

철강산업에서의 탄소중립 위기와 도전: 포스코의 HyREX(수소환원제철 공법) 개발 사례를 중심으로

류 미 송*
박 시 은**
노 태 우***

본 사례는 철강산업의 구조적 변화와 탄소중립 달성이라는 이중 도전에 직면한 포스코의 전략적 대응 과정을 분석하고, 향후 지속 가능한 경쟁우위를 확보하기 위한 조건을 모색하는 데 그 목적이 있다. 국내 1위를 넘어 글로벌 시장에서도 철강기업으로서 그 입지를 공고히 다지고 있는 포스코는 1990년대부터 환경성과 경제성을 모두 확보하기 위해 새로운 제철 공법인 FINEX를 개발하고 2000년대에 들어 상용화에 성공함으로써 기술적 혁신 기반의 경쟁력을 도모하고자 하였다. 하지만 포스코는 글로벌 철강기업 간의 합병, 중국의 철강 과잉 공급, 환경 규제 강화 등 여러 어려움에 직면하게 되었고 특히 탄소중립 달성을 통한 기후 위기 대응의 필요성이 글로벌 차원으로 확산되면서 탄소 다배출 업종에 속하는 기업들의 탄소중립 달성은 사회적 책임을 넘어 하나의 무역 장벽으로 작용하게 되었다. 이에 포스코는 가격 경쟁력 상승과 함께 탄소 배출 저감과 기업의 지속 가능한 성장을 목표로 그린 철강 생산을 위한 수소 환원제철 공법인 HyREX 개발에 착수하게 되었다. 그러나 현재 기술 자체의 잠재력과는 별개로 국내 수소 및 에너지 인프라 부족, 기술 상용화를 위한 지원 미비 등 여러 제약에 직면하고 있다. 이에 본 사례는 다이아몬드 모델과 더블 다이아몬드 모델을 통해 포스코의 내외적 상황을 분석하여 포스코가 HyREX 상용화와 더불어 넷제로 측면에서 실질적 경쟁우위를 확보하기 위해서는 재정적 지원 여부를 넘어 구조적·산업적·제도적 차원의 복합적인 조건들이 갖춰져야 한다고 제안한다.

주제어: HyREX, 그린 철강, 다이아몬드 모델, 동적 역량 관점, 수소환원제철, 포스코

1. 서론

산업화 이후 기후변화에 대한 국제사회의 관심이 높아지고 전 세계적으로 탄소중립에 대한 논의가 꾸준히 확산되어오고 있다. 이러한 흐름 속에서 개최된 2015년 기후변화협약 당사국총회에서는 산업화 이전 대비 지구의 평균 온도 상승을 1.5°C 이내로 억제하는 파리협정을 채택하였다(Yonhap News, 2020).

파리협정에 따라 기후위기 대응을 위한 국가 차원의 노력이 강조되었으며, 이에 따라 전 세계 190여 개국이 온실가스 감축 목표를 담은 국가 온실가스 감축목표(Nationally Determined Contribution, NDC)를 자발적으로 수립했다(Hankyoreh, 2023a). 우리나라의 경우, 2015년에 '2030 NDC'를 발표하여 2030년까지 2018년 탄소 배출량 대비 26.3%를 감축하겠다고 밝혔으나, 이후 두 차례의 NDC 상향안을 발표하여 최종적으로 2030년까지 2018년 배

논문접수일: 2025. 02. 13. 1차 수정본 접수일: 2025. 04. 28. 2차 수정본 접수일: 2025. 05. 26. 3차 수정본 접수일: 2025. 06. 09. 게재확정일: 2025. 06. 09.

* 한양대학교 글로벌기후환경학과 박사과정(fb930619@hanyang.ac.kr), 제1저자

** 한양대학교 글로벌기후환경학과 석사과정(sieunpark@hanyang.ac.kr)

*** 한양대학교 국제학부/글로벌기후환경학과 부교수(twroh@hanyang.ac.kr), 교신저자

출량 대비 40% 감축된 4억 3,660만 톤을 감축하는 목표를 새롭게 수립했다(KIET, 2023).

2030 NDC에 따르면 우리나라는 철강을 포함한 시멘트, 화학 등에 해당하는 산업 분야의 배출량을 2018년 배출량 대비 11.4%까지 감축하고자 하며, 이는 약 2억 3,070만 톤에 해당하는 배출량으로 2030 NCD 전 부문 목표 배출량의 50% 이상을 차지한다(FOMEK, 2021). 타 부문 대비 산업 분야의 목표 배출량이 높게 설정된 이유는 실제 배출량에 기인한다. 2022년 기준 우리나라의 산업 부문 배출량은 약 2억 4,580만 톤에 달하며, 이 중 철강산업에서 발생하는 배출량이 약 37.8%(9,300만 톤)로 전체 산업 부문 배출량에서 가장 큰 비중을 차지하였다. 뿐만 아니라 한국은행의 투입산출표를 통해 분석한 결과 철강산업이 전방산업에 미치는 영향은 1.52로 전 산업 평균(1.0)과 제조업 평균(1.05)을 크게 상회하기 때문에 부품, 장비, 수송기계, 그리고 건설 부문에 주요 소재를 공급하고 있는 철강 부문의 탄소중립은 매우 중요하게 여겨지고 있다(KCCI, 2024). 이러한 관점에서 국내 철강 1위 기업인 포스코는 철강 전문 분석기관인 'World Steel Dynamics (WSD)'로부터 글로벌 1위 철강사로 평가받는 등 업계의 인정을 받고 있으나, 탄소 배출 감축에 대한 압박을 크게 받고 있다(JoongAng Ilbo, 2023; Hankyoreh, 2023b).

실제로 포스코는 과거부터 탄소 배출 감축을 위한 노력을 꾸준히 이어왔다. 포스코는 1992년부터 독자적인 FINEX 공법을 개발해왔으며, 2007년부터 연간 150만 톤의 쇳물을 생산할 수 있는 파이넥스 2공장을 가동하면서 상용화에 성공하였다(Maeil Business Newspaper, 2017a; Yonhap News, 2011). 이후에도 이산화탄소 포집 및 전환 기술 실증을 위한 노력의 일환으로 탄소 포집과 수소환원제철 등 탄소중립 기술 개발을 지속하고 있다. 또한 포스코는 2020년 당시 아시아 철강사 최초로 2050년까지 탄소중립

을 달성하겠다는 목표로 '2050 탄소중립'을 선언하였으며 2026년부터 광양제철소에 연간 250만 톤의 쇳물을 생산할 수 있는 전기로를 가동할 계획이다(KBCSD and KOSA, 2021; Maeil Business Newspaper, 2024; POSCO, 2023). 특히 포스코는 FINEX 공법에 기반을 둔 독자적인 HYREX 수소환원제철 공법 개발에 박차를 가하고 있으며, 이는 현재 샤프트(수직로) 공법과 함께 전 세계에서 단 2개만 존재하는 수소환원제철 공법 중 하나로 주목받고 있다. 수소환원제철은 제철 과정에서 코크스와 같은 탄소 함량이 높은 원료를 대신하여 수소를 투입한다. 이 과정에서 철광석에 포함된 산소가 수소와 반응하여 물이 생성되기 때문에, 탄소 배출이 발생하지 않는 '그린 철강'을 생산할 수 있게 된다(The Korea Economic Daily 2024d).

세계 각국에서는 이러한 수소환원제철에 대한 연구 개발의 중요성을 실감하고 있으며, 철강산업의 탄소중립 달성과 시장 선도를 목적으로 탈탄소 구조로의 전환을 위해 수소환원제철을 포함하여 탄소중립 기술 전반에 대한 정부 지원 정책을 마련하고 있다. 이와 동시에 수입 품목에 대해서는 글로벌 환경규제인 CBAM(Carbon Border Adjustment Mechanism), IRA(Inflation Reduction Act) 등 탄소국경조정세를 도입하고 있어 수출국들에게 탄소중립을 강하게 요구하고 있으며, 특히 CBAM의 경우 국내 EU 수출품 중 대부분을 차지하는 철강이 주요 규제 대상이 된다.

본 사례 연구는 글로벌 철강 트렌드의 변화 속에서 국내 철강 대표 기업인 포스코가 그린 철강 생산을 위해 노력하고 시장 경쟁력을 확보하는 과정에서 겪고 있는 어려움을 다루고 있다. 특히, 포스코가 현재 직면하고 있는 외부 환경과 기업이 보유한 내부 자원을 종합적으로 분석함으로써 그린 철강 생산 기술의 상용화에 필요한 자본 및 인프라의 중요성과 관련 산업과의 클러스터 형성 필요성을 다루고자 한다. 이를

통해, 이러한 역량을 갖춘 기업이 시장 지배력을 강화하기 위해 어떤 요인을 보완해야 하는지에 대한 시사점을 제시하고자 한다.

다음은 2023년 당시 김희 포스코홀딩스 탄소중립팀 탄소중립전략담당 전무 인터뷰를 통해 언급된 철강업종 탄소중립의 시급성에 대한 내용이다(Hankyoreh, 2023b).

“탄소중립이라는 건 기후변화 대응을 넘어서 이미 우리의 경영 계획에 들어와 버렸어요. 매년 세우는 계획 속에 있지요. 다만, 고로(용광로)를 당장 멈출 수는 없는 상황이고 수소환원제철 부지 마련도 지역주민과 지방자치단체의 허가를 받아야 하고 기술 개발도 진행해야 합니다. 우리는 이미 전환으로 가는 길 한 가운데 있습니다. 지금 뒤에서 기차가 달려오고 있어서 내가 그만큼의 속도를 내지 않으면 안 되겠죠. 그만큼 빨리 달려가야 하는 문제입니다.”

II. 포스코의 설립과 성장

2.1 포스코의 기업개요

포스코홀딩스는 철강, 이차전지소재, 그리고 친환경 인프라에 해당하는 세 가지 핵심 산업 부문을 중심으로 다수의 계열사를 운영하고 있다. 철강산업 부문에는 포스코, 엔투비, 포스코엠텍, 포스코스틸리온, PNR, 포스코휴먼스 등이 있다. 이차전지 소재 산업 부문은 포스코퓨처엠, 피앤오케이칼, 포스코MC머티리얼즈 등으로 구성되어 있으며, 친환경 인프라 부문에는 포스코인터내셔널, 포스코모빌리티솔루션 등이 있다. 포스코홀딩스는 지배구조 측면에서 계열사에 대한 전략적인 지분을 보유하고 있다. 이차전지 소재 영역에서는 포스코홀딩스가 포스코퓨처엠 지분의 약 59.7%를 가지고 있고 철강 분야에서 포스코에

대한 포스코홀딩스의 지분율은 100%다. 이와 같은 지배구조는 포스코홀딩스가 계열사 간 시너지를 극대화하며 사업 확장과 경쟁력 강화를 꾀하는 전략적 기반이 된다(Figure 1 참조).

포스코는 1968년 설립된 이후, 1973년 포항제철소 1기 고로의 첫 출선을 시작으로 본격적인 철강 생산을 시작하였고 1980년대에는 광양제철소 건설을 통해 철강 생산능력을 획기적으로 확대하였다(POSCO Group Newsroom, 2024). 포스코는 제철산업의 특성상 규모의 경제를 실현하기 위해 포항과 광양에 거대한 일관제철소를 보유하고 있으며, 일관제철소에서는 후판, 열연, 냉연, 도금 등 상공정 제품부터 하공정 제품에 이르는 다양한 형태의 제품을 생산할 수 있다. 포스코는 열연강판, 냉연강판, 후판, 스테인리스강 등 다양한 철강 제품을 생산하는 철강 기업으로 자동차, 조선, 건설, 에너지 등 주요 산업에 필수 소재를 공급하고 있다. 특히 포항에는 포스코 인근에 철강 산단이 위치하여 포스코에서 생산된 제품들을 재가공하여 또 다른 철강 제품을 생산하고 있다. 또한 철강을 생산하는 데 필요한 주원료인 철광석, 석탄 등의 수입이 용이하도록 해안지역에 위치해 있기 때문에 원료 수급부터 제품 생산까지 모두 한 곳에서 이루어지고 있다. 우리나라는 지하자원이 부족하여 철강 원재료를 100% 수입에 의존하고 있기 때문에 필수 원재료를 안정적으로 확보하는 것이 매우 중요하다. 이와 같은 상황에서 포스코는 1981년 호주의 마운트솔리 석탄광산 지분 인수를 시작으로 해외 광산 투자를 지속적으로 진행하고 있으며, 대형 원료 공급사들과의 장기계약을 통해 원료를 구매하는 방식을 채택하여 원재료 가격변동의 영향을 최소화하고 있다(SteelDaily, 2018). 철강업은 소비재가 아닌 소재 산업에 해당하고 산업환경이 소비재에 비해 안정적이며 제품의 수명주기가 길다는 점, 그리고 업무 프로세스가 명확하게 표준화 및 정형화 되어있다는 점에서 다른 산업에 비해 안정적인 경쟁우

위 구조를 가지고 있다(Kim and Lee, 2011).

포스코 직원들의 평균 근속연수는 남성 17.9년, 여성 12.9년으로 국내 철강 3사에 해당하는 현대제철(13.7년)과 비교했을 때 상대적으로 높게 나타난다(POSCO, 2025a; Hyundai Steel, 2025). 이처럼 임직원들의 높은 평균 근속연수에 따라 포스코는 철강에 대한 고도화된 지식과 숙련된 생산자를 보유하고 있으며 포스코는 연구시설로 '기술연구원'과 산하 연구기관인 'RIST(포항산업과학연구원)'를 보유하여 기업의 생산 효율성을 높이고 있다. 또한 포스코는 솔루션마케팅을 통해 고객이 철강 소재의 특성과 활용 방안을 충분히 이해하고 효과적으로 적용할 수 있도록 기술 지원, 제품 개발, 상업화, 인적 협업 등 전 과정을 포괄하는 맞춤형 지원을 제공한다. 포스코는 솔루션마케팅을 기반으로 단순한 제품 판매를 넘어, 고객이 자사 소재를 활용하여 혁신적인 제품을 개발하고 시장 경쟁력을 확보할 수 있도록 돕는 마케팅 프로세스를 가동한다(Kyunghyang Sinmun, 2014; Maeil Business Newspaper, 20167; POSCO Group Newsroom, 2019). 포스코는 마케팅뿐만 아니라 AI 기반의 효율적인 철강 생산라인 구축(Sisajournal-e, 2023), 자사 기술력 기반의 고부가가치 제품 생산 확대(Sisajournal-e, 2024) 등과 같이 철강 기업으로서의 지속적인 성장을 위한 여러 전략을 수립하고 있으며, 포스코그룹의 효율적이고 유연한 전략 수행을 위해 조직 구조의 개편을 검토하는 프로세스를 보유하고 있다. 실제로 포스코는 2024년 11월 발족한 '설비강건화TF팀'에 이어 다음 달인 12월에 철강 조업 안정화를 목표로 '고로안정화 TF팀'을 신설하는 등 기업의 대내외 경영 환경 변화에 신속히 대응하고 있다(POSCO Group Newsroom, 2024). 이처럼 다양한 경영 방침을 기반으로, 포스코는 2023년 기준 매출 약 77조 1,270억 원, 영업이익 3조 531억 원을 기록하고 3,844만 톤의 조강 생산량을 달성하여 세계 10대 철강 기업 중 7위에

이름을 올리며 글로벌 경기 변동 속에서도 안정적인 실적을 기록하였다(Moneytoday, 2024; POSCO Group Newsroom, 2024).

2.2 철강산업에서의 경쟁과 녹색기술의 시작: FINEX 공법

철강 생산 공정은 크게 제선-제강과 연주-압연의 공정으로 구분할 수 있다(Figure 2 참조). 제선은 쇳물을 생산하는 기초 공정으로 철광석을 녹여 용선을 만들고, 제강공정에서 용선 내 불순물을 제거하여 용강의 형태로 만든다. 연주 공정을 거친 용강은 이후 반제품인 슬라브나 빌렛으로 제조되며, 최종적으로 열간압연, 냉간압연, 도금 등의 압연공정을 거쳐 철강 제품이 생산된다.

1970년대 이후 해외 국가들은 기존의 용광로 공법을 대체할 경제적인 신기술을 개발하기 위한 노력을 이어왔다. 이에 기존 공법 대비 제조원가 절감 및 오염물질 배출 감축을 달성하기 위해 후주의 HISMELT 공법, 일본의 DIOS 공법, 유럽의 CCF 공법 등 여러 혁신적인 공법들에 대한 연구개발이 글로벌 차원에서 활발하게 진행되었고 포스코 또한 뒤늦게 1992년부터 기술 개발에 착수했다(ECONOMYChosun, 2007; POSCO, 2007). FINEX 공법이 개발 단계에 머물러있던 2000년대 초반 포스코의 철강 경쟁력은 낮은 인건비와 제철소 건설단가, 그리고 최신 설비의 효율성에 의존하고 있었다. 하지만 당시 중국은 포스코 대비 10분의 1에 불과한 비용으로 제철소를 건설하고 인력을 고용할 수 있었고 최신식 설비까지 갖추고 있었기 때문에 포스코는 이에 점차 위기 의식을 느끼기 시작했다. 이와 더불어 2003년 일본 가와사키 제철과 NKK 제철의 합병으로 JFE Steel이 설립되어 2000년대 초반에 비해 두 기업은 합병 이후 전 세계 철강 생산량 10위권에 안정적으로 위치하게 되었다. 또한 2004년 인도네시아의 철

강 기업인 이스팟 인터내셔널은 네덜란드의 LNM과 미국의 인터내셔널스틸그룹(ISG)을 인수 합병하여 철강 기업인 미탈스틸을 설립했다. 당시 LNM은 세계 조강 생산량 2위를 기록하는 최대 철강업체였으며 ISG 또한 합병이 이뤄지기 전까지 조강 생산량 상승세를 보이며 입지를 키워나가고 있었다. 이처럼 여러 철강 기업과의 합병을 통해 탄생하게 된 미탈스틸은 2006년 아르셀로와의 합병까지 성공하게 되면서 아르셀로미탈이라는 이름으로 현재까지 세계 조강 생산량 1, 2위의 자리를 유지해오고 있다(Table 1 참조). 이처럼 당시 글로벌 철강 기업들이 합병을 통해 조강 생산량을 증진시키고 대형화를 바탕으로 시장 경쟁력 제고를 추진했던 반면, 포스코는 2000년대 초반 세계 주요 철강사 생산량 순위에서 4, 5위에 머물게 되면서 중국의 거대 철강 시장에 대한 위기감을 느끼고 경쟁력 제고의 필요성을 체감하게 되었다. 이에 포스코는 가격 경쟁력을 기반으로 생산량을 확대하기 위해 제조원가를 절감하는 방안을 모색해야 했으며, 당시 개발 중이던 파이넥스 공법의 상용화에 본격적으로 매진하게 되었다(ChosunNewsPress, 2007; Dong-A Ilbo, 2009; Maeil Ilbo, 2004).

고로를 활용하는 전통적인 철강 생산 방식은 철광석을 덩어리 형태로 가공하는 소결 공정과 유연탄을 코크스로 만드는 코크스 공정을 거친 원료들을 용광로에 투입하여 환원 반응을 일으키는 방식이다. 이 과정에서 이산화탄소 배출이 필연적으로 발생한다(SteelDaily, 2011). FINEX 공법은 기존 공법을 대체하는 새로운 공정으로 분탄과 분광을 직접 사용하기 때문에 세계 철광석 매장량의 약 80%를 차지하는 값싼 분광과 일반탄을 사용할 수 있어 기존 고로 방식보다 원료비가 절감된다는 장점이 있다. 또한 철광석을 덩어리 형태로 만드는 소결 공정과 유연탄으로 코크스를 생성하는 코크스 공정이 불필요하기 때문에 관련 부대설비에 대한 투자비 절감뿐만 아니라 소결 및 코크스 공정 생략에 따른 오염물질 배출 감

축 효과도 함께 나타난다. 특히 FINEX 공정의 오염물질 배출량의 경우, 황산화물은 고로 대비 3%, 질소산화물은 1% 수준에 불과하여 환경 친화적인 공법으로도 평가받고 있다(Dong-A Ilbo, 2016; Lee and Park, 2010).

본 공법은 1992년부터 RIST 및 오스트리아 철강설비 기업인 피스트 알피네사와 공동으로 개발했으며(Edaily, 2013), 포스코는 2003년 60만 톤 규모의 데모 플랜트인 FINEX 1공장 가동을 시작으로 2007년부터 150만 톤 규모의 FINEX 2공장을 가동하기 시작했다(POSCO, 2007).

III. 포스코의 탄소중립 위기

포스코는 FINEX 2공장 가동을 시작한 2007년 이후 2010년 조강 생산량 3위를 기록하고 4, 5위의 성적을 유지해오다가 2021년부터 현재까지 7위에 머무르면서 점진적으로 순위가 하락되고 있으며, 동시에 중국에서는 바오우를 중심으로 허강, 사강, 안강과 같은 중국 철강 기업들의 생산량 순위가 상승세를 기록하게 되었다. 특히 바오우는 2020년부터 현재까지 조강 생산량 1위 자리를 놓치지 않고 있어 포스코와 대조되는 양상을 띄고 있다(Table 2 참조). 2000년대 초반부터 중국 철강 기업들의 대규모 설비투자가 이어지면서 공급 과잉의 조짐이 보이기 시작했고 2010년 즈음부터는 중국이 당시 조강 생산량 2위를 유지하고 있던 일본 대비 5~6배에 달하는 생산량을 달성했으며, 이를 기점으로 꾸준히 배수를 늘려나가 결과적으로 전 세계적인 철강 공급 과잉 문제를 야기하게 되었다(Sisajournal-e, 2019). 특히 한국과 비교했을 때 중국의 조강 생산량은 상대적으로 더 크게 느껴진다. 2023년 중국의 조강 생산량은 약 10억 톤을 기록한 반면, 한국의 경우 약 6,600

만 톤을 달성하면서 중국 생산량의 10분의 1 수준에도 미치지 못하는 것을 확인할 수 있다(KOSA, 2024). 이러한 상황에서 중국의 철강 기업들은 압도적인 생산량을 기반으로 저가 철강을 통한 수출 경쟁력을 키워가고 있고 국내 시장의 경우 중국산 후판은 국산 대비 20%, 열연강판은 5~10% 저렴하게 판매되고 있다. 또한 중국은 전체 수출량의 50%에 달하는 철강을 아세안 지역에 수출하고 있어 포스코가 아시아 시장 내에서 가격 경쟁력을 기반으로 중국 철강 기업을 제치고 우위를 점하는 것은 거의 불가능할 것으로 파악된다(Table 3 참조).

다만, 국내 철강업계의 유럽 수출 비중이 높다는 점을 고려했을 때, 포스코에게 있어 동남아시아 다음으로 규모가 큰 유럽 시장을 집중적으로 공략하는 것은 포스코가 현 상황을 돌파할 수 있도록 돕는 수단이 될 수 있다(Table 4 참조). 한국은 2021년 기준 EU의 주요 철강 수입국 중 하나로 터키, 러시아, 인도, 우크라이나에 이어 5위를 차지하고 있으며, EU를 대상으로 2021년과 2022년에 각각 43억 달러(약 5조 6,000억 원)와 44억 달러(약 5조 7,200억 원)의 수출액을 달성하였다(Yonhap News, 2023; NEWSPIM, 2023). 게다가 2022년 한국의 지역별 철강 수출량의 경우 수출량이 가장 높은 동남아시아(510만 톤) 다음으로 EU(350만 톤)가 높은 비중을 차지하게 되면서 유럽으로 수출되는 한국 철강 규모가 상당하다는 사실을 파악할 수 있다. 이는 유럽 철강 시장의 규모를 고려할 때, 국내 철강 기업들이 EU로의 철강 수출에 차질이 없도록 사전 조치를 마련하는 것이 중요하다는 점을 시사한다.

하지만 현재 EU는 자국으로 수입되는 제품에 대해 제품 생산 과정에서 발생한 탄소 배출량을 반영하여 추가적인 관세를 부과하는 CBAM의 시행을 확정지었으며, 다가오는 2026년부터 전면 시행할 예정이다. 2023년 10월부터 전환 기간이 시작된 CBAM이 2026년부터 본격 시행될 경우, EU 역외에서 수입된 제품

의 탄소 배출량이 역내에서 생산된 동일 제품에 비해 배출량이 많다면 인증서 구매를 통해 초과분에 대한 의무를 준수해야 한다. 2026년부터 본격적으로 CBAM이 시행되면, EU의 주요 철강 수입국인 한국이 부담해야 하는 인증서 구매비용은 2026년 851억 원 수준에서 2034년 연간 5,500억 원을 상회할 것으로 전망된다(KCCI, 2024). 미국도 CBAM과 유사하게 철강 생산 시 배출되는 온실가스 1톤당 55달러의 관세를 부과하는 법을 도입하는 것을 검토 중에 있다. 탄소국경세가 본격적으로 도입될 경우 가장 큰 타격을 받는 국내 산업은 바로 철강이다. 이러한 가능성을 고려했을 때, 현재 글로벌 철강산업은 탄소 배출에 따른 관세 부담으로 인해 유럽 및 미국이 아닌 상대적으로 규제가 약한 아시아 시장 등으로 수출이 집중되어, 해당 국가들에서의 경쟁 또한 치열해질 것으로 예측된다. 또한 현재 국내 시장이 중국의 저가 철강재로 인해 경쟁력이 약화된 것을 감안하면 저탄소 철강 기술의 개발 없이는 포스코의 경쟁력은 지속적으로 약화될 것으로 보인다.

일본 철강 생산량 1위 기업인 닛폰스틸도 포스코와 마찬가지로 글로벌 철강 생산량 순위권에 위치해 있지만 포스코와 동일하게 저가 중국산 철강재의 공급 과잉과 해외 진출 확장이라는 도전 과제에 직면하고 있다. 1990년대 후반까지만 해도 세계 1위의 자리에 위치해 있던 일본의 철강산업은 버블 붕괴로 인해 2000년대부터 침체되기 시작했다. 이후 중국 철강산업의 성장과 더불어 2006년 아르셀로미탈이라는 거대 철강 생산 기업이 등장하게 되면서 닛폰스틸은 2010년에 처음으로 철강 생산량 부문에서 포스코에게 밀리며 6위로 추락했다. 이에 닛폰스틸은 경쟁력 강화와 생산성 증진을 위해 기업 간 합병을 고안하였고 2012년 10월, 일본 철강 기업 스미모토금속과 합병을 체결하였다. 이들의 합병은 매우 효과적이었는데, 닛폰스틸은 합병 이후 2013년에 조강 생산량 5,010만 톤, 2014년에 4,790만 톤을 달성하며(Table 5 참조)

당시 약 9,000만 톤의 조강 생산량을 기록하던 아르셀로미탈에 이어 조강 생산량 세계 2위를 기록하게 되면서 닛폰스틸은 합병 이후 2년간 2위의 자리를 지켜냈다. <Table 2>에 따르면, 닛폰스틸은 합병 이후 2023년까지 글로벌 조강 생산량 부문에서 5위 밑으로 내려간 적이 없으며 최근 3년 연속으로 4위를 기록하고 있다(Magazine Hankyung, 2015).

이처럼 공급 과잉 시대를 맞아 기업 간 합병을 통해 경쟁력을 창출하고 생산성을 향상하는 것이 글로벌 철강업계의 흐름이었고 닛폰제철뿐만 아니라 아르셀로미탈 또한 흐름에 맞춰 합병을 추진한 바 있으며 합병의 결과 조강 생산량 증진을 통해 시장 경쟁력을 향상하고 유지할 수 있었다. 반면, 합병을 기반으로 한 대규모 확장 방식을 택하지 않은 포스코는 2000년대 초반에 글로벌 조강 생산량 3위를 기록하였지만 이후 글로벌 경기 침체와 공급 과잉 등으로 인해 수익성이 하락하면서 생산 감소세를 보여왔고 2021년부터 2023년까지 3년 연속 7위에 머무르고 있다. 이처럼 생산량 부문에서는 경쟁사들에 비해 낮은 증가세를 보이고 있지만 포스코는 대규모 생산이 아닌 고부가가치 철강 생산 방식을 추구해오고 있다. 실제로 포스코와 닛폰스틸의 매출액과 영업이익률을 비교했을 때 매출액의 경우 생산량이 많은 닛폰스틸이 상대적으로 높게 나타나지만, 영업이익률은 평균적으로 포스코 대비 낮게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

이처럼 포스코는 대규모 생산이 아닌 높은 제품 기술력 기반의 고부가가치 철강 생산으로 경쟁력을 키워나가고 있다. 이러한 포스코의 전략적 방향을 고려할 때, 포스코는 앞서 언급한 유럽 시장뿐만 아니라 탄소중립 달성이라는 시대상을 반영하여 추후 환경규제를 도입하는 국가가 늘어날 것에 대비하여 장기적인 관점에서 친환경 고부가가치 철강 생산을 위한 혁신을 추가적으로 검토할 필요가 있다(Sisajournal-e, 2019).

IV. 탄소중립을 달성하기 위한 포스코의 과제

4.1 철강업계의 노력

철강산업은 단일산업 중 온실가스를 가장 많이 배출하는 산업으로, 많은 철강 기업들이 온실가스를 저감하기 위한 다양한 방안들을 연구 중에 있다. 철강산업의 저탄소 기술은 기존 고로 및 전기로 방식의 설비를 동일하게 활용하여 이산화탄소 배출을 일부 저감하는 방식과 새로운 혁신 기술을 도입하여 공정의 전면적 개편을 통해 이산화탄소 배출을 획기적으로 저감하는 방식으로 구분된다. 현존하는 기술을 활용하는 방식으로는 철스크랩 기반 전기로, 에너지 효율 개선, 탄소 포집 및 저장 기술(Carbon Capture and Storage, CCS) 확보 등이 있으며, 혁신 기술로는 수소환원제철, 철광석 전기분해 등의 방식이 존재한다(KIET, 2022).

4.1.1 스크랩 기반 전기로 증대

전기로를 통해 철을 생산할 경우, 고로 대비 약 20% 수준의 온실가스가 배출된다(MaterialEconomics, 2019). 포스코는 전기로 기반의 철을 생산하기 위해 2021년 탄소중립 계획을 발표하면서 철스크랩 사용 비중을 2030년까지 최대 30% 늘리겠다는 목표를 세웠으며, 중국도 2035년까지 동등한 수준으로 스크랩 사용량을 증가시킬 계획을 수립하였다(Ferrotimes, 2024). 하지만 전기로는 원료인 스크랩의 수급 상황에 따라 전기로 기반의 철강 생산량이 크게 좌우되며, 스크랩 이외에 불순물 성분으로 인해 생산 가능한 강종이 제한적이다. 특히 철스크랩은 현재 전 세계적으로 사용 비중이 35% 수준에 그치지만, 2030년에는 50%로 확대될 것으로 예상되고 있으며, 중국과 미국

의 연간 사용량은 40~50%까지 증가할 것으로 예측되어 전 세계 철스크랩 교역량은 15% 감소할 것으로 전망된다. 이에 따라 2030년 1,500만 톤의 철스크랩 공급부족이 발생할 것으로 예측된다(BCG, 2024). 따라서 스크랩 공급 문제가 해결되지 않을 경우 전기를 통해 생산할 수 있는 물량이 제한될 수 있다.

4.1.2 탄소 포집 및 저장(CCS) 기술 확보

CCS는 이산화탄소를 포집하여 저장장소로 운반한 후 대기 중에 들어가지 않는 곳에 침전시키는 일련의 기술을 의미한다. 포집된 이산화탄소는 주로 폐유전이나 가스전, 안정된 지질층 등에 저장된다. CCS는 잠재적으로 철강의 모든 분야에 적용할 수 있다. 하지만 CCS 시설을 운영하기 위해서는 대량의 압축된 이산화탄소를 운송하고 저장하는 과정에서 기술적인 문제뿐만 아니라 경제적인 문제도 존재한다. 파이프라인을 통해 액화 또는 압축된 이산화탄소를 지상 혹은 해양에 위치한 저장장소로 운송해야 하지만, 실제 인프라 구축에 대규모 비용이 발생하기 때문이다(SNMnews, 2023). 또한 CCS 기술이 온실가스 감축보다는 기존 화석연료 산업의 수명 연장 수단으로 활용되는 것에 대한 문제의식이 높기 때문에 이와 관련하여 국제 시민사회의 비판도 증가하고 있다(SFOC, 2021).

4.1.3 에너지 효율 개선

철강산업은 에너지 집약적 산업으로 철강 생산 공정에 투입되는 에너지의 비용은 전체 철강 생산 비용의 20~40%를 차지하고 있다. 이는 기업의 영업이익에 막대한 영향을 미치기 때문에 철강업계는 지속적으로 에너지 효율성을 향상시키고자 했으며, 그 결과 1960년 이후 조강 1톤을 생산하는 데 필요한 에너지는 초기 대비 60%까지 감소했다. 하지만 에너지 효

율성 향상에는 구조적인 한계가 존재하며, 2005년 이후로는 추가적인 개선이 사실상 정체 상태에 이르렀다(worldsteel, 2021). 실제로 국내 철강산업은 과거부터 일본과 더불어 전 세계에서 생산 과정의 에너지 효율성이 가장 높은 것으로 평가되고 있어, 향후 에너지 효율 개선을 통한 온실가스 배출 저감 여력은 제한적인 것으로 파악된다(KIET, 2022).

4.1.4 수소환원제철

그린 수소를 환원제로 투입하여 생산된 철강을 전기로에서 녹여 쇳물로 만드는 수소환원제철 기술은 탄소중립에 가장 근접한 기술로 평가받고 있다. 수소환원제철은 철광석으로부터 철을 생산할 때 수소를 사용하는 혁신적인 기술로, 수소가 석탄을 대신해 철광석에서 산소를 분리시키는 환원제 역할을 수행하기 때문에 환원 과정에서 탄소 배출이 발생하지 않는다. 환원제로 석탄 대신 수소를 쓴다는 것은 보기에는 간단해 보일 수 있지만, 수소를 환원제로 사용함으로써 기존의 철강 생산 공법에 많은 변화가 발생하게 된다. 수소환원제철 공정에서는 먼저 환원로에서 철광석이 고온으로 가열된 수소와 접촉하여 직접환원철을 제조한다(Figure 3 참조). 이후 직접환원철을 전기로에 넣어 녹이면 쇳물이 생성되는 원리다(Bridgenews, 2022). 수소환원제철 기술의 상용화를 위해 독일 SALCOS, 스웨덴 HYBRIT, 일본 Super COURSE 50 등 해외에서 다수의 프로젝트가 진행 중이며, 한국의 경우 포스코의 수소환원제철 공법인 HyREX를 개발 중에 있다. 다만, 유럽과 일본 등 주요 철강 생산 국가에서 개발 중인 환원로 기술은 수직로에서 고품위 철광석 기반 펠릿을 그린 전력으로 생성된 수소로 환원하여 직접환원철을 제조하는 방식인 반면, 한국의 수소환원제철 기술은 포스코의 파이넥스 공정을 바탕으로 수직로가 아닌 유동환원로를 통해 직접환원철을 생산하여 전기로에서 녹이는 방식을 활용한다

(KIET, 2022). 추가로 국내 경쟁업체인 현대제철의 경우, 하이큐브(Hy-Cube)라는 수소환원제철 기술 개발을 목표로 설정하였지만 이와 관련된 구체적인 기술 개발 일정 및 검증 계획은 아직까지 공개되지 않고 있다(SFOC, 2024b).

4.2 포스코의 미래: HyREX 공법

철강 기업들은 오랜 기간 동안 고로 기반의 생산 방식을 주로 활용해왔다. 고로를 활용할 경우 분광을 소결하여 덩어리로 만드는 소결 공정과 석탄을 가공하여 코크스 환원제를 만드는 코크스 공정이 필요하며 두 공정에서 필연적으로 탄소 배출이 발생하게 된다. 이후 포스코는 소결 과정 필요 없이 분광만으로도 철강 생산이 가능한 FINEX 공법을 개발하여 경제성과 환경성을 모두 확보했지만, 포스코가 궁극적으로 달성하고자 했던 것은 탄소 배출이 전혀 발생하지 않는 공법의 개발이었다. 고로 대비 친환경적인 FINEX 공법의 상용화가 성공한 이후, 포스코는 국가 NDC 목표를 기반으로 탄소중립 달성 및 친환경 철강으로의 도약을 위해 현재 수소환원제철 도입에 박차를 가하고 있다. 포스코의 경쟁사인 유럽의 아르셀로미탈, 일본의 닛폰스틸 등 전 세계 주요 철강사들은 모두 탄소중립을 목표로 수소환원제철 기술을 상용화하기 위해 앞다투어 기술 개발을 진행하고 있지만, 포스코는 해외의 다른 철강사들과는 다른 방식으로 수소환원제철을 개발하고 상용화하기 위해 노력하고 있다.

포스코는 2050년 탄소중립을 달성하기 위해 5~10년 단위로 달성하고자 하는 목표 감축량을 설정하였으며, 탄소중립 로드맵 통해 수소환원제철 기술 개발부터 상용화까지의 계획을 공개하여 탄소중립 달성 전략을 수립하였다. 포스코의 수소환원제철 공법인 HyREX는 FINEX 공법과 유사하게 철광석과 수소를 용융 환원로에 넣어 직접환원철을 생산하고 이를

전기로에서 정제하여 제품을 생산하는 것으로, FINEX의 유동 환원로 기술과 그룹사 SNNC의 전기 용융로 기술을 결합한 포스코만의 독자적인 수소환원제철 공법이다(Ministry of Trade, Industry and Energy, 2024). 포스코는 HyREX 공법 상용화를 위해 임시 조직이었던 HyREX 추진 TF와 전기로 사업 추진 TF를 각각 '하이렉스추진반'과 '전기로사업추진반'으로 격상하여 수소환원제철 사업을 촉진하기 위한 조직 개편을 진행했다(The Korea Economic Daily, 2024c).

HyREX 공정의 대부분은 기존 FINEX 공정과 유사하지만, FINEX 공정에서는 공정 중에 발생하는 일산화탄소(CO) 75%와 수소(H₂) 25%를 환원제로 사용하는 반면, HyREX 공정은 100% 수소만을 환원제로 사용한다는 점에서 차이가 있다. 탄소 감축 측면에서 FINEX 대비 탄소 배출이 전혀 발생하지 않는 HyREX의 감축 효과가 압도적으로 높기 때문에 포스코는 현재 HyREX 공법 상용화에 집중하고 있다(POSCO Group Newsroom, 2021). 주요 철강 생산 국가들의 수소환원제철 공법인 샤프트 공법은 HyREX와 달리 고품질의 철광석 펠릿을 활용하여 고온의 수소환원 가스가 환원로에 적층된 펠릿 사이를 아래에서 위로 통과하면서 환원 반응을 유도하는 수직로에서 직접환원철을 제조한 후, 이를 전기로에서 용융하는 방식이다. 이러한 수직로형 수소환원제철 공정이 전 세계적으로 확산될 경우, 향후 고품위 펠릿의 수급 곤란이라는 문제가 예상된다. 하지만 포스코의 HyREX 공정을 활용할 경우, 펠릿을 대체하는 일반 분철광석을 투입하여 펠릿 생산과정에서 배출되는 탄소를 절감할 수 있다. 무엇보다 철광석 중 물동량이 가장 많고 원가가 저렴한 저품위 분광을 사용하게 되어 원료 수급 측면에서 제약이 없으며 샤프트 공법과 달리 펠릿을 별도로 생산하는 공정이 없기에 상대적으로 원자재 단가가 매우 저렴하다(KIET, 2022; Edaily, 2023). 또한 기술 측면에서 환원로의 열이 부족해지

면 철광석의 환원 효율이 떨어지기 때문에 수소환원 제철에서 환원로의 온도 제어는 매우 중요한데, 포스코의 유동환원로는 고온의 기체 흐름에 의해 입자들이 혼합되며 온도의 분포가 균일하게 이루어지기 때문에 상단과 하단의 온도차가 발생하기 쉬운 샤프트 환원로 대비 환원로의 온도 제어에 유리하다(The Korea Economic Daily, 2022). 따라서 포스코는 HyREX를 통해 시장 내에서 가격 경쟁력을 높이고 향후 경쟁우위를 확보하여 기업의 지속가능성을 높일 수 있을 것으로 기대된다(Ministry of Trade, Industry and Energy, 2024).

V. 포스코의 HyREX 상용화의 어려움

포스코는 HyREX 공법 개발 완료 시기를 2030년으로 설정했으며, 기술 개발 이후 기술 상용화 검증부터 유동환원로, 전기로 등 수소환원제철 생산에 필요한 신규 설비 건설까지 완료되어 기술의 상용화가 가능해지는 시기를 2050년으로 설정하고 있다(POSCO Group Newsroom, 2022). 하지만 HyREX 공법이 철강산업에서 필연적으로 발생하는 탄소 배출 문제를 근본적으로 해결할 수 있는 가능성을 제시하고 있음에도 불구하고 해당 기술로의 전환과정에는 여러 제약이 존재한다.

5.1 정부 차원의 재정적 지원

철강산업은 국가 경제의 기반 산업으로, 대량의 탄소를 배출하는 특성상 이러한 EU의 CBAM과 같은 무역장벽 규제가 시행되는 경우 직격탄을 맞을 가능성이 높다. 만약 철강 제품의 탄소 배출 감축이 이루어지지 않는다면, EU를 포함한 주요 수출 시장에서 높은 관세 부담이 발생하여 수출 경쟁력이 급격히 약화될 가

능성이 높다. 때문에 글로벌 환경 규제는 각국의 철강 기업들이 생존을 목표로 그린 철강 생산을 위한 탄소 중립 기술 개발에 더욱 박차를 가하도록 압력을 가한다고 볼 수 있다(POSCO Group Newsroom, 2023).

하지만 일부 해외 경쟁 기업들이 수소환원제철의 상용화 시점을 2025년으로 제시한 반면, 포스코는 공법 개발의 어려움을 고려하여 이를 2030년으로 설정하며 상대적으로 보수적인 접근을 취하고 있다. 탄소 다배출 산업군에 해당하는 철강산업의 구조 전환을 위해서는 기존의 고로 공정을 대체할 기술의 개발뿐만 아니라 신기술 검증, 실증 가능성 테스트, 신규 설비 구축 등 상용화까지의 전 과정에서 엄청난 양의 자금이 필요하다. 실제로 포스코에 따르면 2050년까지 탄소중립 달성을 위해 약 40조 원의 비용이 필요하며, 특히 수소환원제철 공법 개발과 기존 설비 전환을 위해 약 20조 원이 필요한 것으로 파악되었다(POSCO Holdings, 2023). 2050년 탄소중립까지 포스코에 남은 시간은 약 25년 남짓이나, 평균 연간 순이익을 1조 원으로 보고 연간 순이익 전액을 탄소중립 전략 실행에 투입한다고 하더라도 2050년 탄소중립 달성은 어렵다는 결론이 나온다. 포스코는 탄소중립 달성을 위해 노력하고 있지만 2050년까지 탄소중립을 실현시키기 위해서는 현재 보유하고 있는 설비들의 매몰비용, 그리고 순이익 대비 현저히 높은 투자 비용이 수반되어야 하기 때문에 추가적인 지원 없이 탄소중립을 달성하는 것은 요원한 상황이다(The Korea Economic Daily, 2024b; The Korea Economic Daily, 2024e). 하지만 현재까지 철강산업 탈탄소화를 위해 정부에서 지원 가능한 예산은 총 2,658억 원에 그치고 있으며, 이 중 2,416억 원(약 90%)이 기존 설비 개선에 배정되었고, 수소환원제철 설비로의 전환에는 단 269억 원만 할당되었다. 무엇보다 수소환원제철에 할당된 269억 중 기술 상용화에 해당하는 실증프로젝트에 대한 지원금은 없는 것으로 확인되었다(Figure 4 참조). 이는 글로벌

경쟁국들이 공공 보조금의 대부분을 수소환원제철 설비 전환에 집중 투자하고 있는 것과 대조적인 상황이다. 또한 장기적인 경기 불황으로 포스코의 수익성이 긍정적이지 않은 가운데 정부 보조금 없이 연구개발 비용을 감당해야 하는 상황이 지속될 경우, 포스코가 2025년 달성을 목표로 하고 있는 기초 기술의 개발 이후 기술의 실제 적용 가능성과 효율성을 평가하기 위한 실증프로젝트가 충분히 진행되지 못할 것으로 예상된다(SFOC, 2024a; The Korea Economic Daily, 2024a). 주요 철강 생산 국가에 속하는 일본, 미국, 독일, 스웨덴과 비교했을 때, 한국의 철강 생산량은 3번째로 높은 반면 철강산업의 탄소 배출 감축을 달성하기 위해 수소환원제철 기술의 개발 및 상용화에 할당되는 공공 지원금 규모는 269억 원으로 가장 낮은 수준이다(Figure 5 참조). 한국과 가장 격차가 크게 나타나는 독일의 경우, 조강 생산량은 2023년 기준 3,500t으로 한국(6,700t)의 절반 정도를 기록했지만 정부 지원금의 규모는 한국 대비 약 38배 이상으로 고로 기반 시설을 빠른 시일 내에 전환하고 수소환원제철 상용화를 달성하겠다는 정부 주도의 적극적인 정책 지원이 이어지고 있다. 이러한 현실은 한국 철강산업이 글로벌 경쟁에서 뒤처질 수 있는 위험을 내포하고 있으며, 정부의 탈탄소화 정책이 실효성을 가지려면 보다 구체적이고 실질적인 투자 계획이 요구된다.

5.2 인프라 고도화

5.2.1 수소 공급 인프라

철강 생산 방식이 수소환원 방식으로 전환되기 위해서는 충분한 수소 공급과 안정적인 청정에너지 공급 체계 확보가 가장 중요하다. 우리나라는 물론 세계 주요국들은 정부가 적극적으로 수소 산업 활성화를 위해 다양한 정책을 마련하고 있지만 국내 수소

산업은 아직까지 발전 초기 단계라고 할 수 있다. 수소 인프라 구축 또한 미흡한 실정으로 본격적인 개발과 적극적인 투자가 요구되고 있으며 특히 수소 산업의 인프라 구축은 향후 철강산업의 미래 경쟁력과도 직결되는 중요한 사안으로 철강을 생산하는 탄소중립의 핵심적인 해결책으로 평가된다(SNMnews, 2024).

현재 우리나라의 철강산업을 기준으로 확인한 결과, 일반적으로 고로를 가동하여 제강할 경우 제강에 필요한 에너지 중 약 89%는 고로에 투입되는 석탄과 제강 과정에서 발생하는 가스 등에서 발생하고 나머지 11%는 전력으로 충당된다. 이때 해당 전력의 약 70%가 고로에서 발생한 에너지를 회수하여 만든 부생 전력이다. 즉, 철강 생산에 필요한 에너지의 약 96.7%가 화석연료로부터 발생한다고 볼 수 있다. 하지만 수소환원제철 기술을 상용화할 경우, 화석연료 기반의 공정이 없어지면서 약 96.7%의 에너지원이 사라지게 된다(The Korea Economic Daily, 2024a). 수소환원제철이 가능해지기 위해서는 철강 환원제로 석탄 대신 수소를 투입해야 하기 때문이다. 이처럼 수소환원제철 공법으로의 전환이 이뤄질 경우, 그린 철강 생산이 실현될 수 있지만 해당 공법의 경제성과 관련하여 문제가 발생한다. 수소환원제철 기술의 경제성은 국가별 여건에 따라 큰 차이를 보이고 있다. 특히 한국은 세계 주요 철강 생산국 7개국(미국, EU, 중국, 일본, 한국, 브라질, 호주) 중 수소환원제철 방식이 고로-전로 방식보다 경제성이 낮은 유일한 국가로 평가되었다. 한국에서 고로-전로 방식으로 철강 1톤을 생산하는 데 드는 총 비용은 605달러인 반면, 수소환원제철 방식은 621달러가 소요된다. 이와 반대로, 중국의 경우 고로-전로 방식(539달러/톤)보다 수소환원제철 방식(517달러/톤)이 더 경제적인 것으로 나타났다. 이는 한국의 높은 재생에너지 비용과 그린 수소 생산 단가가 주요 원인으로 작용하고 있기 때문이다. 재생에너지 비용은 수소환원제철 기술

의 경제성을 좌우하는 주요 요소이다. 한국의 그린 수소 생산 비용은 1kg당 약 10달러이며 미국, 영국, 중국, 브라질 등 주요국이 1kg당 약 5달러인 점과 비교했을 때 거의 두 배에 달한다(Table 6 참조). 블룸버그 NEF의 전망에 따르면, 2030년에도 한국의 그린 수소 생산 단가는 1kg당 약 3달러로, 같은 시기 주변국의 평균 단가인 2달러보다 여전히 높을 것으로 예상된다. 또한, 재생에너지는 단순히 수소 생산뿐만 아니라 수소환원제철 공정의 2단계 과정인 전기로 운영에도 필수적이기 때문에 재생에너지 비용이 수소환원제철 기술의 경제성 확보에 중요한 영향을 미치는 것으로 확인된다(Economy of Sustainable Growth, 2024b).

5.2.2 전력 공급 인프라

철강 생산방식이 수소환원방식으로 전환되기 위해서는 충분한 수소의 공급과 더불어 안정적인 청정 에너지의 공급 체계 확보가 가장 중요하다. 특히 수소 환원제철 공법을 통해 탄소중립을 달성하기 위해서는 그린 수소를 환원제로 투입해야하며 그린 수소 생산을 위해서는 재생에너지를 100% 사용해야 한다. 하지만 재생에너지 자체가 가지고 있는 특성으로 인해 국내에서 생산이 어려운 부분들이 있다. 2022년 기준 전 세계의 전력 공급량 중 재생에너지를 통한 전력 공급은 29.9%를 차지한다. 하지만 국내는 2022년 기준 약 8.1% 수준으로 전 세계 평균 대비 현저히 낮은 재생에너지를 공급하고 있다(Hankyoreh, 2024). 국제사회에서도 NDC 달성을 위해 일사량, 풍속 등 자연적인 조건의 변화에 따라 발전량 및 출력 변동성이 큰 재생 에너지(주로 태양광, 풍력)의 발전 비중을 늘려왔으나, 전력 수요와 발전량이 불일치 하는 경우 전력망 안정성 유지를 위해 재생에너지 출력 제한이 발생한다(KDB, 2023). 이러한 전력 안정성은 철강 기업 자체의 노력만으로는 한계가 있고, 특히 재생

에너지의 간헐성은 안정적인 재생에너지 전력 공급에 많은 어려움을 제공한다(OhmyNews, 2024). 따라서 수소환원제철로의 전환에 대비하기 위해 변동성이 큰 재생에너지의 출력을 안정적으로 관리하는 전략이 필요하다. 이를 위해 전력 계통 유연성 확대를 통해 재생에너지 변동성에 대응하려는 전략을 수립함과 동시에 안정적인 에너지 공급을 위해 무탄소 에너지를 확대하는 두 가지 전략이 병행될 필요가 있다.

첫째, 재생에너지 변동성에 대응하는 전략이다. 재생에너지로의 전환 기초 유지를 위해 전력망 안정성 및 유연성 강화를 위해 세계 각국은 에너지저장시스템(Energy Storage System, ESS), 양수발전, 가스 복합발전 등 유연성 자원을 확보하여 전력망의 재생에너지 수용성 강화를 위해 노력하고 있다. 덴마크 등 유럽 주요국은 인접국과 연계 송전망을 구축하고 초과 또는 과소 생산되는 재생에너지 전력을 수출입하여 전력망 운영의 유연성을 확보하고 있으며, 미국, 영국, 독일, 호주의 경우 ESS 및 양수발전을 활용해 전력망 변동성을 완화하고 있다(KDB, 2023). 정부 차원에서도 전력 계통에 대한 투자를 진행하여 투자 문제로 인해 재생에너지 발전을 중단하는 일이 없도록 인프라를 구축할 필요가 있고, 재생에너지 발전의 간헐성에 대응하기 위해 스마트그리드, ESS에 대한 투자 등이 활발하게 진행될 수 있도록 돕는 지원이 필요하다(ECONOMYChosun, 2023).

둘째, 무탄소 에너지에 대한 전략이다. 무탄소 에너지는 온실가스를 배출하지 않는 에너지원으로 많이 알려져 있는 태양광, 풍력 등의 재생에너지뿐만 아니라 원자력, 수소, 탄소포집/활용/저장 기술(Carbon Capture, Utilization, and Storage, CCUS) 등을 포함한다(Electimes, 2023). 기후 위기를 극복하기 위해 기업의 전력 수요를 100% 재생에너지로 조달하자는 RE100과 같은 자발적인 민간 이니셔티브가 추진되고 있으나, 이행 수단을 재생에너지로만 한정하고 있어 국가 또는 지역별 여건과 기업별로 다

양한 전력 사용패턴이 충분히 반영되지 못하고 있다(KEEi, 2024). 이러한 상황 속에서 무탄소 에너지가 RE100의 현실적인 대안으로 부상하고 있다(Electimes, 2023). 이를 위해 우리나라에서도 2023년 9월 무탄소 에너지의 국제 확산과 선진국-개도국 간 기후 격차 해소를 위한 국제 플랫폼으로 'CF 연합' 결성을 제안하였고, 2023년 10월에는 국내에서 'CF 연합'을 출범하고 탄소 중립 이행 수단으로 특정 에너지원을 지정하는 방식 대신 기술 중립적 관점에서 탄소 배출이 없는 다양한 에너지원을 활용하자는 'CFE 이니셔티브' 개념을 국제사회에 본격적으로 알리기 시작하였다. 그 결과 제28차 기후변화협약 당사국총회(COP28)에서는 합의문 내에 역대 최초로 재생에너지뿐만 아니라 무탄소 에너지가 온실가스 감축 수단으로 명시된 바 있다(KEEi, 2024).

철강 공정은 24시간 연중 대규모 전력이 필요한 공정으로 재생에너지만으로는 전력 수급을 감당할 수가 없다. 그렇기 때문에 원전 등 무탄소 에너지를 상호보완적으로 활용하는 것이 철강산업의 경쟁력을 향상시키는데 중요한 역할을 할 수 있다. 무탄소 에너지 활용의 가장 대표적인 예로, 포항 인근 동해안에 위치한 원전에서 발생하는 잉여 전력을 안정적으로 공급받아 경제성 있는 수소를 생산하는 방안이 있다(Hankyoreh, 2023c). 이러한 잉여 전력이 전력 수급 지역에 도달하기 위해서는 송전망의 확장이 필요하다. 따라서 무탄소 에너지를 효과적으로 활용하기 위해서는 추가 전력망 인프라 구축이 필수적이다(Munhwa Ilbo, 2024). 이와 함께 송전선로 부족으로 송전에 제약이 있는 울진 원자력 발전소에서 생산되는 전력을 영덕과 포항으로 연결하는 전력망을 구축하는 사업이 신속하게 진행되어야 한다(Daegu ilbo, 2024). 우선적으로는 신재생에너지의 확대에 집중하는 것이 중요하겠지만, 현실적인 탄소중립 목표를 달성하기 위해 무탄소 에너지 공급 확대에 대해서도 충분한 논의가 필요한 시점이라고 볼 수 있다.

VI. 글로벌 경쟁사들의 탄소중립 프로젝트

수소환원제철 기술 개발의 필요성이 대두됨에 따라 수소를 100% 활용하는 철강 생산을 목적으로 글로벌 차원에서 수소환원제철 기술 개발 및 상용화를 위한 프로젝트가 진행되고 있으며, 실제로 프로젝트를 통해 유의미한 성과를 달성한 경우도 다수 있다(Table 7 참조).

첫째, 스웨덴의 HYBRIT 프로젝트가 있다. 스웨덴의 철강 기업인 SSAB의 주도 하에 진행되고 있는 HYBRIT 프로젝트의 경우 동일 국가의 철광석 공급기업 LKAB와 전력 에너지기업 Vattenfall의 합작으로 설립된 벤처기업을 기반으로 운영된 시범 프로젝트를 2026년까지 철강 생산 시 탄소중립을 달성하는 것을 목표로 설정하고 있다(Ferrotimes, 2020). 본 프로젝트는 스웨덴과 EU의 지원을 받아 운영자금을 확보했으며 이를 기반으로 수소를 환원제로 투입하는 수소환원제철 생산에 성공했다(HYBRIT, 2023; LKAB, 2022). 다만, 아직까지 본 프로젝트 기반의 수소환원제철 공정 과정에서는 철 속 불순물을 제거하기 위해 탄산칼슘이 투입되는데, 이때 일부 탄소 원소가 이산화탄소 형태로 방출되기 때문에 아직까지 100% 무탄소 철강 생산을 달성하지는 못한 상황이다(NEWS, 2024; SSAB, 2024).

둘째, 독일의 SALCOS 프로젝트가 있다. 독일의 철강 기업인 Salzgitter를 중심으로 여러 연구소 및 기업과 함께 진행되고 있는 SALCOS 프로젝트는 HYBRIT와 동일하게 수소환원제철 기술 개발 및 상용화를 위해 추진되었다. 이와 더불어 환원 과정에 필요한 그린 수소 생산을 위해 WindH2와 GrInHy 2.0이라는 별도의 하위 프로젝트를 도입하여 수소 환원제철 생산에 필요한 조건들을 체계적으로 갖춰 나가고 있다. 본 프로젝트는 독일 연방 공화국과 니더작센주의 지원을 받아 진행됐고 이를 기반으로 WindH2

를 통해 풍력 발전으로 생성된 전기로 녹색 수소를 생산하기 위한 풍력 터빈 설치를 완료했으며, GrInHy 2.0을 통해 산업 폐열과 재생 전기를 활용하여 실제 녹색 수소 생산에 성공하였다(Salzgitter, 2023). 다만, 아직까지 생산 공정에 천연가스가 수소와 함께 환원제로 투입되고 있어 100% 수소로만 구성된 환원제 사용은 달성하지 못한 상황이다(Salzgitter, 2021, 2022, 2024).

마지막으로 일본의 COURSE 50이 있다. COURSE 50이라는 명칭으로 시작되어 현재는 Super COURSE 50으로 진행되고 있는 본 프로젝트는 NEDO(신에너지·산업기술총합개발기구)의 주관 하에 이뤄진 국책사업이다. 본 프로젝트는 일본의 주요 철강사인 닛폰스틸과 JFE Steel, 그리고 Kobe Steel의 협업으로 진행되고 있으며 위의 두 프로젝트와 동일하게 수소환원제철 기술 개발 및 상용화를 위해 추진되고 있다. 다만, 두 프로젝트와 달리 기존 고로를 활용하는 수소환원제철 공법을 고안했다는 점에서 차이가 존재한다(POSRI, 2020). NEDO의 지원을 기반으로 진행된 본 프로젝트는 시험 고로 가동 결과, 프로젝트 초기에 계획했던 탄소 배출량 저감 목표를 최대 33%까지 초과 달성하는 성과를 기록했지만(NIPPON STEEL, 2024), 감축 성과의 측정 방식을 제시하고 있지 않기 때문에 정확히 어느 정도의 감축 성과를 달성했는지 측정이 어려운 상황이다(SteelWatch, 2024; Global Eco News, 2021).

Ⅶ. 결론 및 시사점

현재는 반도체와 배터리가 산업계를 대표하는 분야로 주목받고 있지만, 과거부터 철강은 '산업의 쌀'이라는 명칭의 주인이었다. 실제로 박태준 故 포스코 회장은 좋은 품질의 철을 만들어 나라를 부강하게 하

고자 하는 "제철보국"의 창업정신을 표명했다(Kim, Lee and Kim, 2013). 1970년대 해외 국가들이 기존 고로 공법을 대체하는 신기술을 개발하기 위해 노력하는 동안, 1973년 포항제철소 1기 고로의 첫 출선으로 철강 생산을 시작한 포스코는 1980년대 광양제철소 건설을 통해 철강 생산 역량을 급격히 확대하면서 철강 시장에서의 입지를 확립해나갔다. 이후 포스코는 생산 설비를 기반으로 1990년대에 들어 기술 혁신을 기반으로 글로벌 철강 시장에서의 입지를 넓히고자 하였으며, 이후 FINEX 공법 개발에 성공하였다. 하지만 중국의 철강 생산량 증가로 인한 철강 공급 과잉이 심화되고 글로벌 철강 기업 간 합병으로 포스코의 시장 경쟁력이 약화되면서 포스코는 가격 경쟁력 기반의 생산량 증폭을 위해 FINEX 공법을 상용화하였고, 글로벌 차원에서 탄소 감축 이슈가 대두되면서 2010년대 이후 글로벌 철강 기업들이 수소환원제철 공법 개발에 착수하게 되면서 프로젝트 단위의 기술 개발 및 상용화에 집중하게 되었다. 이때 포스코는 단순히 가격 경쟁력뿐만 아니라 그린 철강 생산을 목표로 수소환원제철 공법인 HyREX 개발을 시작하였다(Table 8 참조).

하지만 글로벌 경기침체와 전방 산업의 경쟁력 약화와 함께 탄소중립이라는 새로운 시대적 요구가 맞물리며 철강산업은 큰 도전에 직면하고 있다. 특히 CBAM 등 해외 주요국들의 탄소 관련 규제 시행으로 철강사의 탄소 저감에 대한 압박과 국내보다 더 적극적인 정책을 펼치고 있는 해외 철강사들의 기술 개발 진척도 등을 고려하면 포스코가 아시아 철강사 최초로 2050 탄소중립을 선언하였고, 14년 연속 세계에서 가장 경쟁력 있는 철강사 1위를 유지해오고 있음에도 그 미래는 불투명하다(JoongAng Ilbo, 2023). 글로벌 경쟁 속에서 국내 철강산업이 도태될 경우 이는 철강 생산량의 감소로 이어지며, 철강 150만 톤의 생산 감축은 전후방 산업에 2.4조 원 규모의 영향을 미칠 것으로 예측되고 있어 국가 산업 전반

에 걸쳐 이 영향은 확대될 것으로 파악된다. 이는 장기적인 관점에서 저탄소 철강 기술 개발을 통한 포스코의 탄소중립 달성이 국가 차원에서도 절실한 상황이라고 볼 수 있다(Bank of Korea, 2022). 또한 한국 철강산업의 2022년 온실가스배출량은 국가 배출량의 37.8%를 차지하고 있는 만큼 철강산업에서 탄소중립이 진행되지 않을 경우 국가 전체의 NDC 준수도 불가능한 상황이다. 국가 전체의 NDC 목표 미달성은 국제사회에서 국가 ESG 등급의 하락에 따른 신뢰도 하락의 요인이 될 것이며, 글로벌 투자자 및 금융기관의 자본 이탈 등으로 이어져 더 큰 문제를 유발할 수 있다.

따라서 포스코의 탄소중립은 국내 산업 및 국가 경쟁력과 직결된다는 인식을 가지고 기업뿐만 아니라 국가 차원에서 함께 해결 방안을 모색할 필요가 있다. 그 중 하나의 방안으로 유한한 자원의 효율적 사용을 고안해 볼 수 있다. 미세먼지와 온실가스는 긴밀히 연결되어 있기 때문에 동시 저감을 위해서는 이들의 상호관계를 고려해 통합적으로 관리해야만 유사 정책의 중복성을 줄이고 시너지효과를 증대시킬 수 있다(Chungcheong Times, 2023). 포스코의 경우 지속적인 환경규제 강화로 탄소중립이 달성되면 대부분 매물비용으로 발생하게 될 대기환경 개선 투자에 2018~2023년 1조 7천억 원이 집행되었고 추가로 2024~2026년에 1조 원의 집행이 예정되어 있다(POSCO Holdings, 2023). 탄소중립을 향해 나아가야 하는 현 시점에서 탄소중립, 대기, 에너지 정책을 동시에 규제받고 있어 탄소중립을 위한 비용을 감소시키고 있다. 이처럼 중복된 규제를 하나로 통합하여 관리하는 것도 탄소중립을 위해 국가 차원에서 선택할 수 있는 방안이 될 수 있다(KIET, 2022).

트럼프 2기 체제가 시작되면서 트럼프 행정부는 바이든 행정부가 도입했던 청정 에너지 정책을 철회하고 전력 부문의 규제를 완화하는 방향으로 정책을 수정하였으며, 석유, 석탄, 천연가스 산업을 적극 지

원하는 에너지 정책을 진행 중에 있다(KIEP, 2025). 하지만 국제 사회는 미국의 정책 변화에도 불구하고 기후 대응을 지속하려는 의지를 분명히 하고 있어, 오히려 뒤늦게 탄소 감축에 대응하고 있는 한국은 트럼프 2기 기간 동안 재생에너지 인프라 구축 등을 통해 빠르게 다른 국가들을 따라잡아야 한다(Economy of Sustainable Growth, 2024a).

References

- Bank of Korea. (2022). Assessing the economic impact of disruptions in crude steel production. Retrieved from <https://www.bok.or.kr/portal/bbs/P0002353/view.do?nttId=10074499&menuNo=200433>
- BCG. (2024). Shortfalls in Scrap Will Challenge the Steel Industry. Retrieved from <https://www.bcg.com/publications/2024/shortfalls-in-scrap-will-challenge-steel-industry>
- Bridgenews. (2022). [Viva 100] Goodbye, blast furnace ...A green steel revolution with hydrogen-based ironmaking, 2022/08/10. Retrieved from <https://www.viva100.com/20220809010002045>
- ChosunNewsPress. (2007). Mergers and acquisitions will continue to achieve economies of scale. Retrieved from <https://monthly.chosun.com/client/news/print.asp?ctcd=&nNewsNumb=200707100041>
- Chungcheong Times. (2023). Two sides of the same coin: Greenhouse gases and fine dust - Part ①, 2023/11/21. Retrieved from <https://cctimes.kr/news/articleView.html?idxno=776358>
- Daegu ilbo. (2024). Gyeongbuk is going to build submarine power grid along east coast...

- Utilizing surplus energy for various industries in push for energy transition, 2024/10/10. Retrieved from <https://www.idaegu.com/news/articleView.html?idxno=616957>
- Dong-A Ilbo. (2009). World's No. 1 steelmaker Mittal Steel merges with No. 2 Arcelor, 2009/09/29. Retrieved from <https://www.donga.com/news/Economy/article/all/20060627/8322890/1>
- Dong-A Ilbo. (2016). [Energy Innovation] World's first commercialization of FINEX... Transforming the Steelmaking Paradigm, 2016/02/24. Retrieved from <https://www.donga.com/news/Economy/article/all/20160223/76622024/1>
- Economy of Sustainable Growth. (2024a). [Opening the era of grassroots ESG] The decarbonization opportunity Trump gave to South Korea, 2024/11/20. Retrieved from <https://www.esgeconomy.com/news/articleView.html?idxno=8871>
- Economy of Sustainable Growth. (2024b). Korea has the world's highest cost for hydrogen reduction ironmaking..."Due to expensive renewable energy", 2024/09/03. Retrieved from <https://www.esgeconomy.com/news/articleView.html?idxno=7817>
- ECONOMYChosun. (2007) Meet the five pioneers behind POSCO's FINEX innovation, 2007/07/05. Retrieved from https://economychosun.com/site/data/html_dir/2007/07/05/2007070500027.html
- ECONOMYChosun. (2023). ESG management that only pretends to be good - All shell, no substance beyond the environment, 2023/07/07. Retrieved from <https://www.chosun.com/economy/2023/07/04/BNBVCREG5RHCTBW6LTQTJUZ6TA/>
- Edaily. (2013). [Creative DNA] POSCO overcomes limits with FINEX technology, 2013/10/02. Retrieved from <https://www.edaily.co.kr/News/Read?newsId=01866326602968984&mediaCodeNo=257>
- Edaily. (2023). POSCO's fluidized bed reactor vs. Overseas shaft furnace - What's the difference? [Future Tech 25], 2023/09/12. Retrieved from <https://www.edaily.co.kr/News/Read?newsId=02876566635739464&mediaCodeNo=257>
- Electimes. (2023). Not just RE100, but CF100... Nuclear power gains ground in carbon neutrality push, 2023/05/05. Retrieved from <https://www.electimes.com/news/articleView.html?idxno=319513>
- European Commission. (2022a). State aid: Commission approves €1 billion German measure to support Salzgitter decarbonize its steel production by using hydrogen. Retrieved from https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_5968
- European Commission. (2022b). HYBRIT Demonstration: Swedish large-scale steel value chain demonstration of hydrogen breakthrough Iron-making technology. Retrieved from https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-funding-climate-action/innovation-fund/innovation-fund-projects_en
- European Commission. (2023a). Commission approves €2.6 billion German State aid measure to support StahlHolding-Saar decarbonise its steel production through hydrogen use. Retrieved from https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_23_6647
- 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. Retrieved from https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/es/ip_23_3928
- European Commission. (2023c). State aid: Commission approves €55 million German measure to support ArcelorMittal's green steel demonstration plant. Retrieved from https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/lt/ip_23_847
- 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. Retrieved from https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/ga/ip_24_1009
- Ferrotimes. (2020). [German correspondent] Sweden's SSAB complete 'HYBRIT' hydrogen reduction pilot plant, 2020/09/04. Retrieved from <https://www.ferrotimes.com/news/articleView.html?idxno=7348>
- Ferrotimes. (2024). [Issue Report] 15 million tons scrap shortage...Steelmakers must prepare for a 'raw materials war' through M&As, 2024/03/25. Retrieved from <https://www.ferrotimes.com/news/articleView.html?idxno=33209>
- FOMEK. (2021). 2030 upgraded nationally determined contribution (NDC) target for greenhouse gas reduction. Retrieved from https://www.fomek.or.kr/main/policy/law/policy_view.php?wr_id=476
- Global Eco News. (2021). "Efforts by steel companies to achieve carbon neutrality: Focusing on cases from Japan, 2021/11/16. Retrieved from <https://www.hkbs.co.kr/news/articleView.html?idxno=655477>
- Hankyoreh. (2023a). Will countries face penalties under the paris agreement if they fail to reduce greenhouse gas emissions?, 2023/08/03. Retrieved from <https://www.hani.co.kr/arti/society/environment/1102714.html>
- Hankyoreh. (2023b). Being the No. 1 carbon emitter is a heavy burden...It must be a national industrial task, 2023/09/12. Retrieved from <https://www.hani.co.kr/arti/economy/marketing/1108103.html>
- Hankyoreh. (2023c). Carbon-free energy is the core for the green deal economy, 2023/09/27. Retrieved from <https://www.hani.co.kr/arti/opinion/because/1110371.html>
- Hankyoreh. (2024). south Korea falls behind in renewable energy - Fails to meet global RE100 standards, 2024/03/20. Retrieved from <https://www.hani.co.kr/arti/society/environment/1133134.html>
- HIGH NORTH NEWS. (2024). Fossil-Free Steel Production in Northern Sweden: The Hybrit Project Goes Industrial. Retrieved from <https://www.highnorthnews.com/en/fossil-free-steel-production-northern-sweden-hybrit-project-goes-industrial>
- Hyundai Steel. (2025). Annual Report(2024.12). Retrieved from <https://dart.fss.or.kr/>
- JoongAng Ilbo. (2023). POSCO named world's most competitive steelmaker for 14 consecutive years, 2023/12/21. Retrieved from <https://www.joongang.co.kr/article/25218197>
- KBCSD and KOSA. (2021). Guidelines for estimating and reporting social greenhouse gas reductions in South Korea steel industry. Retrieved from https://www.kosa.or.kr/statistics/fileBoard_view.jsp?index=9376&page=&category=&keyword=

- KCCI. (2024). The impact of CBAM implementation on the steel industry and its implications. Retrieved from https://www.korcham.net/nCham/Service/Economy/appl/KcciReportDetail.asp?SEQ_NO_C010=20120938876&CHAM_CD=B001
- KDB. (2023). Issues and current responses to renewable energy generation curtailment. Retrieved from <https://eiec.kdi.re.kr/policy/domesticView.do?ac=0000174723>
- KEEI. (2024). Energy Focus, 2024 Spring edition (Vol. 21, No. 1, Total issue No. 91). Retrieved from <https://www.keei.re.kr/board.es?mid=a10102040000&bid=0002>
- KIEP. (2025). Key measures and implications of a potential second Trump administration's executive actions. Retrieved from https://www.kiep.go.kr/gallery.es?mid=a10102030000&bid=0004&list_no=11652&act=view
- KIET. (2022). Carbon neutrality strategies and policy tasks for the steel industry. Retrieved from https://www.kiet.re.kr/research/paperView?paper_no=774&skey=&sval=
- KIET. (2023). Comprehensive study on 2050 carbon neutral industrial strategy [Volume 1] Case studies and strategies of major countries. Retrieved from https://www.kiet.re.kr/research/reportView?report_no=1085&skey=&sval=&pg=1&pp=10
- Kim, C. S. and Lee, Y. K. (2011). The Aligned Evolution of Strategy, Structure, and Culture in a Changing Environment : The Case of POSCO. *Korean Management Science Review*, 28(3), 47-60.
- Kim, H. J., Lee, K. Y., and Kim, H. C. (2013). Coevolution of Environmental Contexts and Stakeholder Management: The POSCO Case. *Korea Business Review*, 17(2), 245-292.
- KOSA. (2024). [Monthly steel statistics] December 2024 edition. Retrieved from https://www.kosa.or.kr/statistics/BooSteel_list_2011.jsp
- Kyunghyang Sinmun. (2014). POSCO takes the lead with 'Solution marketing' - Proactively solving customer challenges, 2014/10/30. Retrieved from <https://www.khan.co.kr/article/201410292056005>
- Lee, J. M., and Park, M. S. (2010). Case Study on the strategic technology development of POSCO's FINEX. *Korea Business Review*, 14(1), 157-176.
- LKAB. (2023). Positive decision on support for LKAB and HYBRIT. Retrieved from <https://lkab.com/en/press/positive-decision-on-support-for-lkab-and-hybrit/>
- Maeil Business Newspaper. (2017a). Posco produces 20 million tons of molten iron using FINEX process in just 10 years and 8 months since its development, 2017/12/07. Retrieved from <https://www.mk.co.kr/news/business/8086013>
- Maeil Business Newspaper. (2017b). POSCO Ushers in a New Era of Customized Steel Tailored to Customer Demands, 2017/06/08. Retrieved from <https://www.mk.co.kr/news/business/7853629>
- Maeil Business Newspaper. (2024). POSCO begins construction of 2.5 million tons electric arc plant in Gwangyang...Operations to start in 2026, 2024/02/06. Retrieved from <https://www.mk.co.kr/news/business/10937730>
- Maeil Ilbo. (2004). POSCO paves the way for a second leap forward with world's first successful development of blast furnace alternative steel-making technology, 2004/08/17. Retrieved from <https://www.m-i.kr/news/articleView.html?idxno=272>

- Magazine Hankyung. (2015). Japan's steel industry spreads its wings for a comeback, 2015/07/03. Retrieved from <https://magazine.hankyung.com/business/article/202102227377b>
- main page . (2025b, January 15). POSCO.
- Material Economics. (2019). Material economics industrial transformation 2050. Retrieved from <https://materialeconomics.com/node/13>
- Ministry of Trade, Industry and Energy. (2023). Steel industry development strategy for transition to low carbon steel production. Retrieved from <https://www.motie.go.kr/kor/article/ATCL3f49a5a8c/166810/view>
- Ministry of Trade, Industry and Energy. (2024). Steelmakers push for carbon neutrality with proprietary hydrogen-based steelmaking-Emissions-Free molten iron production in sight. Retrieved from <https://tongsangnews.kr/webzine/202407/2024070580177.html>
- Moneytoday. (2024). As China floods the world with exports, global markets shake...The original steel glut from China (China differentiated), 2024/08/25. Retrieved from <https://news.mt.co.kr/mtview.php?no=2024082210565485785>
- Munhwa Ilbo. (2024). Severe transmission line shortage...Urgent need for a power grid act [Forum], 2024/05/16. Retrieved from <https://www.munhwa.com/article/11429897>
- NEWSPIM. (2023). [2023 Outlook] IRA and CBAM... Auto and steel industries must overcome trade barriers to survive, 2023/01/02. Retrieved from <https://www.newspim.com/news/view/20221229000680>
- NIPPON STEEL. (2024). 革新的技術開発によるCO2削減. Retrieved from <https://www.nipponsteel.com/csr/env/warming/future.html>
- OhmyNews. (2024). Hydrogen-based steelmaking emerges as key to decarbonizing steel...Debate splits over renewable vs. Carbon-Free energy, 2024/09/13. Retrieved from https://www.ohmynews.com/NWS_Web/View/at_pg.aspx?CNTN_CD=A0003063354
- Overview of the green innovation fund projects. (2025, January 15). NEDO
- POSCO Group Newsroom. (2019). From 'marketing solution' to 'shared growth solution!', 2019/12/20. Retrieved from <https://url.kr/vrcwqd>
- POSCO Group Newsroom. (2021). Hydrogen-based steelmaking - The future of steel!?, 2021/02/01. Retrieved from <https://url.kr/xi62ci>
- POSCO Group Newsroom. (2022). In-Depth look at POSCO's HyREX hydrogen-based steelmaking technology, 2022/05/10. Retrieved from <https://url.kr/v49s8q>
- POSCO Group Newsroom. (2023). The imminent carbon border tax and how steelmakers are responding, 2023/11/22. Retrieved from <https://url.kr/g9kc7v>
- POSCO Group Newsroom. (2024). POSCO Group announces 2025 organizational restructuring and executive appointments, 2024/12/23. Retrieved from <https://url.kr/wakxj4>
- POSCO Holdings. (2023). 2023 POSCO Holdings Sustainability Report. Retrieved from <http://www.posco-inc.com/poscoinc/v4/kor/esg/s91e4000400c.jsp>
- POSCO. (2007). 2007 Sustainability Report. Retrieved from <https://sustainability.posco.com/S91/S91>

- F10/kor/cmsspage.do?mmcd=1745996979005381
- POSCO. (2021). POSCO corporate citizenship report 2021. Retrieved from <https://sustainability.posco.com/S91/S91F10/kor/cmsspage.do?mmcd=1745996979005381>
- POSCO. (2023). 2023 POSCO Sustainability Report. Retrieved from <https://sustainability.posco.com/S91/S91F10/kor/cmsspage.do?mmcd=1745996979005381>
- POSCO. (2025a). Annual Report(2024.12). Retrieved from <https://dart.fss.or.kr/dsab007/main.do>
- POSRI. (2020). Japan's three major blast furnace companies join COURSE 50 - Early achievement of CO₂ reduction targets using hydrogen-based steelmaking, 2020/12/01. Retrieved from <http://gih.posri.re.kr:8080/gihesaes/boards/detail/150>
- Roosevelt Institute. (2024). Leading with industrial policy: Lessons for decarbonization from Swedish green steel, Retrieved from <https://rooseveltinstitute.org/publications/leading-with-industrial-policy/>
- Salzgitter AG. (2021). Wind Hydrogen Salzgitter - WindH2 - an important step on the path to decarbonizing the steel industry. Retrieved from <https://www.salzgitter-ag.com/en/newsroom/press-releases/details/translate-to-englisch-windwasserstoff-salzgitter-windh2-ein-wichtiger-schritt-auf-dem-weg-zur-dekarbonisierung-der-stahlindustrie-14823.html>
- Salzgitter AG. (2022). GrInHy2.0: Green Hydrogen for Green Steel. Retrieved from <https://www.salzgitter-ag.com/en/newsroom/press-releases/details/grinhy20-green-hydrogen-for-green-steel-20194.html>
- Salzgitter AG. (2023). SALCOS® milestone reached - Salzgitter AG awards contract for direct reduction plant. Retrieved from <https://www.salzgitter-ag.com/en/newsroom/press-releases/details/salcos-milestone-reached-salzgitter-ag-awards-contract-for-direct-reduction-plant-20791.html>
- Salzgitter AG. (2024). Salzgitter Group secures two ECA-covered Green Loan financings for a total amount of €500 million. Retrieved from <https://www.salzgitter-ag.com/en/newsroom/press-releases/details/salzgitter-group-secures-two-eca-covered-green-loan-financings-for-a-total-amount-of-eur500-million-21623.html>
- SFOC. (2021). Current status and challenges of carbon capture, utilization, and storage (CCUS) technologies. Retrieved from <https://forourclimate.org/ko/research/438>
- SFOC. (2024a). The future of green steel: Hydrogen reduction ironmaking. Retrieved from <https://forourclimate.org/ko/research/275>
- SFOC. (2024b). [Press Release] Hyundai Steel's week decarbonization plan: A roadblock to Hyundai Motor's 2045 carbon neutrality goal?, 2024/10/31. Retrieved from <https://forourclimate.org/ko/newsroom/990>
- Sisajournal-e. (2019). Even after merger, Japan's Nippon Steel - The world's No. 3 steelmaker - Fails to surpass Korean Rivals, 2019/08/22. Retrieved from <https://www.sisajournal-e.com/news/articleView.html?idxno=205053>
- Sisajournal-e. (2023). POSCO completes 45% of smart steel production line upgrade...Full-Scale adoption of AI begins, 2023/03/12. Retrieved from <https://www.sisajournal-e.com/news/article>

- View.html?idxno=297766
- Sisajournal-e. (2024). POSCO boosts R&D spending amid China's low-price offensive... "Responding with high-value products", 2024/08/23. Retrieved from <https://www.sisajournal-e.com/news/articleView.html?idxno=405215>
- SNMnews. (2023). CCS projects expand to support steel industry decarbonization, 2023/04/06. Retrieved from <http://www.snmnews.com/news/articleView.html?idxno=515183>
- SNMnews. (2024). Building hydrogen infrastructure: Another challenge on the Road to carbon-neutral steel, 2024/10/21. Retrieved from <http://www.snmnews.com/news/articleView.html?idxno=542400>
- SteelDaily. (2011). What is POSCO's FINEX? Q&A explained, 2011/06/28. Retrieved from <https://www.steeldaily.co.kr/news/articleView.html?idxno=69049>
- SteelDaily. (2018). For POSCO, competitiveness begins with raw materials, 2018/11/26. Retrieved from <https://www.steeldaily.co.kr/news/articleView.html?idxno=134358>
- SteelWatch. (2024). Nippon Steel and hydrogen: Why Super COURSE50 is the wrong path for climate action. Retrieved from https://steelwatch.org/reports/brief_ns_h2_en/
- Swedish Energy Agency. (2023). Hybrit is granted SEK 3.1 billion. Retrieved from <https://www.energimyndigheten.se/en/news/2023/hybrit-is-granted-sek-3.1-billion/>
- The Korea Economic Daily. (2022). The era of carbon neutral 'Green steel' - Hydrogen-based steelmaking is the key technology, 2022/11/02. Retrieved from <https://www.hankyung.com/article/2022110209581>
- The Korea Economic Daily. (2024a). Green hydrogen infrastructure must be built for decarbonization, 2024/10/05. Retrieved from <https://www.hankyung.com/article/202409244711i>
- The Korea Economic Daily. (2024b). The future of green steel remains uncertain...Urgent need for investment in low-carbon transition technologies, 2024/07/05. Retrieved from <https://www.hankyung.com/article/202406235886i>
- The Korea Economic Daily. (2024c). POSCO established new division for hydrogen-based steelmaking, 2024/06/30. Retrieved from <https://www.hankyung.com/article/2024063016551>
- The Korea Economic Daily. (2024d). Exploring hydrogen-based steelmaking technology-The decarbonization compass for the steel industry, 2024/06/05. Retrieved from <https://www.hankyung.com/article/202405276149i>
- The Korea Economic Daily. (2024e). Carbon neutrality in steel will require tens of trillions in investment..., 2024/06/04. Retrieved from <https://www.hankyung.com/article/2024060456861>
- Transition Asia. (2024). Green steel economics. Retrieved from <https://transitionasia.org/green-steel-economics/>
- U.S. Department of Energy. (2022). Industrial decarbonization roadmap. Retrieved from https://www.energy.gov/eere/iedo/industrial-efficiency-and-decarbonization-funding-opportunity-announcement?nrg_redirect=458044
- Vattenfall. (2022). HYBRIT receives support from

- the EU Innovation Fund. Retrieved from <https://group.vattenfall.com/press-and-media/pressreleases/2022/hybrit-receives-support-from-the-eu-innovation-fund>
- Vattenfall. (2024). HYBRIT: Six years of research paves the way for fossil-free iron and steel production on an industrial scale. Retrieved from <https://group.vattenfall.com/press-and-media/pressreleases/2024/hybrit-six-years-of-research-paves-the-way-for-successful-fossil-free-iron-and-steel-production-on-an-industrial-scale>
- worldsteel(2023), Steel - the permanent material in the circular economy. Retrieved from <https://worldsteel.org/media/publications/steel-permanent-circular-economy/>
- worldsteel. (2021). Energy use in the steel industry. Retrieved from <https://worldsteel.org/media/fact-sheets/>
- Yonhap News. (2011). POSCO redefines steelmaking history with FINEX technology, 2011/06/28. Retrieved from <https://www.yna.co.kr/view/AKR20110628145400003>
- Yonhap News. (2020). [Five years after the Paris Agreement] ① '2050 carbon neutrality'... Not a choice, but a necessity, 2020/11/15. Retrieved from <https://www.yna.co.kr/view/AKR20201112089700530>
- Yonhap News. (2023). Introduction of EU carbon tax...\$6 billion annual exports to Europe at risk, Korean steel industry feels the 'Heat', 2023/04/27. Retrieved from <https://www.yna.co.kr/view/AKR20230426042151003>

〈Table 1〉 Annual Production Rankings of Major Global Steel Companies (2002 - 2007)

Rank	2002	2003	2004	2005	2006	2007
1	ArcelorMittal	ArcelorMittal	Arcelor	Mittal Steel	ArcelorMittal	ArcelorMittal
2	LNM	LNM	Mittal Steel	Arcelor	Nippon Steel	Nippon Steel
3	Nippon Steel	Nippon Steel	Nippon Steel	Nippon Steel	JFE	JFE
4	POSCO	JFE	JFE	POSCO	POSCO	POSCO
5	Baowu Steel	POSCO	POSCO	JFE	Baowu Steel	Baowu Steel
6	Corus	Baowu Steel	Baowu Steel	Baowu Steel	US Steel	Tata Steel
7	thyssenkrupp	Corus	US Steel	US Steel	Nucor	AnshanBenxi
8	NKK	US Steel	Corus	Nucor	Tangsteel	Shagang
9	Riva	thyssenkrupp	Nucor	Corus	Corus	Tangsteel
10	US Steel	Nucor	thyssenkrupp	Riva	Riva	US Steel

Source: worldsteel (<https://worldsteel.org/>)

〈Table 2〉 Annual Production Rankings of Major Global Steel Companies (2010 - 2023)

Rank	2010	2013	2016	2019
1	ArcelorMittal	ArcelorMittal	ArcelorMittal	ArcelorMittal
2	Baowu Steel	Nippon Steel	Baowu Steel	Baowu Steel
3	POSCO	HBIS	HBIS	Nippon Steel
4	Nippon Steel	Baowu Steel	Nippon Steel	HBIS
5	JFE Steel	WISCO	POSCO	POSCO
6	Shagang	POSCO	Shagang	Shagang
7	Tata Steel	Shagang	Ansteel	Ansteel
8	Ansteel	Ansteel	JFE Steel	Jianlong
9	Severstal	Shougang	Shougang	Tata Steel
10	EVRAZ	JFE Steel	Tata Steel	Shougang
Rank	2020	2021	2022	2023
1	Baowu Steel	Baowu Steel	Baowu Steel	Baowu Steel
2	ArcelorMittal	ArcelorMittal	ArcelorMittal	ArcelorMittal
3	HBIS	Ansteel	Ansteel	Ansteel
4	Shagang	Nippon Steel	Nippon Steel	Nippon Steel
5	Nippon Steel	Shagang	Shagang	HBIS
6	POSCO	HBIS	HBIS	Shagang
7	Ansteel	POSCO	POSCO	POSCO
8	Jianlong	Jianlong	Jianlong	Jianlong
9	Shougang	Shougang	Shougang	Shougang
10	Shandong Steel	Tata Steel	Tata Steel	Tata Steel

Source: worldsteel (<https://worldsteel.org/>)

〈Table 3〉 Major Destination Countries and Regions for Chinese Steel Exports in 2023 (unit: million tons)

EU27	The Americas	Africa	Japan	Other Asian Countries	Oceania	Others	Total
4.5	2.2	3.8	1.1	44.8	0.9	37	94.3

Source: worldsteel (<https://worldsteel.org/>)

〈Table 4〉 Regional Sales Distribution of POSCO in 2023 (unit: %)

Southeast Asia	Europe	Japan	China	Others	Total
20	17	16	10	37	100

Source: DART (<https://dart.fss.or.kr/>)

〈Table 5〉 Comparison between POSCO and Nippon Steel

Firm	Category	2010	2011	2012	2013	2018	2021	2023
POSCO	Revenue	32.582	29.172	35.665	30.544	30.659	39.920	38.972
	Operating Profit	4.904	4.196	2.781	2.215	3.809	6.650	2.083
	Operating Margin	15	10	7.7	7.4	12	16	5.3
	Crude Steel Production	35.4	39.1	39.9	38.4	42.9	43.0	38.0
Nippon Steel	Revenue	4.110	4.091	4.390	5.516	5.922	6.809	8.868
	Operating Profit	0.166	0.079	0.020	0.298	-0.284	0.841	0.779
	Operating Margin	4	1.9	0.5	5.4	-4.8	12	8.7
	Crude Steel Production	35.0	33.4	47.9	50.1	49.2	49.5	43.7

Source: DART (<https://dart.fss.or.kr/>), Nippon Steel (<https://www.nipponsteel.com/en/>), worldsteel (<https://worldsteel.org/>)

Note: Revenue and operating profit are measured in trillions; operating margin is expressed as a percentage (%); crude steel production is measured in million tons. The currency unit is KRW for POSCO and JPY for Nippon Steel.

〈Table 6〉 Steel Production Cost per Ton by Country and Process (unit: USD)

Country	Process	Blast Furnace -Electric Furnace	Hydrogen Direct Reduction		
			Hydrogen \$5/kg	Hydrogen \$3/kg	Hydrogen \$1/kg
China		539	764	640	517
Japan		601	832	709	585
Korea		605	868	745	621
United States		565	791	668	544
EU		668	854	730	607
Brazil		504	723	599	476
Australia		536	763	640	516

Source: Transition Asia (2024)

〈Table 7〉 Hydrogen Reduction Ironmaking Projects by Country

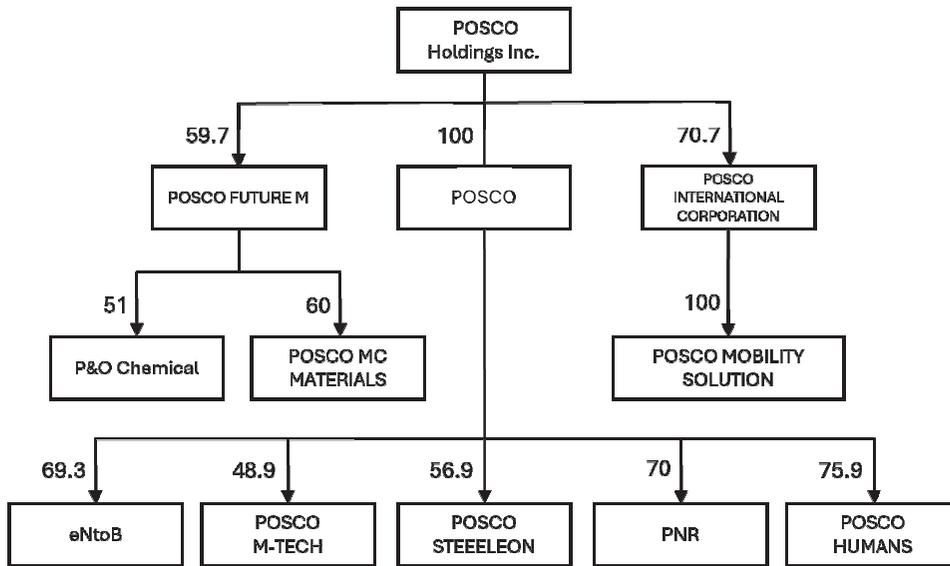
Project	HYBRIT	SALCOS	COURSE 50 / Super COURSE 50
Period	2018~	2015~	2008~2022 / 2022~
Participating Organization	SSAB, LKAB, Vattenfall	Salzgitter and other research institutes and companies	Nippon Steel, JFE, Kobe
Logo			
Source	https://rekrytering.hybritdevelopment.se/en-GB	https://salcos.salzgitter-ag.com/en/index.html	https://www.greins.jp/course50/en/
Project	Category	Description	
HYBRIT	Overview	<ul style="list-style-type: none"> - Participating Organization: SSAB (Swedish steelmaker), LKAB (Swedish iron ore supplier), Vattenfall (Swedish energy company) - Operational Structure: Project operated through a joint venture called HYBRIT, established by the three participating firms. 	
	Funding	<ul style="list-style-type: none"> - Industrial Leap (Swedish funding program): SEK 3.1 billion (approx. KRW 400 billion) - EU Innovation Fund: EUR 143 million (approx. KRW 190 billion) 	
	Achievement & Limitation	<ul style="list-style-type: none"> - Achievement: Successfully produced and supplied hydrogen-reduced steel (2021) - Limitation: Carbon emissions still occur during impurity removal in the steelmaking process 	
SALCOS	Overview	<ul style="list-style-type: none"> - Participating Organization: Salzgitter (German steelmaker), in collaboration with various research institution and energy companies - Operational Structure: Led by Salzgitter, the project encompasses several sub-projects under a unified green steel vision 	
	Funding	<ul style="list-style-type: none"> - German Federal Government and State of Lower Saxony: EUR 1 billion (approx. KRW 1.4 trillion) 	
	Achievement & Limitation	<ul style="list-style-type: none"> - Achievement: Successful installation and trial operation of wind turbines for green hydrogen production - Limitation: Carbon emissions remain due to the combined use of hydrogen and natural gas as reductants 	
COURSE 50 / Super COURSE 50	Overview	<ul style="list-style-type: none"> - Participating Organization: Nippon Steel, JFE Steel, Kobe Steel (major Japanese steelmakers) - Operational Structure: A national R&D initiative led by NEDO (New Energy and Industrial Technology Development Organization), initially launched as COURSE 50, now upgraded to Super COURSE 50 	
	Funding	<ul style="list-style-type: none"> - NEDO: Approx. JPY 10 billion (approx. KRW 1.05 trillion) for COURSE 50 - Green Innovation Fund: Approx. JPY 121 billion (approx. KRW 1.18 trillion) for Super COURSE 50 	
	Achievement & Limitation	<ul style="list-style-type: none"> - Achievement: Achieved a 33% reduction in CO₂ emission compared to conventional methods (based on pilot furnace tests) - Limitation: Did not disclose a standardized measurement method, making it difficult to validate the exact reduction level 	

〈Table 8〉 POSCO’s Response Process to Market Changes

Category	Market	POSCO
Since 1970s	- Initiated developing new technologies to replace traditional blast furnace methods on a global scale	- In 1992, POSCO began technology development - Successfully developed the FINEX process
Since 2000s	- Growth of China’s steel industry - Increased crude steel production through mergers among global steel companies	- POSCO aimed to increase production based on price competitiveness - Successfully commercialized the FINEX process
Since 2010s	- Europe, Japan, and other global players initiated the development of hydrogen-based steelmaking technologies	- POSCO began developing new technologies to enhance price competitiveness and produce green steel
Present	- Oversupply of Chinese steel has dominated the Asian market - Carbon neutrality issues such as CBAM and the U.S IRA have emerged	- POSCO is currently developing the HyREX process - Facing difficulties in commercialization

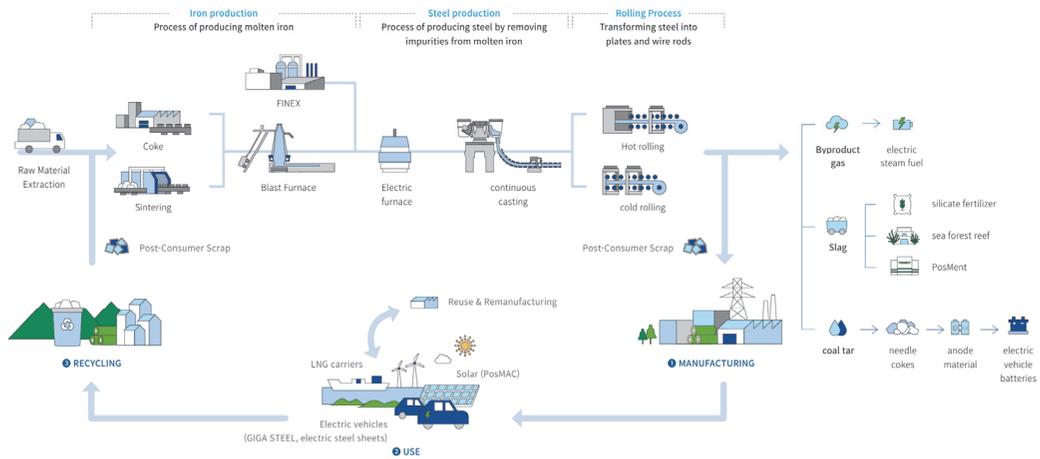
〈Table 9〉 Analysis of POSCO’s Dynamic Capabilities Compared to Major Steel-Producing Countries’ Projects

Category	Sensing	Seizing	Reconfiguring
COURSE 50	Full-scale formulation of carbon neutrality strategy (2008)	Initiation of hydrogen-based steelmaking process development (2008)	Utilizes existing blast furnace facilities and reconfigures reductants
POSCO	Full-scale formulation of carbon neutrality strategy (2021)	Conceptualization of hydrogen-based steelmaking process (2021)	Starts developing HyREX based on FINEX, but the capital structure needed for commercialization is unstable
Insights	<ul style="list-style-type: none"> - POSCO was slower than global steelmakers in sensing and seizing opportunities related to hydrogen-based steelmaking - After seizing, POSCO successfully initiated development of its proprietary HyREX process - Due to limited capital, reconfiguring remains incomplete, making commercialization difficult - Japan’s COURSE 50 utilizes existing blast furnaces and reconfigures reductants to demonstrate hydrogen reduction feasibility - The Japanese approach shows a stable capital structure and incremental innovation model 		



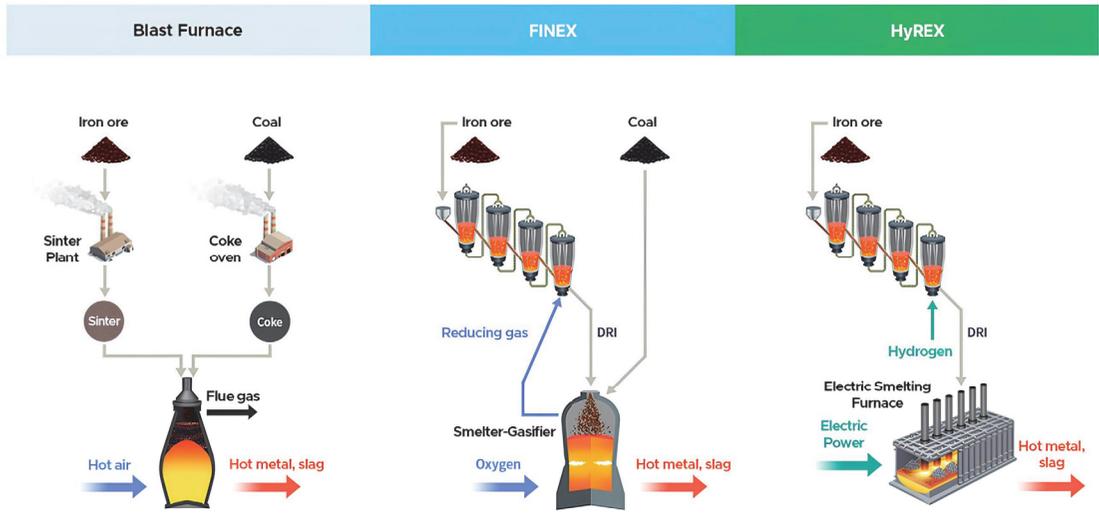
Source: DART (<https://dart.fss.or.kr/>)

〈Figure 1〉 POSCO Group Equity Structure Chart (unit: %)



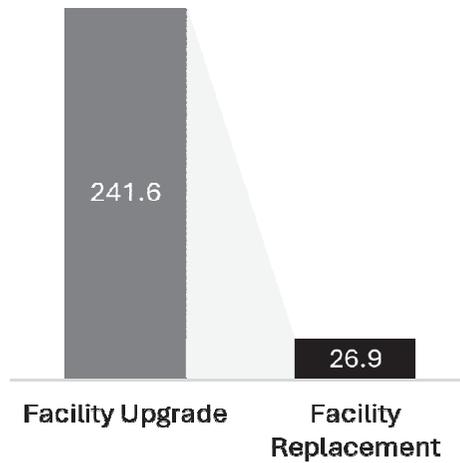
Source: POSCO (2021)

〈Figure 2〉 Steel Production Process and Life Cycle



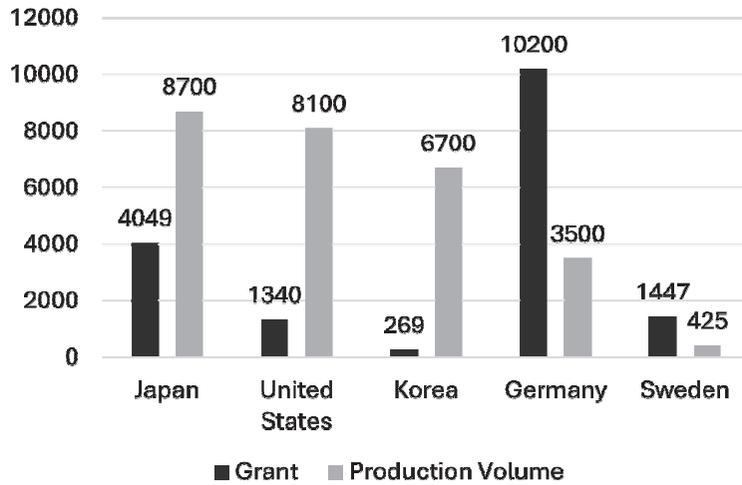
Source: POSCO (2025b)

〈Figure 3〉 Comparison of Steel Manufacturing Processes by Reductant



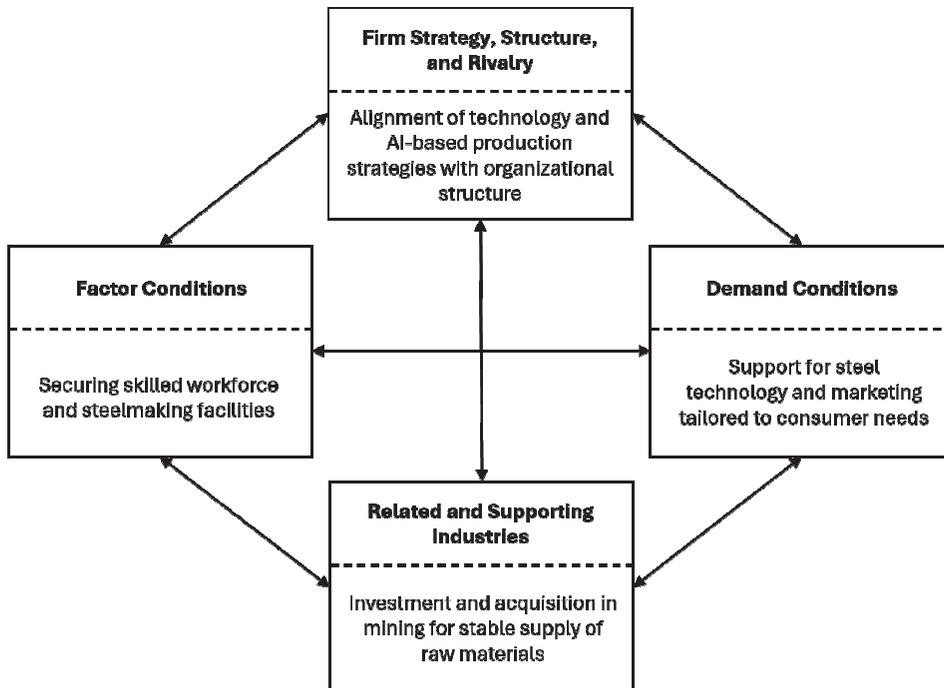
Source: Ministry of Trade, Industry and Energy (2023)

〈Figure 4〉 Support Plan for Low-Carbon Steel Technology Development in 2023
(unit: billion KRW)

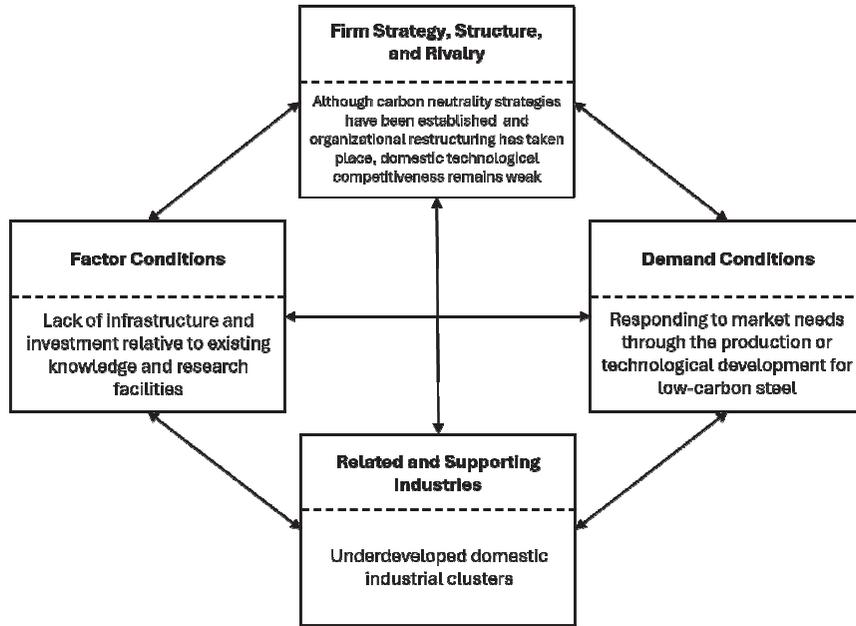


Source: European Commission (2022a, 2022b, 2023a, 2023b, 2023c, 2024), NEDO (2023), Roosevelt Institute (2024), Swedish Energy Agency (2023), U.S. Department of Energy (2022), worldsteel (2023)

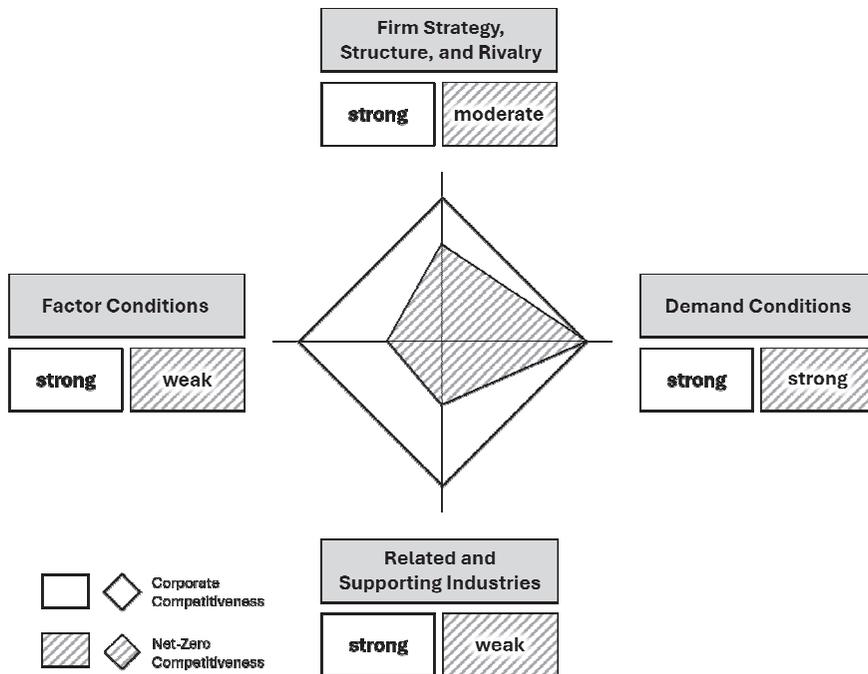
〈Figure 5〉 Total External Subsidies for Hydrogen-Based Steelmaking and Crude Steel Production by Major Steel-Producing Countries in 2023 (unit: billion KRW, ton)



〈Figure 6〉 Analysis of POSCO's Corporate Competitiveness Using the Diamond Model



〈Figure 7〉 Analysis of POSCO's Net-Zero Competitiveness Using the Diamond Model



〈Figure 8〉 Analysis of POSCO's Double Diamond Model

Challenges and Breakthroughs for Carbon Neutrality in Steel Industry: A Case Study of POSCO's Development of the HyREX (Hydrogen Reduction Ironmaking)

Misong Ryu* · Sieun Park** · Taewoo Roh***

Abstract

The objective of this study is to analyze the POSCO's strategic response to the dual challenges of structural transformation of steel industry and the pursuit of carbon neutrality, for achieving sustainable competitive advantage. POSCO, recognized as a leading steel company in both domestically and globally, began developing the FINEX in the 1990s to achieve both environmental protection and economic viability, and commercialized it in the 2000s as a competitive technical innovation. However, POSCO has confronted significant challenges amid changes in the global steel market and environmental regulations. Especially as global pressure for climate change mitigation through carbon neutrality has grown, it has become a trade barrier for high-carbon emission industries, beyond the social responsibility. In response, POSCO has embarked on the development of HyREX for green steel production aiming for carbon emissions reduction while enhancing the cost competitiveness. In spite of technical potential of HyREX, POSCO faces several constraints, including lack of domestic energy infrastructure and insufficient support for technology commercialization. Accordingly, the teaching note of our study offers POSCO's internal and external situations through the diamond model and double diamond model. For POSCO to achieve a competitive edge in net zero, and commercialize HyREX, this study indicates that complex conditions must be satisfied at the structural, industrial, and institutional levels, extending beyond just financial support.

Key Words: HyREX, green steel, diamond model, dynamic capabilities perspective, hydrogen-based reduction ironmaking, POSCO

* PhD student, Department of Global Climate Environmental Studies, Hanyang University, First Author

** Master Student, Department of Global Climate Environmental Studies, Hanyang University

*** Associate Professor, School of International Studies/Department of Global Climate Environmental Studies, Hanyang University, Corresponding Author

〈Teaching Note〉

철강산업에서의 탄소중립 위기와 도전: 포스코의 HyREX(수소환원제철 공법) 개발 사례를 중심으로

Synopsis

포스코는 국내 철강 시장을 넘어 글로벌 철강업계에서도 두각을 나타내는 대표적인 철강기업 중 하나다. 그러나 기후위기 대응과 탄소중립 실현이 국제적 의제로 부상하고 글로벌 환경 규제와 탄소중립 달성이 국제사회의 핵심 달성 과제로 대두되면서, 탄소 다배출 산업에 속하는 철강업계는 지속 가능한 성장과 혁신을 모색해야 한다는 압박을 받고 있다. 이에 따라 포스코는 과거 경제성과 환경성을 동시에 고려하여 개발에 성공한 제철 공법인 FINEX를 기반으로 보다 효과적인 탄소감축 성과를 달성할 수 있는 독자적인 HyREX 공법 개발에 착수하게 되었다. 다만, Dynamic Capabilities Perspective(동적 역량 관점)에 따르면, 포스코는 탄소중립 패러다임이 확산되던 시기에 그린 철강 생산의 핵심 기술인 수소환원제철 공법 개발에 있어 다른 글로벌 경쟁사들에 비해 상대적으로 착수 시기가 늦은 편이었다. 이에 포스코는 HyREX 공법 개발 및 상용화를 위한 연구 시설과 연구 역량을 확보하고 탄소중립 달성을 위한 2050 탄소중립 목표 설정과 관련 조직 개편을 이행했으며 실제로 그린 철강 생산을 위한 공법 개발을 이어오며 탄소중립 달성을 위한 기업 차원의 투자를 지속하고 있지만 아직까지 글로벌 경쟁사 대비 탈탄소화 전환 속도가 더디다는 평가를 받고 있다.

이에 따라 본 사례 연구는 Diamond Model (다

이아몬드 모델)을 활용하여 포스코가 보유하고 있는 강점과 약점에 대한 분석을 진행하고 1) 정부 차원의 지원 부족, 2) 클러스터 형성 부진 등 기업이 직면한 여러 약점들을 파악한다. 이후 2050 탄소중립 목표를 달성하기 위해 포스코가 해결해야 할 과제를 Double Diamond Model(더블 다이아몬드 모델)을 활용하여 다각적으로 논의한다. 패러다임 변화에 따라 포스코가 전략을 수립하고 이행하는 과정에서 겪는 어려움에 대해 탐구한 본 사례 연구는 철강업계에서 동적 역량과 포터의 다이아몬드 모델을 활용한 경쟁력 분석의 실제 적용 방식을 이해하고, 글로벌 경쟁 속에서 기업의 지속 가능성과 혁신 전략을 학습할 수 있는 폭넓은 기회를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

Teaching Point

- 1) 기업의 환경 변화 대응력 파악: Dynamic Capabilities Perspective(동적 역량 관점)
- 2) 기업 경쟁력 분석: Diamond Model(다이아몬드 모델)
- 3) 넷제로 경쟁력 분석: 다이아몬드 모델

- 4) 경쟁력 강화에 필요한 문제 해결 방안 분석:
 Double Diamond Model(더블 다이아몬드 모델)

Assignment Question

- Dynamic Capabilities Perspective(동적 역량 관점)를 바탕으로 글로벌 철강 트렌드 속에서 포스코의 경쟁력이 잘 유지되고 있는지에 대해 논의하십시오.
- Diamond Model(다이아몬드 모델)을 통해 철강 산업 내에서 포스코가 지니고 있는 경쟁력을 분석한 후 어떤 문제점이 있는지 서술하십시오.
- 다이아몬드 모델을 통해 포스코의 넷제로 달성 가능성에 대해 논의하십시오.
- Double Diamond Model(더블 다이아몬드 모델)을 통해 포스코가 넷제로를 달성하기 위해 어떻게 해야 하는지 논의하십시오.

Analysis

1. Dynamic Capabilities Perspective(동적 역량 관점)를 바탕으로 글로벌 철강 트렌드 속에서 포스코의 경쟁력이 잘 유지되고 있는지에 대해 논의하십시오.

Resource-Based View (자원 기반 관점)에 따르면 기업이 보유하고 있는 자원은 기업의 전략 수립에 직접적인 영향을 미치는 전략적 자원으로, 기업이 가

진 특허 기술, 고유한 조직 문화, 강력한 브랜드 가치 등으로 구성된다(Barney, 1991). 기업은 경쟁 우위를 창출하기 위해 기존에 보유하고 있던 전략적 자원을 활용했을 때 가장 높은 가치를 창출할 수 있는 시장으로의 진입을 택하지만, 지속적으로 변화하는 글로벌 시장에서 기업이 보유하고 있는 고착화된 자원의 가치를 극대화할 수 있는 시장을 찾는 것은 점차 어려워질 수 밖에 없다. 따라서 기업이 글로벌 시장에서 경쟁력을 확보하기 위해서는 시기적절한 대응과 신속하고 유연한 보유 자원 혁신이 필요하며, 기업이 보유한 내부 역량뿐만 아니라 외부 역량까지 효과적으로 조정하고 재배치할 수 있는 관리 능력을 갖춰야 한다.

Dynamic Capabilities Perspective(동적 역량 관점)는 이러한 기업의 경쟁우위 창출에 있어 자원 기반 관점에서 다루지 못하는 부분까지 다루는 중요한 관점이다. 동적 역량 관점은 기업의 경쟁 우위가 특정 시점에서의 조건만으로는 설명될 수 없으며, 변화하는 환경 속에서 시간의 흐름에 따라 형성되고 지속적으로 변화에 적응해 나간다는 점을 강조한다(Teece et al., 1997). 동적 역량은 크게 1) Sensing(기회 및 위협 탐지), 2) Seizing(기회 포착), 3) Reconfiguring(자원 및 역량 재구성)의 세 가지의 핵심 역량으로 구성된다. 우선 Sensing은 기업이 시장에 내재된 기회와 위기를 탐지하고 이해하는 능력으로, 새로운 기술 도입의 필요성과 소비자의 니즈, 그리고 경쟁자의 활동을 감지하고 해석하는 과정이다. 다음으로 Seizing은 Sensing에서 탐지된 시장 기회를 활용하여 새로운 제품과 기술, 그리고 서비스 등을 설계하고 실행하는 과정이다. 기업은 Seizing을 통해 가치 창출을 위해 필요한 투자를 결정하고 비즈니스 모델을 설계하는 등 새로운 시장 기회를 상업적으로 활용하기 위한 전략을 수립하고 이행한다. 마지막으로 Reconfiguring은 변화하는 시장 환경에 맞춰 기업의 보유 자산과 조직 구조를 전략적으로 재배

치하여 경쟁우위를 창출하는 과정이다. 기업은 이 과정에서 기존에 보유하고 있던 기술 및 자산을 기반으로 제품과 서비스를 새로 개발하거나 시장의 요구에 맞게 변형하여 혁신을 촉진하거나 조직 구조를 개편하여 조직의 유연성을 높이고 시장 요구에 빠르게 대응한다(Teece, 2007; Huh, 2018).

수소환원제철에 대한 관심이 높아지고 있는 가운데, 일본의 닛폰스틸과 같은 글로벌 철강 기업들은 신속하게 기후위기 대응에 착수했다. 신일본제철에서 발표한 가장 오래된 지속가능경영보고서(2013년 발표)에서는 수소를 활용하여 철광석을 환원하는 공정에 대해 언급하며 탄소중립에 대한 기업의 의지를 드러내고 있다. 뿐만 아니라 글로벌 철강 기업들은 과거부터 프로젝트 단위의 활동을 통해서도 탄소감축 달성을 위해 노력해왔다. 2008년부터 시작된 일본의 COURSE 50뿐만 아니라 독일의 SALCOS는 2015년부터, 스웨덴의 HYBRIT는 2016년부터 철강의 탄소중립화를 위한 연구를 이어왔다.

이처럼 경쟁사들이 2020년 이전부터 수소환원제철 기반의 탄소중립 달성을 위한 노력을 이어온 것과 반대로, 포스코는 2021년부터 본격적인 수소환원제철 기술 개발을 시작했다. 포스코는 전 세계적인 철강 가격 경쟁에서 살아남기 위해 원가절감, 생산성 향상을 목표로 상대적으로 품질이 떨어지는 전기로 대신 주로 기존의 고로를 활용하는 조업방식을 추구했다. 하지만 변화하는 상황을 빠르게 모니터링하여 기업의 경영전략을 조정하고 기술 개발에 착수하는 노력이 부족했던 포스코는 그런 철강이라는 새로운 패러다임이 다가오고 있었음에도 불구하고 먼 미래의 흐름에 맞춰가기 보다는 단기간의 수익성을 창출하기 위해 거의 10년의 시간을 잃어버렸다고 볼 수 있다. 하지만 포스코는 2021년부터 수소환원제철 기술 개발에 착수하여 뒤늦게라도 그런 철강을 생산할 수 있는 가능성을 확보하게 되었다. 포스코는 더 나아가 글로벌 철강 기업들의 그린 철강 생산기술과 같이 철

강 생산 과정에서 탄소중립을 달성하기 위해 필요한 기술을 개발하는 과정에서 기존 기술을 활용하는 방안을 고안해냈다. 포스코는 1990년대 당시 경제성과 친환경성을 동시에 잡은 FINEX 공법을 개발하여 2000대에 상용화에 성공하였으며, 현재 FINEX의 구동 원리에 수소 유동환원 기술을 적용한 수소환원제철 공법인 HyREX 개발과 상용화에 박차를 가하고 있다. 다만, 포스코가 HyREX 공법 개발에 필요한 기술적 역량은 어느정도 보유하고 있지만, 기술 상용화 이전에 공법의 효과나 구동 가능성 등을 평가하기 위해 필요한 실증 프로젝트를 수행해야 한다는 점과 기존에 운영 중이던 고로 대신 수소환원제철 생산 가능 설비의 전면적인 전환이 필요하다는 점을 고려했을 때 현재까지 HyREX 공법 상용화를 통한 2050 탄소중립 목표 달성을 위해 투입되어야 하는 시간과 비용이 많이 부족한 상황이다.

일본의 경우, COURSE 50을 통해 포스코와 동일하게 수소환원제철 공법의 상용화를 위한 연구를 이어오고 있다. 하지만 COURSE 50은 HyREX와 달리 기존 고로를 활용하는 방향으로 수소환원제철 상용화하고자 한다. 본 프로젝트는 기존 고로를 유지하면서 수소가 포함된 코크스 오븐 가스를 고로 내에 주입하여 철광석을 환원하는데, 기존 고로만을 사용할 경우 환원제로 투입되는 코크스 대비 이산화탄소 배출이 적게 발생하는 코크스 오븐 가스를 활용한다. 일본은 본 프로젝트 기반의 시험 고로를 가동하여 이산화탄소 감축 효과를 실증하였고, 이와 더불어 코크스 오븐 가스의 수소 함량을 높이는 기술 또한 개발 중에 있어 코크스 오븐 가스로 인해 발생하는 이산화탄소 배출량을 점진적으로 감축할 계획이다(Tonomura, 2013). 이는 HyREX와 달리 기존 고로 설비의 운영을 그대로 유지하면서 수소환원이 가능하도록 고안한 방안으로, 고로에 투입되는 환원제를 재구성하여 기존 설비의 효율을 극대화한 방안으로 평가된다. 다만, 환원제로 투입되는 코크스 오븐 가스의 수소는 재생

에너지를 통해 생성된 수소가 아닌 부생가스에서 발생하는 수소이기 때문에 그린 수소라고 할 수 없다. 따라서 COURSE 50을 기반으로 수소환원을 통한 철강 생산은 가능하지만, 수소의 원천이 부생가스라는 점에서 100% 탄소감축을 달성하는 것은 어려운 것으로 평가된다(Table 9 참조).

2. Diamond Model (다이아몬드 모델)을 통해 철강산업 내에서 포스코가 지니고 있는 경쟁력을 분석한 후 어떤 문제점이 있는지 서술하시오.

포터의 Diamond Model(다이아몬드 모델)은 국가 경쟁 우위 이론을 기반으로 국제 시장에 진출한 기업의 역량에 영향을 미치는 네 가지 변수 간의 상호작용을 종합적으로 분석하여 기업의 경쟁우위를 파악하는 모델 기법이다(Porter, 1990). 1) Factor Condition(요소 조건), 2) Demand Condition(수요 조건), 3) Related and Supporting Industries(관련 및 지원 산업), 4) Firm Strategy, Structure, and Revalry(기업 전략, 구조 및 경쟁)으로 구성된 변수들은 상호작용을 통해 다이아몬드 모델을 형성한다.

첫째, 요소 조건은 숙련된 생산자, 관련 지식, 인프라, 지속적인 투자, 그리고 연구 시설 등과 같이 기업의 생산과 관련되거나 생산에 직접적으로 영향을 미치는 무형 및 유형의 생산요소를 의미한다. 둘째, 수요 조건은 기업의 경쟁우위를 강화하는 원동력을 제공하는 요인이다. 기업은 소비자 요구에 민감하게 반응하며, 소비자의 요구가 구체적이고 정교할수록 이에 대응해 차별화된 제품을 개발하고 혁신을 지속하려는 경향이 있다. 이러한 경향은 기업의 경쟁력 향상에도 긍정적인 영향을 미친다. 셋째, 관련 및 지원 산업은 기업과 공급업체 및 관련 산업들로 구성된 클러스터를 국가가 어느 정도로 보유하고 있는지를 파악하는 요소로, 이때 클러스터는 기업의 생산 효

율성과 혁신을 촉진하는 중요한 역할을 수행한다. 클러스터 내에서 산업 간에 이뤄지는 상호작용을 바탕으로 시장에 적용할 수 있는 새로운 경쟁 방식을 획득하고 경쟁우위를 창출할 수 있는 기회를 포착할 수 있다. 또한 고도로 발전된 클러스터가 존재할 경우 기업은 클러스터 내부에 위치한 관련 산업으로부터 고품질의 자재를 신속하게 공급받을 수 있어 제품 개발 및 생산 과정에서의 효율성을 극대화할 수 있다. 넷째, 기업 전략, 구조 및 경쟁은 기업의 전략과 구조, 그리고 기업을 둘러싼 경쟁 구도를 분석하여 기업의 경쟁우위를 파악하는 요소다. 일반적으로 기업은 자국의 상황과 맥락에 따라 서로 다른 방식으로 기업을 조직화하고 운영한다. 그렇기 때문에 특정 산업의 국가 경쟁력은 기업의 조직 모델과 경영 방식이 해당 산업과 적합하게 결합하게 될 때 강화된다. 또한 기업들은 동일 산업 내에서 지리적으로 인접한 국내 기업들과의 경쟁을 통해 경영구조 개선과 기술 개발 등의 지속적인 혁신을 추구하며, 이를 통해 글로벌 시장에서의 경쟁우위를 확보하게 된다.

포스코가 경쟁우위를 유지할 수 있는 요소를 파악하기 위해 진행한 다이아몬드 모델 분석의 결과는 다음과 같다(Figure 6 참조).

첫째, 포스코의 요소 조건이다. 포스코 직원들의 평균 근속연수는 17.6년으로 국내 철강 3사에 해당하는 현대제철(13.7년)과 비교했을 때 상대적으로 높다. 임직원들의 높은 평균 근속연수를 기반으로 포스코는 철강에 대한 깊이 있는 지식과 숙련된 생산자를 보유하고 있으며, 포스코는 연구 시설로 자사 기술연구원과 산하 연구기관인 RIST를 보유하여 기업의 생산 효율성을 높이고 있다. 또한 포항, 광양에서 2개의 일관제철소를 운영 중이며, 고로 개수 및 설비 합리화 등을 실시하여 지속적인 설비 개선도 진행하고 있다. 따라서 포스코의 요소 조건은 높은 수준으로 충족되었다고 할 수 있다.

둘째, 포스코의 수요 조건이다. 포스코는 지속적인

마케팅 전략을 추진하고 있다는 사실을 확인할 수 있다. 포스코는 솔루션마케팅을 활용하여 고객 기업을 대상으로 기술 및 영업을 지원하는 방향으로 고객이 필요로 하는 솔루션을 공급함으로써 고객이 중요하게 여기는 가치를 충족시켜 고객 가치에 대한 시장 경쟁력을 강화한다. 고객 니즈를 충족하기 위한 포스코의 마케팅 혁신의 예시로, 과거 일본 혼다 자동차에서 신차 개발 계획에 따라 포스코에 새로운 제품의 개발을 요청한 사례가 있다. 그들이 요청한 것은 GA 590C의 박도금 강판이었는데, 초고강도 규격도 아니었고, 독자적인 제품도 아니었지만 당시에 해당 규격을 양산 공급하는 곳이 없었다. 따라서 포스코는 긴급히 그룹 내 제품 개발 부문뿐만 아니라 연구소 및 제철소의 품질/생산 부문과 함께 당시 상황에 대해 논의를 시작하고, 제품 개발을 결정하고 곧바로 연구에 매진했다. 그 결과 시험생산은 완료되었으나 고객사의 평가 시험에서 미달을 기록했다. 하지만 이후 2개월 동안 추가 강종 개발을 위해 서비스, 기술연구원, 품질기술부, 도금부 등 여러 담당자들이 연구 개발한 끝에 혼다의 요구를 만족할 제품 개발에 성공하였다. 당시 포스코가 보유하고 있는 인력 및 연구소 등 모든 인프라와 기술들이 종합되어 고객사가 원하는 제품이 개발되었고 이후 한국과 일본의 또 다른 완성차 기업들로부터 개발된 제품에 대한 문의가 이어졌으며, 시장 지배력까지 강화되는 결과를 얻게 되었다(SNMnews, 2012). 따라서 솔루션마케팅을 기반으로 수요 조건 또한 충족된다고 볼 수 있다.

셋째, 포스코의 관련 및 지원 산업 부문을 살펴보고자 한다. 포스코가 위치한 광양과 포항에는 국가 산업단지가 함께 조성되어 있다. 특히 포항에는 포스코 인근에 철강 산단이 위치하여 포스코에서 생산된 제품들을 재가공해 또 다른 철강 제품들이 생산되고 있다. 또한 포스코는 철강 생산의 주원료인 철광석, 석탄 등의 수입이 용이하도록 해안지역에 위치하며, 이로 인해 원료 수급부터 제품 생산까지 한 곳에서 이

뤄지고 있다. 지하자원이 부족한 우리나라에서 철강 원재료는 100% 수입에 의존되는 만큼 경쟁력 있는 원재료 확보가 중요하며, 포스코는 대형 원료 공급사들과 장기계약을 통해 원료를 구매하거나 해외 광산 지분을 인수하는 방식으로 해외 연료를 개발하여 원재료의 가격변동으로 인한 영향을 최소화한다(POSCO Group Newsroom, 2020). 따라서 포스코의 철강 산업과 관련된 원료 공급사들과의 교류가 원활하게 이뤄지고 있다는 점을 고려했을 때 관련 및 지원 산업 부문도 충족한다고 평가할 수 있다.

넷째, 포스코의 기업전략, 구조 및 경쟁 부문을 분석한 결과, 포스코는 AI를 기반으로 효율적인 철강 생산라인을 구축하거나 자사의 기술력을 기반으로 고부가가치 제품의 생산을 확대하는 등 여러 가지 기업 전략을 추진해오고 있으며, 기업 경영전략의 효율적인 수행을 위해 조직 구조 유연화를 위한 조직 개편 체제를 보유하고 있다. 따라서 포스코의 기업 전략, 구조 및 경쟁 부문 또한 충족된다고 볼 수 있으며 결과적으로 다이아몬드 모델 분석의 기준이 되는 4가지 변수를 모두 충족하기 때문에 철강 시장 내에서 포스코의 경쟁우위는 다소 높은 편이라고 평가할 수 있다.

3. 다이아몬드 모델을 통해 포스코의 넷제로 달성 가능성에 대해 논의하시오.

앞서 다이아몬드 모델을 통해 포스코의 경쟁우위를 살펴봤다면, 이번엔 넷제로 관점에서 포스코의 다이아몬드 모델 분석을 진행한다(Figure 7 참조).

첫째, 포스코의 요소 조건의 경우 포스코는 과거부터 저탄소 철강 생산을 위해 전기로 및 FINEX 공법을 개발하는 과정에서 관련 지식을 축적해왔으며, 나아가 HyREX 공법 상용화를 목표로 연구 개발을 이어오고 있다. 다만 저탄소 철강 생산을 위한 기술을 개발하기 위해서는 기술 검증과 실증 가능성 테스트, 그리고 신규 설비 구축에 들어가는 자금이 많이

필요하다는 문제가 존재한다. 포스코가 책정한 수소 환원제철 기술 개발 예상 비용(약 20조 원)과 정부의 지원 가능 예산(269억 원) 간의 괴리가 큰 만큼 기술 개발에 대한 유의미한 투자가 이뤄지고 있다고 보기는 어렵다. 인프라의 경우, 수소환원제철 상용화를 위한 원활한 그린 수소 공급과 그린 수소 생산을 위한 전력 공급망이 불안정한 상황이다. 즉, 현재 포스코는 수소환원제철 공법 개발 역량은 보유하고 있지만 결과적으로 상용화를 달성하기 위해 필요한 외부 조건이 거의 성립되지 않고 있다고 볼 수 있다.

둘째, 포스코의 수요 조건을 파악하면 다음과 같다. 포스코가 생산하는 철강 자재의 주요 소비자는 해당 자재를 활용하여 자동차, 가전제품 등을 제조하는 기업들이다. 이들은 최근 CBAM과 같은 글로벌 환경 규제가 대두됨에 따라 제품의 원활한 수출을 위해 제품 생산과정 전반에 걸쳐 발생하는 탄소 배출량이 일정 기준 이상을 넘기지 않도록 주의하고 있다. 그렇기 때문에 포스코의 철강 자재를 구매하여 제품 생산에 활용하는 기업들은 환경 규제를 고려하지 않을 수가 없다. 해당 기업들은 포스코가 생산하는 철강 제품의 소비자로서 포스코에게 저탄소 철강을 요구하게 되고 포스코는 자연스럽게 수소환원제철과 같은 저탄소 기술 개발에 대한 압박을 받게 되었다. 또한 포스코는 저탄소 기술 개발을 통해 친환경을 추구하는 기업 이미지를 제고하고자 한다. 친환경 기업이라는 이미지는 기업 가치를 향상시키고 이는 기업의 수익성 증진과 직결된다. 포스코가 FINEX 공법 개발 및 상용화에 이어 최근에는 HyREX 공법 개발에 집중하며 저탄소 철강 생산을 위한 노력을 지속하고 있는 이유는, 소비자들에게 환경 친화적인 기업이라는 인식을 심어주고 나아가 저탄소 철강을 생산을 통해 결과적으로 철강의 탈탄소화를 요구하는 소비자의 수요를 충족하기 위함도 있다고 파악된다.

셋째, 포스코의 관련 및 지원 사업을 살펴봤을 때, 포스코는 수소환원제철 기술 개발 및 상용화에 필요

한 재생에너지, 수소 등의 공급과 관련된 산업과의 연계가 약하다. 반면, 스웨덴의 철강 기업인 SSAB는 수소환원제철 기술 개발 및 상용화를 위해 자국의 철광석 공급기업 LKAB과 전력 에너지 기업 Vattenfall과 협력하여 프로젝트 형식의 클러스터를 형성하였다. 일본도 이와 유사하게 자국 철강 기업인 닛폰스틸과 JFE Steel, 그리고 Kobe Steel과의 협업으로 체결된 프로젝트 형식의 클러스터를 구성하였다. 스웨덴은 산업별로 각기 다른 특성을 띠는 기업들 간의 지원으로 기술 개발을 진행하여 저탄소 철강 생산에 성공하였으며, 일본은 동종 업계의 경쟁기업들 간의 협작으로 수소환원제철 시험 고로를 작동시켜 실제로 배출량 감축 성과를 달성해냈다. 이처럼 여러 국가들이 수소환원제철 기술 개발을 위한 클러스터를 구축하여 성과 달성에 박차를 가하고 있는 반면, 포스코의 경우 기술 개발 및 상용화에 필요한 지원 산업과의 연계뿐만 아니라 국내 동종 및 관련 업계와의 협력도 원활하게 이뤄지지 않고 있다. 따라서 포스코는 다른 국가와 비교했을 때 상대적으로 그린 철강 생산을 목표로 하는 국내 클러스터 형성이 원활하게 이뤄지지 못하여 관련 산업과의 연계성이 좋지 않다고 볼 수 있다.

넷째, 포스코의 기업 전략, 구조 및 경쟁의 경우 포스코는 2050년 탄소중립을 달성하기 위해 5~10년 단위로 달성하고자 하는 목표 감축량을 설정하였으며, 탄소중립 로드맵을 통해 수소환원제철 기술 개발부터 상용화까지의 계획을 공개하여 탄소중립 달성 전략을 수립한 사실을 확인할 수 있다. 또한 임시 조직이었던 HyREX 추진 TF와 전기로 사업 추진 TF를 각각 '하이텍추진반'과 '전기로사업추진반'으로 격상하여 수소환원제철 사업 촉진을 위한 조직 개편을 진행했다. 다만, 포스코의 경쟁사를 확인한 결과 현재까지 국내에서 포스코만큼 수소환원제철 기술 개발을 진행 중인 기업은 없어 국내 철강 기업들 간의 수소환원제철 기술 경쟁이 활발하게 이뤄지고 있다

고 보기 어렵다. 현대제철의 경우, 하이큐브(Hy-Cube)라는 수소환원제철 기술 개발을 목표로 설정하였지만 이와 관련된 구체적인 기술 개발 일정 및 검증 계획은 아직까지 공개되지 않고 있다. 따라서 4가지 요인을 기반으로 넷제로 달성 측면에서 바라본 포스코의 경쟁력은 수요 조건 측면에서는 충분한 경쟁력을 가지고 있으나, 나머지 3가지 요인들에서는 경쟁력이 다소 부족하여 넷제로 달성 가능성은 낮은 편이라고 평가될 수 있다.

4. Double Diamond Model(더블 다이아몬드 모델)을 통해 포스코가 넷제로를 달성하기 위해 어떻게 해야 하는지 논의하시오.

지금까지 포스코의 경쟁력을 파악하기 위해 일반적인 관점과 넷제로 관점으로 다이아몬드 모델 분석을 진행하였다. 하지만 포스코가 넷제로를 달성하기 위해 넷제로 관점에서의 분석 결과만을 활용하는 것으로는 효과적인 전략을 수립하기 어렵다. 이는 Porter의 다이아몬드 모델과 이를 확장한 Double Diamond Model(더블 다이아몬드 모델)의 이론적 기반을 통해 설명할 수 있다(Figure 8 참조).

넷제로 관점의 분석은 저탄소 기술 개발, 글로벌 환경 규제 대응, 기업의 친환경 이미지와 같은 특정 요인에 초점을 맞추는 데 유용하지만, 이러한 접근만으로는 포스코의 전반적인 경쟁력을 포괄적으로 이해하거나 글로벌 시장에서의 경쟁 환경을 반영하는 데 한계가 있다. 반면, 일반적인 관점에서 분석한 다이아몬드 모델은 포스코의 생산 효율성, 공급망 구조, 시장 내 지위 등 전통적이고 일반적인 경쟁력을 강조한다. 따라서 두 가지 관점에서 분석된 결과를 통합적으로 고려하지 않을 경우, 넷제로 목표를 실질적으로 달성하기 위한 균형 잡힌 전략 수립이 어려울 가능성이 높다. 이러한 한계를 극복하기 위해 더블 다이아몬드 모델을 활용하는 것이 적합하다고

볼 수 있다. 더블 다이아몬드 모델은 두 가지 다이아몬드 모델을 통합적으로 분석함으로써 기업의 경쟁 우위를 다각도로 평가할 수 있을 뿐만 아니라 두 모델의 gap을 파악하여 이를 최소화할 수 있는 전략을 수립할 수 있다(Moon et al., 1998). 이는 포스코가 넷제로라는 목표를 달성하기 위해 일반적인 관점과 넷제로 관점에서 각각 도출된 요소를 통합적으로 이해하는 데 유용한 틀을 제공한다. 특히, 두 관점을 기반으로 분석한 다이아몬드 모델을 통해 gap을 파악하고, 각 모델의 강점과 약점을 비교 및 결합하여 포스코가 gap을 최소화하기 위해 전략적으로 우선 순위를 두어야 할 요소를 식별할 수 있으며, 이를 통해 저탄소 기술 개발을 위한 투자 확대뿐만 아니라 글로벌 차원의 협력을 기반으로 자원을 활용하는 것과 같이 다양한 전략적 기회를 도출할 수 있다.

일반적인 관점에서 다이아몬드 모델 분석을 진행한 결과, 포스코는 4가지 변수 측면에서 모두 높은 수준의 역량을 보유하고 있는 것으로 평가되었다. 다만, 넷제로 관점에서 바라봤을 때 포스코는 몇 가지 변수에서 다소 낮은 수준의 역량을 나타내고 있으며 이는 포스코의 넷제로 달성을 위해 해결해야 할 중요한 과제이다. 이후 두 모델을 기반으로 더블 다이아몬드 모델을 분석한 결과, 그림과 같이 기업의 보유 역량의 정도에 따라 요인별로 강, 중, 약으로 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이때 넷제로 관점에서 요소 조건, 관련 및 지원 산업 부문에서 특히 낮은 평가를 받았으며, 이는 일반적인 관점에서 강점으로 평가된 동일 요인 분석 결과를 기반으로 보완될 필요가 있다.

요소 조건 측면에서 포스코는 일반적인 관점에서 숙련된 생산 인력, 오랜 연구 개발 경험, RIST와 같은 첨단 연구 시설을 통해 기술 개발 및 혁신에서 높은 경쟁력을 보유하고 있다. 이러한 기술 역량은 포스코의 핵심 경쟁 우위를 형성하는 데 기여하고 있다. 그러나 넷제로 관점에서는 기술 상용화를 위한 자금 부족과 전력 및 수소 공급망 인프라의 부재가 주요

계약 요인으로 나타났다. 예를 들어, 수소환원제철 기술 상용화를 위한 포스코의 예상 비용이 약 20조 원에 달하는 반면, 정부의 지원 예산은 269억 원에 불과해 상용화 단계로 진입하기 위한 재정적 기반이 매우 취약하다. 또한, 수소환원제철을 위한 안정적인 재생에너지 공급망과 그린 수소 생산 체계가 구축되지 않아 기술 개발의 실질적인 실행이 어려운 상황이다. 이러한 한계를 극복하기 위해서는 정부 차원의 재정적 지원 확대와 에너지 인프라 구축에 대한 정책적 노력이 필요하다. 독일과 스웨덴에서 그린 수소 공급망을 국가 주도로 개발하고 이를 기업과 연계한 사례는 국내에서도 중요한 벤치마킹 대상이 될 수 있다(NABO, 2022).

관련 및 지원 산업 부문에서는 일반적인 관점에서 포스코의 강점이 뚜렷하게 나타난다. 포스코는 해외 광산의 지분을 매입하는 방식으로 안정적인 원자재 조달 체계를 구축했으며, 이를 통해 장기적인 경쟁 우위를 확보해왔다. 그러나 넷제로 관점에서는 재생에너지 및 수소와 같은 넷제로 기술 개발에 필수적인 관련 산업과의 연계가 부족한 것으로 평가되었다. 또한, 스웨덴의 SSAB와 같은 사례에서 나타난 클러스터 기반 협업 모델이 국내에서는 충분히 구현되지 못하고 있다. 스웨덴은 철광석 공급사(LKAB)와 에너지 기업(Vattenfall) 간의 협력을 통해 기술 개발과 상용화를 가속화했으며, 일본 역시 닛폰스틸, JFE Steel, Kobe Steel 간의 협업을 통해 넷제로 기술 개발에 실질적인 성과를 달성했다. 이러한 해외 사례는 포스코가 기술 상용화를 위한 협력 모델을 강화해야 할 필요성을 시사한다. 포스코가 광산 지분을 매입하며 원자재 공급망과의 협력을 확대하는 것처럼, 기술 상용화와 관련된 산업 및 에너지 공급망과의 전략적 파트너십을 구축하는 것이 필수적이라고 볼 수 있다. 특히 우리나라의 재생에너지 및 수소 산업이 발전 초기 단계에 있다는 점을 고려했을 때, 호주와 중동과 같이 재생에너지와 그린 수소 생산 역량이 풍부한 지

역과의 협력은 포스코의 수소환원제철 기술 상용화에 있어 핵심적인 역할을 할 수 있다. 이러한 지역은 재생에너지 및 수소를 생산하고 공급망을 구축하는 데 유리한 여건을 제공하며, 관련 기업과의 협력이 성사될 경우 포스코의 넷제로 목표 달성에 필요한 인프라와 자원을 지원받을 수 있게 된다. 실제로 공동 벤처의 형태는 아니지만, 최근 그린 수소 개발을 위해 우리나라의 삼성물산과 호주의 에너지 기업 Lion Energy, 그리고 일본 미쓰비시 상사의 자회사인 Diamond Generating Asia(DGA)의 호주 법인 DGA Energy Solutions Australia가 그린 수소 공동개발 협약을 체결한 바가 있다. 이처럼 포스코가 기술 개발 및 상용화에 성공하기 위해서는 기술력뿐만 아니라 기술 개발 및 상용화 역량을 보유하거나 이와 관련있는 해외 우수 기업과의 협업이 필요하다고 볼 수 있다. 또한 포스코의 HyREX는 해외 기업들과의 협업 체결에 있어 핵심 요소가 될 수 있다. 현재까지 수소환원제철 기술은 전 세계에서 샤프트 환원로 공법과 HyREX 공법 단 2개만 존재한다. SSAB와 같은 EU 철강사들이 주목하는 샤프트 환원로 기술과 달리 HyREX는 포스코의 독자 기술일 뿐만 아니라 철광석을 고품질 펠릿으로 가공할 필요 없이 분철광석을 바로 투입하여 제강할 수 있기 때문에 원료비 절감과 대량 생산에 탁월한 효과를 보일 것으로 기대되고 있다. 따라서 포스코가 이를 기반으로 해외 기업과의 협업을 추진할 경우 효과적인 협력 모델을 구축할 수 있는 차별화 요소로 작용할 수 있다.

이처럼 더블 다이아몬드 모델을 활용하여 일반적인 관점과 넷제로 관점을 비교한 결과, 포스코가 최종적으로 넷제로를 달성하기 위해서는 두 다이아몬드 모델 간의 gap 최소화를 고려한 통합적 전략 수립이 필요하다. 더블 다이아몬드 모델은 두 관점을 비교하고 상호 보완하는 데 유용한 도구로, 이를 통해 포스코는 넷제로 기술 개발과 상용화를 위한 구체적이고 실질적인 전략을 수립할 수 있다. 이러한 이론적

접근은 단순히 현재의 경쟁력을 유지하는 것을 넘어, 장기적으로 글로벌 철강산업에서 포스코의 선도적 위치를 강화하는 데 기여할 것으로 파악된다.

References

- Barney, J. (1991). Firm resources and sustained competitive advantage. *Journal of Management*, 17(1), 99-120.
- Huh, M. G. (2018). Enhancing the Competitiveness of Korean Firms: Dynamic Capabilities Perspective. *Korea Business Review*, 22(2), 155-175.
- Moon, H. C., A. M. Rugman and F. A. J. Van den Bosch. (1998). A generalized double diamond approach to the global competitiveness of Korea and Singapore. *Journal of Business Research*, 7(2), 135-150.
- NABO. (2022). Comparative study on hydrogen economy policies and implementation status in major countries. Retrieved from <https://url.kr/ywtgz8>
- Porter, M. (1990). *The Competitive Advantage of Nations*. New York: Free Press.
- POSCO Group Newsroom. (2020). Why POSCO invested in an Australian iron ore mine, 2020/09/24. Retrieved from <https://url.kr/wnnjob>
- SNMnews. (2012). Cases of POSCO's marketing innovation in action ②. Retrieved from <http://www.snmnews.com/news/articleView.html?idxno=285194>
- Teece, D. J. (2007). Explicating dynamic capabilities: The nature and microfoundations of (sustainable) enterprise performance. *Strategic Management Journal*, 28(13), 1319-1350.
- Teece, D. J., G. Pisano and A. Shuen. (1997). Dynamic capabilities and strategic management. *Strategic Management Journal*, 18(7), 509-533.
- Tonomura, S. (2013). Outline of course 50. *Energy Procedia*, 37, 7160-7167.