

한경협

ESG Bulletin

2025. 11 | 제 21 호

K-ESG 얼라이언스 사무국에서는 회원서비스 강화와 ESG 저변 확대를 위해 한경협 ESG경영자문단이 ESG 핵심 이슈에 대해 꼭 짚어 설명드리는 'ESG Bulletin'를 매월 발행하고 있습니다.

우리나라 산업 탈탄소를 위한 도전과 과제

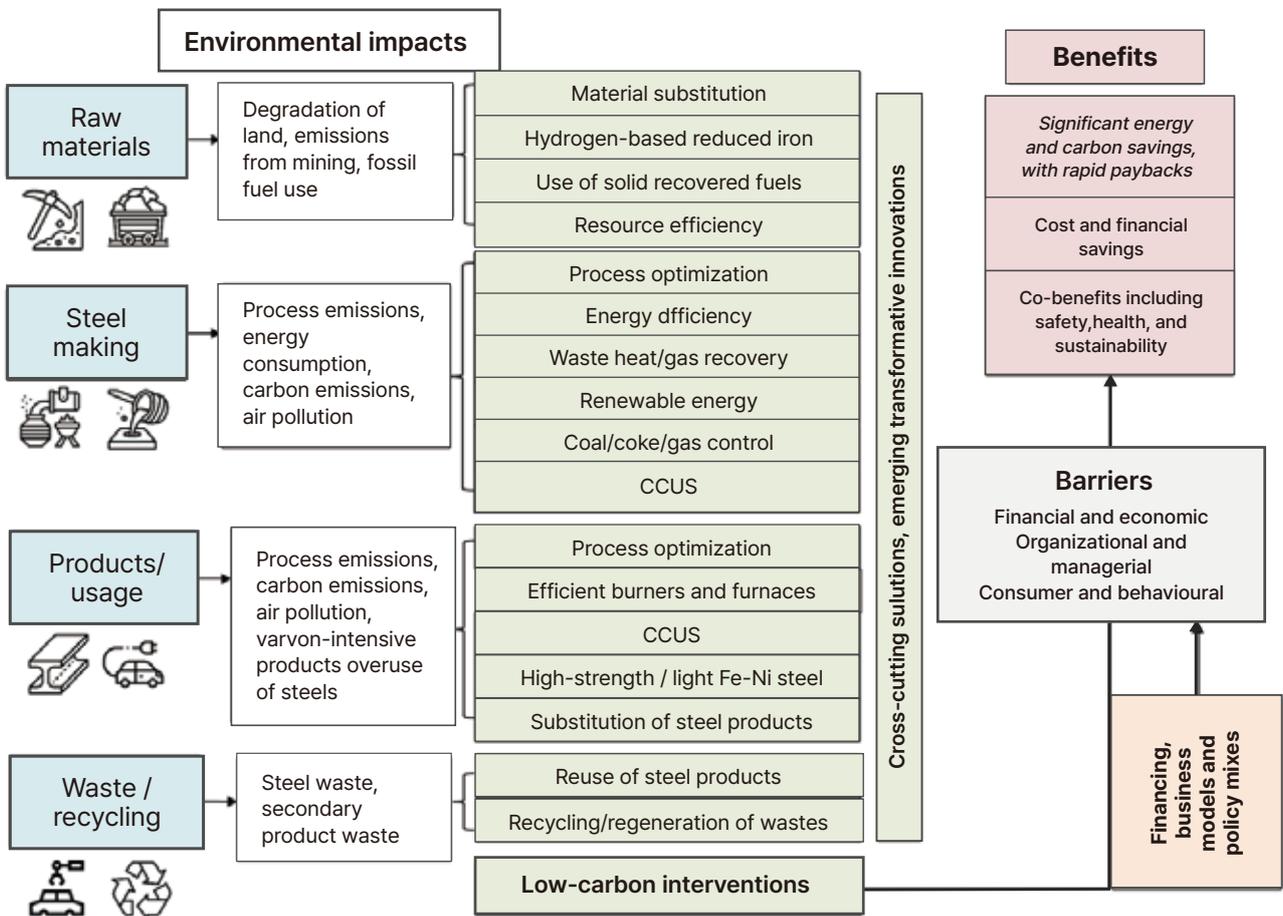
김진수 한양대학교 자원환경공학과 교수

산업 탈탄소(decarbonization)는 기후위기 시대에 산업의 글로벌 경쟁력을 좌우하는 핵심 변수로 부상했다. 과거의 환경 규제가 기업 활동의 부수적인 제약 조건에 불과했다면, 현재의 탄소중립 요구는 산업의 존립 자체를 결정짓는 실존적 위협이자 동시에 새로운 시장을 창출하는 기회로 작용하고 있다. 유럽의 탄소국경조정제도(CBAM)와 같은 탄소 무역규제는 수출 주도형 경제 구조를 가진 우리에게 전례 없는 도전을 제기하고 있다. 세계적으로 경쟁력 있는 에너지 집약적 수출주도 제조업이 고도로 집중된 한국의 고유한 산업 DNA는 심각한 '탄소 잠김(carbon lock-in)' 현상을 야기한다. 한국 산업은 제조업 비중이 GDP의 약 28%, 수출의 약 83.5%를 차지하며, 철강, 석유화학, 반도체, 자동차 등 에너지 다소비 업종이 경제의 중추를 이루고 있다. 이러한 구조적 특성은 주요 선진국 대비 탈탄소 전환의 비용과 난이도를 높이는 요인으로 작용한다. 특히 산업 공정 자체가 탄소 배출을 수반하는 이른바 '난감축(難減縮, Hard-to-Abate)' 업종의 비중이 높아, 단순한 에너지 효율화를 넘어선 근본적인 공정 혁신과 에너지원의 전환이 요구된다.

산업의 핵심 탈탄소 수단

저자는 2021년부터 3년 동안 영국과 미국의 연구자들과 함께 철강, 정유, 화학, 시멘트, 요업, 제지, 식음료품, 산업 F-가스를 대상으로 산업의 탈탄소 수단과 정책 도구에 관한 연구를 수행했다(전체 연구 목록은 <https://idric.org/project/mip-1-4/>에서 확인 가능). 산업별로 다양한 탈탄소 수단이 존재하는 가운데 여러 산업에서 반복적으로 언급되는 수단들이 있는데, 바로 '재생에너지', '수소', 'CCUS', '천연가스' 그리고 '에너지. 자원 효율'이 그것이다.

[철강 산업의 사회기술 영역별 탈탄소 수단]

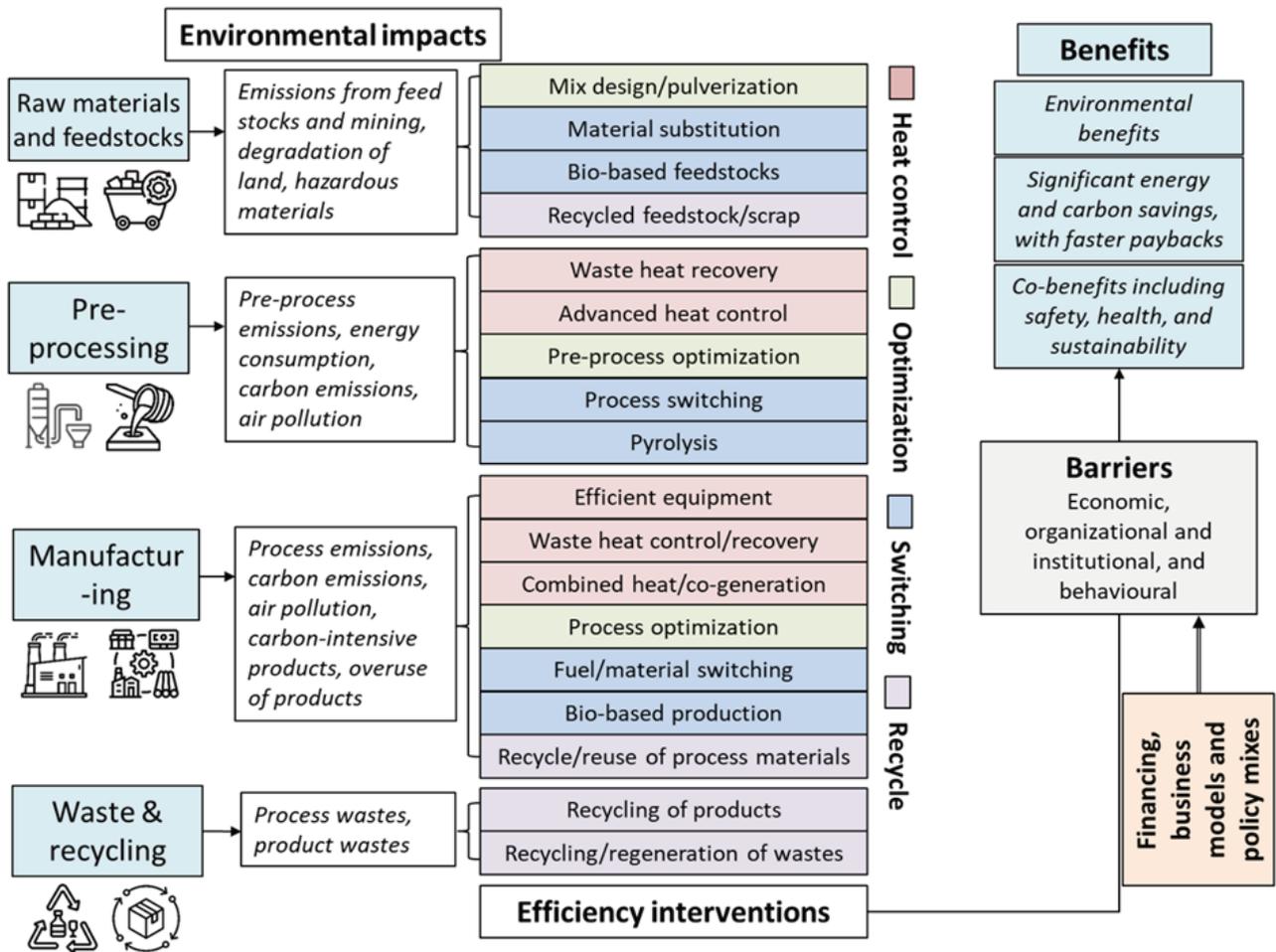


자료: Decarbonizing the iron and steel industry: A systematic review of sociotechnical systems, technological innovations, and policy options (Energy Research & Social Science 89, 2022).

전력화(electrification)와 재생에너지를 중심으로 한 에너지전환은 산업뿐만 아니라 사회 전체의 탈탄소 수단으로 잘 알려진 수단으로 언제나 우선하여 고려하는 선택지다. 수소, 특히 청정 수소는 산업용 열원과 원료로 사용되는 화석연료를 대체할 수 있는 수단으로 주목받고 있다. 철강 산업에서는 석탄 대신 수소를 환원제로

사용하여 이산화탄소 대신 물을 배출하는 수소환원제철 기술을 유력한 탈탄소 수단으로 고려하고 있으며, 화학 산업과 시멘트 산업에서도 주요 열원으로 활용 가능하다. 이산화탄소 포집·활용·저장(CCUS) 기술은 철강, 시멘트, 석유화학과 같이 공정상 발생하는 탄소를 완전히 제거하기 어려운 산업군에서 선택이 아닌 필수 기술이다. 이에 우리나라도 2030 국가온실가스감축목표(NDC)에 CCUS를 주요 탄소 감축 수단의 하나로 포함했었고, 영국 등 글로벌 시장에서는 대규모 산업 클러스터에 CCUS 설비를 구축하며 앞서가고 있다.

[에너지·원료·자원 효율을 통한 산업 탈탄소 방안]



자료: Energy, material, and resource efficiency for industrial decarbonization: A systematic review of sociotechnical systems, technological innovations, and policy options (Energy Research & Social Science 112, 2024).

이러한 여러 가지 산업 탈탄소 수단 중에서 이 글에서 강조하고 싶은 수단은 에너지(energy)와 원료(material) 그리고 자원(resource)의 효율적 사용을 통한 탄소배출 저감이다. 난감축 산업의 탈탄소라는 난제를 풀기 위해 수소환원제철이나 CCUS와 같은 거대하고 미래지향적인 기술도 중요하지만, 가장 기본적이면서도 강력한 무기인 '효율(efficiency)'을 간과해서는 안 된다. 효율은 단순히 에너지와 자원을 아끼는 차원을 넘어, 산업

탈탄소화를 위한 '제1의 연료(First fuel)'가 될 수 있다. 효율을 통한 산업 탈탄소를 조금 더 구체적으로 살펴보면 첫째는 열의 통제(heat control)가 있다. 산업 공정의 핵심은 결국 열을 다루는 기술이다. 철강 산업에서 코크스 오븐 가스(COG)의 폐열을 회수하거나, 시멘트 킬른(Kiln)의 배기가스를 재활용하는 것은 이미 검증된 기술이다. 여기에 히트펌프를 활용한 고효율 열전달 시스템을 도입한다면 낭비되는 에너지를 크게 줄일 수 있다. 두 번째로 자원 및 공정의 최적화를 고려해야 한다. 4차 산업혁명의 핵심인 디지털화와 AI는 탈탄소의 중요 도구이기도 하다. 공정 전체를 디지털 트윈으로 구현해 최적의 운전 조건을 찾거나, 공정 통합(process integration)을 통해 불필요한 자원 투입을 원천 차단해야 한다. 다음으로 연료 및 원료의 전환을 통한 효율화가 있다. 화석연료 기반의 설비를 전기로와 같은 전기화 설비로 바꾸거나, 주요 에너지 소비 기기를 고효율 기기로 전환하고, 시멘트 클링커의 산업 부산물 대체, 화학 산업에서 포집한 CO₂를 원료로 활용하는 방법도 있다. 순환 경제로의 전환도 중요한 과제다. 철강 스크랩을 재활용하여 철을 생산할 경우, 광석을 사용할 때보다 탄소 배출을 최대 90%까지 줄일 수 있다는 연구 결과는 자원 재활용이 얼마나 강력한 감축 수단인지 보여준다. 폐플라스틱을 화학적으로 분해해 다시 원료로 쓰는 것 또한 화학 산업의 중요한 효율화 전략이다(그림 참조).

한국 산업 탈탄소의 구조적 도전과 난관

앞서 소개한 것과 같이 다양한 산업 탈탄소 수단이 존재하지만, 우리나라 산업의 탈탄소 여정은 기술적 난이도, 경제적 비용, 그리고 인프라 부족이라는 삼중고(trilemma)에 직면해 있다. 이는 단순한 의지의 문제가 아니라 물리적, 경제적 현실의 문제이다. 한국은 높은 제조업 비중으로 서비스업 중심의 서구 국가들보다 탈탄소 비용이 구조적으로 높을 수밖에 없다. 특히 수소환원제철과 같은 혁신 기술은 아직 상용화 단계에 도달하지 못했으며, 공정에 필요한 청정수소의 안정적인 확보 또한 난관이다. 아울러 기술 개발과 대체 연료 확보가 지연되거나 실패할 경우, 대안이 부재하다는 점은 기업에게 큰 리스크로 작용한다. 석유화학 역시 화석연료를 원료로 사용하는 특성상, 바이오 나프타 등 대체 원료가 충분히 공급되지 않으면 감축에 한계가 뚜렷하다.

아울러 산업에서 필요로 하는 재생에너지가 절대적으로 부족하고 한국에서는 상대적으로 비싸다는 점도 문제다. 국내 재생에너지 발전 비중은 OECD 최하위권이며, 지리적 여건상 태양광과 풍력의 발전 단가(균등화발전비용, LCOE)가 주요 경쟁국 대비 높다. 이는 기업들의 RE100 이행 비용을 급증시키며 제조 원가 상승으로 이어진다. 또한 재생에너지를 대규모로 생산할 수 있는 호남, 동해안 지역과 전력을 소비하는 수도권 간의 송전망이 부족하여, 재생에너지 발전설비를 확충하더라도 생산된 전기를 버리는 출력 제어가 빈번하게 발생할 것으로 예상된다. 송전망 건설은 주민 수용성 문제로 인해 수년씩 지연되고 있어, 재생에너지 보급의 최대 걸림돌이 되고 있다.

탈탄소 전환에 필요한 천문학적 전환 비용의 마련도 큰 도전이다. 앞서 소개한 탈탄소 전환을 위해서는 기존의 고로와 NCC 설비를 폐기하고 수소환원제철로, 전기로로, 수소 터빈으로 교체해야 하는데, 여기에는 수백조 원의 천문학적인 비용이 소요될 것으로 예상된다. 이는 개별 기업이 감당하기에는 벅찬 수준이며, 자칫 기업의 재무

건전성을 위협할 수도 있다. 수소, CCUS 등 탈탄소 인프라의 미성숙도 걸림돌이 되고 있다. 수소환원제철과 수소 발전을 위해서는 청정 수소가 대량으로 공급되어야 한다. 그러나 국내 수소 생산 능력은 미미하며, 해외의 청정수소 생산과 수입 계획이 연기되는 등 초기 시장 형성이 지연되고 있다. 또한, 포집한 탄소를 저장할 대규모 지중 저장소 확보도 난항을 겪고 있어, 기술이 있어도 활용할 인프라가 없는 상황이다.

성공적인 산업 탈탄소를 위한 과제

포용과 협력에 기반한 사회, 함께 누리는 깨끗한 환경, 재난에 강하고 소외 없는 안전한 사회 등 우리가 꿈꾸는 미래 한국의 여러 모습 중에서 '경제'가 빠져도 되는 것이 아니라면 에너지와 산업의 삼중고를 해결하기 위한 세밀한 전략과 지원이 필요하다. 특히, 예측 가능한 정책과 전략적 공공 투자가 이루어져야 한다. 녹색채권 발행, 배출권거래제 수익의 전환 투자, 교통·에너지·환경세 활용, 한국형 기후환경투자법 제정 등으로 재원을 마련하고, 고비용·상용화 이전 기술에 대한 민간 투자의 위험 저감, 제조업의 저탄소·녹색전환 과정에서 발생할 수 있는 다양한 리스크를 보장하는 금융상품(녹색전환 보험제) 도입, 국내 기후환경 산업 육성에 힘써야 한다. 녹색(green)과 갈색(brown)의 이분법에서 벗어나, 저탄소로 이행하는 과정에 있는 기업 활동을 지원하는 전환 금융을 대폭 확대할 필요가 있다. 아울러 전환 금융 가이드라인을 구체화하고, LNG 발전의 수소 혼소, 고효율 전기로 교체 등 당장은 탄소 배출이 있더라도 장기적으로 감축에 기여하는 활동에 대해 저금리 대출과 보증을 제공해야 한다.

아울러 시장 기반 인센티브를 바탕으로 민간 부문의 자율적인 탄소저감 투자가 이뤄지도록 지원할 필요가 있다. 소비자에게 정확한 가격 신호를 제공할 수 있는 시장을 형성하고, 녹색 산업·탈탄소 투자세액 공제, 탄소 감축량·청정에너지 생산세액 공제 등 장기적이면서 성과에 기반한 세액공제 제도를 도입해야 한다. 그리고 현재의 파편화된 산업 탈탄소 R&D 체계를 넘어, 국가적 역량을 결집한 대형 실증 연구개발 프로젝트가 필요하다. 탄소중립 기술은 불확실성이 높으므로, 성실하게 수행했으나 실패한 연구에 대해서는 책임을 묻지 않고 재도전 기회를 부여하는 혁신적인 R&D 문화를 정착시켜야 한다.

마지막으로 이러한 산업 탈탄소 대전환을 효과적으로 뒷받침할 거버넌스 체계도 고민해야 한다. 민간 참여 확대와 자율성 확보로 시장 효율성을 추구하면서 에너지의 공공성을 관리하기 위한 감독기구 도입이 필요하며, 에너지의 미래를 위한 다섯 가지 핵심 가치(탄소중립, 안보, 산업경쟁력, 자율, 공감)를 아우를 수 있는 컨트롤타워가 필요하다. 기후에너지환경부 외에도 산업통상부, 국토교통부, 재정경제부, 기획예산처 등 여러 정부 부처의 정책 조율이 필수적이다. 산업계, 정부, 금융, 전문가, 시민사회가 참여하는 민관 협력 거버넌스를 통해 시장 현실에 기반을 둔 실효성 높은 전략을 마련해야 한다.

한국 산업의 탈탄소화는 선택의 문제가 아닌 생존을 위한 필수 과제이다. 제조업 중심의 산업 구조와 부족한 재생에너지 여건은 분명 큰 제약이지만, 동시에 수소환원제철, 고효율 반도체, CCUS 등 미래 기후 기술 시장을

선점할 수 있는 기회이기도 하다. 정부는 인프라와 금융 지원을 통해 기업의 투자를 이끌어내고, 기업은 과감한 기술 혁신을 통해 탄소 경쟁력을 새로운 성장 동력으로 삼아야 한다. 지금은 선언을 넘어 실질적인 행동이 필요한 시점이다. 기술, 정책, 금융이 삼위일체가 되어 움직일 때, 한국 산업은 글로벌 녹색 경제를 선도하며 새로운 전기를 마련할 수 있을 것이다.