철 공정이 세계적으로 상용화 된다면, 이를 위한 고품위 펠릿 수급에 어려움 예상
 - 따라서, 잔존량이 적은 고품위 철광석보다 저렴하고 조달이 용이한 원료를 활용하는 한국형 수소환원제철 기술 개발이 필요
 - POSCO는 현재 보유중인 파이넥스(FINEX) 기술의 성공적인 상용화 경험을 바탕으로 일반 철광석을 활용하여 수소환원철을 생산하는 독자적인 기술을 개발 중
 - 성공적으로 하이렉스 기술을 개발한다면 저탄소 철강 시장에서 높은 경쟁력 확보가 가능하나, 높은 기술투자 비용이 요구됨

표1. 한국형 수소환원제철 및 유럽식 수소환원제철 기술 간 차이점

	한국형 수소환원제철 (HyREX, 하이렉스)	유럽식 수소환원제철 (Shaft Furnace, 샤프트루)
기술개발 철강사	포스코	SSAB, ArcelorMittal, Salzgitter 등
원료 종류	철광석 분광	고품위 펠릿
원료 크기	0~8 mm	10~16 mm
원료 사전처리	X (산지 그대로 사용)	O (철광석을 펠릿으로 사전 제조)

출처: 포스코(2022) 기반 SFOC 재가공

- POSCO의 발표에 따르면² '50년까지 탄소중립 이행에 약 40조의 전환비용이 필요할 것으로 예상
 - 이는 수소환원제철, 전기로 등 저탄소 철강 생산을 위한 설비 및 인프라 구축에 필요한 누계 투자비이며, **하이렉스 기술 개발 및 설비 전환을 위한 비용으로 '50년까지 약 20조원이 필요**
 - 단기적으로, '30년까지 하이렉스 기술 개발 및 100만톤급 실증설비 구축에 약 1조 8천억 원이 필요할 것으로 추산
 - 하지만, 이를 위해 현재까지 확정된 정부 지원 예산은 269억원('23-'25)에 불과
- 성공적인 하이렉스 기술 확보 및 상용화를 통한 국내 철강 산업의 탄소중립 전환을 위해서 정부 지원금의 증액이 필요한 상황
 - 친환경 설비로의 전환을 위해서는 장기간의 설비구축 기반이 필요하기에 기술의 개발 및 실증이 빠른 시일 내에 이루어져야 함
 - 주요 경쟁국들은 신규 설비 구축을 위한 자금 지원의 필요성을 인지, 정부 주도의 적극적인 지원 정책 추진 중
 - 한국 역시 높은 기술투자 비용, 설비 전환시 가질 수 있는 경제적 이익 등을 고려하여 적극적인 재정 지원 필요

2 포스코(2023)

04 주요국 철강산업 지원정책

- 대부분의 국가는 수소환원제철 기술의 상용화를 통한 철강 탄소중립을 목표로 정책적 지원을 추진
 - 스웨덴을 제외한 모든 국가들은 기존 고로 및 전기로 설비의 개선을 통한 배출량 저감과 신규 수소환원제철 설비 전환을 통한 배출량 저감을 동시에 지원
 - 하지만, 정부 보조금의 상당 부분을 현존 설비 개선이 아닌 수소환원제철 설비로의 전환 예산에 배정, 궁극적으로 수소환원제철 설비로의 전환을 통한 철강산업 탄소중립 달성을 계획

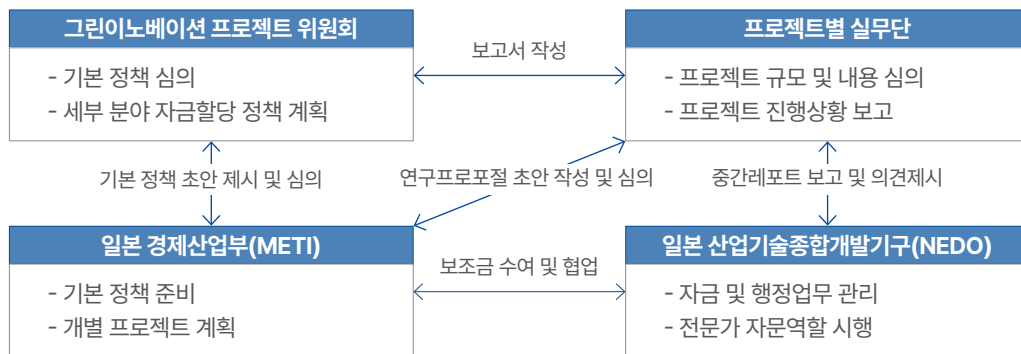
■ 일본

- 연간 조강 생산량 8,700만톤, 세계 3위의 조강 생산국으로 자국 철강산업이 가진 중요성을 인지하고 관련 정책들을 통해 산업의 탈탄소를 위한 연구개발 및 실증 프로젝트를 지원
- '20년 10월, 2050년까지 국가 탄소중립을 달성하겠다는 목표를 선언한 뒤 녹색전환 (Green Transformation, 이하 GX) 분야 총괄 정책인 'GX 추진전략', '그린 이노베이션 기금 (Green Innovation Fund)' 등의 정책들을 추진

■ 그린 이노베이션 기금 (Green Innovation Fund)

- '21년 3월, 2조엔 (약 18조원) 규모의 그린 이노베이션 기금을 신설하여 철강, 수소, 배터리 등 14개 중점 분야에 대한 연구개발 및 실증 프로젝트를 대대적으로 지원하기 시작
- 철강 산업의 탈탄소화 추진을 위해 '제철공정 내 수소활용기술 연구개발 프로젝트'에 총 4,499억엔 (약 4조 491억원)을 투자하겠다고 발표³. 구체적으로, 1) 기존 고로 설비를 활용한 탄소배출 저감기술 개발에 2,822억엔 (약 2조 5,398억원), 2) 수소환원제철 기술 개발에 1,677억엔(약 1조 5,093억원)을 투자할 예정
- 제철공정 내 탈탄소를 위한 수소활용 뿐만 아니라 산업에 쓰이는 전력 생산과정에서의 탄소배출 저감 등을 위해 '대규모 수소 공급망 구축 프로젝트' 및 '그린수소 제조기술 개발 프로젝트'에 각각 3천억엔 (약 2조 7000억원), 700억엔 (약 6,300억원)의 연구개발 예산을 배정, 국가 차원의 탄소중립 실현을 위한 연구개발이 진행 중

그림4. 그린 이노베이션 기금 운영 계획



출처: NEDO(2021) 기반으로 SFOC 재구성

3 NEDO(2021)

- GX 추진 전략 (Green Transformation)
 - '23년 7월, 2050년 탄소중립 목표 실현 및 청정에너지로의 사회 구조 전환을 위한 'GX 추진 전략' 발표
 - 민간과 정부가 공동으로 10년간 150조엔 (약 1,350조원) 규모의 투자 달성을 계획하였으며, 이 중 9,000억엔 (약 8조 1000억원)이 연구개발에 투입될 예정
 - 연구개발 지원금 중 가장 비중이 큰 것은 수소환원제철 기술 개발로, 2,564억엔 (약 2조 3,706억)이 일본제철과 JFE스틸, 고베 제강소에 투입되어서 수소환원제철 기술의 조기 상용화를 추진할 방침
 - 이를 통해 2030년까지 △그린스틸 1천만 톤 생산 △일본 내 탄소배출량 3,000만톤 삭감 등을 목표, 향후 10년간 **민관합작으로 3조엔 (약 27조원) 이상을 투자할 계획**
- 철강 산업을 포함한 산업 전반의 구조적 전환에 초점을 맞추어 다방면적인 정부 지원 정책을 시행 중
 - 저탄소 철강 생산 기술 뿐만 아니라 수소환원제철 기술 상용화 시 필요한 그린수소 생산 및 조달을 위한 예산까지 확정
 - 그린 이노베이션 기금을 통해 지원하는 **철강분야 저탄소 기술 개발 지원액은 총 4,499억엔 (약 4조 491억)**이며, GX 추진전략 하에서 철강산업에 지원되는 금액까지 포함한다면 한국과의 편차는 훨씬 큰 상황
 - * 국내에서는 민관합작투자의 자금이 형성되지 않은 상태이기 때문에 직접적인 비교는 어려우나, 수소환원제철 기술 상용화를 위한 기술 개발 및 실증사업을 모두 지원하는 것이기에 한국 정부의 지원 범위와 규모에 큰 차이가 있음

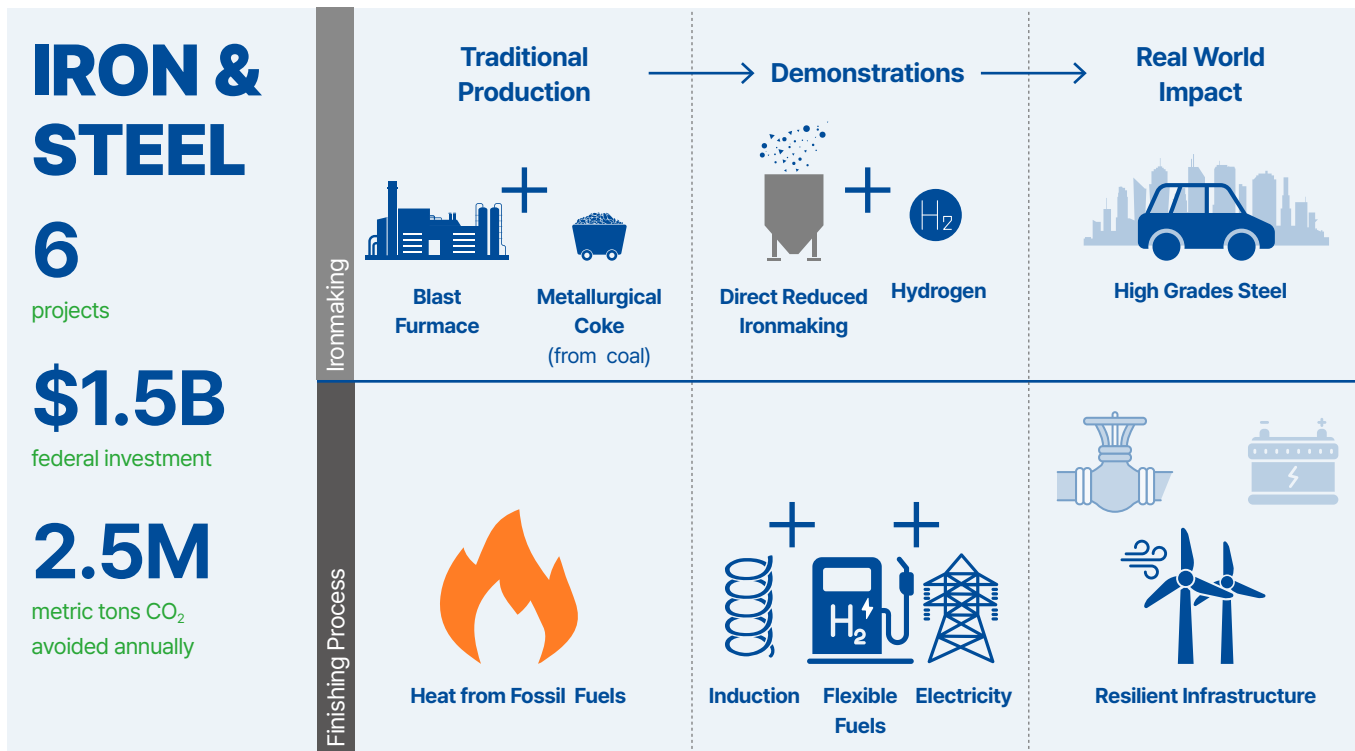
■ 미국

- 연간 조강 생산량 8,100만톤, 세계 4위의 조강 생산국으로 높은 전기로 비중의 철강 산업 보유
- 미국은 인플레이션 감축법 (Inflation Reduction Act, IRA), Bipartisan Infrastructure Bill 등의 정책을 통해 철강 산업을 포함한 여러 산업 전반의 친환경 전환을 지원
- '22년 9월, 미국 에너지부(Department of Energy, DOE)는 '산업 탈탄소화 로드맵(Industrial Decarbonization Roadmap, IDR)을 발표⁴
 - 철강, 화학, 식음료, 정유, 시멘트 등 5대 탄소집약적 산업을 선정
 - 해당 산업의 탈탄소화를 위해 △에너지 효율 향상 △산업 공정의 전기화 △저탄소 연원료 에너지원(LCFFES) △탄소 포집활용저장(CCUS) 이라는 4가지 핵심수단을 활용한 로드맵 구상
 - 철강산업의 경우 신규 수소환원제철 설비 실증, 전기로 효율 향상 등의 정책 방안 수립
- '24년 3월, 산업부문 배출량 감축을 위해 총 60억달러 (약 8조 400억원)의 연방 기금을 지원하겠다고 발표⁵하였으며, 이를 위해 선정된 총 33개의 프로젝트 중 6개의 철강 산업 탄소 감축 프로젝트가 포함

4 U.S DOE(2022)

5 U.S DOE(2022)

그림5. 미국의 신규 철강 산업 탄소 감축 프로젝트



출처: U.S DOE(2024)

- 6개의 철강 산업 탈탄소 프로젝트에 최대 15억 달러 (약 2조 100억원) 의 투자가 확정되었으며, 이 중 수소를 활용하여 저탄소 철강을 생산하는 2개의 프로젝트에 최대 10억달러 (약 1조 3,400억원) 투자가 확정됨
 - 수소환원제철 프로젝트를 수행할 회사로 미국 철강회사인 클리블랜드-클리프스와 스웨덴 철강회사 SSAB 선정
 - 구체적으로, 클리블랜드-클리프스는 수소환원제철 기술 실증 및 신규 설비 설치를 위해 최대 5억달러 (약 6,700억원)를 지원받을 예정이며, 해당 프로젝트를 통해 기존에 운영하고 있는 석탄 기반 고로 1기 폐지 예정
 - SSAB는 100% 수소활용 철강 생산 기술인 HYBRIT을 활용해 상업적 규모의 철강 생산 시설을 신규로 건설하고, 기존 제강 시설을 확장하기 위해 최대 5억 달러 (약 6,700억원)를 지원받을 예정
 - 나머지 4개의 프로젝트는 기존 설비의 개선을 통한 탄소배출량 저감 프로젝트이며, 전체 예산의 약 33%를 차지
- 이처럼, 보조금의 상당 부분을 수소환원제철 설비로의 전환에 투자하여 철강산업의 탈탄소화를 추진하겠다는 계획
 - 높은 전기로 생산 비중에도 불구하고 전체 신규 보조금의 약 2/3를 수소환원제철 설비로의 전환에 투자
 - 장기적인 산업 경쟁력 확보를 위해서는 현존 설비 개선이 아닌 청정 공정으로의 전환이 필요함을 시사

■ 독일

- 연간 조강 생산량 3,500만톤, 세계 7위의 조강 생산국. 한국보다 낮은 철강 생산량이지만 정부 주도의 적극적인 정책 지원을 통해 철강 산업의 탄소중립을 도모
- '20년 7월 철강산업의 탄소중립 및 산업경쟁력 강화를 위한 국가의 지원 계획인 **Steel Action Concept**를 발표, 이를 통해 기존 생산설비를 저탄소 설비로의 전환을 위한 기술 개발 및 실증사업 프로젝트들을 지원
- 독일 철강협회는 철강산업의 탈탄소화 비용으로 '30년까지 100억유로 (약 14조 7,000억원), '50년까지 총 300억유로 (약 44조 1,000억원)가 필요할 것으로 추산하며, '22년 이후 신규로 확정된 정부 지원의 저탄소 철강 프로젝트들은 아래와 같음
 - '22년 4월, Salzgitter사에 **10억 유로 (약 1조 4,700억원)의 보조금이 확정됨**⁶. 해당 보조금을 통해 신규 수소환원제철 설비 1기, 전기로 1대 및 100MW 수전해 설비를 건설하여 '26년부터 가동을 시작할 예정
 - '23년 2월, ArcelorMittal사에 **5,500만 유로 (약 808억 5,000만원)의 보조금이 확정됨**⁷. 해당 보조금을 통해 함부르크 공장 내 수소환원제철 실증 설비 1기를 건설하여 '26년부터 가동할 예정
 - '23년 3월, ThyssenKrupp사에 **5억 5,000만 유로 (약 8,085억원)의 직접 지원금과 14억 5,000만 유로 (약 2조 1,300억)의 조건부 지원금을 확정함**⁸. 해당 보조금을 통해 환원제철설비 1기를 건설하여 '26년부터 가동을 시작할 예정. 초기에는 천연가스 환원방식을 도입, 향후 수소로 100% 대체 예정
 - '23년 12월, Stahl-Holding-Saar (SHS) 사에 **26억 유로 (약 3조 8,220억원)의 보조금이 확정됨**⁹. 해당 보조금을 통해 환원제철 설비 1기 및 전기로 2대를 건설하여 '26년부터 가동 시작 예정. 초기에는 천연가스 환원방식을 도입, 향후 수소로 100% 대체 예정
 - '24년 2월, ArcelorMittal사에 **13억 유로 (약 1조 9,110억원)의 보조금이 확정됨**¹⁰. 해당 보조금을 통해 브레멘 및 아이젠취슈타트 공장 내 환원제철 설비 1기 및 전기로 3대를 건설하여 '26년부터 가동 시작 예정. 초기에는 천연가스 환원방식을 도입, 향후 수소로 100% 대체 예정
- 이처럼, 독일은 막대한 규모의 정부 지원금을 통해 수소환원제철 기술 개발 및 신규 설비로의 전환을 추진
 - '26년부터 순차적으로 기존 석탄 기반 고로 6기를 저탄소 철강 생산 설비로 대체한다는 계획이며, 이를 위해 **최대 10조 2천억원 이상**의 정부 지원금을 투자 예정
 - 일부 프로젝트는 초기 단계에서 천연가스를 활용하여 철광석을 환원하는 방식을 도입하나, 향후 모든 환원설비를 수소를 활용하는 설비로 대체하여 궁극적으로 수소환원제철 상용화를 목표
 - 철강생산 설비 뿐만 아니라 장기적으로 수소환원제철 설비에 필요한 그린수소 생산 및 조달을 위한 투자를 함께 진행
 - 철강 생산량이 한국의 52%임에도 불구하고 **약 38배의 정부 예산을 편성**, 미래 경쟁력 확보를 위한 투자 진행

6 European Commission(2022a)

7 European Commission(2022a)

8 European Commission(2022a)

9 European Commission(2022a)

10 European Commission(2022a)

■ 스웨덴

- 연간 조강생산량 425만톤의 낮은 생산량에도 불구하고, 선도적으로 수소환원제철 기술 개발을 추진 중
 - 풍부한 재생에너지 및 고품위 철광석 부존 등 저탄소 철강 생산에 유리한 조건 보유
 - 지리적 이점과 더불어 정부 차원의 적극적인 지원을 통해 수소환원제철 논의에서 가장 앞서 있는 국가
- 스웨덴 철강회사 SSAB, 철광석 공급기업 LKAB, 전력 회사 Vattenfall이 공동으로 HYBRIT이라는 조인트 벤처기업을 설립하여, 철강 산업 보유국가들 중 가장 앞선 '16년부터 수소환원제철 기술 개발에 착수
 - '20년 8월 파일럿 플랜트 운영을 시작, 파일럿 기간동안 총 비용의 30%를 스웨덴 에너지청에서 조달
 - '23년 스웨덴 에너지청은 Industrial Leap 프로그램을 통해 **31억 스웨덴 코로나 (약 3,906억원)의 보조금을 확정**¹¹ 하였으며, 이러한 지원을 통해 HYBRIT은 '45년까지 탄소중립 달성 및 연간 최대 5천만톤의 탄소배출량 감축을 목표
- 스웨덴 스타트업 H2 Green Steel은 세계 최초로 재생에너지를 활용한 그린수소 생산 및 이를 활용한 철강 생산까지 이어지는 대규모 프로젝트를 진행 중
 - '21년 해당 프로젝트 발표 이후, 스웨덴 북부 보덴 (Boden) 지역에서 재생에너지를 활용한 수전해 시설 및 철강 생산 시설을 구축하고 있으며 '25년부터 철강 생산을 시작할 예정
 - HYBRIT과 동일하게, 스웨덴 에너지청은 Industrial Leap 프로그램을 통해 **38억 스웨덴 크로나 (약 4,788억원)의 보조금을 지원할 예정**¹²이며, 이러한 지원을 바탕으로 '30년까지 연간 500만톤의 수소환원철 생산능력 확보를 계획
- 스웨덴 철강산업은 자국 정부의 지원 외에도 EU 혁신 기금을 통한 지원을 받음
 - EU 혁신 기금은 유럽연합 회원국의 저탄소 기술을 지원하기 위해 설립된 기금으로, 유럽 내 배출권 거래제(Emissions Trading System, ETS)를 통해 모인 자금을 기후변화 대응에 재투자하는 정책
 - 유럽 연합은 해당 기금을 통해 철강, 시멘트, 에너지 등 여러 다배출 산업의 탄소중립 달성을 위한 기술지원을 시행
 - 철강부문의 경우, 현재까지 총 3개국 (스웨덴, 프랑스, 이탈리아) 내 4개의 저탄소 철강 프로젝트를 지원
 - 이를 통해, 스웨덴의 HYBRIT과 H2 Green Steel의 수소환원제철 생산설비 건설 및 상용화에 각각 **1억 4,300만 유로 (약 2,102억원)**¹³, **2억 5,000만 유로 (약 3,675억원)**¹⁴를 지원

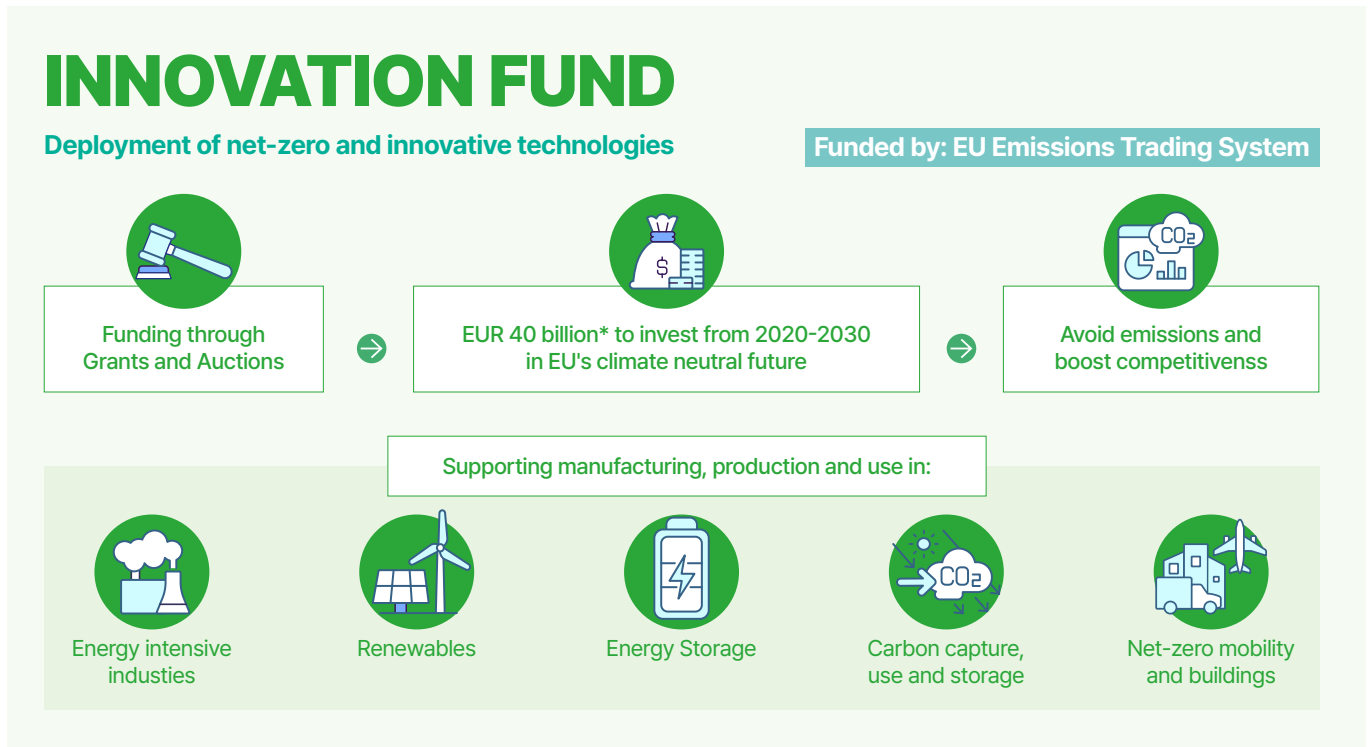
11 Swedish Energy Agency(2023)

12 Jonas(2024)

13 EU Commission(2022b)

14 EU Commission(2022b)

그림6. EU 혁신 기금 (Innovation Fund) 운영 계획



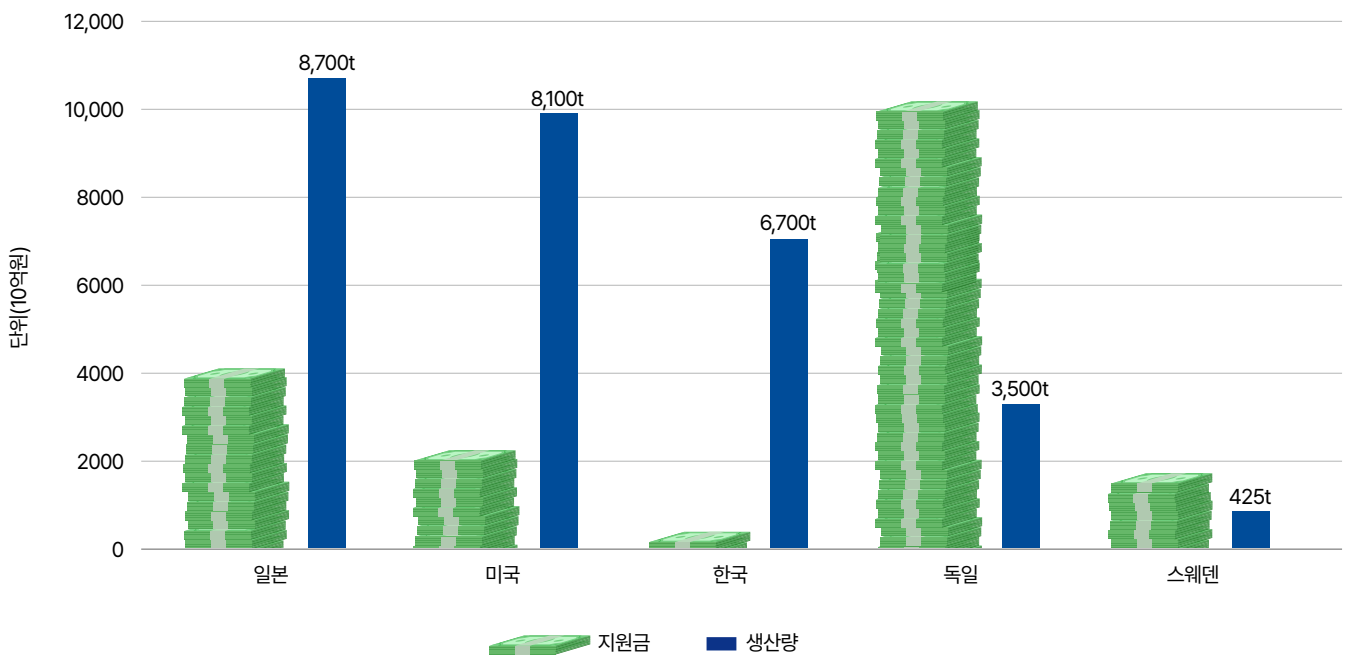
출처: EU Commission (2022) 기반 SFOC 재가공

- 스웨덴은 정부 보조금 및 EU 혁신 기금 등의 자원 조달을 통해 '45년 철강산업 탄소중립 달성을 목표
 - 비교국들 중 유일하게 보조금 전액을 수소환원제철 설비로의 전환에 투자하여 가장 빨리 설비 전환 달성을 계획
 - 기술 실증 완료 후, '40년까지 현존하는 고로 기반 철강 생산 설비를 모두 수소환원제철 설비로 전환 예정
 - 정부 차원의 보조금 외에 EU 혁신 기금을 활용한 자원 조달 방식은 유관 정책을 활용하여 기후변화 대응 및 산업 경쟁력 확보를 동시에 추진하는 모범적인 사례
 - 또한, EU 배출권거래제와 유사한 한국형 배출권거래제 (K-ETS) 및 기후대응기금을 보유한 한국에 시사하는 바 존재

결론 및 제언

- 저탄소 경제체제를 향한 국제적 동향과 탄소 배출 감축을 위한 글로벌 무역 규제가 확산되는 가운데, 국내 철강 산업은 경쟁력 유지와 동시에 탄소배출량 감축을 이뤄내야 하는 과제에 직면
- 글로벌 철강사를 보유한 주요 선진국들은 국가 주도의 적극적인 투자를 통해 철강산업의 탈탄소화를 지원하고 있으나, 한국의 정부 지원금은 타 국가 대비 현저히 낮은 상황
 - 수소환원제철 기술 개발 및 상용화를 위해 주요 경쟁국들이 적극적인 노력을 기울이고 있으며, 국내 철강사들의 해당 기술 개발 수준은 상대적으로 낮은 것으로 평가됨
 - 이는 국내 철강산업의 탄소중립 달성을 위해서 필수적이나, 신규 기술 개발에 필요한 높은 비용 및 정부의 소극적인 정책적 지원은 기술 개발을 지체시키는 요인으로 작용하고 있음

그림7. 주요국 정부 지원금 총액 및 생산량 비교



- 한국의 철강 생산량은 비교대상국들 중 3번째로 높으나, 철강 산업의 탈탄소화를 위한 공공 지원금의 규모는 가장 낮음
- 가장 격차가 큰 독일의 경우, 철강 생산량은 한국의 52%에 불과하지만 정부 지원금의 규모는 약 38배 이상이며 이를 통해 빠른 시일 내 고로 기반 생산시설을 친환경 설비로 전환한다는 계획

11 Swedish Energy Agency(2023)

12 Jonas(2024)

13 EU Commission(2022b)

14 EU Commission(2022b)

- 스웨덴의 경우, 철강 생산량은 한국의 6% 수준이나 6배 이상의 금액을 정부 보조금 및 EU 혁신 기금 등의 재원을 통해 지원하고 있으며, 특히 공공 보조금 전액을 수소환원제철 기술 개발 및 실증설비 전환을 위해 투자

표2. 국가 별 보조금 현황 및 신규 설비 상용화 시점 비교

국가	공공 보조금 총액	설비 전환 예산 비율	신규 설비 예상 가동 시기
독일	최대 10조 2,000억원	N/A*	2026년
일본**	4조 491억원	약 37%	2040년 이후
미국	최대 2조 100억원	약 67%	2026년
스웨덴	최대 1조 4,471억원	100%	2025년
한국	2,685억원	약 10%	2035년 이후

*구체적인 금액은 명시되지 않았으나 공공 보조금의 대부분을 차지할 것으로 추정

**그린이노베이션 펀드 예산만 포함하였으며, GX 추진전략 예산 포함 시 액수는 더 커질 것

- 또한, 탄소배출량 감축 효과가 큰 수소환원제철 기술 개발 및 실증을 위한 예산액의 비중이 지나치게 낮음
 - 저탄소 철강생산 기술 개발을 위한 정부 예산액 중 약 90%가 탄소배출 감축이 제한적인 현존 설비 개선을 위해 사용되고 있으며, 탄소중립에 가장 근접한 기술로 평가되는 수소환원제철 기술을 위한 예산액의 비중은 10%에 불과
 - 철강산업을 보유한 타 국가들은 공공 보조금의 상당 부분을 수소환원제철 설비 전환을 위해 배정
 - 타 경쟁국 대비 상대적으로 낮은 정부 지원액은 한국 철강산업의 경쟁력 약화를 초래할 위험 존재
- 철강산업 탈탄소화를 위한 정부 지원액 및 수소환원제철 설비로의 전환을 위한 예산 비중의 확대가 필수적
 - 수소환원제철 기술은 기존에 존재하지 않던 혁신 기술이기에 기술개발 및 상용화에 많은 자금이 필요
 - 신규 기술 도입을 통한 온실가스 감축이 가져올 수 있는 경제적 이익을 고려하여 적극적인 재정 지원 필요
- 이를 위한 자원 마련 방안 중 하나로 국내 배출권 거래제의 유상할당 수입을 고려할 수 있음
 - 철강 산업 탄소중립을 위한 공공 예산 배정이 큰 스웨덴의 경우, EU 혁신 기금에서 부분적인 지원을 받음
 - 이는 EU 배출권 거래제의 유상할당 부분에서의 수익을 산업 탈탄소화를 위해 지원해주는 구조이며, 한국 또한 이와 유사한 기후대응기금이 존재함. 하지만, 낮은 거래물량과 배출권 가격으로 인해 국내 배출권 유상할당 수입은 매년 감소하는 추세¹⁵
 - 따라서, 배출허용총량 축소 및 유상할당 확대 등을 통해 배출권 거래제의 기능을 향상하고, 이를 통해 수소환원제철 기술 지원 등 기후변화 대응에 적극적으로 재투자하는 방안이 필요

15 김다슬, 강혜빈(2024)

참고문헌

1. 산업통상자원부. (2023). 저탄소 철강생산 전환을 위한 철강산업 발전전략
<https://www.korea.kr/docViewer/skin/doc.html?fn=6edabc4005c40af9225651251ae2d12a&rs=/docViewer/result/2023.02/17/6edabc4005c40af9225651251ae2d12a>
2. 포스코 (2023). 2022 포스코 기업시민보고서
<https://www.posco.co.kr/homepage/docs/kor7/jsp/esg/report/s91b4000310l.jsp>
3. NEDO (2023) Overview of the Green Innovation Fund Projects
<https://green-innovation.nedo.go.jp/en/about/>
4. U.S. DOE (2022). DOE Industrial Decarbonization Roadmap
<https://www.energy.gov/industrial-technologies/doe-industrial-decarbonization-roadmap>
5. U.S. DOE (2024). Industrial Demonstrations Program Selections for Award Negotiations: Iron and Steel
<https://www.energy.gov/oced/industrial-demonstrations-program-selections-award-negotiations-iron-and-steel>
6. European Commission (2022a). State aid: Commission approves €1 billion German measure to support Salzgitter decarbonize its steel production by using hydrogen
https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_5968
7. European Commission (2023a) State aid: Commission approves €55 million German measure to support ArcelorMittal's green steel demonstration plant
https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_23_847
8. European Commission (2023b) State aid: Commission approves German €550 million direct grant and conditional payment mechanism of up to €1.45 billion to support ThyssenKrupp Steel Europe in decarbonising its steel production and accelerating renewable hydrogen uptake
https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_23_3928
9. European Commission (2023c) Commission approves €2.6 billion German State aid measure to support Stahl-Holding-Saar decarbonise its steel production through hydrogen use
https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_23_6647
10. European Commission (2024) Commission approves €1.3 billion German State aid measure funded under Recovery and Resilience Facility to support ArcelorMittal decarbonize its steel production
https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_24_1009
11. Swedish Energy Agency (2023) SEK 3.1 billion in support for Hybrit
<https://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2023/31-miljarder-i-stod-till-hybrit/>
12. Jonas Algers (2024) Leading with Industrial Policy: Lessons for Decarbonization from Swedish Green Steel
<https://rooseveltinstitute.org/publications/leading-with-industrial-policy/>

13. European Commission (2022b) HYBRIT Demonstration: Swedish large-scale steel value chain demonstration of Hydrogen Breakthrough Iron-making Technology
https://climate.ec.europa.eu/system/files/2022-07/if_pf_2022_hybrit_en.pdf
14. World Steel Association (2023) Steel – the permanent material in the circular economy <https://worldsteel.org/wp-content/uploads/worldsteel-circular-economy.pdf>
15. 김다슬, 강혜빈 (2024) 무상배출을 중단하라 - 시장 활성화 시나리오 분석을 통한 배출권거래제 개선 방향 제안



녹색 철강의 미래, 수소환원제철

- 탄소중립 핵심기술 개발을 위한 정부 주도의 투자 필요성

발간일 2024년 6월

저자 권영민 기후솔루션 연구원 (yeongmin.kweon@fourclimate.org)

도움주신 분 이명주 기후솔루션 철강 책임 (heather.lee@fourclimate.org)

기후솔루션은 전 세계 온실가스 감축 및 올바른 에너지 전환을 위해 활동하는 비영리법인입니다. 리서치, 법률, 대외 협력, 커뮤니케이션 등의 폭넓은 방법으로 기후위기를 해결할 실질적 솔루션을 발굴하고, 근본적인 변화를 위한 움직임을 만들어 나갑니다.