이슈페이퍼

KEEI ISSUE PAPER

이슈페이퍼 23-03

탄소중립을 위한 철강 생산공정 전환 시나리오 분석 연구

강병욱

에너지경제연구원
Korea Energy Economics Institute

이슈페이퍼 23-03

탄소중립을 위한 철강 생산공정 전환 시나리오 분석 연구

강병욱

1. 연구의 필요성 및 목적

□ 연구의 배경 및 필요성

○ 2020년 10월 정부에서 2050년 탄소중립(Carbon neutral)을 공식 선언

- 2020년 12월 “2050년 대한민국 탄소중립 비전”을 선포, “2050 탄소중립 추진전략”을 발표하여 2050 탄소중립 달성을 위한 정책방향과 과제를 제시함.
- 2021년 5월에는 민관 합동으로 대통령 직속 “2050 탄소중립위원회”가 신설됨.
- 2022년 3월에는 “기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법”이 시행되어 2050년 탄소중립을 위한 법제적 체계가 완비됨.

○ 온실가스 배출 저감이 가장 힘들 것으로 예상되는 부문은 산업 부문이며, 산업 부문 중에서도 탄소중립의 여정에 가장 큰 난항이 예상되는 업종은 철강업

- 2018년 철강업의 온실가스 배출량은 96.7백만 톤으로 산업 부문 배출량의 37.2%를 차지하며 국가 전체 배출량의 13.3%를 차지함.
- 현재 철강 생산 공정은 다량의 온실가스가 필연적으로 생성되는 구조를 가지고 있어 생산 공정의 근본적인 전환이 필요함.

○ 철강업의 탄소중립 전략 수립을 위해서는 각 미래기술에 대한 종합적 정리와 경제성 등에 대한 다양한 시나리오 분석은 필수적인 과업

- 현재의 수소환원제철법이나 과도기적 대안으로 함수소가스 취입법, 상저취 전로, HBI 기반 전기로 기술 등 다양한 철강 생산 미래 기술들이 논의되고 있음.
- 이러한 미래 기술들에 대한 종합적 정리와 경제학적 관점에서의 진단은 필수적 절차라 할 수 있음.

□ 연구 목적

○ 본 연구의 목적은 철강업 탄소중립 미래 기술에 대한 종합적 정리와 경제성에 초점을 맞춘 시나리오 분석을 통하여 철강업 탄소중립 전략 수립을 위한 정책적 시사점을 제시하는 것임.

2. 철강 산업 동향 및 생산 공정

□ 철강 산업 동향

○ 국내 철강업은 2010년 이후 고로 설비 증설로 온실가스 배출량이 큰 폭으로 증가하고 온실가스 배출원단위가 악화된 상황

○ 최근 2050 탄소중립이 선언되며 철강업은 감당하기 쉽지 않은 도전에 직면

○ 정부의 철강업 탄소중립 전략은 궁극적으로 전통 고로 설비를 수소환원제철 설비로 전환하겠다는 것임.

- 그러나 수소환원제철 기술의 상용화는 2040년 이후에 가능할 것으로 예상되므로, 그 이전에는 전기로강 확대, 철 스크랩 확대를 위한 상저취전로 활용, 연·원료 대체를 통한 코크스 소비 비중 축소 등 과도기적 기술을 활용하겠다는 계획임.

□ 현재 철강 생산 공정

○ 현재 철강 생산 공정은 크게 전로강 공정과 전기로강 공정으로 나눌 수 있음.

○ 전로강 생산 공정은 철광석과 원료탄을 이용하여 선철을 만들고 선철의 탄소 함량을 조절하여 강을 만드는 공정

- 고로에서 용선을 추출하는 과정에서 산화철인 철광석을 환원하는 과정을 거치게되고 이 과정에서 다량의 온실가스가 필수적으로 배출되는 구조임.

○ 전기로강 생산 공정은 고철을 전기 아크열이나 저항열, 유도열 등으로 녹여 강을 만드는 공정

- 전로강 공정에 비해 온실가스 배출은 적으나, 전로강에 비해 전기로강의 품질이 낮아 고급 철강재 생산이 힘든 단점이 있음.

□ 미래 철강 생산 기술

○ 유력한 철강업 온실가스 배출 저감 기술은 함수소가스 고로 취입, 상저취전로 등을 이용한 철 스크랩 비중 확대, HBI 활용 전기로 기술, 수소환원제철 등

○ 함수소가스 고로 취입 기술이란 수소를 일정 비율로 함유하고 있는 가스를 고로 내에 취입하여 탄소의 환원 역할을 수소로 하여금 일부 대체하게 하는 기술

- 고로에 COG 등 함수소가스를 취입하게 되면 기존 환원재인 코크스와 PCI 탄의 소비를 줄일 수 있고 온실가스 배출이 줄어들게 됨.
- COOLSTAR 프로젝트를 통해 검증된 바에 의하면 COG 고로 취입으로 감축할 수 있는 온실가스 배출량은 3.7% 정도로 기대됨.

○ 상저취전로 등 철 스크랩 확대 기술이란 고로 공정 이후 선철을 정련하는 전로 공정에서 원료 중 철 스크랩의 비중을 확대하는 기술

- 상저취전로에서는 산소가 전로의 상부와 하부에서 동시에 취입되기 때문에 철 스크랩의 용해 속도가 기존 전로보다 빠르고 이차연소 제어가 용이해 추가 열원 확보에 유리하다는 장점이 있음.
- 이러한 상저취전로를 활용하면, 현재 15% 수준인 철 스크랩 투입 비율을 30~35%까지 높일 수 있으며, 이를 통해 고로와 전로 공정에서 배출되는 온실가스를 30% 정도 감축할 수 있을 것으로 기대됨.

○ HBI 활용 전기로 기술이란 기존 철광석을 고로에서 용융하는 대신, DRI를 덩어리로 뭉친 HBI를 전기로에서 용융하는 방식

- HBI를 전기로에서 용융하기 위해서는 기존 철 스크랩을 용융하는 기존의 전기로를 사용할 수 없고, DRI/HBI 전용 전기로 개발이 필요함.
- HBI 활용 전기로 기술이 상용화되면 전통 고로 방식 대비 온실가스 배출량을 60~70% 정도 줄일 수 있을 것으로 기대됨.

○ 수소환원제철이란 산화철에서 산소를 분리하여 철을 만드는 과정에서 환원제로 탄소 대신 수소를 사용하는 제철기법

- 현재 수소환원제철은 크게 샤프트로 방식과 HyREX 방식으로 나눌 수 있음.
- 샤프트로 방식은 MIDREX 등의 DRI 제조 공정과 같은 방식의 샤프트로를 사용하지만 환원가스로 그린수소를 사용하는 점이 다르며, 샤프트로에서 생산된 DRI를 전기용융로에서 녹여 용강을 제조함.
- HyREX 공법은 FINEX 공법의 유동환원 방식을 DRI 전용 전기로와 결합한 방식으로 환원가스로는 그린수소를 사용함.
- 수소환원제철이 성공적으로 상용화되면 제철 공정에서 발생하는 대부분의 온실가스를 줄일 수 있는 것으로 기대됨.

3. 시나리오 분석

○ 시나리오 분석에서는 전통 고로 방식과 수소환원제철의 연·원료비 비교를 통해 수소환원제철이 전통 고로 방식 대비 상대적 경제성을 가지는 조건을 분석

□ 횡단면 분석

○ 횡단면 분석에서는 2020년 에너지 가격 적용, 온실가스 비용 추가, 2050년 수소 목표 가격 적용 등을 고려하여 시나리오를 설정

○ 주요 분석 결과는 아래와 같음.

- 2020년 에너지 가격을 적용한 경우, 수소환원제철의 연·원료비는 기존 고로 방식 대비 다섯 배가 넘게 계산되었으며, 2020년 기준의 탄소 비용을 추가하더라도 비용이 세 배 이상으로 계산됨.
- 2050년 수소 목표가격을 적용한 경우에도 여전히 수소환원제철의 비용이 높게 나옴.
- 전통 고로 방식에 2020년의 탄소 가격을 부과한 상태에서 두 제철 방식의 비용이 균등해지는 수소 가격을 계산한 결과, kg당 1,356원으로 계산됨.
- 즉, 2050년 목표 수소 가격인 kg당 2,500원보다 훨씬 낮은 가격에서 비로소 수소환원제철의 경제성이 담보되는 것으로 분석됨.
- 수소 가격을 2050년 목표 가격으로 설정한 상태에서 비용이 균등해지는 탄소 가격을 계산한 결과, 톤당 82,154원으로 계산됨.
- 즉, 탄소 가격이 2020년 배출권 가격의 2.8배 수준까지 올라야 하며, 탄소 비용을 100% 부과할 때 수소환원제철이 전통 고로 방식 대비 경제성을 가지는 것으로 분석됨.

□ 종단면 분석

○ 종단면 분석에서는 네 개의 전통고로 시나리오와 네 개의 수소환원 시나리오를 구성

- 전통고로 시나리오에서는 배출권 유상할당이 단계적으로 높아져 2046년부터는 100% 유상할당으로 가정하였으며, 배출권 가격이 현재 수준, 현재의 두 배, 현재의 세 배로 상승하는 경우 등을 고려함.
- 수소환원 시나리오에서는 수소가격이 2050년 목표가격을 달성하는 경우, 목표 달성이 지연되는 경우, 초과 달성하는 경우 등으로 나누어 분석함.

○ 주요 분석 결과는 아래와 같음.

- 2050년까지 수소환원제철이 전통 고로 방식 대비 경제성을 가지는 경우 중, 그나마 실현 가능성이 높은 것은 수소환원2와 전통고로4의 조합임.
- 수소환원2는 정부의 수소 목표 가격이 달성되는 시나리오이며 전통고로4는 2050년 탄소 가격이 2020년 수준(29,145원/톤)의 세배(87,434원/톤)까지 상승하고 유상할당 비율을 100%로 상향되는 시나리오임.
- 만약, 탄소 가격이 이보다 낮은 수준에 머물거나 수소 목표 가격 달성이 지연될 경우, 2050년까지 전통 고로 기술 대비 수소환원제철 기술의 경제성은 담보하기 힘든 것으로 분석됨.

4. 정책적 시사점

□ 탄소 비용

○ 철강업 탄소중립 실현을 위해 「탄소중립 기본계획」 등의 국가 계획에 철강업 탄소 배출 비용 부과 계획을 명시할 필요

- 철강업은 현재까지 온실가스 배출에 대한 비용을 전혀 부담하지 않고 있음.
- 시나리오 분석 결과, 철강 산업의 탄소중립 달성을 위해서는 철강업에 탄소 배출 비용을 부과하는 것이 필수적임.

- 철강업이 탄소 배출 비용을 면제받는 상황이 지속되면 수소환원제철과 같은 탄소 중립 기술이 경쟁력을 가질 수 있는 시장 환경이 갖추어질 수 없음.
- 따라서 철강업의 탄소 중립을 실제적으로 달성하기 위해서는 시장에 정확하면서 장기적인 신호를 줄 필요가 있음.
- 배출권 유상 할당 계획은 2040년대에는 전통 고로 기술 대비 수소환원제철 기술의 경제성이 적어도 “연·원료비+탄소 비용”의 관점에서는 담보되는 수준으로 결정되어야 할 것임.

□ 수소 가격

○ 향후 수소 공급 단가를 낮추기 위해 원자력 수소 등의 다양한 대안을 폭넓게 고려할 필요

- 정부에서 목표로 제시한 수소 공급 가격은 2030년 3,500원/kg, 2040년 3,000원/kg, 2050년 2,500원/kg임.
- 이 목표가격을 달성하더라도 수소환원제철의 경제성이 보장되려면 추가로 탄소 가격이 현재의 세 배 수준까지 올라야하고 배출권 유상할당 비중이 100%가 되어야함.
- 즉, 2050년 2,500원/kg의 가격도 수소환원제철 기술의 경제성을 담보하기 위해 충분한 가격이라 보기는 힘듦.
- 게다가 정부가 제시한 수소 목표 가격 또한 달성하기 녹록치 않은 수준임을 감안한다면 원자력 수소 등을 포함한 다양한 대안을 폭넓게 고려할 필요가 있음.

□ 정책 속도 조절

○ 온실가스 감축 난이도 차이를 고려하여 부문별, 업종별 탄소중립 목표 시점 차별화 필요

- 시나리오 분석 결과, 수소환원제철 기술의 연구개발비와 설비 건설비는 전혀 고려하지 않고도 2050년까지 전통 고로 방식 대비 수소환원제철 기술의 상대적 경제성 달성이 상당히 힘든 것으로 분석됨.
- 이러한 상황을 고려한다면, 2050년까지 전 부문, 전 업종의 탄소중립을 달성한다는 정책 목표에 대해 다시 생각해 볼 필요가 있음.
- 철강업의 탄소중립 달성을 2050년이라는 획일화된 시점에 맞춰 무리하게 진행할 경우, 국내 철강 산업이 입게 될 타격은 비단 철강 산업 자체에만 국한되지 않고, 제조업 전반, 혹은 국가 경제 전체로 확대될 수 있음.