

국내 산업별 온실가스 저감 성과 유형 비교분석*

Comparative analysis of carbon emission reduction performance in the industrial sector of South Korea

강형수** · 조현민***

Hyungsu Kang · Hyunmin Daniel Zoh

요약: 본 연구는 산업 분야에서 온실가스 배출 및 경제의 영향을 파악할 때 사용되는 Log Mean Divisia Index(LMDI) 모형을 이용하여 광공업 산업 전체 및 세부 업종별 2016-2019년 온실가스 저감 성과를 분석하였다. 본 연구에서는 LMDI를 통해 분해한 경제성장 효과와 탄소집약도 효과를 바탕으로 4가지 저감 성과 유형을 설정하고, 이를 통하여 광공업 세부 업종별로 어떠한 상황에 놓여 있는지 정량적 살펴보았으며 또한 분석된 결과를 바탕으로 산업 부문에서 경제 성장과 배출량 저감을 동시에 달성하는 것이 가능한지를 논의해 보았다. 연구의 결과는 다음과 같다. 첫째, 광공업 업종에서는 경제성장의 효용과 탄소집약도 효용이 서로 상쇄되는 문제가 발생하여 실질적인 저감 목표 달성이 어려운 것으로 나타났다. 둘째, 세부 업종별로 저감 성과 유형을 살펴보았을 때 업종의 종류에 따라서 다른 유형에 놓이게 되었으며 또한 시간에 따라서 위치가 유동적으로 이동하는 특성이 나타났다. 연구의 결과는 산업 부문을 관리하는 정책의 목표와 방향성이 세분화 되어야 하고 또한 수시로 조정되어야 함을 실증적으로 뒷받침하였다.

핵심주제어: 탄소중립, 경제성장, 로그평균디비지아지수, 제조업, 의사결정

Abstract: This study analyzes the total carbon emissions of the mining and manufacturing industry from 2016 to 2021 using the Log Mean Divisia Index (LMDI) model. This model is traditionally used to determine the impact of carbon emissions and economic growth in the industrial field. However, unlike previous studies using LMDI, this study classified 4 types of carbon emission reduction conditions based on the relationship between the economic growth effect and the carbon intensity effect derived from the LMDI method. Through these classifications, this study examines the position of carbon emission reduction performance in each specific industrial sector, and also whether it is possible for these sectors to achieve both economic growth and emission reduction. The empirical result shows that it is difficult to achieve the reduction targets with the current national policies and strategies. Also, the classification result shows that each industrial sector does not seem to have any regularities and consistency, which implies that the goals of carbon reduction policies should be further subdivided and more frequently adjusted.

Key Words: Carbon neutrality, Economic growth, LMDI, Manufacturing industry, Decision making

* 본 연구는 국토교통부 한국건설기술연구원 연구운영비지원(주요사업)사업으로 수행되었습니다(과제번호 20220096-001 스마트시티 표준화 전략 및 체계 구축 (3/4)).

** 주저자, 한국건설기술연구원 박사후 연구원

*** 교신저자, 세계자연기금 한국본부 기후·에너지 프로그램 오피서

I. 서론

한국은 2030 국가 온실가스 감축목표(NDC)를 설정하면서 온실가스 감축목표로 2030년까지 2018년 온실가스 배출량 대비 40%를 감축하는 목표를 발표하였다. 이와 같이 도전적인 목표가 설정됨에 따라서 경제·산업 부문은 경제성장을 추구하면서 동시에 온실가스를 큰 폭으로 감축해야 하는 어려운 상황에 놓이게 되었다. 이러한 점에서 정부나 시장은 산업 부문에서의 경제 성장과 배출량 감축을 동시에 이룰 수 있도록 효과적인 정책적 운영방법을 모색하여야 한다. 이를 위하여 정책적으로 민·관 합동 탄소중립위원회의 운영, 에너지·산업·수송·건물·순환경제 등 부문별 추진 전략 마련, 배출권거래제 활용 등 다양한 방안들이 논의되어 오고 있다. 또한 2018년도에 비해 2019년 전 부문 총량에서 약 3.5%의 저감 성과가 있었으나, NDC 목표 달성을 위해서는 12년간 전년 대피 평균 8.3%의 배출량 저감이 필요하며 더욱 효과적인 정책 운영방법이 마련되어야 하는 상황이다.

한편 이와 같은 도전적인 감축목표를 달성하기 위해 핵심적인 부분은 산업 부문에서의 배출량을 감축하는 것이지만, 한국은 다른 국가들에 비해서 산업 부문에서의 탄소 배출량을 감축하기에 어려운 여건에 놓여 있다. 실제 한국은 2019년 GDP 기준으로 제조업 비중이 28.4%, 탄소다배출업종 비중이 8.4%로, G5 주요국 평균 제조업 비중 14.4%와 탄소다배출업종 비중 4.2%의 두 배 수준에 달한다(전국경제인연합회, 2021). 특히 광공업 분야는 중요하게 살펴보아야 하는 영역이다. 한국은 2019년 온실가스 배출량, 총 7억톤에 대하여 약 87%를 에너지 공급 및 소비 분야에서 배출하였고(환경부, 2019), 그 중 약 3억 4천만톤이 광·공업 분야의 에너지 소비를 통해 배출된 것으로 조사되었다(한국에너지공단, 2019). 한국은 경제구조 특성상 광공업 산업의 비중이 높아, 국가의 정책이 경제구조 자체를 변화시키거나 또는 광공업 분야의 성장을 저지하는 것이 아닌 이상 국가의 온실가스 배출 저감 목표와 궁극적인 탄소중립의 달성이 어려울

수 있다. 이처럼 광공업 부문의 생산활동이 많은 온실가스 배출을 동반한다면, 한국 산업계의 경제성장과 국가 온실가스 저감 목표달성을 동시에 달성하기는 쉽지 않을 것이다. 다시 말해, 목표와 효용에 따른 이해관계상 갈등으로 인해 온실가스 저감의 효용과 경제성장의 효용이 서로 상쇄¹⁾(offset)되는 상황에 놓일 수 있다.

본 연구에서는 광공업 분야 산업의 온실가스 배출량 현황을 살펴봄으로써 실제 경제성장과 배출량감축을 동시에 달성하는 것이 가능한지 실증적으로 확인하고자 한다. 또한 탄소 중립을 달성해 가는 과정에서 나타날 수 있는 갈등 관계를 분류함으로써 정책적 함의를 살펴보고자 한다. 이를 위해 로그평균디비지아지수(Log Mean Divisia Index, LMDI)를 활용하여 2016-2019년 광공업 산업 부문의 배출량 데이터를 분석하였다. 온실가스 배출 증감량을 분해하여 일정 시점 간에서 어떠한 변수가 온실가스 증감량에 영향을 미치는지 살펴보는 지수분해 방법론인 LMDI 방법론(Ang, 2015)은 경제성장 효과와 같이 다양한 온실가스 저감 성과를 측정하는 것에 주요 방법론으로 사용되고 있으며(Sheinbaum et al., 2010; Wang and Feng, 2018; Wang and Song, 2021), 국내 다양한 연구들에서도(김수이·정경화, 2011; 박년배·심성희, 2015; 김용빈·전봉걸, 2017; 조용성, 2017) 광공업 분야의 배출량의 특성을 살펴보는 주요 방법론으로 활용되어왔다. 이러한 연구들은 LMDI를 이용한 요인의 분해를 통해 광공업 분야의 배출량에 영향을 미칠 수 있는 주요한 특성들을 보여주고 이를 기술하는 데에 성과가 있었다. 하지만 이와 같은 특성을 기술하는 것을 넘어서 분석 결과를 바탕으로 특성을 분류 하고 또한 정책 수립과 운영에 있어 어떤 정보를 사용해야 하는지를 논의한 연구는 아직 충분하지 못하다.

본 연구는 국내 광공업 분야에서 실질적인 온실가스 감축이 10년이 넘는 노력에도 성과가 미비했던 점에 주목했다. 최근 많은 해외 연구들에서도 실질적으로 온실가스 저감이 목표치보다 적게 달성되는 것을 이론적으

1) 탄소 중립 프레임워크에서 상쇄(Offset)는 배출된 온실가스를 흡수 및 저감하는 배출 행위로 일방향적인 개념으로 사용되지만, 본 연구에서는 “상반되는 것이 서로 영향을 주어 효과가 없어지는 현상”의 사전적 의미를 포괄하여 “상쇄”로 표현한다.

로 또한 실증적으로 분석하고 있다. 특히 온실가스 배출을 이해관계 측면에서 살펴본 기존 연구들은 온실가스 배출이 선진국과 개발도상국의 역사적 온실가스 사용에 따라 이해관계자들이 느끼는 정의(Justice)의 문제거나(Jabbari et al., 2020), 개인의 지대추구 행위의 자연적인 속성(Kwon, 2015)이라는 연구결과를 제시하기도 했다. 또한 온실가스 저감 성과에 대해 경제성장과 연계해서 이해관계자들이 전략적인 행동을 취할 때 부분 균형은 존재할 수 있으나(박호정, 2021), 일반 균형 관점에서는 두 목표를 동시에 취할 수 있는지 의문이라는 관점도 존재한다(Kerschner, 2010).

본 연구는 두 목표를 가진 두 이해관계자의 목표 상충관계 문제가 탄소 저감 성과에 영향을 미친다고 보고, LMDI를 통해 분해된 경제성장 요소와 탄소집약도 요소를 정량화하고 그 관계를 살펴보았다. 또한 분석의 결과를 통해 각 광공업 부문이 직면하는 실제 경제 성장과 배출량 저감 성과를 상황별로 분류하고, 이를 통하여 탄소저감 목표를 달성함에 있어 고려되어야 할 정책적 시사점에 대해 제시하였다.

II. 연구 자료 및 방법

1. 연구 자료 및 방법

본 연구에서는 국내 광공업 부문의 온실가스 배출량 특성을 살펴보기 위해 로그 평균 디비지아 지수(LMDI) 방법론을 활용하였다. 경제성장이 변화할 때 각 요인의 영향을 추출하는데 널리 사용되는 방법론인 요인분해 분석(IDA, Index Decomposition Analysis)(Sato, 1976) 중 LMDI(Log Mean Divisia Index)는 온실가스 배출 증감량을 분해하여 일정 시점 간에서 어떤 변수가 온실가스 증감량에 영향을 미치는 지 알아보는 지수분해 방식으로 일찍이 연구에서 체계화된 바 있다(Ang, 2015). 특히 LMDI 분석을 활용하여 산업 부문에서의 배출량 특성을 살펴본 이전의 많은 연구들(김수이·정경화 2011; 김수이·김현석, 2011; 박년배·심성희, 2015; 김수

이, 2018)에서는 에너지 변화에 대한 절대량을 추정하기 용이한 가법적(Additive) 분해방식을 활용하였다. 본 연구에서도 해석의 용이성을 위하여 기존의 연구들과 마찬가지로 온실가스 배출에 영향을 미치는 요인을 설정하여 분해하고 요인 측정량들의 총합이 총 온실가스 배출 증감량과 같게 하는 가법적 방식을 활용하였다.

〈표 1〉 LMDI 모델링 및 변수설정

설명	수식	비고
항등식	$g_{tot} = \sum_{ij} g_{ij} = \sum_{ij} q \frac{q_i}{q} \frac{e_i}{e_i} \frac{g_{ij}}{e_i} = \sum_{ij} q s_i d_i m_{ij}$	-
변수설정 (요인설정)	$\Delta g_p = \frac{2019g - 2016g}{\ln^{2019}g - \ln^{2016}g} \ln \frac{2019q}{2016q}$ $\Delta g_s = \frac{2019g - 2016g}{\ln^{2019}g - \ln^{2016}g} \ln \frac{2019s_i}{2016s_i}$ $\Delta g_d = \frac{2019g - 2016g}{\ln^{2019}g - \ln^{2016}g} \ln \frac{2019d_i}{2016d_i}$ $\Delta g_m = \frac{2019g - 2016g}{\ln^{2019}g - \ln^{2016}g} \ln \frac{2019m_{ij}}{2016m_{ij}}$	* log의 진수는 증감율을 나타내므로 단위가 없음 ** g의 경우 이산화탄소로 전환된 단위, 천tEqCO2ton
분석식 1	$\Delta g_{tot} = 2019g - 2016g$ $= \Delta g_p + \Delta g_s + \Delta g_d + \Delta g_m$	-
분석식 2	$\Delta g_{tot} = 2019g - 2016g$ $= \Delta g_p + \Delta g_d + \Delta g_m$	* 구조효과가 0이거나 반영되지 않을 때 사용함
변수설명 (요인설명)	Δg_{tot} : 2016~2019년 동안 총 온실가스 배출량 변화 Δg_p : 경제성장효과, 해당 산업 성장시 (+)로 나타남 Δg_s : 구조효과, 저탄소 산업으로 전환될 시 (-)로 나타남 Δg_d : 탄소집약도효과, 탄소저감기술 진보시 (-)로 나타남 Δg_m : 에너지믹스효과, 친환경에너지로 전환 시 (-)로 나타남 tq : t기에 광·공업 전체 총 생산량 tq_i : t기에 (i)산업의 총 생산량 ts_i : t기에 (i)산업의 총 생산량이 전체 생산량에 대한 비율 td_i : (i)산업의 1단위 생산에 소요되는 에너지 ${}^tm_{ij}$: t기에 (i)를 생산할시 소요되는 에너지원 (j)의 비율	-

세부적으로 활용된 LMDI 요인분해 분석식, 세부 요인과 이에 대한 설명은 <표 1>과 같다. 제시된 분석식 1은 온실가스 배출 증감량에 대해 각 요인을 경제성장효과, 구조효과, 탄소집약도효과, 에너지믹스효과의 네 가지로 분류한 것이다. 이에 반해, 분석식 2는 구조효과가 존재하지 않는 LMDI 모형이다. 구조효과가 존재하기 위해서는 산업 간 이동이 존재해야 하는데, 동일 산업 내에서는 산업 간 이동의 개념이 존재하지 않으므로 이를 제외하고 살펴보기 위하여 분석식 2는 구조효과를 제외한 경제성장효과, 탄소집약도효과, 에너지믹스효과 세 가지로 분류하였다. 분석 과정에 있어서 분석식 1의 경우 광공업 산업 전체, 분석식 2의 경우 광공업 산업 각 분야를 분석하는 모델로 활용하였다.

〈표 2〉 데이터 출처

분류	출처	비고
에너지, 온실가스	에너지사용 및 온실가스 배출량 통계(한국에너지공단)	19개 분류
실질 산출액, 실질 부가가치액	국민계정 데이터(한국은행)	KSIC세세분류를 감축목표업종 19개로 재분류
생산액, 부가가치	광업·제조업 조사자료(통계청)	

* '국가온실가스배출량종합정보시스템'에서 데이터 확인 가능

〈표 3〉 산업 분류

번호	산업	번호	산업	번호	산업
1	광업	8	유리	15	디스플레이
2	음식료품	9	요업	16	전기전자
3	섬유	10	시멘트	17	자동차
4	목재	11	철강	18	조선
5	제지	12	비철금속	19	기타제조
6	정유	13	기계	-	-
7	석유화학	14	반도체	-	-

* '국가온실가스배출량종합정보시스템'에서 직접 데이터 확인 가능

각 변수를 구성하기 위한 개별 자료는 <표 2>에 제시된 것과 같이 한국 에너지공단, 한국은행, 통계청의 자료를 활용하였다. 또한 광공업 산업의 경우 <표 3>과 같은 분류를 통해서 살펴보았다. 제시된 산업 분류는 산업

통상자원부와 환경부의 분류기준의 차이를 재분류하여 나타낸 결과로, 본 연구에서는 환경부에서 제시된 광공업 산업 감축목표에 나타난 기준으로 19개 산업을 분류하였으며 이를 바탕으로 동일 산업 내 배출량을 분석하기 위해 설정한 분석식 2를 활용하여 광공업 산업의 온실가스 배출 특성을 살펴보았다.

분석 자료는 2016년부터 2019년까지의 자료로 설정하였다. 이러한 기간을 설정하게 된 이유로는 국내에서 에너지소비로 인한 온실가스 배출량을 ton(kg) CO₂ eq. 단위로 전 부문에서 통계조사가 된 첫 시점이 2016년이며, 코로나19로 인하여 2020년 및 2021년 자료가 공개되지 않아 연구 시점에서의 가장 최신 자료는 19년에 공시된 것이 가장 최신의 자료이기 때문이다.

2. 저감성과 분류평면의 구성

본 연구에서는 광공업 산업의 온실가스 배출량 특성을 경제성장 측면과 탄소집약도(기술발전) 측면의 관계를 통해 살펴보고, 이를 통하여 개별 산업 별 온실가스 감축 특성, 예상되는 이해관계자 간의 갈등 상황, 배출량 저감 정책의 수행에서 발생할 수 있는 갈등 상황 등을 알아보고자 하였다. 이를 위해 본 연구에서는 국내 광공업 산업의 LMDI 분석을 통해 도출된 정량적 결과를 좌표평면에 도시하여 세부 업종별 온실가스 목표달성 현황을 파악할 수 있는 저감성과 분류평면을 구축하였다. LMDI 분석을 사용한 연구들은 대부분 요인별 분해된 결과를 제시하는 형태로 진행되고 있으나, 최근 Bao and Liu (2019), Qin et al. (2022) 등의 일부 연구들에서는 LMDI를 통해 분해된 결과의 관계를 통하여 세부 산업별 어떠한 상황에 놓여 있는지를 살펴본 바가 있다.

본 연구에서도 광공업 세부 업종별 상황을 살펴보고자 LMDI를 통해 분해된 경제성장 효과와 탄소집약도 효과의 관계를 4가지로 구분하여 살펴보았다. 본 연구의 목적은 산업별 생산활동 자체의 이질성을 통해 경제성장과 배출량저감을 동시에 달성하는 것이 가능한지를 정량적으로 살펴보

고자 하는 것이기 때문에, 에너지믹스효과를 제외하고 경제성장효과와 탄소집약도 효과를 주요 변수로 살펴보았다. 또한 본 연구의 분석 대상이 되는 광공업 산업의 경우 개별 산업을 살펴보는 것이기 때문에, <표 1>의 분석식 2와 같이 구조효과는 존재하지 않는다는 가정을 통해 분석을 진행하였다.

LMDI의 각 (+) 및 (-) 효과는 이산화탄소 조정 중량, EqCO₂ ton으로 나타난다. 어떤 산업에서 경제성장이 이뤄졌다면, 경제성장효과는 생산활동이 온실가스를 배출하는 이상 (+)로 나타날 것이다. 반면 생산량 당 온실가스 소비에서 기술진전이 있었다면, 생산량을 통제한 탄소집약도효과는 (-)를 나타낼 것이다. 이들 두 가지 효과는, 생산활동을 위한 에너지의 소비를 나타낸다. 한편, 에너지믹스 효과는 생산활동을 위한 외부 에너지의 공급을 나타내기 때문에 개별 기업이나 산업에서 공급원에 대해 통제되는 변수다. 이러한 변수들을 기준으로 개별 이해관계자 입장에서 살펴볼 경우, 각 산업(기업)에게 주어진 목표는 기업이익을 증가시키면서(경제성장효과의 증가), 온실가스 배출 총량을 줄이는 것 (탄소집약도효과의 감소)일 것이다. 이러한 목표는 두 부류의 내부 이해관계자를 발생시키며, 경제성장을 우선 목표로 하는 이해관계자 (이하, X) 와, 온실가스 배출 저감을 우선 목표로 하는 이해관계자 (이하, Y) 가 존재하게 된다. X와 Y가 서로 독립적으로 의사를 결정한다면, X는 경제성장효과를 (+)로, Y는 탄소집약도효과를 (-)로 만드는 방향으로 행동할 것이다.

본 연구에서는 X의 총 효용 증가는 (+)의 온실가스배출단위 (eqCO₂)에 비례한다고 가정하고, Y의 총 효용 증가는 (-)의 온실가스배출단위 (eqCO₂)에 비례한다고 가정한 후, 이를 도시하여 다음 <그림 1> 과 같은 사분면의 저감성과 분류평면을 설정하였다.

〈그림 1〉 저감성과 분류평면의 정의²⁾

저감성과 분류평면에서 나타난 각 사분면은 다음과 같이 설명될 수 있다.

- (A) 전반적 효용 증가 평면은 X와 Y의 효용이 둘 다 증가하는 사분면이다.
- (B) 경제적 효용 증가 평면은 X의 효용이 증가하면서 Y의 효용이 감소하는 사분면이다.
- (C) 전반적 효용 감소 평면은 X와 Y의 효용이 둘 다 감소하는 사분면이다
- (D) 기술적 효용 증가 평면은 X의 효용이 감소하면서 Y의 효용이 증가하는 사분면이다.

(A) 전반적 효용 증가와 (C) 전반적 효용 감소에서 이해관계자 X, Y는 서로 같이 자신의 산업(또는 기업)의 목표에 대해, 성과 달성 방향이 바람직하다고 평가하여 자신들의 행동을 같이 유지하거나(A) 바람직하지 못하다고(C) 평가하여 자신들의 행동을 같이 변화시킬 것이다. 또한 (A)와 (C)는 각자의 성과 규모에 따라 두 가지 효과가 (+), (-)로 서로 상쇄가 나타난다. (B) 경제적 효용 증가와 (D) 기술적 효용 증가에서 이해관계자 X, Y는

2) Blake와 Mouton(1962)는 관리격자이론을 통해 5가지 유형의 관리-리더십 유형을 구분하여 평면을 설정하고 위치를 도시한 바 있다. 이는 두루 사용되는 분석의 제시 방법으로, 유사한 형태로 Bao and Liu (2019), Qin et al (2022)도 에너지분야 온실가스 배출을 분석하기 위해 평면을 제시한 바 있다.

서로 같이 자신의 산업(또는 기업)의 목표에 대해, 성과 달성이 X만 바람직하다고 평가하거나(B), Y만 바람직하다고 평가하여 (D), 사실상 자신의 산업(또는 기업)의 행동 변화에 서로 다른 방향으로 접근할 것이다. 그러나 (B)와 (D)는 현재 평가된 상황에서 서로 상쇄가 나타나지 않는다.

한편 궁극적인 온실가스 저감 측면의 자신의 산업(또는 기업)성과에 대해 외부 평가는 내부와 다르게 나타난다. 이를테면, (D) 기술적 효율 증가의 경우 온실가스 저감 측면에서 가장 좋은 성과를 보이며, (B) 경제적 효율 증가의 경우 온실가스 저감 측면에서 가장 좋지 않은 성과를 보이게 된다. 반면 (A)와 (C)의 평가는 서로의 효율 방향 때문에 서로의 효과가 상쇄되는 상황이 발생한다. X의 경제성장에 대한 효율은 수평축에서 오른쪽 (+) 방향을 추구할 것이며, Y의 탄소집약도 감소에 대한 효율은 수직축에서 아래쪽 (-) 방향을 추구하기 때문이다. 다음의 장에서는 이와 같은 특성이 광공업 세부 업종에서 어떻게 나타나는지를 살펴보고자 한다.

Ⅲ. 분석결과 및 시사점

1. LMDI 분석을 통한 광공업 산업의 온실가스 배출량 특성 분석

〈표 4〉 광·공업 온실가스 저감 성과 기본 분석

(단위: 천 CO₂eq ton)

연도	2016	2017	2018	2019
온실가스배출총량	326,124.50*	332,263.40*	349,791.40*	346,122.60*
연간순증가율(%)**	-	1.88%	5.28%	-1.05%
순증가율 2016-2019 (%)	6.13%			

* 한국에너지공단, 2019 전 부문에너지사용 및 온실가스 배출량 통계 (2020)

** 통계청(KOSTAT) 자료를 사용하여 통계값이 다른 통계와 일치하지 않을 수 있음

우선 전반적인 광공업 분야의 온실가스 배출량 특성을 살펴보기 위하여 〈표 4〉와 같이 2016년에서 2019년까지의 광공업 분야의 온실가스 저감 특성을 살펴보았다. 분석의 결과에서 나타난 2016년의 광공업 분야의 연

간 온실가스 배출량은 약 326백만톤이며, 2019년까지 3년간 약 20백만톤, 6.13% 증가한 것으로 나타났다. 세부적으로 살펴보았을 때에는 2016년-2017년 사이 1.88% 온실가스 배출량이 증가하였고, 2017-2018년 사이에는 5.28%의 급격한 온실가스 배출량 상승이 있었으나 2018-2019년 사이에는 1.05% 가량의 저감 실적이 관측되었다.

〈표 5〉 2016-2019 구조효과포함 LMDI 분석결과

(단위: 천 CO₂eq ton)

기준-비교	경제성장효과	구조효과	탄소집약도효과	에너지믹스효과	배출량 증감
2016-2017	6,961.73	4,853.82	-3,278.20	-2,454.14	6,083.21
2017-2018	4,458.86	-3,524.29	15,250.70	941.76	17,127.03
2018-2019	659.35	-3,890.20	-5,247.03	5,265.43	-3,212.45
2016-2019	12,115.19	-2,192.98	6,425.85	3,650.05	19,998.10

* '국가온실가스배출량종합정보시스템'에서 직접 데이터 확인 가능

더욱 세부적으로 앞서 제시된 분석식 1을 사용한 LMDI 분석을 진행한 결과는 〈표 5〉와 같다. 한국 광·공업 전체에서 경제성장효과는 3년간 연속적으로 (+)를 보이면서 탄소배출 총량을 증가시키는 경향을 나타냈지만, 구조효과와 탄소집약도 효과는 서로의 효과가 (+), (-)로 교차되면서 배출총량증감에 대한 효과를 서로 상쇄하는 것으로 나타났다.. 에너지믹스효과는 2016-2017년 사이에 (-)를 나타내고 이후 (+)를 나타냈으며, 특별히 다른 효과나 광·공업 탄소배출량 증감과 연계되어 나타나지는 않았다.

2. 저감성과평면을 활용한 광공업 세부업종별 특성 분석

본 장에서는 LMDI 결과를 통해 나타난 분석 결과를 광공업 세부 업종별로 저감성과평면을 활용하여 어떠한 특성에 놓여있는지를 살펴보았다. 이를 위해 우선적으로 본 장에서는 산업별로 평가한 LMDI 분석결과들 중 경제성장효과와 탄소집약도효과에 대해 추려내었다. 분석식 2를 통해 분석한 결과는 다음 〈표 6〉과 같다.

〈표 6〉 19개 광공업 별 성장효과 및 집약도효과

(단위: 천 CO₂eq ton)

감축업종 코드	감축업종명	2016-2017		2017-2018		2018-2019		2016-2019	
		경제성장 효과	탄소집약 도효과	경제성장 효과	탄소집약 도효과	경제성장 효과	탄소집약 도효과	경제성장 효과	탄소집약 도효과
1	광업	-5.1	-14.3	-48.4	20.7	-34.7	-23.3	-88.9	-17.3
2	음식료품	236.8	-274.0	195.2	684.7	262.8	-1740.2	659.9	-1286.2
3	섬유	-631.2	24.6	171.2	325.0	-451.6	-2287.4	-871.3	-2037.6
4	목재	54.9	-6.2	-58.8	1.7	-52.9	-126.8	-56.3	-130.9
5	제지	-451.9	1097.6	77.0	-267.7	108.6	-1094.0	-240.2	-313.4
6	정유	3157.5	-668.9	864.8	-1484.5	-529.4	-236.4	3374.2	-2302.5
7	석유화학	127.4	2491.3	1943.0	98.9	770.3	-845.0	2845.0	1904.3
8	유리	-31.6	-69.7	100.4	-75.2	-204.9	-13.7	-138.4	-153.8
9	요업	130.7	-174.3	129.2	244.1	-56.9	-379.6	197.3	-300.4
10	시멘트	1523.2	-1847.1	-844.9	-950.2	-1026.6	2110.1	-450.2	-591.8
11	철강	4750.2	-2408.3	-2359.8	9971.2	-2500.4	2299.5	189.4	9595.5
12	비철금속	1.8	-47.0	-322.1	773.8	-117.1	-810.0	-427.2	-91.0
13	기계	1319.3	-668.2	-65.9	2722.3	-62.8	-3508.1	1184.5	-1409.4
14	반도체	2671.1	-1449.2	2185.0	9.6	100.5	489.4	5226.8	-1197.3
15	디스플레이	146.0	233.8	-657.6	1028.8	376.4	-363.6	-135.2	900.2
16	전기전자	-450.2	441.3	-17.6	939.9	40.5	1630.2	-487.1	3016.0
17	자동차	-125.1	-316.9	-137.0	1094.7	104.9	-767.0	-164.7	33.2
18	조선	-729.1	378.4	-322.5	84.8	107.3	-231.4	-904.0	180.1
19	기타제조	120.9	-1.0	103.3	27.9	-64.8	650.1	208.5	628.1
총		11815.6	-3278.2	934.6	15250.7	-3230.9	-5247.0	9922.2	6425.8

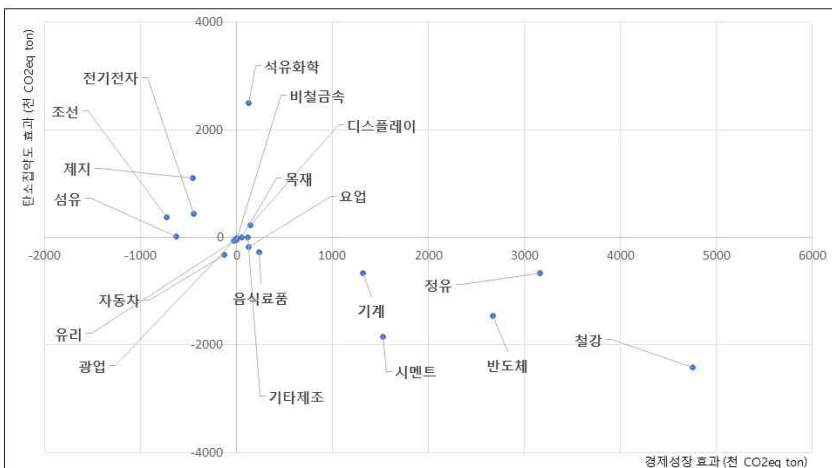
〈표 6〉의 결과를 바탕으로 산업별 온실가스 배출성고가 저감성과 분류 평면의 사분면에서 특정한 경향성을 나타내는지 알아보기 위하여, 온실가스 감축관리 업종 19개에 대해 LMDI로 분해된 경제성장 효과와 탄소집약도 효과를 도출하여 살펴보았다. 만일 특별한 경향성이 존재한다면 각 산업(또는 기업)들이 한 개의 사분면 또는 일부 사분면에 편향될 것이다. 이 경우 정부나 시장에서는 광공업 전체를 아우를 수 있는 비교적 일률적이고 통일된 관리목표를 제시할 수 있고, 이해관계자들의 목표갈등 상황의 조정이 용이할 것이다. 반면, 각 산업이 일부 사분면에 편향되는 모습이 없다면 일률적이고 통일된 기준을 통해 목표를 설정 및 이해관계를 조정

하는 데에는 어려움을 겪을 것이다.

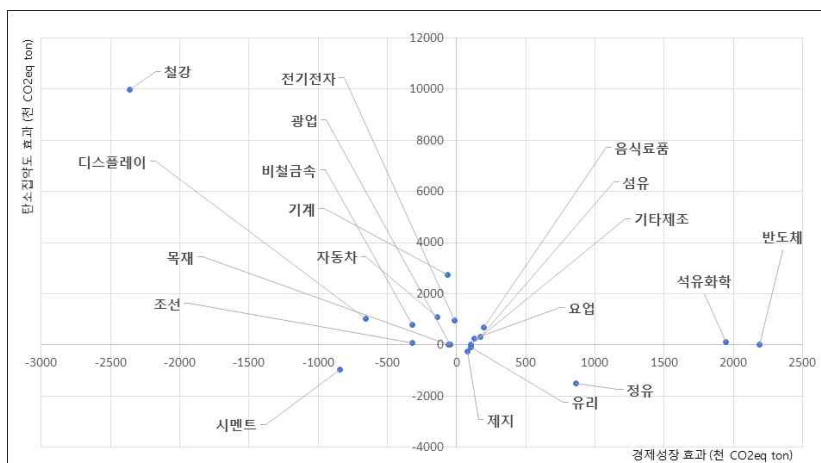
2016년부터 2019년까지 광공업 각 19개 분야에서 저감성과평면 상의 각 위치는 <그림 2>, <그림 3>, <그림 4>, <그림 5> 와 같이 나타났다. 또한, 감축목표 업종이 분석기간 간 관측된 횟수는 <표 7> 과 같다. 먼저 (A) 전반적 효용증가의 경우 3년간 3~10회에 나타났고, (C) 전반적 효용감소의 경우 3년간 4~9회에 걸쳐 나타났다. 이 경우 온실가스 각 분야에 대해 경제성장효과와 온실가스 저감에 대한 기술진보성과(탄소집약도 효과)에 대한 내부의 두 이해관계자 X, Y의 효용 수준 변화에 대한 각 평가는 서로 일치할 것이다. 반면 (B) 경제적 효용증가의 경우 3년간 2~6회, (D) 기술적 효용증가의 경우 3년간 3~8회에 걸쳐 관찰되었다. 경제성장효과와 온실가스 저감에 대한 기술진보성과(탄소집약도 효과)에 대한 내부의 두 이해관계자 X, Y의 효용 수준 변화에 대한 평가는 서로 반대가 될 것이다.

이에 반해 탄소 저감 성과 측면을 외부에서 평가하는 경우 (A)와 (C)의 경우 서로 온실가스 저감 성과의 상쇄(Offset)가 나타나 외부평가가 어떻게 될지는 두 효과의 (+), (-)의 방향으로 알 수 없다. 반면, (B)와 (D)의 경우 방향을 통해 외부평가의 결과를 알 수 있지만, 이해관계자 간의 효용 증가가 반대방향으로 나타나기 때문에 서로 갈등을 겪게 되는 상황이 유발될 수 있다.

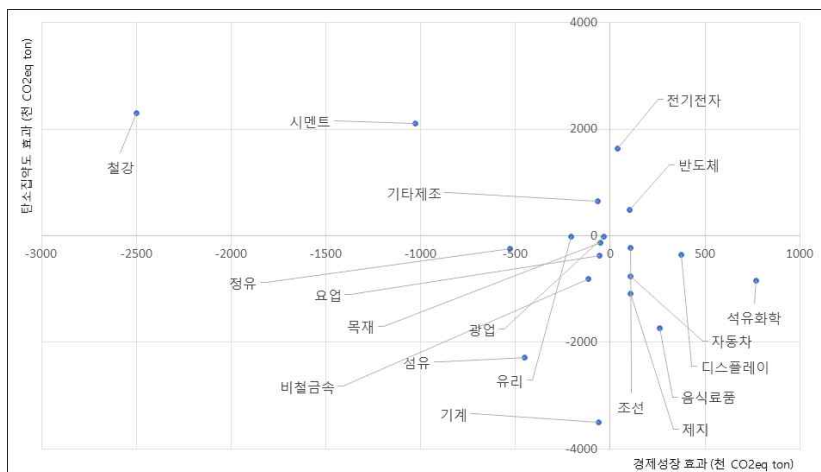
〈그림 2〉 19개 광공업 분야별 성장효과 및 집약도효과 (2016-2017)



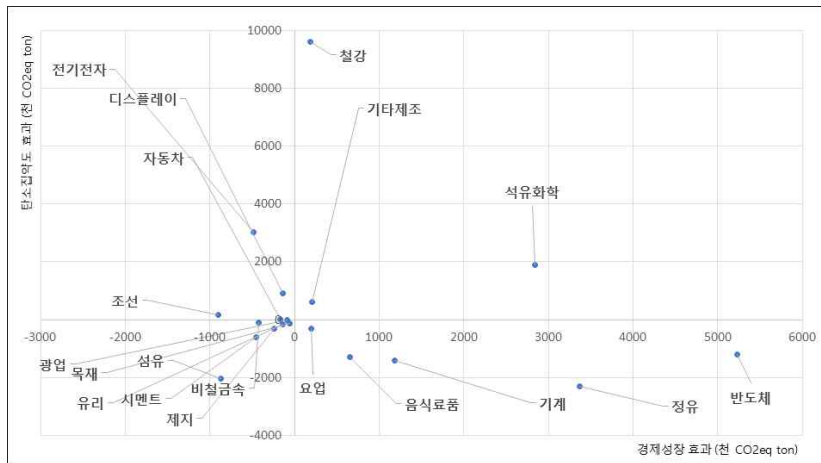
〈그림 3〉 19개 광공업 분야별 성장효과 및 집약도효과 (2017-2018)



〈그림 4〉 19개 광공업 분야별 성장효과 및 집약도효과 (2018-2019)



〈그림 5〉 19개 광공업 분야별 성장효과 및 집약도효과 (2016-2019)



〈표 7〉 감축목표업종 각 사분면 관측결과 (2016-2019)

연도	2016-2017	2017-2018	2018-2019	2016-2019
(A)	10	3	6	5
(B)	2	6	2	3
(C)	4	9	3	4
(D)	3	1	8	7
(-) 상쇄 가능	10	6	14	12

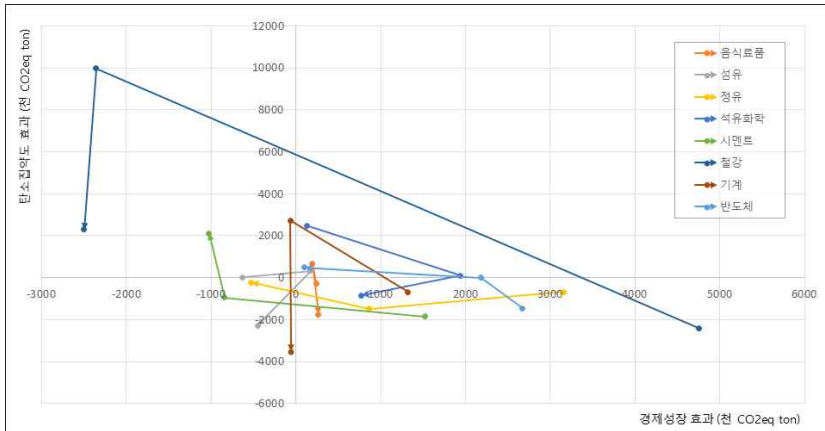
〈표 7〉에서는 (A)와 (C)의 각 저감 효과가 서로 상쇄 되었을 때, 또, (D)와 같이 (-)의 효과만 보일 때, 실질적인 배출총량 감소가 가능한 경우를 같이 나타냈다. 실제 배출총량 감소가 있었던 2018년-2019년에 감소가 가능한 산업이 14개로 가장 많이 관측되었고, 2017년-2018년의 경우 6개로 가장 적었으며, 3년간 성과에서는 약 12개 산업이 (-)의 효과를 나타낸 것으로 나타났다.

이와 함께 산업 내에서 온실가스 배출성결과 사분면에서 시계열간 이동성이 있는지 알아보았다. 산업의 저감성과평면에서 온실가스 감축관리 업종 19개에 대해 LMDI로 분해된 경제성장효과와 탄소집약도효과를 표로 나타내었다. 만약 사분면에서 각 산업의 저감성과평면 위치가 시간에 따

라 서로 이동하지 않는다면 해당 광공업 분야 내에서는 X, Y의 이해관계자 중 하나를 지속적으로 우대하거나 제어하면서 최종적인 탄소저감 목표를 달성하는 정책을 추진할 수 있을 것이다. 반면, 각 산업이 시계열에 따라 사분면을 이동한다면, 해당 산업에 대한 정책은 지속적으로 변경을 기해야 할 것이다. 한편 <표 8>에서 확인할 수 있듯이 각 업종의 저감성과평면 상 위치는 3년간 일치하는 경우가 발견되지 않았다. 또한, 각 업종의 향후 이동 방향도 예측할 수 없는 것으로 나타났다, 특히 성과를 2016-2019년으로 확대하여 평가했을 때, 위치할 사분면은 각 연도별 위치와 큰 상관성이 없는 것으로 나타났다.

<표 8> 2016-2019년 업종별 저감성과 분류평면 위치

감축업종코드	감축업종명	2016-2017	2017-2018	2018-2019	2016-2019
1	광업	D	C	D	D
2	음식료품	A	B	A	A
3	섬유	C	B	D	D
4	목재	A	C	D	D
5	제지	C	A	A	D
6	정유	A	A	D	A
7	석유화학	B	B	A	B
8	유리	D	A	D	D
9	요업	A	B	D	A
10	시멘트	A	D	C	D
11	철강	A	C	C	B
12	비철금속	A	C	D	D
13	기계	A	C	D	A
14	반도체	A	B	B	A
15	디스플레이	B	C	A	C
16	전기전자	C	C	B	C
17	자동차	D	C	A	C
18	조선	C	C	A	C
19	기타제조	A	B	C	B

〈그림 5〉 업종별 사분면 위치 변화 (2016-2019)³⁾

더욱 세부적으로 산업의 저감성과평면에서 온실가스 감축관리 업종 중 가장 큰 영향을 미치는 8개에 대해 LMDI로 분해된 경제성장효과와 탄소 집약도효과를 〈그림 5〉와 도시했다. 도시 결과 각 산업에서 방향의 경향성이 없는 것은 물론, 실제 최종적인 탄소 저감 목표에 달성이 가능한 지에 대한 예측은 불가능하였다.

3. 논의 및 정책적 제언

저감성과평면을 통해 분석한 결과에 따르면 산업별 저감성과평면에서 는 특정한 편향성이나 규칙성이 발견되지 않았다. 이러한 결과는 광공업 전체를 대상으로 일률적인 온실가스 저감 정책의 수립보다는, 개별 산업 별로 특화된 온실가스 저감 정책의 수립이 필요하다는 것을 뒷받침한다. 또한 산업의 규모와 특성에 따라서 각 산업의 경제 성장과 탄소저감 기술 진보의 잠재력은 다르며, 이는 2016~2019년의 LMDI 분석결과의 저감성과 분류평면 산업별 위치의 차이와 변화에서도 드러났다.

3) 온실가스 배출증감량에 큰 영향을 미치는 분야 8개의 선택은 저감성과평면의 업종별 좌표에서 원점과 떨어진 상대적 거리를 측정하고, 영향이 없는 산업을 0, 영향이 가장 큰 산업을 1으로 두었을 때 각 상대거리로 측정하였다.

물론, 2018~2019년의 총 온실가스 배출량 저감이 산업계에서 실질적으로 나타났다는 점은 탄소중립의 달성에 있어 호의적인 측면이다. 그러나 이 시기에 결국 성장 측면의 둔화가 발생하면서 (C), (D)에 위치한 산업의 개수가 3년간 증가했다는 점은 산업 자체에서 탄소중립을 달성하기 위한 성과를 보이기 위해서는 산업의 경제적 성장을 포기해야 할 수 있다는 딜레마를 암시한다. 성장효과의 효용과 탄소집약도효과의 효용이 (A)와 (C)처럼 상쇄되는 위치에 있다고 하더라도 (-)효과의 절대값이 (+) 효과의 절대값보다 크다면, 탄소저감의 성과는 나타날 것이다. 하지만 이러한 상쇄(Offset)는 감소 목표를 이루기에 지속가능하지 않다.

또한 두 번째 분석에서 나타났듯이 각 산업은 사분면에서 일정한 위치에 고정되지 않은 모습을 보였다. 19개 산업 모두 1년 단위 및 3년 전체로 성과를 측정했을 때 같은 사분면에 있는 경우가 없었으며, 심지어 그 이동의 방향 또한 일정한 경향성이 존재하지 않았다. 이는 산업 내에서도 목표와 정책 방향성을 수시로 조정해야 한다는 점을 암시한다.

이러면 철강산업의 경우 2016년에는 (A)에 위치하고 있었으나, 이후에는 (C)에 위치했고 3년 전체의 배출결과에 대해 성과 평가한 경우 (B)에 위치한 것으로 나타났다. 다른 산업들도 한 개의 사분면에 고정된 결과는 나타나지 않았다. 이러한 두 가지 결과는 이해관계자들의 행위가 서로 독립적으로 이뤄질 경우에 산업이나 기업 내에서도, 궁극적인 탄소 저감이 가능한지에 대한 의문을 내포한다. 특히 내부 이해관계자의 최적 목표를 위한 활동이, 전체의 최적 목표와 같지 않을 가능성을 분명히 나타내고 있다.

이처럼 연구의 결과는 효용의 상쇄 측면과 업종별 온실가스 배출 특성이 유동적으로 바뀐다는 측면에서 경제 성장과 배출량 감축을 동시에 달성하면서 온실가스 저감 목표를 달성하는 것이 현실적으로 어렵다는 점을 함의한다. 한편 저감성과 분류평면을 활용한 본 연구의 결과는 이처럼 현실적인 어려움을 뒷받침하는 것 외에, 세부 업종별로 어떠한 정책을 취해야 하는지 정책적 함의를 제공해줄 수 있다. 본 연구의 결과에서 입증된

것과 같이 사분면에서 한 산업의 위치는 기간 간 같지 않기 때문에 정책과 전략은 항상 유지하기보다는 유동성 있게 조정 및 발전되어야 하지만, 저감성과 분류평면의 결과를 바탕으로 아래와 같은 정책적 함의를 도출해낼 수 있다.

(A) 전반적 효용 증가: (A)에 위치한 산업의 내부 X, Y는 각자에 대해 바람직한 성과를 냈다고 판단하고, 외부에서 받는 온실가스 저감 실적 평가는 서로 상쇄된 결과값에 의존할 것이다. 이 산업들은 경제성장효과로 이뤄진 (+)의 효용이 생산에서 지속적인 탄소집약도 하락을 담보 할 수 있도록, R&D등을 통해 탄소저감기술에 대한 지속적인 투자 확대를 꾀하는 전략을 취할 수 있다.

(B) 경제적 효용 증가: (B)에 위치한 산업은 X, Y중 X만 자신에 대해 바람직한 성과를 냈다고 판단하고, 외부에서 받는 온실가스 저감 실적 평가는 좋지 않게 받는다. 이 산업들은 현재 경제성장효과로 받은 (+)의 효용을 탄소저감의 기술진보로 이동시키지 않고 있다. 하지만 경제성장으로 인한 효용이 존재하므로 R&D나 탄소배출권의 획득에서 급진적인 투자전략을 취하여 저감성과를 향상할 수 있다.

(C) 전반적 효용 감소: (C)에 위치한 산업의 내부 X, Y는 각자에 대해 바람직하지 않은 성과를 냈다고 판단하고, 외부에서 받는 온실가스 저감 실적 평가는 서로 상쇄된 결과값에 의존할 것이다. 이 산업들은 온실가스 배출에서 사실상 횡재이익(Windfall profit)을 통해 온실가스 배출 저감성과를 달성한다. 그러나 기술진보를 통해 탄소집약도효과의 방향을 전환할 능력이 감소되는 상태기 때문에, 전략적으로는 업종 자체의 전환이나, 산업을 유지한다면 외부 기술 유치나 협업을 하는 전략을 취할 수 있다.

(D) 기술적 효용 증가: (B)에 위치한 산업은 X, Y중 X만 자신에 대해 바람직한 성과를 냈다고 판단하고, 외부에서 받는 온실가스 저감 실적 평가는 좋게 받는다. 이 산업들은 횡재이익(Windfall profit)을 통해 산업의 위험(Risk)을 일부분 낮출 수 있고, 온실가스 배출저감 기술이 진보되는 상태기 때문에, 외부 투자를 통해 탄소저감 R&D를 유지 및 지속 발전할 수

있도록 하는 전략을 취할 수 있다.

V. 결론

본 연구에서는 LMDI를 통해 분해하여 살펴볼 수 있는 경제성장 효과와 탄소집약도 효과의 좌표평면 상의 관계를 바탕으로 4가지 유형으로 분류하여 광·공업 세부 업종별로 어떠한 상황에 놓여 있는지를 살펴보고, 이를 통해 경제성장과 배출량 저감을 동시에 달성하는 것이 가능한 것인지 정량적으로 살펴보았다. 분석에서 나타난 광공업 분야의 3년간의 LMDI 결과에서는 광·공업 내에서 경제성장이 후퇴하지 않는 이상 궁극적인 탄소 중립은 불가능할 수 있다는 가능성을 보여주었다. 또한 저감 목표를 달성하기 위해서는 광공업 분야를 넘어 다른 분야와의 긴밀한 협력이 필요할 것임을 시사하였다.

세부적으로 저감성과 분류평면을 통한 첫 번째 분석결과는 각 세부 광·공업의 저감성과의 차이로 인해 광·공업 전체에서 일률적인 저감 목표와 정책 방안을 수립할 경우 효과가 떨어질 수 있는 가능성을 보여주었다. 이러한 점에서 정책적으로 개별 산업이나 기업 별로 온실가스 저감 목표 및 수행방법이 제시되어야 한다. 또한 각 세부 광·공업 분야 내에서도 온실가스 저감 목표와 수행방법에 있어 지속적인 조정이 필요하다. 평가방법이나 기간에 따라 성과는 세부 업종에 따라 다르게 측정되고 또한 이해관계의 상충을 동반하게 된다. 이러한 이해관계의 갈등은 산업 조직 내부의 목표 추구 문제와 산업 조직 외의 성과평가에서, 또는 두 경우 모두 나타날 수 있어 이를 조정하는 과정이 필요하다. 이를테면 국가온실가스 감축목표(NDC)의 전체적인 수치는 정부에서 하향식으로 제시를 할 수 있으나, 감축목표의 수행 계획과 방안은 개별 경제주체 내에서 제시될 수 있도록 만드는 것이 필요하다. 본 연구의 결과는 탄소중립을 향해 나아가는 다양한 측면에서 거버넌스 시스템의 활성화가 필요하고, 이를 위해 산

업 분야별 특성에 맞는 협력체제를 구축하고 더 나아가 시장기구와 협력하는 것이 중요하다는 점을 시사한다.

탄소중립에 대한 논의가 더욱 활발해지고 있음에도 불구하고, 경제계 및 산업계는 탄소 저감에 대한 노력을 일종의 부담 비용으로 인식하는 경우가 많다. 본 연구의 실증적 결과는 탄소 저감 정책의 수행이 경제적인 부담을 수반함과 동시에 다양한 이해관계자의 갈등이 나타날 수 있음을 시사한다. 이러한 점에서 탄소중립에 향해 나아가는 과정에서 산업계를 포함한 다양한 이해관계자들이 협력적으로 의사결정을 할 수 있는 거버넌스 체계를 확립할 수 있도록 노력해야 할 것이다.

■ 참고문헌 ■

- 김수이, 2018, “국내 발전부문의 온실가스 배출 요인 분해 분석” 『에너지경제연구』, 17(1), pp.1-264.
- 김수이·김현석, 2011, “LMDI 방법론을 이용한 국내 제조업의 에너지 소비 요인 분해분석”, 『에너지경제연구』, 10(1), pp.9-76.
- 김수이·정경화, 2011, “LMDI방법론을 이용한 국내 제조업의 온실가스 배출 요인 분해 분석”, 『자원·환경경제연구』, 20(2), pp.271-299.
- 김용빈·전봉걸, 2017, “2014년 에너지부문 온실가스 배출량 감소 요인에 대한 분석과 시사점”, 『경제연구』, 35(4), pp.183-220.
- 박년배·심성희, 2015, “감축목표 업종분류 체계에 따른 산업부문의 에너지소비 및 온실가스 배출 요인 분해 분석”, 『자원·환경경제연구』, 24(1), pp.189~224.
- 박호정, 2021, “탄소중립은 지속가능한 경제성장과 양립하는가?”, 『자원·환경경제연구』, 30(2), pp.346-364.
- 산업통상자원부·한국에너지공단, 2019, 『2019 전 부문 에너지사용 및 온실가스 배출량 통계』, 세종: 산업통상자원부, 울산: 한국에너지공단
- 전국경제인연합회, 2021.12.09., “국제비교를 통한 한국 산업 탄소감축 여건 분석”, Global Insight. Vol.68.
- 조용성, 2017, “전력산업의 온실가스 배출 요인분석 및 감축방안연구”, 『한국기후변화학회지』, 8(4), pp.357-367, DOI: 10.15531/ksccr.2017.8.4.357.
- 환경부, 2021.12.31., “2019년 온실가스 배출량 전년 대비 3.5% 감소, 7억 137만 톤”, 세종: 환경부.

- Ang, B. W., 2015, "LMDI decomposition approach: A guide for implementation". *Energy Policy*, 86, pp.233-238, DOI: 10.1016/j.enpol.2015.07.007
- Bao C, and Liu R., 2019, "Electricity Consumption Changes across China's Provinces Using A Spatial Shift-Share Decomposition Model". *Sustainability*. 11(9), 2494, DOI: 10.3390/su11092494
- Blake, R. R., Mouton, J. S., and Bidwell, A. C., 1962, "Managerial grid". *Advanced Management - Office Executive*. 1(9), pp.12-15,
- Jabbari, M., Shafiepour Motlagh, M., Ashrafi, K., and Abdoli, G., 2020, "Global carbon budget allocation based on Rawlsian Justice by means of the Sustainable Development Goals Index." *Environment, Development and Sustainability*, 22(6), pp.5465-5481, DOI: 10.1007/s10668-019-00433-1
- Kerschner, C., 2010, "Economic de-growth vs. steady-state economy". *Journal of cleaner production*, 18(6), pp.544-551, DOI: 10.1016/j.jclepro.2009.10.019
- Kwon, T. H., 2015, "Rent and rent-seeking in renewable energy support policies: Feed-in tariff vs. renewable portfolio standard", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 44, pp.676-681, DOI: 10.1016/j.rser.2015.01.036
- Qin, J., Gao, L., Tu, W., He, J., Tang, J., Ma, S., Zhao, X., Zhu, X., Brindha, K., and Tao, H., 2022, "Decomposition and Decoupling Analysis of Carbon Emissions in Xinjiang Energy Base, China", *Energies*, 15(15), 5526, DOI: 10.3390/en15155526
- Sato, K., 1976, "The ideal log-change index number". *The Review of Economics and Statistics*, 58(2), pp.223-228, DOI: 10.2307/1924029
- Sheinbaum, C., Ozawa, L., and Castillo, D., 2010, "Using logarithmic mean Divisia index to analyze changes in energy use and carbon dioxide emissions in Mexico's iron and steel industry", *Energy Economics*, 32(6), pp.1337-1344, DOI: 10.1016/j.eneco.2010.02.011
- Wang, M., and Feng, C., 2018, "Using an extended logarithmic mean Divisia index approach to assess the roles of economic factors on industrial CO₂ emissions of China", *Energy Economics*, 76, pp.101-114, DOI: 10.1016/j.eneco.2018.10.008
- Wang, Q., and Song, X., 2021, "How UK farewell to coal-Insight from multi-regional input-output and logarithmic mean divisia index analysis", *Energy*, 229, 120655, DOI: 10.1016/j.energy.2021.120655

강형수: 연세대학교 도시공학과에서 박사학위 및 학사학위를 취득하였으며 한국건설기술연구원에서 박사후 연구원으로 근무하고 있다. 도시 및 지역개발, 정책 금융, 기후변화 및 탄소 중립, 스마트시티 등 분야에 관심을 갖고 있다(top626@kict.re.kr).

조현민: 서울대학교 지리학과에서 석사학위를 취득하고, 연세대학교에서 도시공학과 사회학으로 학사학위를 취득하였음. 현재 세계자연기금 한국본부에서 기후·에너지 프로그램 오피서로 근무 중이며 환경계획, 기후 및 에너지 정의, 도시 정치, 정책의 이동과 확산 등 분야에 관심을 갖고 있음(hzoh@wwfkorea.or.kr).

투 고 일: 2022년 08월 05일
심 사 일: 2022년 08월 23일
게재확정일: 2022년 09월 21일