

철강산업의 온실가스 배출 탈동조화 국제비교[†]

김동구*

요약 : 철강산업은 온실가스 배출량이 가장 많은 제조업이면서 핵심소재산업으로서 국민경제에 미치는 파급효과가 크다. 본 연구는 한국, 일본, 독일을 중심으로 1990~2019년 기간에 걸쳐 철강산업의 온실가스 배출 탈동조화 양상을 국제비교하였다. 특히, 연료연소 배출량만을 고려한 선행연구들과는 달리 본 연구에서는 연료연소 배출량, 산업공정 배출량, 전력 및 열 사용에 따른 간접 배출량을 모두 고려하였다. 분석결과, 한국은 확장적 동조화, 일본은 탈동조화, 독일은 불분명으로 해석된다. 따라서 한국 철강업이 나아가야 할 탈동조화 경로는 독일이 아니라, 일본과 유사하거나 일본보다 더 효과적인 탈동조화 방안을 모색하는 형태로 진행되어야 할 것이다. 또한, 본 연구는 철강업의 특성을 최대한 고려하고 일본 및 독일과의 비교를 통해 탈동조화 분석결과의 원인과 한국 철강업에의 시사점도 제시하였다. 특히, 일본의 탈동조화 촉진 요인으로 일본 철강재의 고부가가치화, 일본 철강산업의 에너지효율기술 개발, 일본 철강산업의 전략적 M&A, 일본 철강재의 폐쇄적 유통구조에 따른 경쟁력 유지, 4가지를 제시하였다. 한국 철강업도 일본의 사례를 벤치마크로 삼아 철강재의 품질 고도화 및 품목 다변화를 통해 부가가치를 더 높이는 동시에, 신기술 개발을 통해 온실가스를 근본적으로 줄이기 위해 노력해야 할 것이다.

주제어 : 온실가스, 탈동조화, 철강산업, 국제비교

JEL 분류 : Q54, Q56, L61

접수일(2022년 2월 21일), 수정일(2022년 3월 12일), 게재확정일(2022년 3월 14일)

[†] 이 논문은 에너지경제연구원 기본연구보고서, “주요 제조업의 온실가스 배출 탈동조화 촉진 방안 연구”에서 저자가 작성한 내용의 일부를 최신자료를 이용해 수정·보완한 것임.

* 한국해양대학교 해양경영경제학부 경제전공 조교수, 교신저자(e-mail: eastnine09@gmail.com)

International Comparison of Decoupling of Greenhouse Gas Emissions in the Steel Industry

Dong Koo Kim*

ABSTRACT : The iron and steel industry is a manufacturing industry with the largest greenhouse gases emissions and has a great ripple effect on the national economy as a core material industry. This study internationally compared the decoupling patterns of greenhouse gases emissions in the iron and steel industry from 1990 to 2019, focusing on Korea, Japan, and Germany. In particular, unlike previous studies that considered only fuel combustion emissions, this study considered all fuel combustion emissions, industrial process emissions, and indirect emissions from the use of electricity and heat. As a result of the analysis, Korea is interpreted as expansive coupling, Japan as decoupling, and Germany as unclear. Therefore, the decoupling path that the Korean iron and steel industry should take should not be in Germany, but in the form of seeking a decoupling method similar to Japan or more effective than Japan. In addition, this study considered the characteristics of the iron and steel industry as much as possible and presented the causes of the decoupling analysis results and implications for the Korean iron and steel industry through comparison with Japan and Germany. In particular, four factors were suggested as factors which has promoted decoupling in Japan: high value-added of Japanese iron and steel products, development of energy efficiency technology in the Japanese iron and steel industry, strategic M&A of the Japanese iron and steel industry, and maintaining competitiveness according to the closed distribution structure of Japanese iron and steel products. The Korean iron and steel industry should also use the case of Japan as a benchmark to further increase added value through quality upgrade and product diversification of iron and steel products, while at the same time making efforts to fundamentally reduce greenhouse gas emissions through the development of new technologies.

Keywords : Greenhouse gas, Decoupling, Iron and steel industry, International comparison

Received: February 21, 2022. Revised: March 12, 2022. Accepted: March 14, 2022.

* Assistant Professor, Major in Economics, Division of Maritime Management and Economics, National Korea Maritime & Ocean University, Corresponding author(e-mail: eastnine09@gmail.com)

1. 서론

2021년부터 파리협정에 따른 신기후체제가 본격적으로 가동되면서, 이제 기후변화 대응을 위한 온실가스 감축은 피할 수 없는 현실이 되었다. 파리협정 하의 각 당사국은 국가결정기여(NDC) 상의 온실가스 감축목표를 명확히 해야 하며, NDC 이행상황을 지속적으로 UN에 보고해야 한다(손인성·김동구, 2020). 또한, 파리협정 이행규칙 채택으로 기후변화 대응 종합평가 및 그 결과의 환류 시스템도 구축되었다(손인성·김동구, 2020). 2023년부터 5년마다 지구적 이행점검(GST)으로 당사국들의 NDC 이행과 감축 활동을 종합 평가하게 된 것이다. GST에 따른 평가 결과는 향후 당사국에 대한 감축이행 압박에 활용될 가능성이 농후하다.

국내적으로도 이러한 대외환경의 변화에 발맞추어 2050년을 목표로 탄소중립이 선언되었고 법제화까지 되었다. 2020년 10월 국가비전으로 탄소중립이 선언되었으며 그 후속조치로 2021년 1월부터는 2050 탄소중립 시나리오 수립을 위한 기술작업반이 결성되어 운영되었다. 그 결과, 2021년 10월에는 국내 온실가스 순배출량을 영(0)으로 하는 2개의 2050 탄소중립 시나리오가 국무회의에서 확정되었다(환경부, 2021a). 또한, “기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법(탄소중립기본법)”이 2021년 9월 제정되어 “2050년까지 탄소중립을 목표”로 한다는 것이 법제화되었다(국가법령정보센터, 2022). 여기에 더해 2030년 NDC를 종래의 2017년 온실가스 배출량 대비 2030년까지 24.4% 감축하는 것에서 2018년 대비 2030년까지 40% 감축하는 것으로 대폭 상향하는 내용도 국무회의에서 확정되었다(환경부, 2021a).

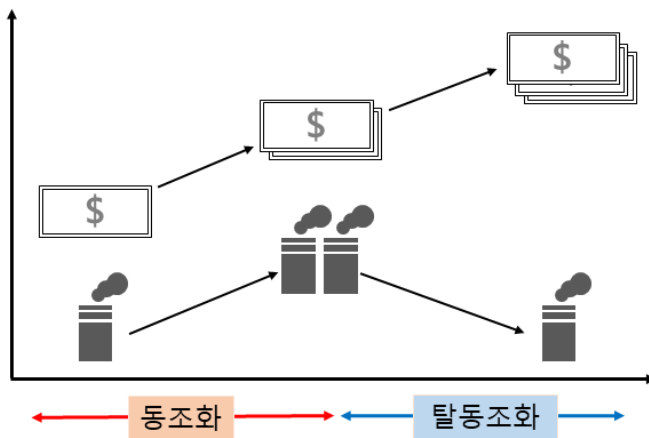
그러나 이와 같은 국내외의 온실가스 감축 노력 강화 움직임에도 불구하고 온실가스를 많이 배출하는 제조업의 비중이 높은 국내 산업구조를 고려할 때, 아직 갈 길이 멀어 보인다. 온실가스 직접 배출량만 고려해도, 산업부문은 국가 총배출량의 33.9%를 차지하는 핵심 부문이다(환경부, 2021b). 따라서 철강, 석유화학, 시멘트, 반도체 등 주요 산업의 비용효과적인 감축방안 및 전략 수립이 시급하다. 게다가, 제조업 부문은 2020년 기준으로 한국 전력소비량의 49.1%를 차지해(에너지경제연구원, 2021), 전력 사용에 따른 온실가스 간접배출량에도 미치는 영향이 막대하다.

특히, 연간 약 1억 톤 내외의 온실가스를 배출하며 산업부문 온실가스 배출량의 40%

이상을 차지하는 철강산업은 한국의 기후변화 대응 및 탄소중립 달성에 있어서 중추적인 역할이 불가피하다. 2021년에 강화된 한국의 NDC 상에는 “산업 부문은 전기로 등 철강산업 공정의 전환(중략) 등을 통해 2018년 대비 2030년 배출량을 14.5% 감축한다.”고 명시되어 있다(환경부, 2021a). 국가 전체 온실가스 감축목표가 강화되면서 산업부문도 감축목표가 강화되었으며, 그 핵심에는 철강산업이 자리하고 있는 것이다.

<그림 1>에 제시된 바와 같이, 이제까지의 경제활동은 생산량 및 부가가치를 증대하기 위해서는 온실가스 배출량 증가가 불가피했다(동조화 현상). 그러나 이제 온실가스 감축에 대한 국내외적 요구에 부응하면서, 지속적인 경제발전을 위해서는 제조업에서 탈동조화(Decoupling) 달성이 선결과제이다. 생산활동의 인위적·강제적 축소 없이, 온실가스 감축을 달성하기 위해서는 생산활동과 배출량 간 양(+)의 관계가 약화 또는 음(-)의 관계로 역전되는 탈동조화가 필수인 것이다. 온실가스 감축을 위해 생산활동을 인위적으로 축소하는 것은 일자리 확대, 삶의 질 개선 측면에서 바람직하지 않은 하책(下策)에 불과하다. 특히, 국내경제에서 제조업의 중요성을 고려 시, 제조업의 탈동조화는 지속가능한 저탄소경제 구축을 위한 주춧돌로 평가할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 한국 제조업 중에서 온실가스 배출량이 가장 많으면서, ‘산업의 쌀’로 불리는 철강산업의 온실가스 배출 탈동조화 현황 및 요인을 국제비교를 통해서 살펴보고자 한다.

〈그림 1〉 동조화와 탈동조화의 개념도



자료: 저자 작성.

본 연구는 탈동조화 분석 방법론을 토대로, 한국을 비롯해 일본과 독일의 철강산업을 대상으로 온실가스 배출 탈동조화 현황 및 원인을 점검하고자 하였다. 특히, 철강산업의 탈동조화 현황을 직접배출(연료연소배출과 공정배출)은 물론이고 간접배출(전력 및 열 사용에 따른 배출)까지도 고려하여 분석하였다. 단순한 탈동조화 분석결과만을 제시하는 것에 그치지 않고, 본 연구에서는 업종 자체의 특성을 최대한 고려하고 일본 및 독일과의 비교를 통해 탈동조화 분석결과와 원인도 제시하고자 하였다. 본 연구의 구조는 다음과 같다. 우선, 제2장에서는 관련 선행연구를 살펴보았으며, 제3장에서는 분석방법론 및 이용 자료에 대해 설명하였다. 이어서 제4장에서는 분석결과를 제시하였으며, 제5장에서는 일본 철강업의 탈동조화 촉진 요인을 살펴보았다. 제6장에서는 결론으로 끝맺음하였다.

II. 선행연구

환경인자와 경제지표 간의 탈동조화를 정량적으로 분석하려는 시도는 다양한 환경인자를 대상으로 다양한 분석방법론을 활용해 시도되었다.

대표적으로 OECD(2002)는 지속가능발전의 측면에서 경제성장과 환경압력(Environmental Pressure) 간의 탈동조화 지수(Decoupling indicators) 개발을 시도하였다. 이는 상대적 또는 절대적 탈동조화 형태로 탈동조화 지수에 대한 개념적 분석을 진행한 다음, 다양한 환경재 및 자원이용(기후변화, 공기오염, 수질, 폐기물, 천연자원 이용)에 대한 탈동조화 지수를 개발해 제시하였다. OECD(2002)에 따른 탈동조화 비율은 환경압력과 경제적 요인 간의 상대적 비율을 초기(start of period)와 말기(end of period) 간에 비교한 것으로, 기후변화에 대한 탈동조화는 GDP당 총배출량과 1인당 총배출량으로 분석하는 것이 적절하다고 제시하였다. 그러나 OECD(2002)의 연구는 분석기간의 초기와 말기를 직접 비교함에 따라, 끝점효과(endpoint effect)의 영향이 상당하다는 한계점을 가지고 있다. 만약, 분석기간 내내 전반적으로 동조화가 심해지고 있는 상황임에도 불구하고 말기 연도에 특정 사건으로 인해 온실가스 배출량이 한시적으로 급감한 경우, OECD(2002)에 따른 탈동조화 계수는 전반적인 동조화 심화 추이를 제대로 분석하지 못할 가능성이 높다.

Wang(2011)은 탈동조화 지수를 사용해 1981~2009년 기간 중국의 총·에너지원별 에너지소비와 GDP 간 탈동조화를 분석하였다. Wang(2011)의 분석결과, 중국의 탈동조화

지수는 꾸준히 상승하고 있다는 점을 알 수 있다. Wang(2011)은 전체 GDP뿐만 아니라, 1~3차 산업에 대해서도 구분하여 분석하였는데, 중국의 3차산업에 대해서도 여전히 탈동조화 지수가 높다는 점을 지적하였다. Wang(2011)에서 가장 주목할 가치가 있는 것은 탈동조화지수의 변화를 경제지수 및 에너지지수의 증감과 비교하여, 6가지로 세분화하였다는 점이다. Wang(2011)의 방법론에 따르면 단순히 탈동조화 여부만을 분석하는 것을 넘어서서 절대적 탈동조화, 상대적 탈동조화 등으로 세분화해 볼 수 있다. 이러한 세분화된 구분을 통해 탈동조화 상태에 대해 보다 심도 있는 평가를 내릴 수가 있는 것이다.

Cohen et al.(2018)은 온실가스 다배출 20개국의 GDP와 온실가스 배출 간의 탈동조화를 단순회귀분석(Simple Regression Analysis)을 이용해, 탄력성을 구하는 방식으로 분석하였다. Cohen et al.(2018)에 따르면, 1990~2014년 기간 한국의 탈동조화 탄력성 추정치는 1보다 큰 1.3 내외로 나타나 여전히 탈동조화를 이루지 못하고 있는 것으로 분석된다. 또한, 다배출 20개국 중에서 이탈리아에 이어 두 번째로 탈동조화 정도가 낮은 것으로 확인된다(Cohen et al., 2018). 나아가 Cohen et al.(2018)은 재생에너지 및 기후변화 완화 노력을 지지하는 정책 체제(policy framework)를 가진 국가들이 배출량 추세와 GDP 추세 간의 탈동조화가 보다 더 두드러지는 것으로 분석하였다. Cohen et al.(2018)에서 가장 주목할 가치가 있는 것은 분석기간 전체에 대한 탈동조화 지수를 회귀분석으로 구해진 탄력성이라는 단일 수치로 제시한다는 점이다. 이는 OECD(2002)의 한계점으로 제시된 끝점효과의 영향을 크게 받지 않을 수 있으며, Wang(2011)에서 사용된 매년 도출된 탈동조화 지수의 변화를 분석하는 방법론에서 비롯되는 단점을 보완할 수 있다는 장점이 있다. 또한, Cohen et al.(2018)은 회귀분석을 이용하였기 때문에 추정된 탄력성에 대한 통계적 유의성을 평가할 수가 있다는 장점이 있다. 이는 분석된 탄력성이 통계적으로 어느 정도의 신뢰성을 가지는지를 알 수 있게 해준다는 또 다른 장점이 있다.

국내에서도 최근 온실가스 배출량과 경제성장 간의 탈동조화를 분석하려는 연구가 늘고 있다. 과거에는 주로 환경쿠즈네츠곡선(Environmental Kuznets Curve: EKC)을 이용한 단순한 분석에 그쳤지만, 최근에는 다양한 방법론을 이용한 분석들이 시도되고 있다.

김대수·이상엽(2019)은 단기 비동조화(Decoupling) 지수와 장단기 비동조화 추정 모형을 이용해 한국의 탈동조화를 분석하였다. 단기 비동조화 분석에는 UNEP(2011)의 탈동조화 지수(Decoupling Index)를 이용하였는데, 이는 본 연구에서 앞서 언급한 Wang(2011)의

분석방법론과 유사하다. 김대수·이상엽(2019)은 장단기 비동조화 추정 모형으로 자기회귀 시차모형(Autoregressive Regression Distributed Lag: ARDL)을 이용해 오차수정모형의 두 단계(Two-stage) 추정방식을 활용하였다. 김대수·이상엽(2019)의 분석결과, 장기적으로는 탈동조화로 평가하기에 어려우나, 단기적으로는 상대적 탈동조화가 뚜렷하게 확인되었다고 제시하였다.

임형우·조하현(2019)은 63개국을 대상으로 1980~2014년 기간 각 국가별 경제성장의 탈동조화 현상과 그 원인을 분석하였다. 앞서 언급한 OECD(2002)의 탈동조화 계수를 이용해 1인당 GDP 및 이산화탄소 배출량의 5년 이동평균(Moving Average)에 대해 탈동조화 지수를 계산하였다. 그 결과, OECD 국가 및 고소득국가의 탈동조화지수가 높으며, 2000년대 이후 전세계적으로 탈동조화가 가속화되었다고 주장했다. 또한, 동태패널 모형을 통해 탈동조화의 원인을 제조업 성장률, 수출비중, 인적자본, 신재생에너지 비율, 소득 등을 중심으로 살펴보았다.

임형우·조하현(2020)은 OECD 25개국에 대해 1990~2017년 기간 교통부문 온실가스 배출의 탈동조화 현상과 그 원인을 분석하였다. 탈동조화 지수는 Tapio(2005)에서 제시한 방법론을 이용하였는데, 이는 앞서 언급한 Wang(2011)의 분석방법론과 유사하다. 임형우·조하현(2020)의 분석결과, 상당수 국가들의 교통부문이 탈동조화 국면에 도달했다고 평가되었다. 또한, 패널분석을 통해 교통부문 탈동조화의 원인을 전기화, 가스화, 운송량, 도시화율 등을 중심으로 살펴보았다.

이상에서 살펴본 바와 같이, 최근 국내에서도 온실가스 배출량과 경제성장 간의 탈동조화를 다양한 분석방법론을 이용해 분석하려는 연구가 늘고 있다. 그러나 아직까지는 경제전반 내지는 교통부문 정도에 대한 분석에 그치고 있고, 본 연구에서처럼 철강업에 대한 정량적 분석과 더불어 국제비교를 통해 탈동조화 정도의 차이가 발생하는 요인을 살펴본 연구는 찾아보기 어렵다. 특히, 본 연구는 한국, 일본, 독일을 중심으로 온실가스를 가장 많이 배출하는 제조업인 철강산업의 온실가스 배출 탈동조화 양상을 국제비교하였다는 차별점이 있다. 특히, 연료연소 배출량만을 고려한 선행연구들과는 달리 본 연구에서는 연료연소 배출량, 산업공정 배출량, 전력 및 열 사용에 따른 간접 배출량 등 모든 온실가스 배출량을 분석에 활용하였다는 점에서 이전 연구와 구별되는 차별성이 있다. 또한, 본 연구는 철강업의 특성을 최대한 고려하고 일본 및 독일과의 비교를 통해 탈

동조화 분석결과의 원인과 한국 철강업에의 시사점도 제시하였다.

Ⅲ. 분석방법론 및 이용자료

1. 분석방법론

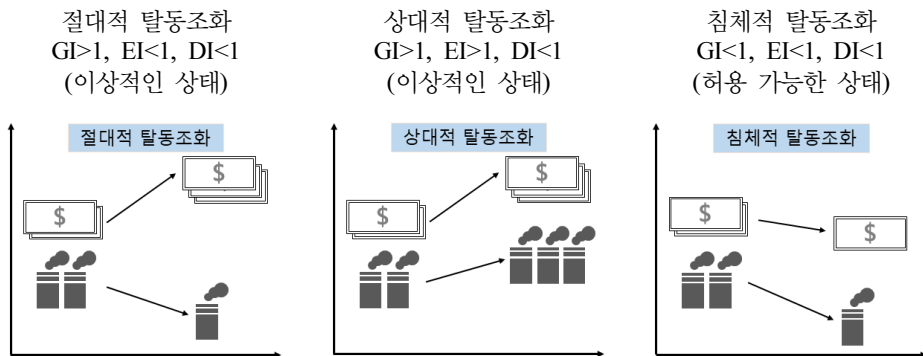
본 연구는 탈동조화 분석을 위해 크게 두 가지 방법론을 활용하였다. 우선, Wang (2011)의 탈동조화 지수를 온실가스 배출량에 적용해 각 연도의 탈동조화 지수를 도출하였다. Wang(2011)에서 제시한 탈동조화 지수는 다음과 같다.

$$\text{탈동조화 지수: } DI_t = \frac{EI_t}{GI_t}$$

여기에서 DI_t 는 t연도의 탈동조화 지수, EI_t 는 t연도의 배출량 연쇄지수 ($= \frac{Emissions_t}{Emissions_{t-1}}$), GI_t 는 t연도의 부가가치 연쇄지수 ($= \frac{VA_t}{VA_{t-1}}$)

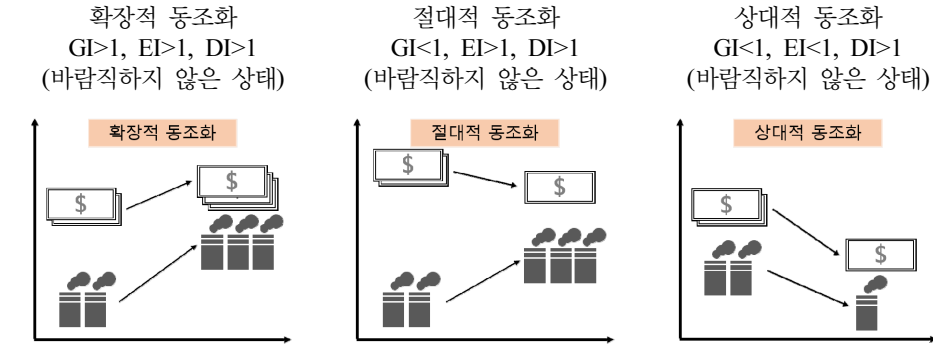
철강업종의 전년대비 부가가치 비율(GI)과 전년대비 배출량 비율(EI), 이 두 비율 간의 상대적인 크기에 따라 결정되는 탈동조화 지수(DI)의 크기에 따라 다음과 같이 6가지 유형으로 세분화된다(<그림 2, 3> 참조).

<그림 2> 탈동조화의 3가지 유형



자료: Wang(2011) p.2364에 기반해 저자 작성.

〈그림 3〉 동조화의 3가지 유형



자료: Wang(2011) p.2364에 기반해 저자 작성.

다음으로, Cohen et al.(2018)의 탄력성을 이용한 탈동조화 관계 분석도 진행하였다. 즉, 철강업종의 부가가치와 온실가스 배출량을 각각 로그 변환하여 아래에 제시된 회귀 분석식을 이용해 두 로그변수 간의 탄력성을 도출하여 탈동조화 관계를 검증하였다.

$$\text{회귀분석식: } e_t = \beta y_t + \epsilon_t$$

여기에서 t는 연도, e_t 는 로그 변환된 온실가스 배출량, y_t 는 로그 변환된 GDP

탄력성인 β 를 통해 부가가치와 배출량 간의 탈동조화 정도를 평가할 수 있으며, 탄력성 β 의 값이 1보다 작을수록 탈동조화가 강하게 진행되고 있다고 평가가 가능하다(<표 1> 참조).

〈표 1〉 탄력성 결과와 탈동조화 여부

탄력성 결과	$\beta < 1$	$\beta = 1$	$\beta > 1$
탄력성의 의미	부가가치 증가보다 배출량 증가가 적음	부가가치 증가와 배출량 증가가 동일	부가가치 증가보다 배출량 증가가 많음
탈동조화 여부	탈동조화	동조화	동조화

자료: 저자 작성.

2. 이용자료

앞서 언급된 두 가지 방법론을 적용한 탈동조화 분석을 진행하기 위해, 본 연구에서는 다음과 같은 경제지표와 온실가스 배출량 자료를 이용하였다.

우선, 경제지표로는 한국은행 국민계정에 제시된 경제활동별 부가가치(Value-Added: VA) 자료를 이용하였다. 한국은행의 부가가치 자료는 UN 등 국제기구가 공동으로 마련한 2008 국민계정체계(2008 System of National Accounts: 2008 SNA)를 따르고 있어서, 국제비교에 용이하다(한국은행, 2020; UN et al., 2009). 본 연구는 국제비교를 통한 깊이 있는 탈동조화 분석을 위해 한국뿐만 아니라, 일본과 독일에 대해서도 탈동조화 분석을 진행하였기 때문에 국제비교 가능성은 매우 중요한 선택기준이다. 구체적으로는 경제지표로 연쇄물량지수에 지수기준년(현재 2015년)의 부가가치 금액을 곱해 산출된 실질 부가가치(한국은행, 2022)를 이용하였다. 국제비교를 위해 포함된 일본과 독일의 경제활동별 부가가치는 각각 일본 내각부(2022)와 독일 연방통계청(2022)에서 확보하였다. 추가로, 일본과 독일은 국민계정에서 철강업을 별도로 구분하지 않고, 1차금속업에 대한 부가가치만을 제공함에 따라, 철강업 세분화를 위해 OECD(2022)에서 제공되는 STAN DB(Structural Analysis Database)를 활용하였다.

다음으로, 온실가스 배출량은 UN에 제출되는 국가 온실가스 인벤토리 보고서에서 확보한 직접배출량(연료연소배출량, 산업공정배출량)은 물론이고, 전력 및 열 사용에 따른 간접배출량까지 고려한 배출량을 사용하였다. 현재 한국은 유엔기후변화협약(UNFCCC) 및 교토의정서에 따라 6종의 온실가스(CO_2 , CH_4 , N_2O , PFCs, HFCs, SF_6)를 대상으로 배출량을 매년 산정하고 있다. 또한, 국가 총배출량을 에너지, 산업공정, 농업, 폐기물의 4대 부분으로 구분해 산정하며, 추가로 LULUCF(토지이용, 토지이용 변화 및 임업) 부분의 흡수량까지 고려하여 국가 순배출량을 산출하고 있다. 2022년 2월 현재, 한국의 공식적인 온실가스 배출량은 2019년도 배출량까지 공표되어 있다(환경부, 2021b). 따라서 이를 활용해 1990~2019년 기간의 배출량을 중심으로 분석하였다. 일본과 독일의 온실가스 통계도 UNFCCC 및 교토의정서에 따라 한국과 거의 유사한 형태로 UN에 제출된 것(UNFCCC, 2022)을 사용하였다.

연료연소 배출량만을 고려한 선행연구들과는 달리 본 연구에서는 연료연소 배출량,

산업공정 배출량, 전력 및 열 사용에 따른 간접 배출량을 모두 고려해 분석하였다. 연료연소 배출량의 경우, 인벤토리 통계에서 제시된 업종 분류를 따랐으며, 공정 배출량은 철강 생산에 따른 공정배출량을 철강업에 배정해주었다. 간접 배출량은 업종별 전력 및 열 사용량을 고려해 배분해주었다. 한국의 경우에는, 현행 에너지밸런스에는 산업부문 열 사용량이 없는 것으로 작성되어 있다(에너지경제연구원, 2021). 따라서 한국은 열 사용량에 대해서는 실질적으로 고려할 수가 없었으며, 결국 전력 사용량만 고려해 간접배출량을 배분하였다. 일본과 독일의 경우에는 일본 자원에너지청(2022)과 Eurostat(2022)이 각각 제공하는 에너지밸런스 자료를 활용해 철강업종의 전력 및 열 사용량을 고려하여 간접배출량을 배분해주었다.

본 연구에서 분석에 이용한 자료의 기간, 관측치 수, 간단한 기술통계량 등은 아래의 표에 제시되어 있다.

〈표 2〉 이용자료의 주요 특성

국가	자료	기간	관측치 수	평균	표준편차	최소값	최대값
한국	부가가치(1조 원)	1990~2019	30	21.9	4.520	12.7	27.9
	배출량(백만 톤)	1990~2019	30	76.5	26.945	34.4	123.7
일본	부가가치(1조 엔)	1994~2019	26	6.8	0.803	5.3	8.1
	배출량(백만 톤)	1990~2019	30	188.1	10.133	171.4	209.5
독일	부가가치(10억 유로)	1991~2019	29	14.1	1.096	11.6	16.6
	배출량(백만 톤)	1990~2019	30	62.7	4.449	47.9	72.7

자료: 한국은행(2022), 일본 내각부(2022), 독일 연방통계청(2022), OECD(2022), 환경부(2021b), UNFCCC(2022), 에너지경제연구원(2021), 일본 자원에너지청(2022), Eurostat(2022)에 기반해 저자 작성.

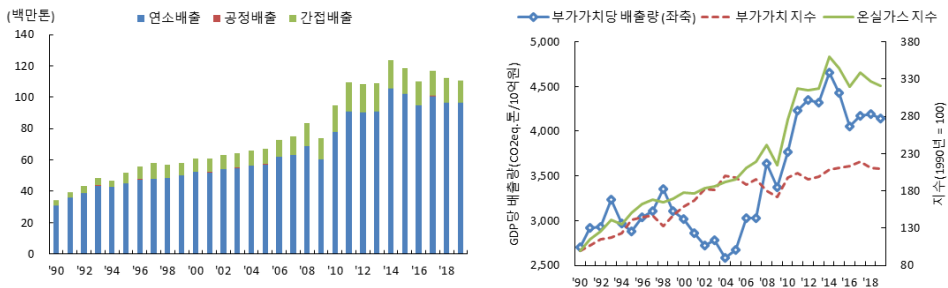
IV. 분석결과

1. 한국 철강업의 탈동조화 분석결과

직간접 배출량을 모두 합한 2019년 한국 철강업의 온실가스 배출량은 1억 1,037만 톤 CO₂eq로 1990년 대비 220.7% 증가한 것으로 분석된다. 온실가스 배출량은 분석 기간

내내 대체로 증가세가 유지되었고, 특히 2011년 이후에 큰 폭으로 증가한 것을 확인할 수 있다(<그림 4> 참조). 다만, 2014년에 최대 배출량을 기록한 이후에는 정체 내지는 완만한 하락세를 확인할 수 있다. 반면, 한국 철강업의 부가가치는 지속적인 증가세를 유지하고는 있으나, 2000년대 중반 이후 증가 속도가 대폭 둔화되었다. 이처럼 2000년대 중반 이후, 철강업의 부가가치 대비 온실가스 배출량이 급증하면서, 배출원단위(배출량/부가가치)도 2000년대 중반 이후에는 상당히 악화되었음을 알 수 있다. 다만, 배출원단위도 2014년에 최고치를 기록한 이후에 2015~2016년 기간에는 다시 하락한 다음 수년간 정체하는 양상이다.

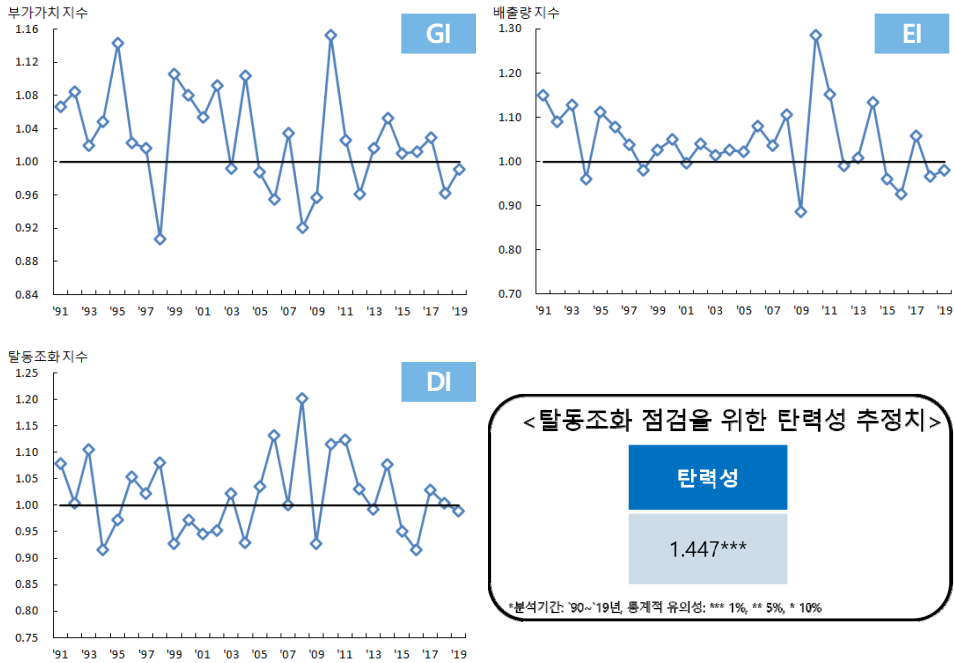
<그림 4> 한국 철강업의 온실가스 배출량, 부가가치·온실가스 지수 및 배출원단위 추이



자료: 한국은행(2022), 에너지경제연구원(2021), 환경부(2021b)에 기반해 저자 작성.

한국 철강업에 대한 탈동조화 지수 분석결과를 살펴보았다(<그림 5> 참조). 우선, 부가가치 지수는 다소 등락이 심하나 대체로 1보다 큰 경우가 많다($GI>1$). 배출량 지수도 거의 대부분 1보다 크게 분석되었다($EI>1$). 그러나 부가가치 지수보다 배출량 지수의 크기가 상대적으로 크다. 따라서 탈동조화 지수는 대체로 1보다 큰 형국으로($DI>1$) 확장적 동조화에 해당한다. 한편, 탈동조화 점검을 위한 탄력성 추정치는 1.447로 분석되었으며, 통계적으로도 1% 수준에서 유의하다. 이는 분석기간 동안 한국 철강업에서 부가가치가 1% 증가할 때에 온실가스 배출량은 1.447% 증가했음을 의미한다. 따라서 탄력성 추정치도 한국 철강업이 여전히 동조화 상태임을 확인시켜준다. 따라서 한국의 철강업은 확장적 동조화로 분석되며, 탈동조화에 이르기까지는 여전히 갈 길이 멀다.

〈그림 5〉 한국 철강업의 탈동조화 지수 및 탄력성



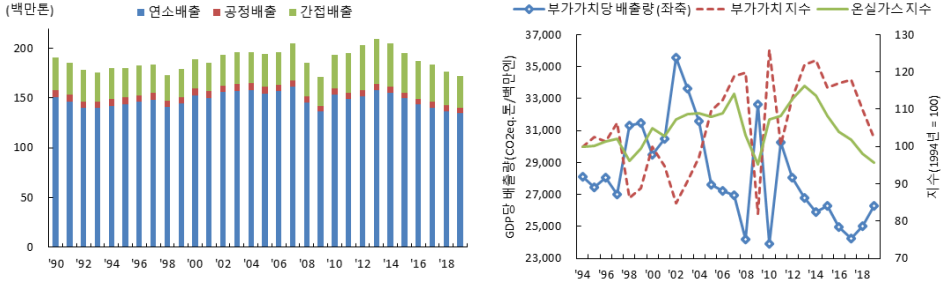
자료: 저자 작성.

2. 일본 철강업의 탈동조화 분석결과

직간접 배출량을 모두 합한 2019년 일본 철강업의 온실가스 배출량은 1억 7,247만 톤 CO₂eq로 1990년 대비 9.7% 감소한 것으로 분석된다. 온실가스 배출량은 2010년대 초반까지는 완만한 증가세를 보이다가, 2013년 최대 배출량을 기록한 이후에는 지속적인 하락세를 확인할 수 있다(<그림 6> 참조). 반면, 일본 철강업의 부가가치는 일시적으로 급등락하기도 하였으나 대체로 2014년까지는 완만한 증가세를 보이다가, 이후에는 다소 하락세로 돌아섰다. 이로 인해 철강업의 배출원단위(배출량/부가가치)는 2000년대 초반까지 악화되다가 이후 대체로 개선되는 양상이다.

일본 철강업에 대한 탈동조화 지수 분석결과를 살펴보았다(<그림 7>참조). 우선, 부가가치 지수는 1을 중심으로 등락이 있으나, 1보다 큰 경우가 많다(GI>1). 배출량 지수는 1을 중심으로 등락이 있으나 그 변화 폭이 크지 않으며 거의 1에 가깝다(EI≃1). 그러

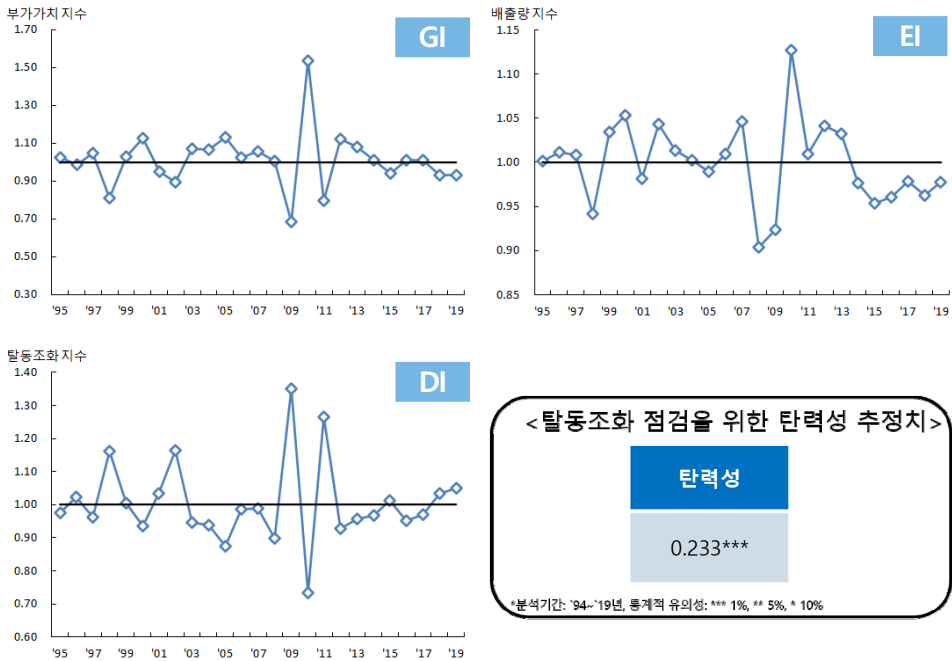
〈그림 6〉 일본 철강업의 온실가스 배출량, 부가가치·온실가스 지수 및 배출원단위 추이



자료: UNFCCC(2022), 일본 자원에너지청(2022)에 기반해 저자 작성.

나 최근 6년간은 배출량 지수가 1보다 소폭 작다(EI<1). 즉, 부가가치 지수보다 배출량 지수의 크기가 상대적으로 작다. 따라서 탈동조화 지수는 대체로 1보다 작은 형국으로(DI<1) 상대적 탈동조화 또는 최근에는 절대적 탈동조화에 해당한다. 물론 2018~2019

〈그림 7〉 일본 철강업의 탈동조화 지수 및 탄력성



자료: 저자 작성.

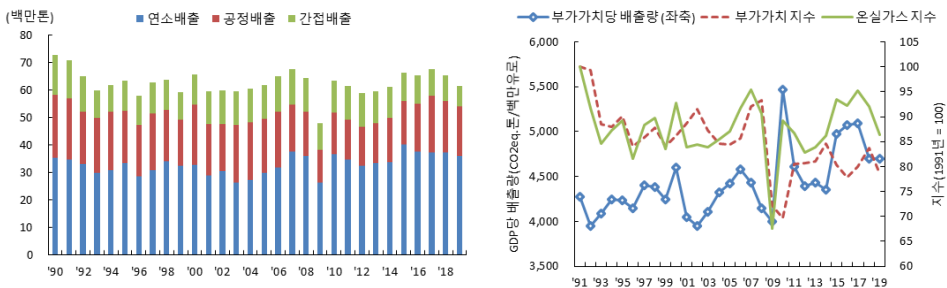
년 기간에는 탈동조화 지수가 1보다 큰 것으로 분석되나 이에 대해 큰 의미를 부여하기에는 지속 기간이 아직 짧다. 한편, 탈동조화 점검을 위한 탄력성 추정치는 0.233으로 분석되었으며, 통계적으로도 1% 수준에서 유의하다. 이는 분석기간 동안 일본 철강업에서 부가가치가 1% 증가할 때에 온실가스 배출량은 0.233% 증가했음을 의미한다. 따라서 탄력성 추정치도 일본 철강업이 탈동조화되고 있음을 확인시켜준다.

3. 독일 철강업의 탈동조화 분석결과

직간접 배출량을 모두 합한 2019년 독일 철강업의 온실가스 배출량은 6,135만 톤 CO₂eq로 1990년 대비 15.6% 감소한 것으로 분석된다. 온실가스 배출량은 1990년대 초반 감소한 후 2009년 금융위기를 제외하면 정체 상태를 지속하는 것을 확인할 수 있다 (<그림 8> 참조). 반면, 독일 철강업의 부가가치는 1990년대 초반 하락한 후 한동안 정체하다가, 2009년 크게 하락한 이후 여전히 부진한 상태라고 볼 수 있다. 따라서 2019년에는 1991년 대비 0.79배에 그치는 수준이다. 이처럼 1990년대~2000년대 중반까지 부가가치 대비 온실가스 배출량이 일정 수준을 유지했으나, 2000년대 중반 이후 다시 상승세로 반전하였다. 이로 인해 배출원단위(배출량/부가가치)도 2000년대 중반 이후 상당히 악화되었다.

독일 철강업에 대한 탈동조화 지수 분석결과를 살펴보았다(<그림 9> 참조). 우선, 부가가치 지수는 1을 중심으로 등락을 반복하나, 1보다 작은 경우의 낙폭이 크다(GI<1).

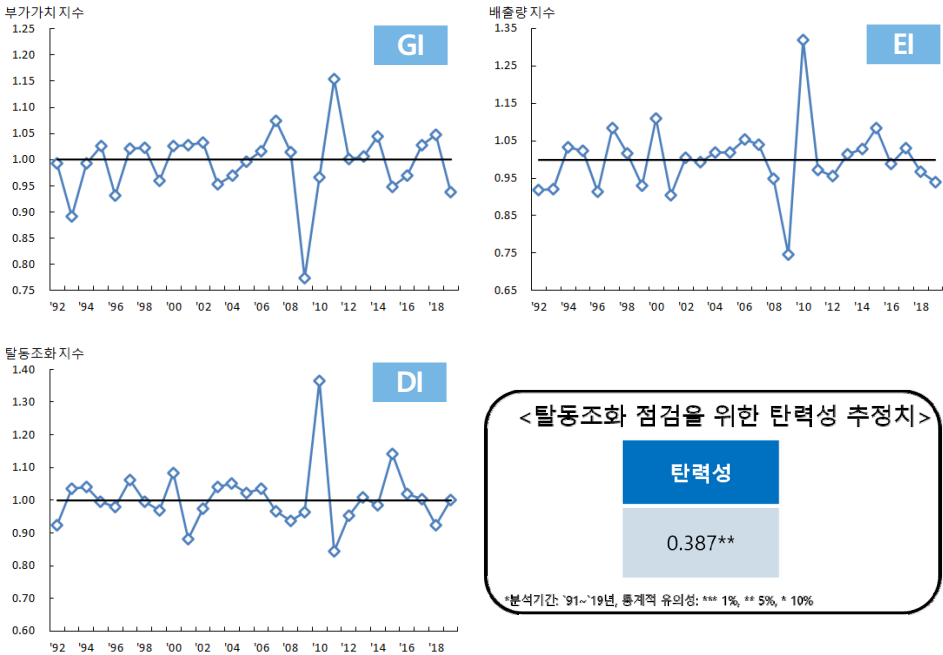
<그림 8> 독일 철강업의 온실가스 배출량, 부가가치·온실가스 지수 및 배출원단위 추이



자료: UNFCCC(2022), Eurostat(2022)에 기반해 저자 작성.

배출량 지수도 유사한 양상이며, 1보다 작은 경우가 다수이다(EI<1). 따라서 탈동조화 지수도 대체로 1을 중심으로 상하 등락을 반복하는 형국으로(DI≒1) 상대적 동조화 또는 침체적 탈동조화에 해당한다. 한편, 탈동조화 점검을 위한 탄력성 추정치는 0.387로 분석되었으며, 통계적으로 5% 수준에서 유의하다. 이는 분석기간 동안 독일 철강업에서 부가가치가 1% 증가할 때에 온실가스 배출량은 0.387% 증가했음을 의미한다. 독일 철강업의 탄력성 추정치가 0.387로 수치상으로는 탈동조화로 평가할 수 있다. 그러나 독일의 철강업은 배출량 감소와 더불어 부가가치가 하락하는 침체적 탈동조화에 가까운 것으로 온실가스 감축 측면에서는 바람직할지 모르나, 경제적 관점에서는 바람직하다고 평가하기 어렵다. 또한, 탈동조화 지수가 1보다 큰 경우도 여전히 많이 관측되고 있어서, 상대적 동조화 형태로도 볼 수 있는 상태이다. 따라서 독일 철강업의 탈동조화 양상은 아직 그 특성을 규정하기에 이르며, 경제적인 측면에서나 기후변화 대응의 측면에서나 바람직하다고 평가할 수 없다.

〈그림 9〉 독일 철강업의 탈동조화 지수 및 탄력성



자료: 저자 작성.

4. 주요국 철강업의 탈동조화 분석결과 정리

주요국 철강업의 탈동조화 분석결과를 정리하면, 한국은 동조화, 일본은 탈동조화, 독일은 불분명에 해당된다(<표 3> 참조). 우선 한국은 확장적 동조화 상태로 평가할 수 있다. 한국 철강업의 부가가치는 2000년대 중반 이후 증가 속도가 대폭 둔화된 반면, 배출량은 증가세가 유지되고 특히 2011년 이후 큰 폭으로 증가하였기에 이와 같은 결과도 출된 것이다. 반면, 일본은 뚜렷한 상대적 탈동조화, 나아가 최근에는 절대적 탈동조화로도 평가할 수 있다. 일본 철강업의 부가가치는 2010년대 중반까지 완만한 증가세를 보인 반면, 배출량은 2010년대 초반까지 완만한 증가세를 보이다가 이후 하락세를 보이고 있는 것이다. 한편, 독일은 수치상으로는 탈동조화로 분류도 가능하겠으나, 바람직한 탈동조화로 해석하기는 무리이다. 따라서 한국 철강업이 나아가야 할 탈동조화 경로는 독일이 아니라, 일본과 유사하거나 일본보다 더 효과적인 형태로 진행되어야 할 것이다. 이와 같은 분석결과를 토대로 하여, 다음 장에서는 일본 철강업의 탈동조화 촉진 요인을 살펴보고 우리 철강업에의 시사점을 점검해보았다.

<표 3> 주요국 철강업의 탈동조화 분석결과

국가	탈동조화 지수	탄력성	탈동조화 상태
한국	GI>1, EI>1, DI>1	1.447***	확장적 동조화
일본	GI>1, EI≒1, DI<1	0.233***	상대적 (또는 절대적) 탈동조화
독일	GI<1, EI<1, DI≒1	0.387**	불분명(상대적 동조화 또는 침체적 탈동조화)

주: 통계적 유의성은 *** 1%, ** 5%, * 10%, 자료: 저자 작성.

V. 일본 철강업의 탈동조화 촉진 요인 및 시사점

1990년대 이후 일본의 경기침체가 장기화되면서 철강 관련 산업인 설비투자, 건설, 자동차 산업 등의 수요가 부진하여 1990년대까지 세계 최대의 조강생산량을 자랑하던 일본의 철강산업 역시 침체되었다(박상우, 2015; 포스코경영연구소, 2005). 이후 2002년 미국과 중국의 철강산업 세이프가드 조치는 일본의 철강수출을 어렵게 하여 일본 철강산업의 침체를 더욱 심화시켰다(박상우, 2015). 이와 같은 내수침체와 글로벌 수출환

경 변화에 따른 철강산업의 부진을 극복하기 위해 일본 철강업체는 철강재의 고부가가치화, 고로업계 및 상사 철강사업의 전략적 M&A, 에너지효율개선 기술보급의 확대 등을 추진하였다(박상우, 2015; 이진우, 2015; Nippon Steel, 2019). 이러한 철강재의 품질 고도화와 철강산업의 구조개편은 일본 철강산업의 경쟁력을 강화시키는 원동력이 되었으며, 에너지효율개선 기술을 통한 효율적인 생산공정은 일본 철강산업의 탈동조화를 가능하게 하였다.

1. 일본 철강재의 고부가가치화

일본의 내수침체로 철강재 수요 성장은 정체되었으나, 자동차 등 주요 수요산업에서는 보다 고품질의 철강재를 요구하였다(허진석, 2004). 이에 따라 일본 철강업체들은 수요정체에 대응하기 위해 수요산업의 요구사항을 적극적으로 반영하는 전략을 통해 철강산업의 부진을 극복하고자 하였다(박상우, 2015). 수요산업의 고도화된 품질 요구를 만족시키고자 일본 철강업체는 신(新)강재인 고부가가치강을 대폭 개발하였다(송성수, 1999). 같은 시기 고부가가치강을 개발하기 시작한 선진국 중에서도 일본은 자동차, 전기·전자, 기계, 용기, 건설 등 전 분야에서 가장 적극적이었다(송성수, 1999). 이처럼 수요 산업의 요구에 적극적으로 대응하며 기술경쟁력을 확보한 일본 철강업체는 특수강 등의 고부가가치 제품군을 중심으로 철강재의 수출도 지속적으로 증가시켰다(박상우, 2015). 특히, 1990년 이후 글로벌 산업고도화와 철강 수요산업의 성장은 전 세계적으로 고부가가치강에 대한 수요를 증대시켜, 일본 철강산업은 글로벌 시장지배력을 확대시킬 수 있었다(허진석, 2004; 포스코경영연구소, 2005).

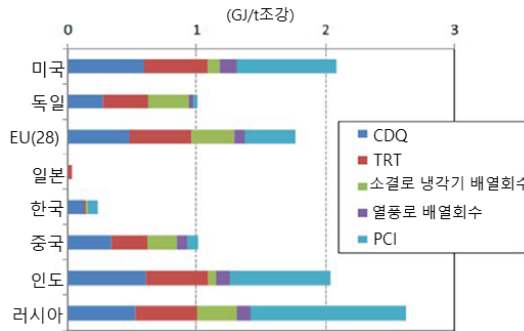
2. 일본 철강산업의 에너지효율기술 개발

일본 철강업체는 세계 최고 수준의 우수한 에너지효율기술로 에너지소비량 감소에 기여했다고 자평하고 있다(Nippon Steel, 2019). 특히, 에너지 절약, 환경개선, 코크스 품질 개선, 고로 생산성 향상 등의 효과가 있는 CDQ¹⁾는 일본 내 모든 코크스 오븐에 설치

1) CDQ(Coke Dry Quenching: 코크스 건식 냉각)는 코크스 오븐에서 배출된 열을 회수해 보일러에서 고온 고압의 증기를 생성하여, 이를 발전, 강철 생산 등에 사용하는 기술임(JASE-W, 2022).

되어 있다(Nippon Steel, 2019; JASE-W, 2022). 이 외에도 TRT²⁾, 소결로 냉각기 배열회수, 열풍로 배열회수, PCI³⁾ 등이 보급되어 있다(RITE, 2018). 다른 나라에 비해 이미 높은 수준의 기술 보급률을 지닌 일본 철강산업은 에너지절약 잠재력도 매우 낮아, TRT로 인한 감축잠재량만이 소량 존재하는 것으로 평가된다(RITE, 2018, <그림 10> 참조).

<그림 10> 에너지절약 기술 보급에 의한 에너지절약 잠재력



자료: RITE(2018), 일본철강연맹(2020) p.25에서 재인용.

3. 일본 철강산업의 전략적 M&A

장기불황에 따른 철강업의 수익성 악화를 만회하고자, 일본 철강업체는 지속적인 고부가가치강 개발과 더불어 업체 간 전략적 제휴와 M&A를 추진하였다(박경서 외, 2016). <표 4>에 제시된 바와 같이 수차례의 구조개편을 거친 일본의 고로업체는 현재 일본제철, JFE, 고베제강, 3사로 구성되어 있다(박경서 외, 2016; 연합뉴스, 2019). 일본 고로업체는 이와 같은 구조개편을 통한 대형화로 원가 절감, 효율성 향상, 노후설비 폐쇄 등을 달성하였으며, 기업 경쟁력을 강화시켰다(박상우, 2015). 또한, 대형화로 인한 생산거점 통합 및 재원은 생산성을 향상시켰고, 확대된 자금력을 기반으로 신규 설비투자가 용이해지기도 하였다(한일재단 일본지식정보센터, 2016). 일본 고로업체는 전략적 제휴 및 M&A를 통해 몸집을 키워나가며 이러한 경영 합리화를 지속적으로 시행하였다(정성모, 2016).

2) TRT: Top gas pressure Recovery Turbines(고로 노정압 발전)

3) PCI: Pulverized Coal Injection(미분탄 투입)

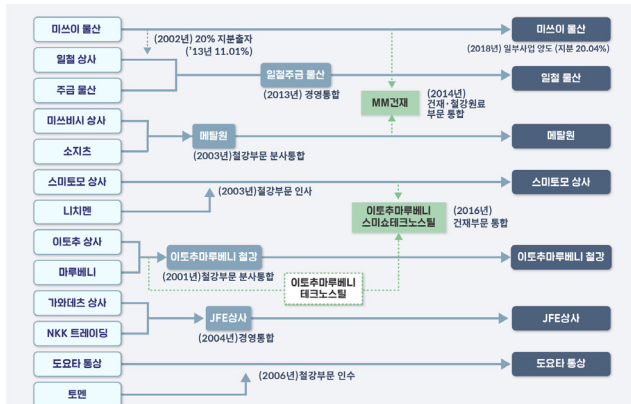
〈표 4〉 일본 고로업계의 구조개편

6사 체제 (~2002년)	5사 체제 (2002년 9월)	4사 체제 (2012년 10월)	3사 체제 (2017년 3월~)
신일철	신일철	신일철주금	신일철주금 (2019년 4월, 일본제철로 사명 변경)
스미토모금속	스미토모금속		
일신제강	일신제강	일신제강	
NKK	JFE	JFE	JFE
가와사키제철			
고베제강	고베제강	고베제강	고베제강

자료: 박경서 외(2016) p.11, 연합뉴스(2019)에 기반해 저자 작성.

일본에서 철강재의 유통은 종합상사가 철강 공급업체와 수요업체의 거래를 중개하는 독특한 구조이다. 철강업체로부터 철강을 공급받은 상사는 코일센터⁴⁾에서 이를 가공하고, 가공된 철강재는 다시 상사를 통해 거래된다(이동이, 2020). 1990년대 이후 지속된 철강산업의 침체에 대응하고자 일본 상사의 철강사업 역시 전략적 M&A를 시행하였다. 이는 구조적 재편을 통해 철강 가공 및 유통업체들의 거래참여를 활성화시키고, 거래 비중을 확대시키기 위함이었다(조항, 2019). 상사의 구조개편은 철강산업의 가격경쟁을

〈그림 11〉 일본 상사의 철강사업 재편



자료: 조항(2019) p.5.

4) 코일센터(Coil Center)란, 철강재를 가공하거나 재고로 보관하며 철강 공급업체와 수요업체 간 납기의 차이를 조정하는 기능을 수행하는 업체를 의미함(이동이, 2020).

완화시키고, 경쟁력을 지닌 업체들의 성장을 유도하였다(이동이, 2020). <그림 11>을 통해 고로업계와 마찬가지로 상사의 철강사업도 지속적인 전략적 제휴 및 M&A를 통해 경영합리화 전략을 펼쳐왔음을 알 수 있다.

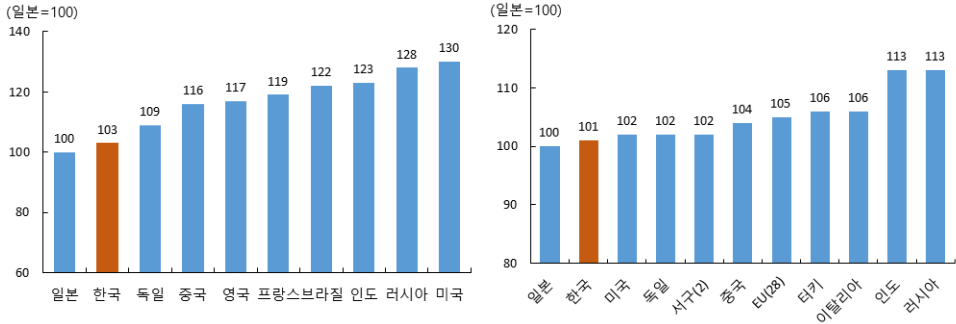
4. 일본 철강재의 폐쇄적 유통구조에 따른 경쟁력 유지

한편, 철강업체와의 직거래가 아닌 상사를 통한 철강재 거래는 다른 선진국들에 비해 일본의 철강유통구조를 폐쇄적으로 만들었다(이진우, 2015). 이러한 일본 철강산업의 폐쇄적 공급망(Supply Chain)은 수입 철강재의 진입을 어렵게 만들어 일본 철강업체의 경쟁력을 강화시키는 기능을 했다고 평가받는다(이진우, 2015). 2003년부터 본격화된 중국산 철강재의 공급과잉에도 일본 철강산업은 그러한 폐쇄적인 공급망에서 기인한 높은 진입장벽으로 미국 등의 다른 국가와 달리 상대적으로 큰 타격 없이 조강생산량을 현상 유지할 수 있었다(WSA, 2009, 2019; 이진우, 2015). 과거에 세계 철강산업을 주도 하던 미국과 일본의 조강생산량을 살펴보면, 중국발 공급과잉이 발생한 이후 일본은 미국에 비해 조강생산량의 등락이 작은 편이며, 상대적으로 안정적인 조강생산량을 유지하고 있다. 즉, 2008년 글로벌 금융위기의 영향을 제외하면 일본은 폐쇄적인 유통구조로 인한 철강산업 경쟁력을 바탕으로 조강생산량을 안정적으로 유지하고 있는 것으로 파악할 수 있다.

5. 한국 철강업계에의 시사점

한국 철강업계는 중국발 과잉공급에도 불구하고 계속해서 조강생산량이 증가했다(박경서 외, 2016). 계속되는 공급과잉에도 불구하고 2010년부터 2013년까지 현대제철이 3개의 고로를 신설하면서 1,200만 톤을 생산하여 조강생산량이 크게 증가하였고, 포스코 역시 계속해서 생산능력을 확장시켜 왔다. 이 때문에 우리나라는 공급과잉에 대한 대응을 제대로 이루어냈다고 보기는 어렵다. 그러나 우리나라 철강업의 에너지효율도 일본에 필적할 정도로 우수한 것도 사실이다. 일본 지구환경산업기술연구기구(RITE)가 평가한 주요국 철강업의 에너지효율에서 한국은 일본 다음으로 고효율로 평가받은 것이다. 전로강의 에너지원단위에 대해서 한국은 일본보다 약 3% 효율이 낮은 것으로 평가되어, 주요 철강생산국 중에서는 일본 다음으로 효율이 높은 것으로 평가되었다

<그림 12> 주요국 전로강(左) 및 전기로강(右) 에너지원단위 추정 결과 (2015년)



자료: RITE(2018). 일본철강연맹(2020)에서 재인용.

(RITE, 2018, <그림 12>의 좌측 참조). 전기로강의 에너지원단위에 대해서도 한국은 일본보다 약 1%만 효율이 낮은 것으로 평가되어, 역시 주요 철강생산국 중에서는 일본 다음으로 효율이 높은 것으로 평가되었다(RITE, 2018, <그림 12>의 우측 참조). 즉, 한국 철강업의 에너지효율이 세계 최고 수준이라는 의미로 해석할 수 있다.

실제로 국내 철강산업도 다양한 온실가스 감축노력을 지속 중이다. 전로를 중심으로 하는 일관제철은 소결광 냉각 폐수 회수, 코크스 건식냉각 폐열 회수(CDQ), 고로 노정 압발전(TRT), 전로 부생가스 폐열회수 등을 통해 온실가스를 줄이기 위해 노력 중이다(한국철강협회, 2018). 전기로업체도 전기로 배가스 활용 스크랩 예열, 배가스 사후연소 폐열 회수 등의 기술을 적용하고 있다(한국철강협회, 2018).

지금까지의 이와 같은 노력에 더해, CDQ 설비 등 일부 보급이 덜 진행된 감축기술의 확산을 위해 지속적으로 노력할 필요가 있다. 또한, 추가 투입되는 에너지 절감 방안 연구, 생산된 스팀의 사용처 발굴 등의 문제 해결을 위해 산·학·연·관이 협력하여 대응방안 마련이 필요하다. 나아가, R&D 초기단계이기는 하나, 수소환원제철에 대한 연구개발도 지속적으로 추진할 필요가 있다. 탄소를 환원제로 사용하는 현재의 철강생산공정을 지속해서는 근본적인 온실가스 감축에 한계가 있기 때문이다. 더불어 탄소포집활용저장(CCUS: Carbon Capture, Utilization and Storage) 기술개발 및 실증화에도 보다 많은 노력을 기울여야 할 것이다.

또한, 철강재의 품질 고도화 및 품목 다변화로 부가가치를 높이는 것이 매우 중요하다.

즉, 기존의 범용제품 중심에서 고부가 철강재(초고장력강판, 내마모강, 내부식강 등)로 제품구성을 다양화해야 한다. 또한, 일본의 에코솔루션(일본 철강기술의 해외이전 확산을 통한 온실가스 절감)을 벤치마크하여, 첨단 제철기술과 설비의 수출을 촉진하는 것도 좋은 방안이 될 것이다(일본 철강연맹, 2020). 나아가, 자동차나 에너지 분야와 같은 수요산업과 소재개발 및 제품화 단계부터 협력하여 맞춤형 철강재 공급을 강화하고 해외 시장 점유율 제고를 모색해야 할 필요가 있다. 철강업종에서 일부 기능성 철강제품은 개별 철강제품의 고부가가치화뿐만 아니라 그 철강제품을 원료로 사용하는 전방 영역의 에너지효율 개선에도 기여한다. 예를 들어, 고품질 자동차용 강판의 경우, 일반강 대비 동일 두께에서 강도가 높아 자동차 경량화에 기여하고, 따라서 자동차 운행 및 폐기 후 재활용까지의 전과정에서 온실가스 배출량을 낮추는 효과가 있다(포스코, 2019). 한편, 국내 업체에서 개발한 고품질 전기강판은 전기차 모터에 사용 시 기존 소재 대비 약 2%의 효율 개선 및 이산화탄소 배출 저감 효과가 있다고 한다(포스코, 2019). 향후에도 수요산업과의 밀접한 상호협력을 통해 고품질·고부가가치 제품 생산에 힘을 기울여야 할 것이다.

VI. 결론

본 연구는 온실가스 배출량이 가장 많은 제조업이면서 핵심소재산업으로서 국민경제에 미치는 파급효과가 큰 철강산업을 중심으로 온실가스 배출 탈동조화 현황 및 요인을 분석하였다. 특히, 한국, 일본, 독일, 3개국을 중심으로 1990~2019년 기간에 걸쳐 탈동조화 양상을 국제비교하였다. 또한, 연료연소 배출량만을 고려한 선행연구들과는 달리 본 연구에서는 연료연소 배출량, 산업공정 배출량, 전력 및 열 사용에 따른 간접 배출량을 모두 고려해 분석하였다는 특징이 있다. 주요국 철강업의 탈동조화 분석결과를 정리하면, 한국은 확장적 동조화, 일본은 탈동조화, 독일은 불분명에 해당된다. 한국의 철강업은 여전히 온실가스 배출과 경제지표 간의 동조화가 강한 상태이다. 일본은 뚜렷한 상대적 탈동조화, 나아가 최근에는 절대적 탈동조화로도 평가된다. 그러나 독일은 수치상으로는 탈동조화로 분류도 가능하겠으나, 바람직한 탈동조화로 해석하기는 무리이다. 따라서 한국 철강업이 나아가야 할 탈동조화 경로는 독일이 아니라, 일본과 유사하거나

일본보다 더 효과적인 탈동조화 방안을 모색하는 형태로 진행되어야 할 것이다.

한편, 단순한 탈동조화 분석결과만을 제시하는 것에 그치지 않고, 본 연구에서는 철강업의 특성을 최대한 고려하고 일본 및 독일과의 비교를 통해 탈동조화 분석결과의 원인과 한국 철강업에의 시사점도 제시하였다. 특히, 일본의 탈동조화 촉진 요인으로 일본 철강재의 고부가가치화, 일본 철강산업의 에너지효율기술 개발, 일본 철강산업의 전략적 M&A, 일본 철강재의 폐쇄적 유통구조에 따른 경쟁력 유지, 4가지 요인을 제시하였다. 이러한 철강재의 품질 고도화와 철강산업의 구조개편은 일본 철강산업의 경쟁력을 강화시키는 원동력이 되었으며, 에너지효율개선 기술을 통한 효율적인 생산공정은 일본 철강산업의 탈동조화를 가능하게 하였다. 한국 철강업의 에너지효율도 사실 세계 최고 수준이며, 국내 철강산업도 다양한 온실가스 감축노력을 지속 중인 것은 사실이다. 그러나 한국 철강업이 탄소중립 시대에도 산업의 중추로서 계속 기능하기 위해서는 일본의 사례를 벤치마크로 삼아 철강재의 품질 고도화 및 품목 다변화를 통해 부가가치를 더 높이는 동시에, 신기술 개발을 통해 온실가스를 근본적으로 줄이기 위해 노력해야 할 것이다. 한편, 일본 철강산업의 전략적 M&A 사례와는 다소 상이하게 국내에서는 각 기업 내에서 일정 부문 구조조정이 진행되어 경쟁력을 강화하기 위해 노력해 온 것으로 판단된다. 하지만 향후 탄소중립 시대를 맞아 철강업의 온실가스 감축과 고부가가치화가 성공적으로 이뤄지지 못한다면, 일본의 사례처럼 전략적인 M&A가 불가피할 수도 있을 것이다. 일본 사례와는 명백히 상이한 부분이 일본 철강재의 폐쇄적 유통구조에 따른 경쟁력 유지이다. 한국은 일본과는 달리 폐쇄적인 철강 유통시장 운용을 할 수 있는 여지가 그리 크지 않다. 한국은 철강재 내수시장의 규모가 일본에 비해 상대적으로 작은 편이며, 종합상사를 중심으로 유통시장이 형성되지 않았다는 점에서 일본과는 다르다. 우리나라가 일본처럼 폐쇄적 유통구조를 구축해 부가가치를 유지하는 것은 향후에도 쉽지 않을 것이다. 철강산업의 지속적인 경쟁력 개선과 기술개발만이 해법이 될 것이다.

끝으로, 본 연구는 세계 철강시장에서 가장 큰 비중을 차지하는 중국의 철강산업에 대한 분석을 포함하지 못하였다는 한계점이 있다. 중국의 철강업에 대해서 탈동조화를 분석할 수 있을 만큼 객관적인 배출량 통계를 충분히 긴 시계열로 확보하기가 쉽지 않아 본 연구에는 포함시키지 못했다. 향후에는 중국의 철강산업에 대해서도 충분한 자료를 확보하여 연구를 진행시킬 수 있기를 기대한다.

[References]

- 국가법령정보센터, 기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법, 2022.2.14.,
[https://www.law.go.kr/법령/기후위기대응을위한탄소중립녹색성장기본법/\(18469,20210924\)](https://www.law.go.kr/법령/기후위기대응을위한탄소중립녹색성장기본법/(18469,20210924))
- 김대수·이상엽, “국내 온실가스 배출량과 경제성장 간 장단기 비동조화 분석”, 『자원환경경제연구』, 제28권 제4호, 2019, pp. 583~615.
- 독일 연방통계청, Database of the Federal Statistical Office of Germany - National accounts - Gross value added, Statistisches Bundesamt, 2022.2.17.,
<https://www-genesis.destatis.de/genesis//online?operation=table&code=81000-0103&bypass=true&levelindex=0&levelid=1645309340593#abreadcrumb>
- 박경서·서정헌·최정희·박지섭, 『글로벌 공급과잉기 우리나라 철강산업의 발전방안』, 한국은행 대전충남본부/광주전남본부, 2016.
- 박상우, 『일본 철강산업의 구조개혁 성과와 시사점』, 지역경제조사연구 포항 2015-5, 한국은행 포항본부, 2015.
- 손인성·김동구, 『파리협정 이행규칙과 국내 감축정책 이행에의 시사점』, 수시연구보고서 19-06, 에너지경제연구원, 2020.
- 송성수, 『철강산업의 기술혁신패턴과 전개방향』, 과학기술정책연구원, 1999.
- 에너지경제연구원, 2021 에너지통계연보, 2021.
- 연합뉴스, 신일철주금, 다시 일제때 회사 이름 ‘일본제철’로, 2019.3.31., (최종접속일: 2022.2.16.),
<https://www.yna.co.kr/view/AKR20190331027500073>
- 이동이, “국내 철강산업의 현황과 과제”, 『산은조사월보』, 제777호(2020.8.), pp. 53~85. KDB 산업은행 미래전략연구소, 2020.
- 이진우, 『중국산 철강제품이 힘 못 쓰는 일본 철강시장의 특성과 시사점』, 포스코경영연구원, 2015.
- 일본 내각부, 2020年度国民経済計算(2020년도 국민경제계산), 内閣府, 2022.2.18.,
https://www.esri.cao.go.jp/jp/sna/data/data_list/kakuhou/files/2020/2020_kaku_top.html
- 일본 자원에너지청, 集計結果又は推計結果(総合エネルギー統計), 집계결과 또는 추계결과(종합에너지통계), 経済産業省 資源エネルギー庁, 2022.2.17.,
https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/results.html
- 일본철강연맹, 『鉄鋼業の地球温暖化対策への取組: 低炭素社会実行計画実績報告』, 철강업의

- 지구온난화대책에 관한 대처: 저탄소사회실행계획 실적보고, 日本鉄鋼連盟, 2020.
- 임형우·조하현, “경제성장과 탄소배출량의 탈동조화 현상 분석: 63개국 동태패널분석 (1980~2014년)”, 『자원·환경경제연구』, 제28권 제4호, 2019, pp. 497~526.
- 임형우·조하현, “교통부문 탄소배출 탈동조화 현상의 원인분석 및 에너지전환의 효과: OECD 25개국 패널분석”, 『자원·환경경제연구』, 제29권 제3호, 2020, pp. 389~418.
- 정성모, 『경북 철강산업 구조 고도화 전략 구축 연구용역』, 최종보고서, 경상북도·포항공과대학교, 2016.9.
- 조항, “일본 철강상사: 통합과 재편의 역사”, 『POSRI 이슈리포트』, 포스코경영연구원, 2019. 12.31.
- 포스코, 『포스코 기업시민보고서 2018』, 2019.
- 포스코경영연구소, 『주요국 철강산업의 발전과 시사점』, 2005.11.22.
- 한국은행, 경제통계시스템 ECOS-10, 국민계정(2015년 기준년), 2022.2.16., <http://ecos.bok.or.kr/>
- 한국은행, 『국민계정』, 통계정보 보고서, 2020.
- 한국철강협회, 『철강업종 온실가스 배출 감축 분석』, 한국철강협회 내부자료, 2018.12.6.
- 한일재단 일본지식정보센터, 『일본의 철강 제품별 시장 분석』, 일본지식리포트_일본시장, 2016.
- 허진석, “선진국 고로사의 고객밀착 고부가가치화 전략에 관한 연구”, 『POSRI 경영연구』, 제4권 제41, 2004, pp. 77~98.
- 환경부, “2050 탄소중립을 위한 이정표 마련”, 보도자료(2021년 10월 27일자), 2021a.
- 환경부, “2021년 국가 온실가스 인벤토리(1990-2019) 공표”, 환경부 온실가스종합정보센터 공표 온실가스통계(2021년 12월 30일자), 2021b.
- Cohen, G., J. T. Jalees, P. Loungani, and R. Marto, “The Long-run Decoupling of Emissions and Output: Evidence from the Largest Emitters,” *Energy Policy*, Vol. 118, 2018, pp. 58~68.
- Eurostat, Energy balance sheets, 2022.2.18., <https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/database>
- IPCC, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006.
- IPCC, Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Intergovernmental Panel on Climate Change, 1996.
- JASE-W, Japanese Smart Energy Products & Technologies 2022 - Coke Dry Quenching (CDQ), Japanese Business Alliance for Smart Energy Worldwide, 2022.2.18.,

- https://www.jase-w.eccj.or.jp/technologies/pdf/iron_steel/S-10.pdf
- Nippon Steel, *Nippon Steel's Environmental Initiatives*, December 2019, Nippon Steel Corporation, 2019.
- OECD, *Indicators to Measure Decoupling of Environmental Pressure from Economic Growth*, SG/SD(2002)1/FINAL. May 2002. Organisation for Economic Co-operation and Development, 2002.
- OECD, STAN Industrial Analysis (2020 ed.), Organisation for Economic Co-operation and Development, 2022.2.17., https://stats.oecd.org/index.aspx?DatasetCode=STANI4_2020
- RITE, 2015年時点のエネルギー原単位の推定(鉄鋼部門-転炉鋼), 2015년 시점의 에너지원단위 추정(철강부문-전로강), Research Institute of Innovative Technology for the Earth (地球環境産業技術研究機構: 지구환경산업기술연구기구), 2018.
- Tapio, P., "Towards a Theory of Decoupling: Degrees of Decoupling in the EU and the Case of Road Traffic in Finland between 1970 and 2001," *Transport Policy*, Vol. 12, No. 2, 2005, pp. 137~151.
- UN, EC, OECD, IMF, WB, *System of National Accounts 2008*, United Nations, European Commission, Organisation for Economic Co-operation and Development, International Monetary Fund, World Bank, 2009.
- UNEP, *Decoupling Natural Resource Use and Environmental Impacts from Economic Growth*, A Report of the Working Group on Decoupling to the International Resource Panel, United Nations Environment Programme, 2011.
- UNFCCC, Greenhouse Gas Inventory Data - Flexible Queries Annex I Parties, United Nations Framework Convention on Climate Change, 2022.2.15., https://di.unfccc.int/flex_annex1
- Wang, H., "Decoupling Measure between Economic Growth and Energy Consumption of China," *Energy Procedia*, Vol. 5, 2011, pp. 2363~2367.
- WSA, *Steel Statistical Yearbook 2009*, World Steel Association, 2009.
- WSA, *Steel Statistical Yearbook 2019*, World Steel Association, 2019.