



NGFS 기후 시나리오에 따른 탄소배출비용이 광주광역시 자동차산업에 미치는 경제적 영향

변장섭* · 배정환**†

*전남대학교 지역개발연구소 학술연구교수, **전남대학교 경제학부 교수

The economic impact of carbon emission costs under NGFS (Network for Greening the Financial System) climate scenarios on the automobile industry in Gwangju Metropolitan City

Byeon, Jangseop* and Bae, Jeong Hwan**†

*Research Professor, Center for Regional Development, Chonnam National University, Gwangju, Korea

**Professor, School of Economics, Chonnam National University, Gwangju, Korea

ABSTRACT

This study examines the economic impacts of Carbon Emission Costs on the automobile industry in Gwangju, focusing on inter-industry linkages. Unlike conventional approaches that emphasize direct greenhouse gas emissions or industry-level production costs, this study applies a regional input - output model combined with industry-specific greenhouse gas emission data to capture both the direct and indirect effects transmitted through industrial networks. Climate-related carbon costs are incorporated based on the Network for Greening the Financial System (NGFS) climate scenarios. The results show that the automobile industry in Gwangju produces relatively low direct greenhouse gas emissions compared to other manufacturing sectors. However, when forward and backward linkages are considered, the industry is indirectly associated with substantial greenhouse gas emissions through carbon-intensive upstream and downstream industries, such as basic metals, chemical products, and transportation services. This suggests that analyses focusing only on direct emissions may underestimate climate-related risks faced by key regional industries. Scenario-based analysis further indicates that rising carbon costs increase production costs and reduce demand, leading to output losses. Although the direct cost increase for the automobile industry is modest, its high price elasticity of demand amplifies demand contraction, while strong production-inducing effects magnify regional output losses. These impacts are particularly pronounced under scenarios characterized by delayed or insufficient climate policy responses, including the Net Zero 2050 and Low Demand scenarios. Overall, the findings highlight the importance of incorporating industrial linkages into regional climate impact assessments and underscore the need for proactive climate change mitigation strategies to enhance industrial resilience.

Key words : Climate Change, Automobile Industry, Input-Output model, Greenhouse Gas Emissions, Carbon Cost

†Corresponding author : jhbae@chonnam.ac.kr (61186, Chonnam National University, 77 Yongbong-ro, Buk-gu, Gwangju, Tel: +82-62-530-1428)

ORCID 변장섭 0000-0001-9760-1715

배정환 0000-0003-2198-2843

1. 서론

1.1. 연구배경 및 목적

지구온난화와 기후위기 대응은 21세기 전 지구적 경제 시스템과 사회 전반에 구조적 전환을 요구하는 핵심 과제로 부상하였다(IPCC, 2023; OECD 2021). 산업혁명 이후 화석연료 중심의 성장 경로는 대규모 온실가스 배출을 초래하였으며, 이러한 누적 효과는 기후변화를 가속화시키는 주요 원인으로 지적되고 있다(IPCC, 2023; Stern, 2014). 특히 최근 수십 년간 기후변화로 인한 자연재해의 빈도 증가와 경제적 피해 확대는 기후위기가 더 이상 환경 차원의 문제가 아니라 경제·산업 구조 전반의 위협요인임을 보여준다(UNDRR, 2020).

온실가스 감축과 저탄소 전환은 중앙정부 차원의 거시적 선언을 넘어, 지역과 산업의 실질성을 반영한 정밀한 정책 설계가 요구되고 있다(OECD, 2021). 동일한 감축 수단이라 하더라도 산업별 에너지 투입 구조와 기술 수준, 지역별 산업 집적도에 따라 경제적 파급효과는 상이하게 나타날 수 있다(Acemoglu et al., 2012). 이에 따라 최근 관련 연구들은 국가 단위 분석을 넘어 산업·지역 단위의 미시적 충격과 산업간 연관관계를 통한 전이를 정량화하는 방향으로 확장되고 있다(Carvalho et al., 2021; Dellink et al., 2019).

한국의 경우 2050 탄소중립 선언과 함께 국가온실가스 감축목표(NDC)의 상향 조정, 배출권거래제의 단계적 강화 등 고강도 기후정책이 본격화되고 있다(Government of the Republic of Korea, 2021). 이러한 정책 변화는 제조업 비중이 높고 에너지 다소비 산업이 집적된 지역경제에 상대적으로 큰 영향을 미칠 가능성이 크다(Aghion et al., 2016). 실제로 탄소가격 정책은 산업별 생산비용과 상대가격 구조를 변화시켜 생산·투자·고용에 영향을 미칠 수 있음이 이론적·실증적으로 제시되어 왔다(Metcalf and Stock, 2020).

국제적으로는 NGFS (Network for Greening the Financial System) 기후 시나리오와 SSP (Shared Socioeconomic Pathways)가 기후정책 분석의 핵심 도구로 활용되고 있다(NGFS, 2023; O'Neill et al., 2017). 이러한 기후 시나리오는 거시경제 변수와 에너지·산업 구조 변화를 연계하여 기후정책이 장기적으로 경제에 미치는 영향을 비교·분석할 수 있는 공통 기준을 제공한다(IIASA, 2012). 최근 연구들은 이러한 기후 시나리오를 산업연관분석(Input-Output Analysis) 또는

환경산업연관분석(Environmentally Extended Input-Output Analysis: EEIOA)과 결합하여, 탄소세 도입이나 배출 규제가 산업 간 연쇄효과를 통해 지역경제에 미치는 영향을 정량적으로 분석하고 있다(Miller and Blair, 2009; Minx et al., 2009; Yeo et al., 2022).

국내에서도 산업연관표와 온실가스 통계를 결합한 산업연관분석 연구가 점차 축적되고 있다(Kim and Park, 2024; Park, 2024; Yeo et al., 2022). 이러한 연구들은 탄소가격 정책이나 에너지 전환 정책이 산업 간 연계구조를 통해 생산, 부가가치, 배출에 미치는 파급효과를 분석하는데 유용한 방법론으로 평가된다(Wiedmann and Minx, 2008). 특히 지역 단위 산업연관분석은 산업구조 차이에 따른 정책 효과의 공간적 이질성을 포착할 수 있다는 점에서 중요성이 크다(Fingleton et al., 2015).

광역시 단위와 같이 제조업과 서비스업이 혼재된 지역 경제에서는 탄소중립 정책의 영향이 산업별로 상이하게 나타날 가능성이 높다. 지역 산업구조의 특성은 에너지 수요 구조와 온실가스 배출 특성에 직접적인 영향을 미치며, 이는 동일한 정책 하에서도 지역 간 상이한 경제적 결과를 초래할 수 있다(Peters et al., 2011). 이러한 문제의식에 따라 본 연구는 자동차산업이 지역 제조업 생산의 상당 부분을 차지하고 있어 탄소배출 비용이 추가될 경우 이에 대한 경제적 영향이 크게 나타날 것으로 예상되는 광주광역시를 분석대상으로 선정하였다. 광주광역시는 특히 내륙형 도시산업구조를 가지고 있어, 이에 대한 기후변화 대응 모델을 제시할 수 있다는 의미가 있다.

2025년 지역온실가스인벤토리에 의하면(2023년 기준 연도), 광주광역시의 온실가스 총 배출량은 8,266.8천 tCO₂eq, 제조업의 총 배출량은 1,424.6천 tCO₂eq로 추정되며, 자동차 및 트레일러 제조업의 온실가스 배출량은 188.9천 tCO₂eq로 광주광역시 총 배출량의 2.3%, 제조업 배출량 중 13.3%를 차지한다. 그러나 2023년도 광업제조업조사의 생산액을 기준으로 보면, 광주광역시의 전체 제조업 대비 47.7%를 자동차산업이 차지하고 있기 때문에, 자동차산업의 자체적인 온실가스 배출량은 낮더라도 결국 지역경제에 미치는 피해 정도는 다른 산업에 비해 커질 수 밖에 없다. 따라서 지역 단위 산업연관분석을 통해 탄소배출비용이 지역 산업에 미치는 경제적 파급효과를 정밀하게 분석할 필요가 있다.

이러한 문제의식 하에 본 연구는 지역산업연관표와 산업별 온실가스 배출계수를 결합한 선행연구의 분석 틀을 활용하여, 탄소배출비용이 지역경제에 미치는 산업별 파

급효과를 분석하고자 한다. 단, 기후변화는 정량적으로 그 효과를 측정하기 어렵기 때문에, NGFS 기후 시나리오에서 제시되고 있는 국가별 탄소가격을 토대로 탄소중립 정책에 따른 이러한 탄소가격이 반영되었을 경우를 가정하여 분석하고자 한다. 본 연구는 첫째, 탄소배출비용이 산업부문에 반영될 경우 지역 산업구조를 통해 어떻게 전이되는지를 정량적으로 제시하고, 둘째, 산업 간 연쇄효과를 고려한 지역경제 충격의 정도를 분석하며, 셋째, 중앙정부 및 지방정부의 기후·산업 정책 설계를 위한 실증적 근거를 제공하는 것을 목적으로 한다. 이러한 접근은 지역 맞춤형 탄소중립 정책 논의에 기여할 것으로 기대된다.

1.2. 기후변화의 지역경제 영향 관련 선행연구

Alogoskoufis et al. (2021), Emambakhsh et al. (2023)은 NGFS 기후 시나리오를 바탕으로 기후변화 리스크가 산업에 미치는 효과를 측정하였다. 이 연구들에서는 Scope 3의 배출량을 측정한 뒤, Scope 3 배출에 의한 간접적 파급효과를 분석하였다. Yang et al. (2021)과 Ahn et al. (2023)은 산업별 피해함수를 이용, 기후변화가 지역산업에 미치는 영향을 추정하였다. 여기서는 종속변수를 산업생산, 독립변수는 기온, 강수량 등 기후변수, 통제변수는 인구, 고정자산 등 생산요소로 구성된 산업별 지역 패널회귀모형으로 분석하였다. Kim and Jeon (2021)과 Kim et al. (2023)은 2050 탄소중립 등 기후정책, NGFS 기후 시나리오 등을 기초로 각 리스크에 따른 파급효과를 분석하였다. 이러한 다수의 연구들에서 기후변화가 산업에 미치는 영향을 분석하고 있으나, 산업간 연관관계를 반영하지 못한 한계가 있다.

반면 Kim and Park (2024)은 탄소집약적 산업에서의 온실가스 배출 비용 증가가 산업 간 연관관계를 통해 다른 산업의 생산물 가격 상승으로 전이될 수 있기 때문에, 산업 간 연관관계를 고려한 분석이 필요하다고 강조한다. 이러한 관점이 반영된 연구는 다음과 같다.

Gang (1996)은 산업연관모형을 이용하여 산업별 CO₂ 배출량, 배출계수, 유발계수를 추정한 다음, 에너지/탄소세 부과에 대한 기후 시나리오별 가격상승효과를 분석하였다. 또한 각 산업별 산출액 기준 산업구조 변화를 추정하였다. 이 연구에서는 기후변화에 따른 산업에 대한 투입요소를 에너지/탄소세 부과로 가정하였으며, 한국의 산업(대·중분류)을 대상으로 하며, 자동차는 수송기계에 포함시켰다.

Park and Lee (2021)는 에너지 소비량에 기반한 산업별 이산화탄소 배출량을 추정하였으며, 2000년 및 2005년 산업연관표를 활용한 산업별 생산비용 및 산업구조에 미치는 영향을 분석하였다. 이 연구에서는 탄소가격정책을 통한 탄소배출규제가 보완되지 않을 경우를 가정하였으며, NGFS 기후 시나리오에 따른 산업별 탄소세율 부과를 설정하였다. 여기서는 한국의 산업(대·중분류)을 대상으로 하며, 자동차는 운송장비에 포함시켰다.

Kim and Park (2024)은 기후변화로 인한 산업별 피해함수를 적용시켜, 산업별 탄소세와 수요의 가격탄력성을 추정하였다. 또한 탄소가격 상승 충격이 산업 간 연관관계를 통해 파급되는 생산물가격과 수요에 미치는 영향을 추정하였다. 여기서는 저탄소 전환에 따른 탄소가격 상승 충격을 가정하였으며, 한국의 산업(대·중분류)을 대상으로 하며, 자동차는 운송장비에 포함시켰다.

Park (2024)은 지역별 및 산업별 온실가스 배출량을 추정하고, 2019년 지역산업연관표를 활용하여, 탄소중립을 위한 탄소세 부과에 경제적 효과를 지역별 및 산업별로 분석하였다. 경제적 효과는 탄소세 도입이 지역의 생산비용, 수요 및 생산에 미치는 영향을 분석하였다. 여기서는 국회에서 발의된 탄소세 기본법을 기준으로 이산화탄소 톤당 5만원의 기본세율을 적용하였고, 17개 광역시도별 산업(대·중분류)을 대상으로 하며, 자동차는 운송장비에 포함시켰다.

본 연구는 선행연구들의 기본적인 분석 틀은 유지하되, 온실가스 배출량은 공식적인 데이터를 사용하였으며, 자동차 산업을 외생화시킨 산업연관분석을 수행하고자 한다. 선행연구와의 차별성은 다음과 같다.

첫째, 지역·산업별 온실가스 배출량은 ‘지역온실가스인벤토리’의 데이터를 이용하여 상대적으로 더 공식적인 측정량을 사용한다. 선행연구들은 주로 에너지 소비량을 기초로 에너지원별 탄소배출계수를 이용하여 산업별 온실가스 배출량을 추정하였다. 반면 본 연구는 최근 공표된 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법」에 따른 온실가스 산정지침에 의해 산정된 ‘지역온실가스인벤토리’의 온실가스 배출량을 이용하였다. 단, 인벤토리에서는 산업 분류가 되어있지 않기 때문에, 부문별 배출량을 산업으로 배분하여 각 지역별 온실가스 배출 총량은 일치하도록 하였다. 둘째, 지역산업연관표의 산업분류는 대부분류로 적용하되, 자동차 산업을 기존 운송장비에서 외생화시켜 별도의 산업으로 추출하여 NGFS 기후 시나리오에 기반한 탄소배출비용이 광주광역시의 대표산업인 자동차

산업에 미치는 경제적 영향을 측정하였다.

선행연구들은 특정 산업으로 한정하지 않고, 기후변화가 지역(또는 국가)의 산업에 미치는 영향을 분석하였기 때문에, 산업연관표(또는 지역산업연관표)의 산업(또는 상품) 분류를 그대로 적용하는 한계가 있다. 반면 본 연구는 기존 지역산업연관표의 대분류 산업 틀은 유지하되, 대분류 기준 운송장비에서 중분류 기준 자동차산업을 외생화하여 추출하는 방식으로 별도의 지역산업연관표를 작성한 뒤 분석하여, NGFS 기후 시나리오에 기반한 탄소배출 비용이 광광역시의 자동차산업에 미치는 경제적 영향을 추정했다는 점에서 선행연구와 차별적이다.¹⁾

2. 연구방법

2.1. 지역·산업별 온실가스 배출량 추정 방법

2025년 지역 온실가스 인벤토리(2023년 기준연도)를 이용하여 각 지역의 온실가스 배출량을 산업별로 배분하였다. 지역 온실가스 인벤토리는 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법」에 의거 각 자치단체가 배출량 산정에 필요한 기초자료를 수집·제출하였으며, 온실가스 종합정보센터에서 산정한 온실가스 배출량으로 법률에 근거한 가장 공신력 있는 데이터로 볼 수 있다. 단, 각 광역자치단체 온실가스 배출량이 6개 분야별로 구성되어 산업별 온실가스 배출량이 산정되어 있지 않기 때문에, 이에 대한 별도 추정이 필요하다.

본 연구에서 각 지역별 온실가스 총량은 인벤토리 값을 기준을 하되, 세부 분야별 배출량 값을 한국은행 산업연관표의 상품분류에 매칭하는 방식을 취하였다(Table 1 참조). 인벤토리 부문 중 산업공정 및 제품 생산과 농업, 폐기물은 각각 ‘제조업 및 건설업’, ‘농림수산물’, ‘수도, 폐기물 처리 및 재활용 서비스’로 매칭시켰다. 단, 에너지 부문은 세부부문별로 특성이 매우 상이하기 때문에, 다음과 같이 매칭시켰다. 연료연소(Fuel Combustion)에서 에

Table 1. Matching commodity major classification to inventory sectors

Inventory Sectors			Commodity Major Classification of IOT
Energy	Fuel Combustion	Energy Industry	Electricity, Gas and Steam
		Manufacturing and Construction	Manufacturing and Construction
		Transportation	Transportation Services
		Other	Other Industries
	NES		
Fugitive Emissions		Coal and Petroleum Products	
Industrial Processes and Product Use			Manufacturing
Agriculture			Agricultural, Forestry and Fishery Products
Waste			Water Supply, Waste Management and Recycling Services

너지산업은 ‘전력, 가스 및 증기’로, 수송(Transportations)은 ‘운송서비스’로, 기타(Other)와 미분류(NES)는 ‘기타 산업’,²⁾ 탈루(Fugitive Emissions)는 ‘석탄 및 석유제품’으로 매칭시켰다. 단, 여기서 제조업과 건설업은 에너지총조사에 근거하여 배분하되, 제조업은 한국에너지공단 산 산업부문 온실가스 배출량 조사결과를 기준으로 다시 배분하였다. 또한 기타 산업은 다른 부문에서 특정되지 않은 산업을 대상으로, 에너지총조사 등에 의한 중분류별 에너지 사용량 비율을 기준으로 다시 배분하였다.³⁾

여기서 산업별 온실가스 배출량은 한국은행에서 공표하는 산업연관표의 대분류를 기준으로 추정하였다. 단, 기존 대분류는 33개 산업이지만, 본 연구에서는 전술한 바와 같이 운송장비에서 자동차를 외생화하였으므로, 총 34개 산업으로 상품분류가 수정되었다. 각 산업명과 온실가스 배출량 추정에 사용한 에너지총조사 기준 산업별 에너지사용량 및 광업제조업부문의 온실가스 배출량 조사결과는 Table 2와 같다.

- 1) 지역산업연관표와 지역 온실가스 인벤토리의 기준연도는 각각 2020년과 2023년 자료를 사용하였다. 이것은 반복된 추정의 오류를 최대한 줄이기 위해 공식적으로 공표된 데이터를 그대로 사용하되, 현재 시점에서 가장 산업의 구조를 잘 설명할 수 있도록 데이터별로 최신 기준연도를 적용하였다.
- 2) 산업연관표의 ‘기타 산업’과 지역온실가스 인벤토리의 ‘기타(Other)’ 및 ‘미분류(NES)’는 분류 기준에서 차이가 존재하나, 모두 특정 산업으로 명확히 귀속되지 않는 잔여 범주라는 공통점을 가진다. 따라서 본 연구에서는 총 배출량의 일관성을 유지하는 범위 내에서 이를 대응시키는 방식으로 배분하였으며, 이는 통계적 왜곡을 최소화하기 위한 보수적인 접근으로 판단된다.
- 3) 광업제조업은 지역온실가스인벤토리에서 광업과 제조업에 해당하는 온실가스 배출량을 한국에너지공단에서 제공하는 한국표준산업분류(KSIC) 소분류 기준 온실가스 배출량 비율로 배분하였다. 그러나 이의 산업들은 온실가스 배출량을 집계하고 있지 않다. 이 부분은 광업제조업을 제외한 온실가스 배출량을 에너지총조사의 산업부문별 에너지사용량 비율을 이용하여 배분하였다. 단, 이 산업부문 에너지사용량이 산업별로 단위가 다르기 때문에, cal단위를 toe단위로 환산하여 사용하였다.

Table 2. Major commodity categories in the IOT

Code	Commodity	Energy Consumption (1000toe)	GHG Emission (1000 tCO ₂ eq)
A	Agricultural, forest, and fishery goods	3,683.4	-
B	Mined and quarried goods	-	729.6
C01	Food, beverages and tobacco products	-	9,862.4
C02	Textile and leather products	-	4,203.3
C03	Wood and paper products, printing and reproduction of recorded media	-	9,380.2
C04	Petroleum and coal products	-	36,797.3
C05	Chemical products	-	73,138.3
C06	Non-metallic mineral products	-	31,704.7
C07	Basic metal products	-	122,225.9
C08	Fabricated metal products, except machinery and furniture	-	9,279.6
C09	Computing machinery, electronic equipment and optical instruments	-	30,927.3
C10	Electrical equipment	-	5,996.8
C11	Machinery and equipment	-	7,158.5
C12a	Motor vehicle	-	9,010.7
C12b	Other transport equipment	-	2,458.5
C13	Other manufactured products	-	1,083.1
C14	Manufacturing services and repair services of industrial equipment	-	489.3
D	Electricity, gas, and steam supply	50,361.5	-
E	Water supply, sewage and waste treatment and disposal services	1,178.2	-
F	Construction	2,739.9	-
G	Wholesale and retail trade and commodity brokerage services	3,152.3	-
H	Transportation	21,110.9	-
I	Food services and accommodation	4,952.5	-
J	Communications and broadcasting	508.6	-
K	Finance and insurance	522.0	-
L	Real estate services	765.3	-
M	Professional, scientific, and technical services	1,162.4	-
N	Business support services	276.7	-
O	Public administration, defense, and social security services	493.9	-
P	Education services	2,630.0	-
Q	Health and social care services	2,143.4	-
R	Art, sports, and leisure services	1,391.4	-
S	Other services	2,683.6	-
T	Others	-	-

2.2. NGFS 기후 시나리오에 기반한 탄소배출비용이 지역산업에 미치는 영향 분석 방법

탄소배출비용의 영향을 직접적으로 화폐적인 가치로 측정하기 어렵기 때문에, 기후변화에 대응하는 탄소비용을 추정하였다. 탄소배출비용은 현재 국내에서 논의된 도입 수준 뿐만 아니라, GCAM 6.0을 활용하여 한국을 대상으로 구축된 NGFS 기후 시나리오의 탄소가격 전망치를 활용하였다. NGFS 기후 시나리오는 총 7개가 존재하지만, 2025년부터 2050년까지 탄소가격 전망치가 모두 추정된 4개 기후 시나리오에 대해서만 본 연구에 적용하였다.⁴⁾ 각 기후 시나리오별 의미와 탄소가격 전망치는 Table 3과 같다.

Table 3. Definitions and projected carbon prices of the NGFS climate scenarios

(Unit: 2010 KRW)

Scenario	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Below 2°C	Gradually increases the stringency of climate policies, giving a 67% chance of limiting global warming to below 2°C.					
	6,706	174,248	205,201	248,318	332,564	488,774
Low demand	Assumes that reduced energy demand mitigates the pressure on the economic system to reach global net zero CO ₂ emissions around 2050.					
	23,646	172,121	281,353	500,117	821,904	1,405,214
NDCs	Nationally Determined Contributions (NDCs) includes all pledged policies even if not yet backed up by implemented effective policies.					
	6,949	189,442	158,223	142,116	125,327	103,057
Net Zero 2050	Limits global warming to 1.5°C through stringent climate policies and innovation, reaching global net zero CO ₂ emissions around 2050.					
	17,251	174,896	300,581	554,126	968,333	1,852,976

Source: NFGS (2023)

Park (2024)은 Hassett et al. (2009)의 모형에 근거하여, 각 상품을 생산하는 데 사용하는 에너지사용량에 근거하여 탄소비용을 부과하는 경우를 상정하여 모형을 전개하였다. 산업연관모형에서 중간투입, 수입 및 부가가치의 합은 산출액과 동일하므로 다음이 성립된다.

4) NGFS 기후 시나리오 중 Delayed Transition와 Current Policies, Fragmented World는 한국의 탄소가격 전망치가 분석대상기간 동안 모두 추정되지 않아서 본 연구에서 제외하였다.

$$\begin{aligned} x_{11}p_1 + x_{21}p_2 + \dots + x_{M1}p_N + M_1 + V_1 &= x_1p_1 \\ x_{12}p_1 + x_{22}p_2 + \dots + x_{M2}p_N + M_2 + V_2 &= x_2p_2 \\ &\vdots \\ x_{1N}p_1 + x_{2N}p_2 + \dots + x_{MN}p_N + M_N + V_N &= x_Np_N \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 x_{ij} 는 상품 j 생산에 투입된 상품 i 의 양, x_j , p_j , M_j 및 V_j 는 각각 상품 j 의 산출량, 생산비용, 수입 및 부가가치를 의미한다.

식 (1)의 양변을 산출량(x_j)으로 나누고 투입계수 ($a_{ij} = x_{ij}/x_j$)로 나타내면 다음과 같아진다.

$$\begin{aligned} a_{11}p_1 + a_{21}p_2 + \dots + a_{M1}p_N + (M_1 + V_1)/x_1 &= p_1 \\ a_{12}p_1 + a_{22}p_2 + \dots + a_{M2}p_N + (M_2 + V_2)/x_2 &= p_2 \\ &\vdots \\ a_{1N}p_1 + a_{2N}p_2 + \dots + a_{MN}p_N + (M_N + V_N)/x_N &= p_N \end{aligned} \quad (2)$$

상품 i 에 대한 탄소세 t_i 는 다음과 같이 종량세의 형태로 부과된다고 가정할 수 있다.

$$t_i = \frac{\text{상품 } i \text{의 온실가스 배출량} \times \text{온실가스 배출량당 탄소세}}{\sum_{j=1}^N x_{ij}} \quad (3)$$

투입계수(a_{ij})와 산출량 한 단위당 수입(M_j/x_j) 및 부가가치(V_j/x_j)가 일정하다는 가정하에 새로운 생산비용체계 (p'_j)에 대해 다음이 성립한다.

$$\begin{aligned} a_{11}p'_1(1+t_1) + a_{21}p'_2(1+t_2) + \dots &+ a_{M1}p'_N(1+t_N) + (M_1 + V_1)/x_1 = p'_1 \\ a_{12}p'_1(1+t_1) + a_{22}p'_2(1+t_2) + \dots &+ a_{M2}p'_N(1+t_N) + (M_2 + V_2)/x_2 = p'_2 \\ &\vdots \\ a_{1N}p'_1(1+t_1) + a_{2N}p'_2(1+t_2) + \dots &+ a_{MN}p'_N(1+t_N) + (M_N + V_N)/x_N = p'_N \end{aligned} \quad (4)$$

이를 새로운 생산비용체계(p'_j)에 대해 정리하고 행렬형태로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} 1 - a_{11}(1+t_1) & -a_{21}(1+t_2) & \dots & -a_{M1}(1+t_N) \\ -a_{12}(1+t_1) & 1 - a_{22}(1+t_2) & \dots & -a_{M2}(1+t_N) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ -a_{1N}(1+t_1) & -a_{2N}(1+t_2) & \dots & 1 - a_{MN}(1+t_N) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p'_1 \\ p'_2 \\ \vdots \\ p'_N \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} (M_1 + V_1)/x_1 \\ (M_2 + V_2)/x_2 \\ \vdots \\ (M_N + V_N)/x_N \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (5)$$

당초 생산비용체계를 정규화($p_1 = p_2 = \dots = p_N = 1$)하면 새로운 생산비용체계(p'_j)는 탄소세 부과에 따른 생산비용 상승률을 의미한다.

산업별로 탄소비용에 따른 생산비용이 증가하면, 가격이 상승하여 수요가 감소된다. 단, 수요의 가격탄력성은 산업별로 상이하기 때문에, 이에 대해서는 Park (2024), Kim et al. (2023) 등의 연구에서 추정된 상품별 수요의 가격탄력성 값을 적용하였다.⁵⁾ 산업별 생산비용 상승이 최종재 가격에 전가되고 수요의 가격탄력성이 국소적으로 일정하다는 가정하에, 기후변화에 따른 지역산업의 수요감소율은 가격상승률에 수요의 가격탄력성을 곱한 값으로 추정할 수 있다.

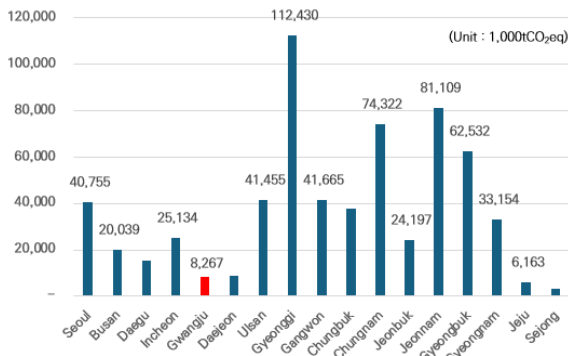
각 산업의 상품에 대한 수요(Y)가 감소하면 산업연관 모형($X = (I - A)^{-1}Y$)에 의하여, 최종적으로 생산(X)이 감소하게 된다. 따라서 산업별 생산감소율은 생산유발계수 행렬($(I - A)^{-1}$)에 각 산업의 최종재에 대한 수요 감소분을 곱하여 추정할 수 있다.

마지막으로 탄소배출비용이 광주광역시 지역산업에 미치는 경제적 영향을 정량적으로 살펴보기 위해서, 각 산업별 산출액에 생산 감소율을 적용하여 그 금액을 산출하였다.

3. 지역·산업별 온실가스 배출량 추정 결과

2025년 지역온실가스인벤토리(2023년도 기준연도)를 이용하여 지역·산업별 온실가스 배출량을 추정한 결과는 Fig. 1과 같다. 지역별로 보면, 경기도가 112,430천 tCO₂eq으로 온실가스 배출량이 가장 많고, 그 다음으로 전라남도(81,109천 tCO₂eq), 충청남도(74,322천 tCO₂eq) 등 주로 산업이 집중된 지역에서 온실가스 배출량이 많이 배출되고 있다. 광주광역시의 온실가스 배출량은 8,267천 tCO₂eq으로 17개 광역시도 중에서 15위이며, 전국 대비 1.3%에 불

5) 선행연구들에 의하면, 산업별 가격에 대한 수요탄력성은 최저 -0.07(1차 금속제품)에서부터 최대 -2.00(음식점 및 숙박서비스)까지 다양하게 분포한다. 자동차의 가격에 대한 수요탄력성은 -1.50으로 음식점 및 숙박서비스 다음으로 높은 수준으로 추정되었다.

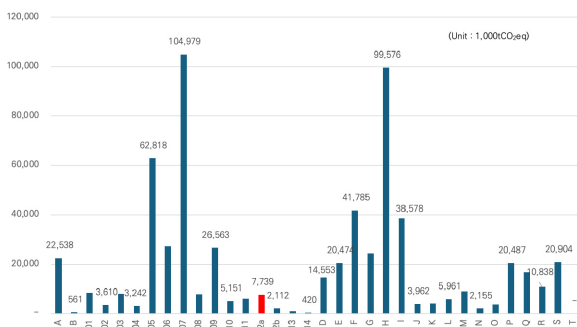


Source: Authors' calculations based on the 2023 Regional Greenhouse Gas Inventory

Fig. 1. Greenhouse gas emissions by region

과하다.

산업별로 보면, 1차 금속제품(104,979천 tCO₂eq)의 온실가스 배출량이 가장 많고, 그 다음으로 운송서비스(99,576천 tCO₂eq), 화학제품(62,818천 tCO₂eq) 등 순으로 배출량이 많다(Fig. 2 참조). 자동차 산업은 온실가스 배출량이 7,739천 tCO₂eq로 전체 34개 산업 중 20위, 1.2%에 불과하지만, 전후방으로 연관되는 산업이기 때문에 간접적인 온실가스 배출량이 매우 많을 것이다. 온실가스 배출량이 가장 많은 1차 금속제품은 자동차 산업의 핵심 부품인 철강제품이 속한 산업이며, 운송서비스는 자동차 산업에 의해 생산된 자동차를 이용하는 산업이기 때문에 산업간 연관관계에 의해 실질적으로 자동차산업의 온실가스 배출량이 직·간접적으로 매우 많다고 볼 수 있다.



Source: Authors' calculations based on the 2023 Regional Greenhouse Gas Inventory

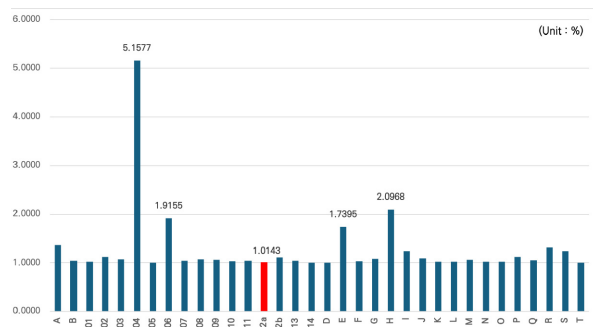
Fig. 2. Greenhouse gas emissions by industry

4. NGFS 기후 시나리오에 기반한 탄소배출비용이 광주광역시 자동차산업의 수요 및 생산에 미치는 영향

4.1. 탄소배출비용이 지역산업의 생산비용에 미치는 영향

탄소배출비용이 생산비용에 미치는 영향을 추정하기 위해서 각 산업별로 탄소가격이 비용으로 반영되는 경우를 가정하여, NGFS 기후 시나리오에 따라 자동차산업을 포함한 각 산업별로 생산비용이 상승하는 비율을 추정한다.

추정 결과를 산업별로 비교해보면, 석탄 및 석유제품, 운송서비스, 폐기물처리 및 재활용서비스, 비금속광물제품 등이 높게 추정되었다(Fig. 3 참조). 이 산업들은 직접적인 온실가스 배출량이 많거나 자기 상품에 대한 투입계수가 높아 탄소비용을 다른 상품으로 전가시키기 어려운 구조적인 측면이 반영된 것일 수 있다(Park, 2024). 반면 자동차산업에 미치는 생산비용 감소율은 전체 산업의 평균에도 미치지 못하고 있는데, 이것은 기본적으로 자동차를 구성하는 부품을 조립하는 완성차 공장 등에서는 온실가스가 많이 배출되지 않기 때문일 것이다. 즉, 자동차를 생산하는 가치사슬 구조를 감안하면, 전장, 타이어 등 각 부품을 생산하는 과정에서 온실가스가 많이 배출되며, 오히려 부품을 조립하는 과정에서는 새로운 원재료가 투입되지 않고 또 다른 부산물이 크게 발생하지 않는다.



Values represent the average estimated rates of production cost increases across NGFS climate scenarios (Below 2°C, Low Demand, NDCs, and Net Zero 2050)

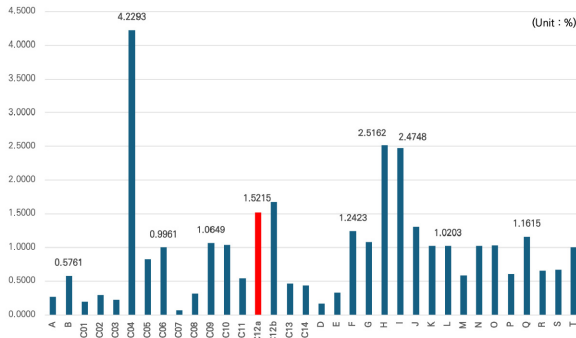
Fig. 3. Rate of production costs increases in Gwangju industries due to climate change (2050)

기후변화로 인해 탄소비용이 자동차산업에 부과될 경우, 자동차산업은 NGFS 기후 시나리오에 따라 평균적으로 2025년에는 생산비용이 1.0002% 늘어나는 것에 불과하지만, 점차적으로 증가하여 2050년에는 생산비용이 1.0143% 증가하는 것으로 추정되었다.

기후 시나리오별로 살펴보면, 해가 거듭될수록 모든 기후 시나리오에서 생산비용이 증가하지만, 특히 Net Zero 2050 기후 시나리오에서 각 산업들의 생산비용 증가가 크며, 그 다음으로 Low demand, Below^oC, NDCs 순으로 탄소배출비용이 지역산업의 생산비용 증가에 미치는 효과가 큰 것으로 나타났다.

4.2. 탄소배출비용이 지역산업의 수요에 미치는 영향

탄소배출비용이 지역산업의 수요에 미치는 영향을 산업별로 비교해보면, 석탄 및 석유제품, 운송서비스, 음식점 및 숙박서비스, 운송서비스, 기타 운송장비, 자동차 운으로 수요감소율이 높게 추정되었다(Fig. 4 참조).



Values represent the average estimated rates of production cost increases across NGFS climate scenarios (Below 2°C, Low Demand, NDCs, and Net Zero 2050)

Fig. 4. Rate of demand reductions in Gwangju industries due to climate change (2050)

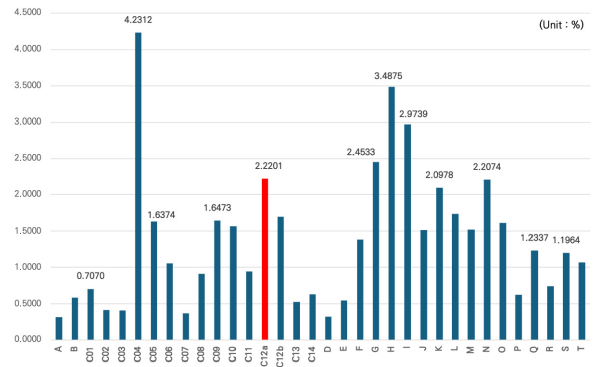
자동차는 생산비용 상승률이 전체 산업 평균에 비해 낮은 수준이었지만, 수요의 가격탄력성이 높기 때문에 수요 감소율이 상대적으로 더욱 높아지는 효과가 나타났다. 즉 기후변화에 따른 탄소비용으로 인해 자동차 가격이 상승하면, 소비자들은 더욱 민감하게 반응하여 수요가 더욱 크게 감소한다고 볼 수 있다.

광주광역시의 자동차산업은 NGFS 기후 시나리오에 따라 평균적으로 2025년에는 수요가 1.5003% 감소하는데,

점차적으로 수요 감소폭이 커지면서 2050년에는 수요가 1.5215% 감소하는 것으로 추정되었다.

4.3. 탄소배출비용이 지역산업의 생산에 미치는 영향

탄소배출비용이 지역산업의 생산에 미치는 영향을 산업별로 비교해보면, 석탄 및 석유제품, 음식점 및 숙박서비스, 도소매 및 상품증개서비스의 생산감소율이 높게 나타났다(Fig. 5 참조).



Values represent the average estimated rates of production cost increases across NGFS climate scenarios (Below 2°C, Low Demand, NDCs, and Net Zero 2050)

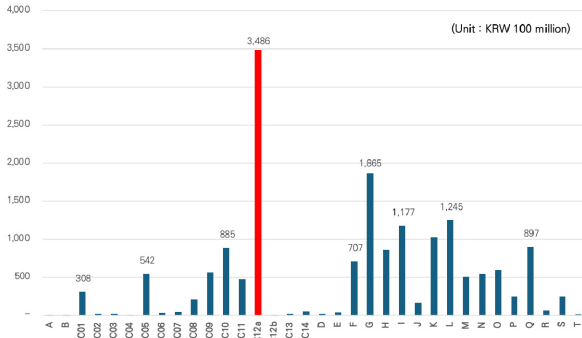
Fig. 5. Rate of output reductions in Gwangju industries due to climate change (2050)

이 외에도 사업지원서비스, 음식점 및 숙박서비스 등 서비스 부문에서 더욱 두드러지게 생산 감소가 이루어지는 것으로 추정되었다. 이것은 서비스 부문의 산업들이 생산 유발계수보다 최종수요 감소분이 크기 때문일 것이다.

자동차는 화학제품에 이어서 제조업 중 가장 생산감소율이 높은 것으로 나타났다. 즉 자동차 가격 상승에 따른 수요감소분과 더불어서 생산유발계수도 높은 구조적인 특성이 반영된 것으로 판단된다.

광주광역시의 자동차산업은 NGFS 기후 시나리오에 따라 평균적으로 2025년에는 생산이 2.0809% 감소하는데, 점차적으로 생산 감소폭이 커지면서 2050년에는 생산이 2.2201% 감소하는 것으로 추정되었다.

NGFS 기후 시나리오별로 추정된 생산 감소액의 평균 값을 기준으로 보면, 기후변화는 광주광역시의 지역경제에 2025년 1조 4,783억원에서 2050년 1조 6,857억원의 생산감소를 유발시키는 것으로 추정되었다. 산업별로 살펴보면, 자동차 산업의 생산 감소액이 가장 크며, 2025년



Values represent the average estimated rates of production cost increases across NGFS climate scenarios (Below 2°C, Low Demand, NDCs, and Net Zero 2050)

Fig. 6. Amount of output reductions in Gwangju industries due to climate change (2050)

3,267억원에서 2050년 3,486억원까지 생산 감소액이 확대 되는 것으로 나타났다(Fig. 6 참조).

Fig. 7은 광주광역시의 자동차산업을 중심으로 NGFS 기후 시나리오별 2050년까지의 생산 감소액을 나타낸 것이다. 그 결과를 보면 2025년에는 모든 NGFS 기후 시나리오별로 자동차산업의 생산 감소액이 3,266~3,270억원 수준으로 유사하지만, 2035년부터 각 기후 시나리오별로 추세가 다르게 나타났다. NGFS 기후 시나리오 중 Below 2°C와 NDCs 하에서는 광주광역시 자동차산업의 생산 감소가 다른 기후 시나리오에 비해 상대적으로 크지 않았지만, Low demand와 Net Zero 2050에서는 2045년 이후 생산 감소액이 더욱 커지는 것으로 추정되었다. 특히 Net Zero 2050 기후 시나리오를 적용하였을 경우, 2050년에 이르면 광주광역시 자동차산업은 생산이 3,691억원 감소하는 것으로 추정되었다.

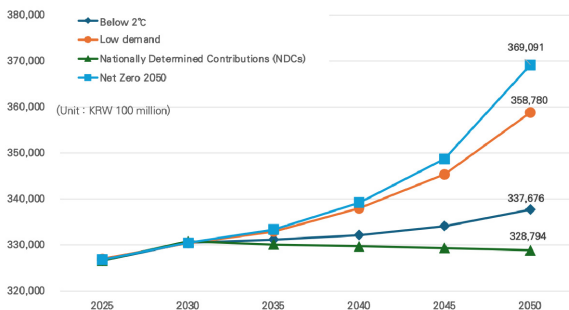


Fig. 7. Estimated production losses in the Gwangju Metropolitan City motor vehicle industry by NGFS climate scenario

Table 4. Amount of output reductions in Gwangju industries due to climate change: Below 2°C

(Unit: KRW 100 million)

Code	2025	2030	2035	2040	2045	2050
A	504	534	539	547	562	591
B	57	57	57	58	58	58
C01	25,926	26,778	26,935	27,154	27,582	28,376
C02	1,449	1,495	1,504	1,516	1,539	1,583
C03	1,770	1,815	1,823	1,834	1,857	1,898
C04	41	71	76	83	98	125
C05	48,727	49,680	49,856	50,101	50,580	51,469
C06	1,491	1,712	1,752	1,809	1,920	2,125
C07	3,837	3,928	3,944	3,968	4,013	4,097
C08	18,422	18,886	18,971	19,091	19,324	19,756
C09	51,010	51,944	52,117	52,358	52,828	53,699
C10	80,581	81,971	82,228	82,586	83,285	84,581
C11	42,287	43,086	43,234	43,439	43,841	44,586
C12a	326,575	330,433	331,146	332,139	334,079	337,676
C12b	154	157	158	158	160	163
C13	1,642	1,660	1,664	1,668	1,677	1,694
C14	4,501	4,559	4,570	4,585	4,615	4,669
D	1,475	1,525	1,534	1,546	1,571	1,617
E	2,576	2,809	2,852	2,912	3,029	3,245
F	66,771	67,464	67,592	67,771	68,119	68,766
G	159,331	164,100	164,981	166,209	168,607	173,053
H	46,610	53,467	54,734	56,498	59,946	66,339
I	94,640	98,685	99,432	100,473	102,506	106,277
J	14,935	15,214	15,266	15,338	15,478	15,738
K	93,506	95,034	95,316	95,709	96,478	97,902
L	113,676	115,581	115,933	116,424	117,382	119,159
M	41,103	42,772	43,080	43,509	44,348	45,904
N	46,428	47,854	48,118	48,485	49,203	50,533
O	57,893	58,091	58,128	58,179	58,279	58,463
P	22,003	22,495	22,586	22,713	22,960	23,418
Q	84,286	85,239	85,415	85,661	86,140	87,029
R	4,733	5,004	5,054	5,124	5,260	5,512
S	16,684	18,157	18,429	18,808	19,549	20,922
T	1,120	1,122	1,123	1,123	1,124	1,126
Total	1,476,746	1,513,380	1,520,148	1,529,574	1,547,995	1,582,148

Table 4 ~ Table 7은 NGFS 기후 시나리오(Below 2°C, Low demand, NDCs, Net Zero 2050)별로 각각 2025년부터 2050년까지 산업별 생산감소액을 추정한 결과이다. 앞서 언급한 바와 같이, 최종적으로 탄소배출비용에 따라 광주광역시에서는 자동차산업의 생산감소액이 가장 크게 나타났으며, 그 다음으로 도소매업, 부동산서비스 등 제조업에 비해 오히려 서비스업부문의 생산감소액이 크게 감소하는 경향이 나타났다. 이것은 탄소배출비용에 따라 산업에 반영되는 생산비용 상승분이 수요 감소와 생산감소로 이어지는 일련의 과정에서 제조업보다 서비스업 부문으로 그 영향이 전가된 것으로 볼 수 있다.

Table 5. Amount of output reductions in Gwangju industries due to climate change: Net zero 2050

(Unit: KRW 100 million)

Code	2025	2030	2035	2040	2045	2050
A	505	534	557	603	677	837
B	57	57	58	59	60	63
C01	25,980	26,781	27,420	28,708	30,812	35,307
C02	1,452	1,496	1,531	1,601	1,717	1,963
C03	1,773	1,815	1,848	1,915	2,025	2,259
C04	43	71	92	137	208	362
C05	48,787	49,683	50,398	51,840	54,196	59,228
C06	1,505	1,712	1,878	2,211	2,755	3,917
C07	3,843	3,928	3,996	4,132	4,355	4,831
C08	18,451	18,888	19,235	19,937	21,083	23,531
C09	51,069	51,948	52,649	54,064	56,375	61,311
C10	80,669	81,977	83,020	85,124	88,561	95,902
C11	42,338	43,089	43,688	44,897	46,872	51,090
C12a	326,819	330,448	333,343	339,181	348,720	369,091
C12b	154	157	159	164	172	188
C13	1,643	1,660	1,674	1,701	1,746	1,841
C14	4,505	4,560	4,603	4,692	4,836	5,144
D	1,478	1,525	1,562	1,636	1,757	2,017
E	2,591	2,810	2,984	3,336	3,911	5,138
F	66,814	67,467	67,987	69,036	70,751	74,413
G	159,632	164,119	167,696	174,913	186,703	211,882
H	47,043	53,493	58,637	69,014	85,965	122,170
I	94,896	98,700	101,734	107,855	117,853	139,207
J	14,953	15,215	15,425	15,847	16,537	18,011
K	93,602	95,040	96,186	98,498	102,276	110,344
L	113,796	115,589	117,018	119,902	124,613	134,674
M	41,208	42,778	44,030	46,555	50,681	59,491
N	46,518	47,860	48,930	51,089	54,616	62,149
O	57,905	58,092	58,241	58,541	59,031	60,079
P	22,034	22,497	22,866	23,610	24,826	27,423
Q	84,346	85,243	85,958	87,401	89,757	94,790
R	4,750	5,005	5,208	5,618	6,287	7,717
S	16,777	18,163	19,268	21,497	25,138	32,914
T	1,121	1,122	1,124	1,126	1,131	1,140
Total	1,479,059	1,513,520	1,541,002	1,596,439	1,687,002	1,880,426

5. 결론

본 연구는 NGFS 기후 시나리오에 기반한 탄소배출비용이 지역산업에 미치는 경제적 영향을 정량적으로 분석함에 있어 산업 간 연관관계를 고려한 산업연관분석의 필요성을 실증적으로 제시하였다. 기존 연구들이 개별 산업의 직접적 온실가스 배출이나 생산비용 변화에 주로 초점을 맞추어 왔다면, 본 연구는 지역산업연관표와 산업별 온실가스 배출계수를 결합하고, NGFS 기후 시나리오를 적용함으로써 기후정책 충격이 산업간 연쇄효과를 통해

Table 6. Amount of output reductions in Gwangju industries due to climate change: NDCs

(Unit: KRW 100 million)

Code	2025	2030	2035	2040	2045	2050
A	504	537	531	528	525	521
B	57	57	57	57	57	57
C01	25,928	26,855	26,696	26,614	26,529	26,416
C02	1,449	1,500	1,491	1,486	1,482	1,476
C03	1,771	1,819	1,811	1,806	1,802	1,796
C04	41	73	68	65	62	58
C05	48,728	49,766	49,588	49,497	49,401	49,275
C06	1,492	1,732	1,691	1,669	1,647	1,618
C07	3,838	3,936	3,919	3,910	3,901	3,889
C08	18,423	18,928	18,841	18,797	18,750	18,689
C09	51,011	52,029	51,855	51,765	51,671	51,547
C10	80,583	82,097	81,838	81,705	81,565	81,381
C11	42,288	43,158	43,010	42,933	42,853	42,747
C12a	326,581	330,783	330,064	329,693	329,307	328,794
C12b	154	157	157	156	156	156
C13	1,642	1,662	1,658	1,657	1,655	1,653
C14	4,501	4,565	4,554	4,548	4,542	4,535
D	1,475	1,529	1,520	1,515	1,510	1,504
E	2,577	2,830	2,787	2,764	2,741	2,710
F	66,772	67,527	67,398	67,331	67,262	67,169
G	159,338	164,533	163,644	163,186	162,708	162,074
H	46,620	54,088	52,811	52,152	51,464	50,553
I	94,646	99,051	98,298	97,909	97,504	96,966
J	14,935	15,239	15,187	15,161	15,133	15,096
K	93,508	95,172	94,887	94,741	94,587	94,384
L	113,679	115,754	115,399	115,216	115,025	114,772
M	41,105	42,923	42,612	42,452	42,284	42,063
N	46,430	47,984	47,718	47,581	47,438	47,248
O	57,893	58,109	58,072	58,053	58,033	58,007
P	22,004	22,540	22,448	22,401	22,352	22,286
Q	84,287	85,326	85,148	85,056	84,961	84,834
R	4,734	5,029	4,978	4,952	4,925	4,889
S	16,687	18,291	18,016	17,875	17,727	17,532
T	1,120	1,122	1,122	1,122	1,122	1,121
Total	1,476,800	1,516,700	1,509,875	1,506,353	1,502,682	1,497,815

지역경제 전반으로 확산되는 구조를 분석하였다.

분석 결과, 광주광역시 자동차산업은 자체적인 온실가스 배출량만을 기준으로 볼 경우 상대적으로 탄소집약도가 낮은 산업으로 분류될 수 있다. 그러나 산업연관관계를 고려할 경우, 자동차산업은 1차 금속제품, 화학제품, 운송서비스 등 온실가스 배출이 많은 전·후방 연관산업과 긴밀하게 연결되어 있어 간접적으로 유발되는 온실가스 배출과 탄소비용 부담이 매우 큰 산업임이 확인되었다. 이는 특정 산업의 기후변화 영향이 해당 산업의 직접 배출량만으로 과소평가될 수 있음을 시사한다.

또한 NGFS 기후 시나리오를 적용한 분석 결과, 탄소가

Table 7. Amount of output reductions in Gwangju industries due to climate change: Low demand

(Unit: KRW 100 million)

Code	2025	2030	2035	2040	2045	2050
A	507	533	553	593	651	756
B	57	57	58	58	59	61
C01	26,013	26,767	27,322	28,433	30,068	33,032
C02	1,453	1,495	1,525	1,586	1,676	1,838
C03	1,775	1,814	1,843	1,901	1,986	2,140
C04	44	70	89	127	183	284
C05	48,823	49,668	50,289	51,533	53,363	56,681
C06	1,514	1,709	1,852	2,140	2,562	3,329
C07	3,847	3,926	3,985	4,103	4,276	4,590
C08	18,469	18,880	19,182	19,787	20,678	22,292
C09	51,104	51,933	52,542	53,763	55,558	58,813
C10	80,722	81,954	82,860	84,676	87,346	92,186
C11	42,368	43,076	43,597	44,640	46,174	48,955
C12a	326,965	330,384	332,900	337,938	345,347	358,780
C12b	154	157	159	163	169	180
C13	1,644	1,660	1,672	1,695	1,730	1,793
C14	4,507	4,559	4,597	4,673	4,785	4,988
D	1,480	1,524	1,556	1,620	1,715	1,886
E	2,600	2,806	2,958	3,261	3,708	4,517
F	66,841	67,455	67,907	68,813	70,145	72,559
G	159,814	164,040	167,149	173,376	182,535	199,138
H	47,303	53,380	57,850	66,803	79,973	103,845
I	95,049	98,633	101,270	106,551	114,318	128,399
J	14,963	15,211	15,393	15,757	16,293	17,265
K	93,660	95,014	96,010	98,006	100,940	106,260
L	113,868	115,557	116,800	119,288	122,947	129,582
M	41,272	42,750	43,838	46,017	49,222	55,032
N	46,572	47,836	48,766	50,629	53,369	58,337
O	57,913	58,089	58,218	58,477	58,858	59,549
P	22,053	22,489	22,810	23,452	24,396	26,108
Q	84,382	85,227	85,849	87,093	88,924	92,243
R	4,761	5,001	5,177	5,531	6,051	6,993
S	16,833	18,139	19,099	21,022	23,851	28,978
T	1,121	1,122	1,123	1,126	1,129	1,136
Total	1,480,450	1,512,915	1,536,798	1,584,629	1,654,985	1,782,524

격 상승에 따른 생산비용 증가는 자동차산업 자체에서는 상대적으로 제한적인 수준으로 나타났으나, 가격탄력성이 높은 특성으로 인해 수요 감소폭이 크게 확대되었으며, 이로 인한 생산 감소 효과는 산업연관 효과를 통해 지역경제 전반으로 확산되는 것으로 분석되었다. 특히 온도상승 억제 목표가 더 강화되는 기후 시나리오(Net Zero 2050, Low Demand) 하에서는 자동차산업의 생산 감소액이 장기적으로 크게 확대되어, 광주광역시 지역경제에 상당한 경제적 손실을 초래할 가능성이 높은 것으로 나타났다.

이러한 결과는 기후변화 대응이 단순한 환경 규제의 문

제가 아니라, 지역 주력산업의 지속가능성과 지역경제 안정성에 직결된 핵심 경제 이슈임을 명확히 보여준다.

본 연구의 분석 결과는 지역 및 산업 차원에서 보다 적극적이고 전략적인 기후변화 대응 정책의 필요성을 다음과 같이 시사한다. 첫째, 지역 주력산업에 대한 기후정책 설계 시, 개별 산업의 직접 배출량뿐만 아니라 산업 간 연관구조를 고려한 통합적 접근이 필요하다. 자동차산업과 같이 자체 배출은 낮지만 연관산업을 통해 탄소비용이 누적되는 산업의 경우, 공급망 전반을 포괄하는 감축 전략과 지원 정책이 병행되어야 한다.

둘째, 산업 측면에서는 탄소가격 상승과 기후규제 강화에 대비한 선제적 기술 전환과 공급망 저탄소화 전략이 요구된다. 자동차산업의 경우 완성차 부문뿐만 아니라, 철강·화학·부품 산업을 포함한 전후방 산업 전반에서 에너지 효율 개선, 저탄소 공정 도입, 친환경 소재 전환을 유도할 필요가 있다. 이를 위해 정부와 지자체는 탄소감축 투자에 대한 재정 지원, 세제 혜택, 녹색금융 연계 프로그램을 강화할 필요가 있다.

특히 광주광역시는 완성차 공장을 중심으로 다수의 영세한 1·2차 부품 협력사가 집적된 산업구조를 가지고 있어, 탄소가격 상승에 따른 비용 부담이 공급망 전반으로 확산될 가능성이 크다. 이에 따라 지역 차원에서는 영세 부품업체의 대응 역량을 고려한 맞춤형 저탄소 공급망 구축 지원이 필요하다. 예를 들어 지역 특화형 녹색금융 프로그램, 부품기업 간 공동 탄소회계 및 배출관리 시스템 구축, 저탄소 공정 전환을 위한 공동 인프라 지원 등의 정책이 검토될 수 있다. 이러한 접근은 산업 간 연쇄효과로 발생하는 충격을 완화하고 지역 산업 생태계의 지속가능성을 제고하는 데 기여할 것이다.

셋째, 지역 차원에서는 기후정책이 특정 산업이나 기업에 과도한 부담으로 작용하지 않도록 지역 맞춤형 전환 지원 정책이 중요하다. 광주광역시와 같이 특정 제조업 비중이 높은 지역의 경우, 탄소중립 정책과 산업정책을 연계하여 친환경 모빌리티, 미래차, AI 기반 제조혁신 등 저탄소·고부가가치 산업으로의 구조 전환 전략을 체계적으로 추진할 필요가 있다.

본 연구는 NGFS 기후 시나리오를 활용한 산업연관분석이 지역경제 차원의 기후리스크를 평가하는 데 유용한 분석 도구임을 보여준다. 그럼에도 불구하고, 본 연구는 다음과 같은 한계가 있다. 본 연구에서는 자동차를 비롯한 각 산업에 대한 수요탄력성을 반영할 때, 보다 명확한 값을 추정하기 어렵기 때문에 선행연구에서 추정된 수요

탄력성을 각 산업별로 고정하여 반영하였다. 이것은 자동차산업의 경우 내연기관차에서 전기차와 수소차 등 친환경 경 모빌리티로의 산업구조 전환, 대체 교통수단의 발달 등으로 인해 수요탄력성이 동적으로 변화할 가능성이 크다는 것을 반영하지 못하였다.

향후 연구에서는 시간에 따라 변화하는 수요탄력성과 배출계수를 반영하고, 다양한 NGFS 기후 시나리오를 비교·분석함으로써 탄소배출비용의 경제적 영향을 보다 정교하게 평가할 필요가 있다. 또한 지역 내 산업구조와 기업 규모의 이질성을 고려한 미시적 분석을 통해 정책 효과의 차별적 영향을 보다 구체적으로 규명할 필요가 있다.

그럼에도 불구하고 본 연구는 지역산업연관표와 온실가스 배출자료를 결합하여 탄소배출비용이 지역경제에 미치는 산업 간 연쇄효과를 정량적으로 분석하고, 광주광역시 자동차산업을 중심으로 지역 맞춤형 정책 수립을 위한 실증적 근거를 제시하였다는 점에서 중요한 의의를 가진다.

사사

이 연구는 광주기후에너지진흥원의 2024년도 정책과제 보고서를 수정·보완하였으며, 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2023S1A5C2 A07096111).

Reference

Acemoglu D, Aghion P, Bursztyn L, Hemous D. 2012. The environment and directed technical change. *Am Econ Rev* 102(1): 131-166. doi: 10.1257/aer.102.1.131

Aghion P, Dechezleprêtre A, Hémous D, Martin R, Van Reenen J. 2016. Carbon taxes, path dependency, and directed technical change: Evidence from the auto industry. *J Polit Econ* 124(1): 1-51. doi: 10.1086/684581

Ahn KA, Jwa MS, Lee SK, Koh SY. 2023. Anaysis and policy implications of the impacts of climate change on Jeju's regional industries. Policy Issue Brief 395. Jeju Research Institute.

Alogoskoufis S, Dunz N, Emambakhsh T, Hennig T, Kaijser M, Kouratzoglou C, Muñoz MA, Parisi L, Salles C. 2021. ECB economy-wide climate stress test:

Methodology and results (No. 281). European Central Bank (ECB) Occasional Paper. doi: 10.2866/460490

Carvalho VM, Nirei M, Saito YU, Tahbaz-Salehi A. 2021. Supply chain disruptions: Evidence from the Great East Japan Earthquake. *Q J Econ* 136(2): 1255-1321. doi: 10.1093/qje/qjaa044

Dellink R, Lanzi E, Château J. 2019. The sectoral and regional economic consequences of climate change to 2060. *Environ Resour Econ* 72: 309-363. doi: 10.1007/s10640-017-0197-5

Emambakhsh T, Fuchs M, Kordel S, Kouratzoglou C, Lelli C, Pizzeghello R, Salles C, Spaggiari M. 2023. The road to Paris: Stress testing the transition towards a net-zero economy. ECB Occasional Paper, (2023/328). doi: 10.2139/ssrn.4564374

Fingleton B, Garretsen H, Martin R. 2015. Shocking aspects of monetary union: The vulnerability of regions in Euroland. *J Econ Geogr* 15(5): 907-934. doi: 10.1093/jeg/lbu055

Gang MH. 1996. An analysis of the impact of energy/carbon tax imposition on the Korean industrial structure. *Environ Resour Econ Rev* 5(2): 225-251.

Government of the Republic of Korea. 2021. 2030 Nationally determined contribution of the Republic of Korea. Government of the Republic of Korea.

Hassett KA, Mathur A, Metcalf GE. 2009. The incidence of a U.S. carbon tax: A lifetime and regional analysis. *Energy J* 30(2): 155-178.

IIASA. 2012. Global energy assessment: Toward a sustainable future. IIASA.

IPCC. 2023. AR6 climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability. Cambridge University Press. doi: 10.1017/9781009325844

Kim JY, Jeon EK. 2021. Climate-related transition risks and financial stability. *Bank Korea Q Bull*, December 2021: 14-41.

Kim JY, Jung SM, Lee ST. 2023. Spillover effects of foreign climate-related physical risks via trade channels: Evidence from Korea. BOK Issue Note, 2023-26, 1-20.

- Kim JY, Park HJ. 2024. Spillover effects of climate change transition risks through industrial linkages (in Korean with English abstract). *Korean J Econ Stud* 72(3): 113-142. doi: 10.22841/KJES.2024.72.3.004
- Metcalf GE, Stock JH. 2020. Measuring the macroeconomic impact of carbon taxes. *AEA Pap Proc* 110: 101-106. doi: 10.1257/pandp.20201081
- Miller RE, Blair PD. 2009. *Input-output analysis: Foundations and extensions*, 2nd edn. Cambridge University Press.
- Minx JC, Wiedmann T, Wood R, Peters GP, Lenzen M, Owen A, Ackerman F. 2009. Input-output analysis and carbon footprinting: An overview of applications. *Econ Syst Res* 21(3): 187-216. doi: 10.1080/09535310903541298
- NGFS. 2023. NGFS climate scenarios for central banks and supervisors. NGFS.
- OECD. 2021. *OECD economic outlook, 2021(2)*, Paris: OECD Publishing. doi: 10.1787/66c5ac2c-en
- O'Neill BC, Kriegler E, Ebi KL, Kemp-Benedict E, Riahi K, Rothman DS, Ruijven BJV, Vuuren DPV, Birkmann J, Kok K, Levy M, Solecki W. 2017. The roads ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century. *Global Environ Change* 42: 169-180. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2015.01.004
- Park JW. 2024. The impacts of carbon taxes by region and industry in Korea: Focusing on energy-burning greenhouse gas emissions (in Korean with English abstract). *Environ Resour Econ Rev* 33(1): 87-112. doi: 10.15266/KEREA.2024.33.1.87
- Park JW, Lee NY. 2021. Impact of climate change response on industries. *BOK Mon Bull* 75(9): 16-35.
- Peters GP, Minx JC, Weber CL, Edenhofer O. 2011. Growth in emission transfers via international trade from 1990 to 2008. *Proc Natl Acad Sci* 108(21): 8903-8908. doi: 10.1073/pnas.1006388108
- Stern N. 2014. *The economics of climate change: The stern review*. Cambridge University Press. doi: 10.1017/CBO9780511817434
- UNDRR. 2020. *Human cost of disasters: An overview of the last 20 years (2000–2019)*. United Nations.
- Wiedmann T, Minx J. 2008. A definition of carbon footprint. In: Pertsova CC (ed). *Ecological economics research trends*. Hauppauge, NY: Nova Science Publishers. p. 1-11.
- Yang JS, Koo NK, Kim SK. 2021. *An analysis of the impact of climate change by industry*. Daejeon Sejong Research Institute.
- Yeo YJ, Cho HI, Jeong H. 2022. Assessing the impacts of EU's carbon border adjustment mechanisms and its policy implications: An environmentally extended input-output analysis (in Korean with English abstract). *Environ Resour Econ Rev* 31(3): 419-449. doi: 10.15266/KEREA.2022.31.3.419