

온실가스저감기술도입에 따른 철강산업의 CO₂배출 저감효과분석 - 시스템 다이내믹스를 이용하여

천성필¹, 송재호¹, 강미선¹, 배주억¹, 김정섭¹, 신승복², 박종진², 박진원^{2,*}, 채윤근³
¹연세대학교 정보산업공학과, ²연세대학교 화학공학과, ³동경공업대학 화학공학과
 (jwpark@yonsei.ac.kr*)

The Effect of the Greenhouse Gas Reduction Technology on the Steel Industry using System Dynamics

Chun Sung Pill¹, Song Jae Ho¹, Kang Mi Sun¹, Bae Joo Auck¹, Kim Kyung Sup¹,
 Seungbok Shin², Jong jin Park², Jin-Won Park^{2,*}, Yoon-Keun Chae³
¹Department of Industrial& Information Engineering, Yonsei University,
²Department of Chemical Engineering, Yonsei University,
³Department of Chemical Engineering, Tokyo institute of Technology
 (jwpark@yonsei.ac.kr*)

서론

최근 국내에서 온실가스 배출 저감 노력이 이슈화되면서, 에너지 다소비 산업인 철강, 석유화학 및 시멘트 관련 기업들을 중심으로 다양한 형태의 온실가스 감축 연구들이 활발히 진행되고 있다. 현재 한국은 온실가스 감축의무국에 아직 속하고 있지 않지만 2013년 이후에는 감축의무국에 속할 것이 확실시 되고 있으며 이에 대한 준비가 필요하다. 철강 산업부문은 우리나라 에너지 소비의 약 11%를 차지하며 산업부문 이산화탄소 배출량의 34%를 배출하는 산업으로써 관심이 고조되고 있는 추세이다.

본 연구는 국내의 대표적인 철강 기업인 P사를 중심으로 철강 공정별 온실가스 저감/에너지 절약 기술의 저감 잠재력을 평가하고자 한다. 평가방법으로 철강 공정의 에너지/원료 흐름 및 공정 흐름을 기반으로 시뮬레이션 모형을 구축하여 저감기술도입에 따른 이산화탄소 배출량 결과를 분석하였다. 시뮬레이션 모형으로는 시스템 다이내믹스 방법론을 이용하였다.

시뮬레이션 모델 개발 및 검증

본 논문에서 시뮬레이션 모델은 한 사업장에 선철 제조공정, 제강공정, 압연공정이 함께 있는 일관제철소를 대상으로 구축하였다. 기술 도입이 되지 않은 현재의 상황을 반영한 BAU 시나리오는 철강제품별로 과거 2000년부터 2006년까지의 데이터를 수요 추세를 분석하여 수요 예측식을 산정하고, 산정된 식을 통해 주단위로 수요가 지속된다는 가정을 바탕으로 설정된 시나리오로, 각 제품 수요가 발생하였을 경우, 현재 보유중인 재고량을 확인하여 제품 생산여부를 결정하고 생산이 필요한 경우 제품 생산을 위해 필요한 중간재와 에너지 및 원료의 투입량을 결정하게 된다. 기술 도입 시나리오의 기술 대안은 현재 사용되고 있으나, 국내에서는 아직 채택하지 않고 있는 것들을 시나리오에 포함하였다. 기술 대안은 2010년 이후로 이용 가능한 것으로 정의하였다. 시뮬레이션 모형의 평가의 기준년도를 2007년도로 채택하였다. 2000년도의 기술의 종류, 기술별 생산 용량, 에너지 및 원료 사용 실적, 철강 제품 수요 등을 기준으로 향후 평가기간 동안에 기술도입에 따른 온실가스 저감 잠재량 평가를 수행하였다. 평가 기간은 대부분의 철강 기술 수명이 20년 이상을 상회하는 점을 반영하여 2007년부터 2030년까지로 설정하였다. 평가의 기준이 되는 철강 제품의 수요는 2000년부터 2006년까지의 각 제품의 생산 실적, 수요 실적 및 재고 실적을 기준으로 정의하였다. 제품의 총 수요는 2007년 이후 2030년까지

지 시계열적으로 증가하는 형태를 따르도록 수요 추세선을 만들었다.

이산화탄소 배출 저감 잠재량을 분석하기 위해 IPCC에서 정한 에너지 및 원료별 적용된 이산화탄소 배출계수를 사용하였다. 전체 철강공정은 조강 제품류, 관제 제품류, 주강 제품류, 연속 주조 제품류를 생산하고 있다. 각 공정에서의 생산량 결정 모듈은 비슷하며 아래의 Fig 1는 조강 제품류에 대하여 생산량 결정을 위하여 구축한 SD모듈을 보여주고 있다. 각 제품의 수요는 1998년부터 2006년까지 철강 협회의 철강 제품에 대한 실제 수요를 바탕으로 수요 예측식을 생성하고, 해당 식을 통해 수요가 발생하도록 하였다. Section제품의 경우 수요 예측식을 통해 수요가 결정되며, 생성된 수요를 충족하기 위해 현재 Section의 재고량을 확인하여 제품을 생산하도록 하였다. 다른 제품류인 관제, 주강, 연속 주조 제품류도 이와 유사하게 표현된다.

Fig 2는 제선 및 제강 공정을 처리하는 모델을 설명하고 있다. 제선 공정을 통해서 Pig Iron과 Reduced Iron이 생산되어지며, 제강 공정을 통해 용강이 생산된다. Pig and Reduced Iron은 복합선철의 의미하며, 선철과 환원철을 모두 포함한다. Fig 2에서 보면, 현재 Pig Iron의 보유량이 사용량 이상이면 생산하지 않으며 미만이면 사용량과 안전재고량 합에서 현재 재고량을 뺀 만큼 생산하게 된다. 안전재고율은 0.02로 나타낸다.

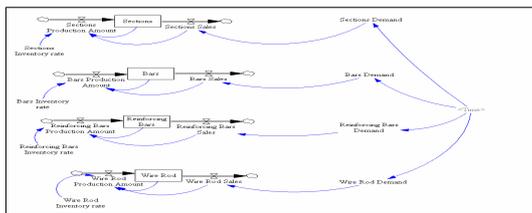


Fig 1. 조강제품류의 생산량 결정 모듈

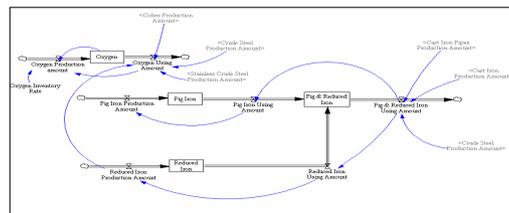


Fig 2. 제선 및 제강 공정 모듈

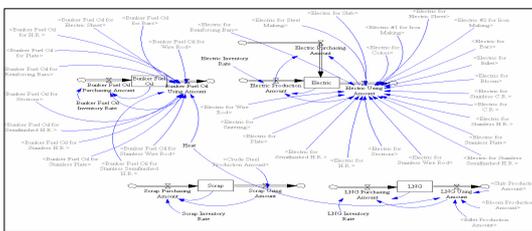


Fig 3. 원료 사용량 결정 모듈

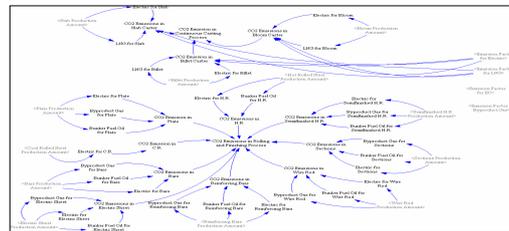


Fig 4. 최종공정의 이산화탄소 배출량

Fig 3는 원료 및 에너지 사용량 결정에 관한 부분을 묘사하고 있다. 원료 및 에너지에는 BC유, 전기량, Scrap, LNG, Sinter Ore, Limestone 등이 있으며 각각의 사용량은 제품 생산 공정에서 제품 생산시 사용된 에너지량의 총합으로 나타낼 수 있다. 예를 들면 LNG가 사용되는 생산제품인 Bloom, Billet, Slab, Pig Iron, Crude Steel에 생산량 대비 LNG투입량을 곱하여 사용량을 구할수 있다.

Fig 4는 최종 공정의 이산화탄소 배출량에 관한 모듈이다. 이산화탄소 배출에 관련된 공정은 크게 Cokes&Sintering, Iron and steel making, Stainless, Finishing Process로 구분된다. 이산화탄소 배출은 각 공정마다 유사한 방식으로 진행된다. 예를 들어 Finishing 공정에서 이산화탄소 배출량은 Bars, Plate, Section 등의 제품에 사용되는 에너지, Bunker Fuel Oil, Byproduct, Electric의 사용량에 각 원료의 이산화탄소 배출계수를 곱하여 합한 값으로 구하며, 다른 공정도 이와 유사하게 구할 수 있다.

시뮬레이션 결과분석

본 연구의 목표는 각 기술이 적용되었을 시 온실가스 배출 감소량이 얼마나 되는지 판단하는 것으로 요약할 수 있다. 전체 공정은 코크스, 소결광, 제선, 제강, 압연 공정으로 나눌 수 있으며 시뮬레이션 결과 코크스 공정에서는 932천TC, 소결광 공정은 4868천TC, 제선 공정 4501천TC, 제강 공정 518천TC, 연속주조 공정 128천TC가 배출된다. (2010년 기준) 앞에서 언급한 바와 같이 압연, 소결광, 제선공정에서 전체 공정에서 이산화탄소 배출량의 80%를 차지하고 있으며 따라서 이들 공정의 기술 도입이 불가피하다고 판단되었고 이들 중요 공정에 대해서 언급하고자 한다.

본 연구에서는 22가지의 공정별 저감 기술 시나리오 도입에 따른 시뮬레이션 분석을 수행하였다. 표 1,2,3은 각 소결광, 압연, 제선공정에 저감기술이 도입되었을 시 현재의 상황(BAU)의 결과와 기술도입결과를 비교한 표이다.

표 1. 소결광공정 이산화탄소 배출량

| 기술시나리오CO ₂ 배출량 | | | | | Unit: 100만ton | | |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|---------------|-------|-------|
| 소결광 | 연도 | 2007 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
| 부분환원소결 기술 | 소결광공정 | 4.76 | 4.48 | 4.60 | 4.68 | 4.74 | 4.80 |
| | 전체공정 | 32.92 | 35.59 | 36.66 | 37.31 | 37.90 | 38.38 |
| BAU | 소결광공정 | 4.76 | 4.87 | 4.99 | 5.08 | 5.15 | 5.22 |
| | 전체공정 | 32.91 | 35.96 | 37.04 | 37.70 | 38.29 | 38.77 |

표2. 압연공정 이산화탄소 배출량

| 기술시나리오CO ₂ 배출량 | | | | | Unit: 100만ton | | |
|---------------------------|------|-------|-------|-------|---------------|-------|-------|
| 압연 | 연도 | 2007 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
| 고온증기 SKID냉각기술 | 압연공정 | 6.32 | 6.44 | 6.63 | 6.78 | 6.86 | 6.98 |
| | 전체공정 | 33.05 | 35.95 | 37.05 | 37.85 | 38.25 | 38.86 |
| 고온강재압연기 술 | 압연공정 | 6.31 | 6.30 | 6.47 | 6.60 | 6.72 | 6.80 |
| | 전체공정 | 32.92 | 35.82 | 36.89 | 37.55 | 38.15 | 38.63 |
| 순산소연소기술 | 압연공정 | 6.31 | 6.35 | 6.52 | 6.65 | 6.76 | 6.85 |
| | 전체공정 | 32.93 | 35.86 | 36.94 | 37.59 | 38.18 | 38.66 |
| 준성형주조기술 | 압연공정 | 0.13 | 0.13 | 0.13 | 0.13 | 0.14 | 0.14 |
| | 전체공정 | 32.97 | 35.77 | 36.89 | 37.48 | 38.11 | 38.54 |
| 중온재가열 | 압연공정 | 6.26 | 6.39 | 6.57 | 6.72 | 6.80 | 6.92 |
| | 전체공정 | 32.99 | 35.90 | 36.99 | 37.79 | 38.19 | 38.80 |
| BAU | 압연공정 | 6.31 | 6.46 | 6.63 | 6.77 | 6.88 | 6.97 |
| | 전체공정 | 32.91 | 35.96 | 37.04 | 37.70 | 38.29 | 38.77 |

위의 표 1에서 소결광 공정의 기술 도입 시 배출되는 이산화탄소 배출량이다. 소결광 공정 관련 기술은 다른 공정 기술과 달리 공정 기술을 찾는데 많은 한계점이 있었다. 따라서 현재 하나의 기술만 평가 대상으로 고려하였으며, 향후 다른 기술 DB를 확보한다면 더욱 많은 분석이 가능할 것으로 본다.

도입된 기술 시나리오는 부분환원소결기술이며 기술 도입 시기는 2010년으로 알려져 있다. 이 기술이 도입될 경우 이산화탄소 배출량이 BAU대비 500TC정도의 감소효과가 있는 것으로 나타났다. 이는 다른 공정기술과 비교해 볼때 전반적으로 우수하다고 판단된다. 표 2는 압연 공정의 기술 도입에 따른 온실가스 배출 잠재량을 분석하였다. 압연 공정의 경우 최종 제품이 후판에만 적용되는 기술이 대부분이어서 그 효과는 매우 미비한 것으로 나타난다. 준성형 주조 기술이 미약하나마 가장 저감효과나 나타났으며 BAU대비 100TC정도의 효과를 보이는 수준이다

표 3은 제선 공정에서의 저감 기술 평가 결과이며 분석 결과2030년을 기준으로 볼때 유동층 용융 환원로 기술이 가장 우수한 저감 효과를 보이고 있으며 천연가스 이용 환원 응용기술 또한 우수한 저감효과를 보인다.

표3. 제선공정 이산화탄소 배출량

| | | 기술시나리오CO ₂ 배출량 | | | | Unit: 100만ton | |
|------------------------|------|---------------------------|-------|-------|-------|---------------|-------|
| 제선 | 연도 | 2007 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
| 가스분탄직분 사기술 | 제선공정 | 19.86 | 18.23 | 18.71 | 19.02 | 19.31 | 19.55 |
| | 전체공정 | 32.92 | 32.04 | 33.06 | 33.65 | 34.18 | 34.62 |
| 고로가스이산 화탄소제거기 술 | 제선공정 | 19.86 | 12.11 | 12.43 | 12.64 | 12.83 | 12.98 |
| | 전체공정 | 32.93 | 19.66 | 20.20 | 20.58 | 20.91 | 21.18 |
| 유동층 용융환원로 | 제선공정 | 8.46 | 3.91 | 4.01 | 4.09 | 4.15 | 4.19 |
| | 전체공정 | 21.52 | 11.47 | 11.78 | 12.03 | 12.23 | 12.39 |
| 천연가스이용 직접환원응용 기술 | 제선공정 | 19.86 | 20.24 | 8.24 | 5.70 | 5.77 | 5.84 |
| | 전체공정 | 32.93 | 35.98 | 16.01 | 13.64 | 13.85 | 14.04 |
| 코렉스 | 제선공정 | 19.95 | 15.06 | 15.55 | 15.89 | 16.02 | 16.26 |
| | 전체공정 | 33.06 | 22.60 | 23.32 | 23.85 | 24.09 | 24.47 |
| 파이넥스 | 제선공정 | 19.95 | 15.40 | 15.85 | 16.19 | 16.35 | 16.60 |
| | 전체공정 | 33.06 | 22.94 | 23.63 | 24.15 | 24.42 | 24.82 |
| 페플라스틱 | 제선공정 | 19.86 | 17.97 | 18.44 | 18.76 | 19.04 | 19.27 |
| | 전체공정 | 32.92 | 31.78 | 32.79 | 33.38 | 33.91 | 34.34 |
| 환원용제직분 사기술 | 제선공정 | 19.86 | 19.42 | 19.92 | 20.26 | 20.57 | 20.82 |
| | 전체공정 | 32.92 | 34.45 | 35.50 | 36.14 | 36.71 | 37.17 |
| BAU | 제선공정 | 19.86 | 20.24 | 20.77 | 21.12 | 21.44 | 21.70 |
| | 전체공정 | 32.91 | 35.96 | 37.04 | 37.70 | 38.29 | 38.77 |

결론

본 연구는 철강 산업에서 저감 기술이 도입 되었을 시 이산화탄소 배출 저감 효과를 분석하기 위해 시스템 다이내믹스 방법론을 이용하여 에너지 사용량 변화, 제품 생산량의 이산화탄소 배출량의 변화를 분석하였다. 분석 결과 전체 공정 중 소결광, 압연, 제선공정에서 전체 80%의 이산화탄소를 배출하며 따라서 이 부분에 대한 저감기술도입이 시급하다고 할 수 있다. 도입 결과는 다음과 같다. 2030년 기준으로 볼 때 소결광 공정에서는 부분환원소결기술이 약 500TC의 이산화탄소를 줄 일수 있으며, 제선 공정에서는 유동층 용융 환원로 기술 도입으로 16000TC를 줄일 수 있다. 압연 공정은 최종 제품이 후판에만 적용되는 기술이라 그 효과가 매우 미비하다고 판단된다.

참고문헌

1. 김도훈 외, 시스템 다이내믹스, 대영문화사(1999)
2. Jhon D. Sterman., Business Dynamics, McGraw-Hill, New York(2000)
3. Price L, Michaelis L, Worrell E, Khrushch M., 1998, Sectoral trends and driving forces of global energy use and greenhouse gas emissions, Miligation Adapt Strategies Global Change, 2, pp 263-319
4. International Iron and Steel Institute, 1997, Steel statistics of developing countries, 1996.ed IISI;Brussels
5. Matthias R, Anthony A., Vintage structure dynamis and climate change policies: the case of US iron and steel, Energy Policy 30, 541-552
6. 한국에너지기술연구원, 철강 부문 기술 분석 및 온실가스 저감 잠재량 평가, 2001