

기후변화가 대구·경북 지역 산업 노동 생산성에 미치는 영향 추정: 비모수적 구간 더미 고정효과 모형을 중심으로

김규현* · 김현웅** · 이지웅***†

*계명대학교 경제금융학과 조교수, **한국은행 대구경북본부 과장, ***국립부경대학교 경제학과 교수

Estimating the impact of climate change on industrial labor productivity in the Daegu-Gyeongbuk region: A non-parametric bin-dummy fixed effects approach

Kim, Gyu Hyun* · Kim, Hyunwoong** and Lee, Jiwoong***†

*Assistant Professor, Department of Economics and Finance, Keimyung University, Daegu, Korea

**Manager, Daegu and Gyeongbuk Branch, Bank of Korea, Daegu, Korea

***Professor, Department of economics, Pukyong National University, Busan, Korea

ABSTRACT

This study estimates the economic impact of climate change on industrial labor productivity in the Daegu - Gyeongbuk region of South Korea using a nonparametric bin-dummy fixed-effects approach. Whereas previous climate-economics research has largely focused on national-level aggregates, this study identifies regional and sectoral heterogeneity by applying the theoretical framework of spatial integrated assessment models (S-IAMs) to subnational panel data from 2007 to 2022. Using the annual temperature range (July mean minus January mean) as a proxy for the aggregate adaptation burden, we identify a distinct nonlinear and asymmetric response of productivity growth to climate conditions. The empirical results show that mild climate conditions significantly enhance labor productivity, with a 14.8-percentage-point increase in the most temperate bin relative to the reference interval. In contrast, extreme climate variability produces substantial economic losses. Counterfactual analysis indicates that climate shocks caused cumulative net losses of approximately KRW 13.2 trillion in Daegu and KRW 30.7 trillion in Gyeongbuk during 2007–2022. The transmission channels of these shocks vary with industrial structure: losses in Daegu are concentrated in the service sector (70%), whereas Gyeongbuk's manufacturing base is more vulnerable. These findings underscore the need for region-specific adaptation strategies that focus on urban heat-island mitigation in service-oriented cities and supply-chain resilience in manufacturing hubs to buffer the local economic costs of climate change effectively.

Key words : Non-Parametric Fixed Effects Model, Climate Vulnerability of Manufacturing, Non-Linear Relationship

1. 서론

기후변화로 인해서 전 지구적으로 극단적 기후재해 발생가능성이 증가하고 있으며, 이러한 기후재해는 지역별 특성과 결합하여 사회적, 경제적 피해를 가중시킬 수 있다(IPCC, 2021; WMO, 2023). 기후재해의 가장 전형적인

형태인 폭염은 도시 열섬효과와 결합하여, 건강 및 노동 생산성, 전력수급에 직접 영향을 줄 수 있는데, IPCC (2021)에 따르면 1950년대 이후 전 지구적으로 폭염의 빈도 및 강도가 증가하고 있고, 특히 아시아 및 한반도 지역의 장기폭염일수 확대를 경고하였다. 또한, 온도 상승과 건조화로 인해 산불 발생 가능성이 확대되고 있으며, 이

†Corresponding author : j.lee@pknu.ac.kr (Pukyong National University, Yongso-ro 45, Nam-gu, Busan 48513, Korea. Tel. +82-51-629-5321)

ORCID 김규현 0009-0002-6070-3368
김현웅 0007-0003-6072-6146

이지웅 0000-0003-2592-9492

는 산림피해 뿐만 아니라, 지역경제 및 주거지에 직접적인 영향을 줄 수 있다. 마지막으로, 집중호우, 홍수, 산불 이후 지반 약화가 결합하여 산사태 위험이 증가하며, 이 또한 지역경제 발전에 부담을 줄 수 있다.

실제 기후변화로 인한 기상·기후 관련 재해(폭염, 홍수, 태풍, 폭풍 등)의 경제적 피해규모는 1970년대부터 지속 상승 추세를 보이고 있으며, 특히 최근 몇 년간 피해 규모가 급증하고 있다(UNDRR, 2025). WMO (2021)의 추정에 따르면, 기후 관련 재해로 인한 경제적 손실이 1970~2019년간 미화 3조 6,400억 달러, 2000~2019년간 미화 2조 9,700억 달러였으며, 2023년 한 해에는 미화 2,027억으로 피해 규모가 증가하고 있다(UNDRR and CRED, 2020).

우리나라 역시, 기후·기상 관련 재해에서 자유롭지 않은 상황으로(KMA, 2023; MOIS, 2020)¹⁾. 경제적 피해액은 2010년대 초반 연평균 1조 원대에서 2020년대 들어 4조 원을 초과하며 급증하고 있다. 재해별로 보면, 2018년 여름 서울(39.6°C), 강원 홍천(41.0°C) 등 역대 최고 기온을 기록했고, 이때 폭염으로 인한 온열질환 사망자는 48명이었다(KDCA, 2019). 또한 2020년 여름 장마로 충청·전라·경기 지역 홍수 피해가 집중되었으며, 1조 400억 원의 피해가 발생한 것으로 추산된다(MOIS, 2020). 2022년 강원·경북 산불로 20,000 ha 이상이 소실되었으며(KFS, 2022), 2025년 3월 발생한 경북·경남·울산 산불은 기록적 고온·건조·강풍 조건에서 발생하였다.

특히, 대구·경북 지역은 산업·지리·사회 구조적 특징이 결합되어 기후재해, 특히 산불과 폭염에 대한 높은 민감성을 보이고 있다. 실제로 2021년 기준, 경북의 제조업 부가가치 비중은 약 41%로 전국평균 28.2%보다 높은 수준이다.²⁾ 대구의 65세 이상 고령인구 비율은 2025년 10월 기준 20%를 초과하여 초고령 사회로 진입했다.³⁾ 이는 제조업 비중이 크고, 산림과 주거·산업 기능이 근접한 공간구조에 기인한다. 특히, 대구의 경우, 분지형 지형으로 장기간 고온·건조 현상이 심화되고 있으며(Eum et al., 2018), 이러한 높은 고령화 수준은 기후재해에 대한 대응 역량을 약화시켜 인명 피해 확대 위험을 가중시킨다(Kim et al., 2022).

기후변화의 실제 피해와 적응 양상은 지역별로 상이함에도 불구하고, 기존의 정책 대응과 연구는 주로 국가 단

위의 분석에 집중되었다. 이에 따라 지자체 단위의 미시적 분석과 지역 경제 파급효과에 대한 검토가 절실한 상황이다. 그중, 대구·경북은 에너지 집약적 산업 구조와 고령화, 특수한 지형적 조건이 맞물려 동일한 기후 충격에도 타 지역보다 큰 사회·경제적 피해에 노출된 것으로 보인다. 특히, 2025년 산불은 지역 GRDP, 고용, 산업 연계망에 직접적인 타격을 입히며 복구 과정에서 막대한 재정적 부담을 초래하고 있다. 따라서 국가 평균치에 의존하는 접근법에서 벗어나, 대구·경북의 인구·산업 특성을 반영한 기후 비용의 정량화가 필요하다.

본 연구는 대구·경북 지역을 중심으로 기후변화의 경제적 영향을 분석하여 다음과 같은 학술적 기여를 하고자 한다. 첫째, 방법론적 측면에서 Cruz and Rossi-Hansberg (2024)의 공간 통합평가모형(Spatial Integrated Assessment Model)을 한국의 지역 단위 데이터에 적용한다. 둘째, 실증적 측면에서 지역 내 주요 산업(전자, 자동차 부품 등)의 생산성이 기온 변화에 대해 보이는 비선형적(Non-linear) 관계를 식별한다. 특히 생산성이 극대화되는 ‘최적 온도(Bliss Point)’를 추정하고, 이를 이탈할 때 발생하는 사회적 비용을 제시함으로써 지자체 맞춤형 적응 정책 수립을 위한 미시적 근거를 제공하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 관련 선행 연구를 검토하고, 제3장에서는 분석에 활용할 계량 모형과 데이터를 설명한다. 제4장에서는 분석 결과와 함께 산업별·지역별 추정 피해액을 제시하며, 제5장에서 결론 및 정책적 시사점을 도출하며 마무리한다.

2. 선행연구

본 연구는 대구·경북 지역이라는 특정 공간 단위를 대상으로, 지역의 산업·인구·지리적 특성을 반영한 정량분석을 수행한다. 이를 위해 주제 측면과 분석 방법론 측면에서 선행연구를 살펴볼 필요가 있다.

우리나라를 대상으로 기후 재해 측면에서 기후변화가 경제적 요소에 미치는 영향을 분석한 연구는 국가 단위의 분석부터 지역 및 산업 단위 연구까지 다양하다. 최근 국

1) 우리나라 정부에서 피해액을 정의할 때, 행정안전부 「자연재해현황/재해연보」에서 집계하는 직접 재산손실액(건물·농경지·인프라 등), 당해연도 가격 기준으로 정의한다. 간접 피해(산업 생산차질, 건강 악화, 장기적 환경피해 등)는 미포함한다.

2) 국가데이터처, 「지역소득」, 2025.11.12. 접속, 시도별 경제활동별 지역내총생산, https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1C91&conn_path=12

3) 국가데이터처, 「장래인구추계」, 2025.11.12. 접속, 주요 인구지표(성비, 인구성장률, 인구구조, 부양비 등)/시도, https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1BPB002&conn_path=12

가 단위 주요 연구로는 대표적으로 Lee et al. (2017)과 Zhao et al. (2020)이 있다. Lee et al. (2017)은 국가 차원에서 기후·토지이용 요인을 통합하여 장래 피해비용을 전망한 최초의 실증 연구로 볼 수 있는데, 2001~2012년 16개 시·도 패널 데이터를 활용하여 자연재해 피해액을 설명하는 회귀모형을 활용했으며, 2060년까지 피해액은 최대 연 209억 달러(국가 GDP의 1% 이상)로 전망하였다. Zhao et al. (2020)은 기상청 태풍 관측자료(1973~2019)와 건축물 자산 자료를 결합해 시나리오별 건축물 손실 위험을 시뮬레이션을 수행했으며, 고배출 시나리오(RCP 8.5)에서 건물 손실 위험 및 상업·산업 건물의 상대적 피해위험을 전망하였다.

지역 단위의 주요연구로는 Jung et al. (2023), Song et al. (2024), 그리고 대구·경북지역을 초점으로 한 Kim et al. (2018)과 Eum et al. (2018)이 있다. Jung et al. (2023)은 낙동강 등 전국 798개 하천 구간의 홍수 위험을 기반으로 기대연간피해를 산정하고, 현행 방재수준(빈도 30~100년)을 비교하였다. 이를 통해, 피해 규모 대비 방재투자 부족을 지적하였다. Song et al. (2024)은 2018년 가뭄 피해를 산업연관표(2018)와 연계하여 생산·부가가치·고용 파급효과를 분석했으며, 이를 통해 농업 피해가 식품가공·도소매·서비스업으로 확산, 부가가치 및 고용 손실을 크게 유발하고 있음을 시사하였다. Kim et al. (2018)은 경북 신도시 하천 교량의 침수 시나리오를 설정하고, 교통 우회로 인한 차량 운행 증가와 비용(시간·연료)을 추정했으며, 교량 폐쇄로 인해 피해를 입는 차량 수는 2015년 기준 819~2,818대, 2027년에는 6,386~21,971대로 증가한 것으로 분석했다. Eum et al. (2018)은 대구광역시를 대상으로 15개 지표(노출·민감도·적응능력)를 종합한 폭염 취약성 평가 프레임워크를 적용하였다. 해외에서는 특정 산업에 초점을 맞춘 미시 연구가 활발하다. 예를 들어, Zhang et al. (2018)은 중국 제조업 공장 데이터를 분석하여 고온이 노동 생산성을 저해하고 자본으로의 요소 재배치를 유발함을 보였다. Schlenker and Roberts (2009)는 미국 농업 부문에서 작물 수확량과 온도 간의 급격한 비선형 관계를 밝혀낸 바 있다.

일반적으로 기후변화의 영향을 분석할 때 주로 사용하는 모형은 통합평가모형(Integrated Assessment Models, IAMs)이다. 통합평가모형은 기후변화가 경제·사회 시스템에 미치는 영향을 계량적으로 평가하고 완화·적응 전략의

비용과 편익을 분석하는 핵심 도구로 발전해 왔으며, 최근에는 전 지구적 분석을 넘어 국가 및 지역 차원의 공간적 이질성과 동태를 반영하는 방향으로 진화하였다. 대표적인 통합평가모형으로 DICE (Dynamic Integrated Climate-Economy model) 및 RICE (Regional Integrated Climate-Economy model) 모형이 있으며(Nordhaus, 1992), 이 두 모형은 기후변화 감축비용 및 이익을 통합 평가하는 기초틀을 제공한다. Hänsel et al. (2020)은 파리협정 목표 달성의 경제적 타당성을 재확인한 바 있고, 최근에는 Cruz and Rossi-Hansberg (2024)가 고해상도 공간 데이터를 활용하여 지역별 적응 과정을 내생화한 공간 통합평가모형(S-IAM)을 제시하며 분석의 지평을 넓혔다.⁴⁾ 한편, 기후경제학 실증분석의 주류 방법론은 기온, 강수 등 기상 변수의 무작위적 변동(random variation)을 활용하여 인과관계를 추정하는 패널 고정효과 모형이다(Dell et al., 2014). 본 연구는 S-IAM의 이론적 함의를 바탕으로, 패널 고정효과 모형을 실증분석의 틀로 사용한다.

본 연구에서는 기존 국가 단위 통합평가모형이나 사례 연구에서 포착되지 않았던 지역별 특정 산업 단위에서의 기후변화로 인한 사회적 비용을 패널분석을 이용해서 추정하고, 지방정부 차원의 정책적 시사점을 도출하고자 하였다. 국가 단위 평균 접근만으로는 설명되지 않는 지역별 취약성과 경제적 효과를 포착하고, 이를 위해 지역 차원의 이질성을 반영하고자 하였다. 즉, 지역별 기후변화 변수와 각 지역 내 산업별 경제변수 간의 인과관계에 추정에 초점을 두었다. Dell et al. (2014)이 강조한 패널 고정효과 모형을 활용하여 지역·산업별 이질성을 통제하고, Zhang et al. (2018)과 같이 기온이 생산성에 미치는 직접적 효과를 식별한다.

3. 분석 모형 및 데이터

본 연구는 Cruz and Rossi-Hansberg (2024)가 제시한 공간 통합평가모형(S-IAM)의 이론적 틀을 차용하되, 한국의 데이터 가용성을 고려하여 실증분석 전략을 수정·적용한다.

3.1. 분석 프레임워크

본 연구의 핵심 프레임워크는 기온 변화가 생산성에 미

4) 이 외에 MIT 대학에서 운영하는 Integrated Global System Model (MIT IGSM)이 있으며, 이 모형은 기후 시스템(Earth System Model)과 인류경제 모델(EPPA)이 결합된 IAM으로, 다부문·기후정책 영향 분석에 활용하고 있다(Paltsev et al., 2005).

치는 직접적 효과(direct effect)를 식별하는 데 초점을 맞춘다. 이를 위해 다음과 같은 두 가지 접근법을 채택한다.

첫째, 생산성 펀더멘탈의 대리변수로 노동생산성(Labor Productivity)을 직접 활용한다. Cruz and Rossi-Hansberg (2024)와 같은 이론 모형에서는 총요소생산성을 역산하여 펀더멘탈을 추정하지만, 한국의 지역 및 산업 단위에서는 데이터의 제약으로 이를 정밀하게 추정하기 어렵다. 하지만, 제조업 및 서비스업 부문에서 세부산업별로 노동생산성을 제공하고 있다. 따라서 본 연구에서는 관측 가능한 노동생산성을 생산성의 축약형 대용치로 설정하여, 데이터 제약을 극복하고 기후변화의 영향을 보다 직접적으로 식별하고자 한다.

둘째, 분석의 초점을 직접 효과에 맞추기 위해 이주 및 무역을 통한 적응 채널은 비활성화한다. 한국은 국토가 좁고 통합된 단일 시장을 형성하고 있어, 기후변화로 인한 지역 간 인구 이동이나 산업 재배치의 유인이 미국이나 유럽 등 대륙 단위 경제권에 비해 현저히 낮다. 따라서, 특정 연도의 폭염이나 홍수 등 기후재해 발생 여부가 해당 지역의 순이동 인구에 통계적으로 유의미한 영향을 미치지 않는다. 따라서 이러한 적응 채널의 효과는 미미하다고 가정하고, 시간에 따라 변하지 않는 지역-산업 고유의 특성은 고정효과(fixed effect)로 통제한다.

3.2. 실증분석 모형: 비모수적 구간 더미 고정효과 모형

기온 변화가 산업별·지역별 노동생산성에 미치는 비선형 관계를 식별하기 위해, 본 연구는 ‘비모수적 구간 더미 고정효과 모형(Non-parametric Bin Dummy Fixed-effect Model)’을 설정한다. 이는 Cruz and Rossi-Hansberg (2024)가 제안한 비모수적 접근법을 응용한 것으로, 온도 구간별로 상이한 효과를 추정하여 반응함수를 추정할 수 있다.

본 연구의 핵심 기후변수는 연간 온도차(7월 평균기온 - 1월 평균기온)이다. 이러한 선택은 본 연구의 이론적 기반이 되는 Cruz and Rossi-Hansberg (2024)에 근거하며, 평균기온 및 냉·난방도일(HDD/CDD)의 한계를 보완할 수 있다. Cruz and Rossi-Hansberg (2024)의 모형에서 연간 온도차는 단순히 날씨를 측정하는 변수를 넘어, 한 지역의 ‘기후 펀더멘탈(Climate Fundamental)’을 대표하는 핵심

지표로 기능한다. 이는 한 지역의 경제 주체(가계, 기업)가 장기적으로 적응해야 하는 기후 조건의 범위를 의미한다. 연간 온도차가 큰 지역은 혹서와 혹한을 모두 대비해야 하므로, 더 높은 수준의 적응 비용을 부담한다. 예를 들어, 건물은 냉방과 난방 모두를 위한 고효율 단열재가 필요하며, 도로는 동결과 융해에 따른 파손에 대비해야 한다. 의복, 농업(작물 선택), 에너지 인프라 등 경제 전반에 걸쳐 더 넓은 범위의 적응이 요구된다. 따라서 연간 온도차는 이러한 총체적인 적응 부담(aggregate adaptation burden)을 가장 잘 요약하는 단일 지표이다. 물론 온도차를 고려하는 것은 온도 상승에 따른 누적적인 축적 효과를 고려하지 않는 한계가 있다. 하지만, 본 연구가 고려하고 있는 분석기간(2007~2022년)을 고려할 때 해당 효과는 크지 않을 것으로 생각된다.

한편, 기후변수로 자주 사용되는 변수에는 냉방도일(CDD)과 난방도일(HDD)이 있다. 해당 변수는 특정 기준 온도를 벗어나는 정도를 측정하므로 에너지 소비를 분석하는 데 유용하지만, 이는 기후가 경제에 영향을 미치는 여러 채널 중 하나에 불과하다. 본 연구의 목표는 노동생산성 채널을 통해 경제 전반에 미치는 총체적 영향을 포착하는 것이며, 연간 온도차는 이러한 영향을 포괄하는 더 근본적인 지표 역할을 한다. 요컨대, 뚜렷한 사계절을 가진 한국의 기후 특성상, 무더운 여름과 추운 겨울 간의 차이는 사회 시스템에 큰 영향을 미치는 핵심 요인이므로, 연간 온도차는 한국의 지역별 기후 특성을 효과적으로 대표하며 이 변수의 변화가 지역 경제에 미치는 영향을 분석하는 것이 보다 적절하다.⁵⁾

위 논의에 기반하여, 본 연구는 다음과 같은 실증분석 모형을 설정한다.

$$\Delta \ln \left(\frac{Y}{L} \right)_{i,s,t} = \alpha + \sum_{j=1}^J \delta_j (1\{T_{i,t} \in T_j\}) + \gamma_{i,s} + \tau_t + \epsilon_{i,s,t} \quad (1)$$

여기서 아래첨자 i, s, t 는 각각 지역, 산업, 연도를 의미한다.

본 연구에서 종속변수를 노동생산성의 수준이 아닌 변화율로 설정한 이유는, 기후변화의 단기적 변동이 생산성에 미치는 한계적 영향을 식별하기 위함이다. 이는 지역·

5) 본 연구의 강건성을 확인하기 위해, 연간 온도차 대신 다른 기후 지표들 — 1) 1월 평균기온, 2) 7월 월평균기온 — 을 핵심 설명변수로 사용하여 동일한 조각별 선형 고정효과 모형을 추정하였다. 분석 결과, 세 가지 대체 변수 모두 대부분의 온도 구간에서 노동생산성 성장률에 미치는 영향이 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 연간 온도차가 다른 단순 기온 지표들이 포착하지 못하는 ‘총체적인 적응 부담(aggregate adaptation burden)’을 효과적으로 대변하며, 한국의 지역 경제 생산성에 영향을 미치는 핵심적인 기후 채널임을 재확인시켜 준다.

Table 1. Summary statistics

Area	Variable	Average	SD	Min	Max
Nationwide	$\ln(Y/L)$	4.112	0.957	0.839	7.534
	$\Delta \ln(Y/L)$	0.002	0.209	-3.514	2.664
	Temperature Difference	25.350	3.416	14.9	33.2
Daegu	$\ln(Y/L)$	3.953	0.781	2.495	5.696
	$\Delta \ln(Y/L)$	0.003	0.171	-1.034	0.644
	Temperature Difference	25.625	2.683	19.4	29.3
Gyeongbuk	$\ln(Y/L)$	4.123	1.037	2.393	6.640
	$\Delta \ln(Y/L)$	-0.001	0.179	-0.668	0.779
	Temperature Difference	25.419	2.515	19	29
Daegu+Gyeongbuk	$\ln(Y/L)$	4.038	0.921	2.393	6.640
	$\Delta \ln(Y/L)$	0.001	0.175	-1.034	0.779
	Temperature Difference	25.522	2.600	19	29.3

산업별 고정된 생산성 수준이나 장기 추세로부터 분리된 단기적 기후 충격의 효과를 추정하기 위한 표준적인 접근이다(Dell et al., 2014). 따라서 본 모형은 특정 온도 구간에 속하는 경우 생산성이 기계적으로 증가하거나 감소하는 동태를 가정하는 것이 아니라, 해당 구간에 속한 연도에서의 평균적 성장률 차이를 식별하는 데 목적이 있다.

종속변수, $\Delta \ln(Y/L)_{i,s,t}$ 는 지역 i , 산업 j , t 년도 노동생산성 변화율이다. $T_{i,t}$ 는 i 지역 t 년도의 연간 온도차로, 해당 연도의 7월 월평균기온에서 1월 월평균기온을 뺀 값이다. 이는 해당 연도의 계절성 기후 특성을 대표하는 변수이다. T_j 는 전체 분석기간에 걸쳐 관측된 $T_{i,t}$ 의 분포를 J 개 구간(bin)으로 나눈 것 중 j 번째 온도차 구간을 의미한다. 예를 들어, $T_{j=1} = [15.0, 16.5)$ 와 같이 정의할 수 있다. 본 연구에서는 $J=20$ 으로 설정하였다. $1\{T_{i,t} \in T_j\}$ 는 $T_{i,t}$ 가 온도차 구간 T_j 에 속하면 1, 아니면 0의 값을 갖는 지시 함수(indicator function)이다. δ_j 는 본 연구의 핵심 추정계수로, 연간 온도차가 기준 구간(reference bin)이 아닌 j 번째 구간에 속할 때, 기준 구간 대비 노동생산성 성장률의 평균적인 차이를 의미한다. 이 계수들의 집합($\{\delta_j\}_{j=1}^J$)은 온도차와 생산성 간의 관계를 나타내는 계단 함수(step-function) 형태의 온도-생산성 반응함수를 형성한다. $\gamma_{i,s}$ 는 시간에 따라 변하지 않는 지역-산업 고유의 특성을 통제하는 지역-산업 고정효과이다. 또한 τ_t 는 연도별 거시경제 충격 등 모든 지역과 산업에 공통으로 작용하는 효과를 통제하는 연도 고정효과이다. 마지막으로 $\epsilon_{i,s,t}$ 는 오

차항을 의미한다.

위 모형은 이원 고정효과(two-way fixed effect)를 통해 관측되지 않는 이질성을 통제하므로, 추정된 계수 δ_j 는 연간 온도차의 변화가 노동생산성 변화율에 미치는 인과적 효과로 해석될 수 있다. 특히, 본 모형에 포함된 연도 고정효과(τ_t)는 분석 기간 동안의 전국적인 인구구조 변화나 거시경제 상황 변동 등 모든 지역에 공통으로 작용하는 시계열적 추세를 흡수한다. 물론, 대구의 인구 감소와 같은 지역별 이질적 추세를 표준 고정효과 모형으로 완벽히 통제되지 않을 수 있다. 하지만 본 연구의 식별 전략은 이러한 느리고 점진적인 추세가 아닌, 매년 무작위적으로 발생하는 단기적인 기상 변동을 활용한다. 따라서 추정된 기후 효과는 이러한 장기 추세의 영향과 구분되어 식별된 것으로 해석할 수 있다. 추정은 패널 고정효과 회귀모형(within estimator)을 적용한다.

3.3. 데이터 및 분석변수

본 연구는 접근가능한 공공데이터에 기반하여, 2007년부터 2022년까지 전국 17개 광역자치체를 대상으로 하는 연간 균형패널(balanced panel) 데이터를 구축하였다. 분석의 기본 단위는 [지역(i) × 산업(s) × 연도(t)]이다. 산업은 『산업별·지역별 노동생산성』 통계에 기반하여 제조업(7개), 서비스업(8개)로 분류하였다.⁶⁾ 노동생산성 변화율($\Delta \ln(Y/L)_{i,s,t}$)은 통계청에서 제공하는 「산업별·지역별 노동생산성」 원자료를 활용하여 구축하였다. 각 지역-산

6) 농업의 경우 별도의 노동생산성 통계를 집계하지 않기에 본 연구 분석대상에서 제외하였다.

Table 2. Summary statistics by sector

Area		Variable	Average	SD	Min	Max
Manufacture	Nationwide	$\ln(Y/L)$	4.961	0.632	3.297	7.534
		$\Delta \ln(Y/L)$	0.012	0.184	-1.163	1.182
	Daegu	$\ln(Y/L)$	4.682	0.353	4.031	5.696
		$\Delta \ln(Y/L)$	0.013	0.162	-0.526	0.644
	Gyeongbuk	$\ln(Y/L)$	5.101	0.586	4.120	6.640
		$\Delta \ln(Y/L)$	0.008	0.167	-0.668	0.578
	Daegu+ Gyeongbuk	$\ln(Y/L)$	4.892	0.526	4.031	6.640
		$\Delta \ln(Y/L)$	0.011	0.164	-0.668	0.644
Service	Nationwide	$\ln(Y/L)$	3.369	0.428	0.839	5.922
		$\Delta \ln(Y/L)$	-0.007	0.228	-3.514	2.664
	Daegu	$\ln(Y/L)$	3.314	0.398	2.495	4.145
		$\Delta \ln(Y/L)$	-0.007	0.179	-1.034	0.496
	Gyeongbuk	$\ln(Y/L)$	3.266	0.376	2.393	3.984
		$\Delta \ln(Y/L)$	-0.008	0.190	-0.609	0.779
	Daegu+ Gyeongbuk	$\ln(Y/L)$	3.290	0.387	2.393	4.145
		$\Delta \ln(Y/L)$	-0.007	0.184	-1.034	0.779

업·연도별 실질 부가가치를 종사자 수로 나눈 값을 노동생산성으로 정의하고, 이에 로그를 취한 뒤 연간 차분하여 변화율로 변환하였다. 지역별 기온차이는 설명변수인 연간 온도차($T_{i,t}$)는 기상청 기상자료개방포털의 종관기상 관측(ASOS) 지점별 월별 평균기온 자료를 이용하여 구축하였다. 이후 분석 기간 전체의 일별 기온 분포를 기준으로 20개의 동일 분위(vintile) 구간 경계값을 설정하였다.

분석에 사용된 주요 변수들의 기초통계량은 Table 1, 2에 제시되어 있다. 분석 기간(2007~2022년) 동안 대구·경북 지역의 평균 노동생산성($\ln(Y/L)$) 수준은 전국 평균과 유사한 분포를 보인다. 핵심 기후변수인 연간 온도차는 전국 평균 약 25.4℃이며, 대구·경북 지역은 약 25.5℃로 유사한 수준이나 연도별로 최저 19℃에서 최고 29.3℃까지 상당한 변동성을 보여, 본 연구의 식별 전략에 충분한 변이를 제공한다. Table 2에서 산업 부문별로 살펴보면, 제조업의 노동생산성 수준이 서비스업보다 높고, 성장률의 변동성은 더 낮은 안정적인 모습을 보인다. 이는 기후 충격이 각기 다른 산업 구조에 미치는 영향이 이질적일 수 있음을 시사한다.

3.4. 피해액 산출 방법론

앞서 추정한 온도차-생산성 반응함수를 이용하여, 연간 온도차의 변화가 지역·산업별 실질 부가가치에 미친 직접

피해액을 산출한다. 피해액은 실제로 관측된 경제 성장 경로(Baseline Path)와, 추정된 기후 충격의 효과를 제거한 가상적인 성장 경로(Counterfactual Path) 간의 차이로 정의된다. 구체적인 산출 절차는 다음과 같다.

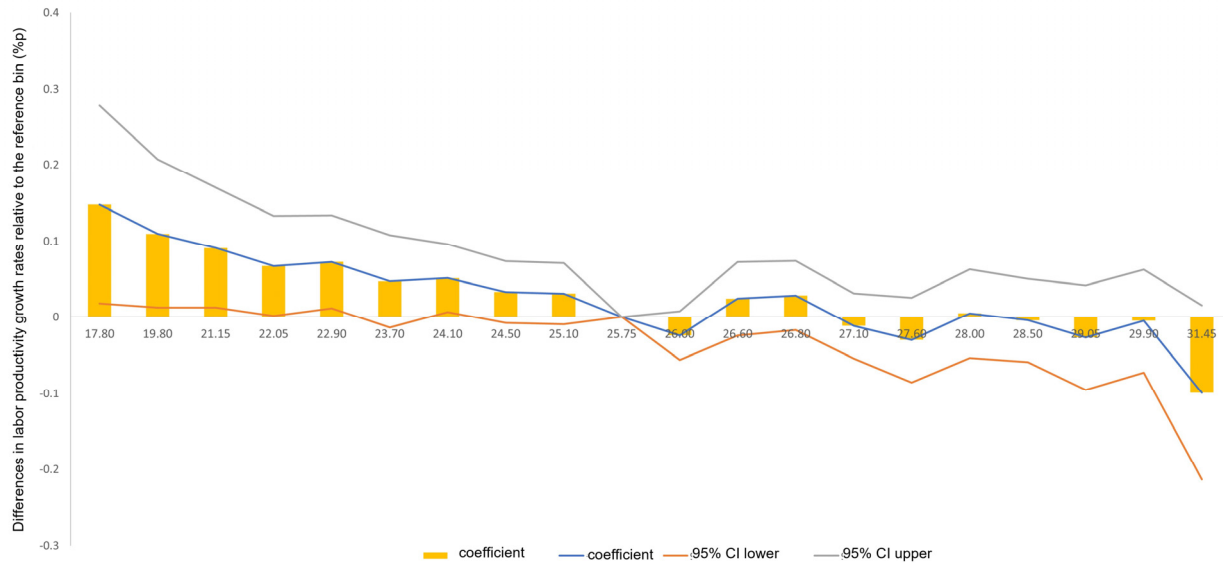
식 (1)에서의 고정효과 모형에서 추정된 계수($\hat{\delta}_j$)를 이용하여, 특정 연도(t)의 온도차 충격이 노동생산성 성장률에 미친 영향을 다음 식 (2)와 같이 정의한다.

$$\Delta \hat{p}_{i,s,t} \equiv \Delta \ln \left(\frac{Y}{L} \right)_{i,s,t} = \sum_{j=1}^J \hat{\delta}_j (T_{i,t} \cdot 1\{T_{i,t} \in T_j\}) \quad (2)$$

식 (2)를 보면, 특정 [지역(i) × 연도(t)]에서의 온도차의 관측치는 하나만 나오게 되며, 해당 온도차가 속한 온도차 구간의 추정계수만 남게된다. $\Delta \hat{p}_{i,s,t}$ 는 i 지역, s 산업이 t 년도에 경험한 연간 온도차로 인해 발생한 노동생산성 성장률의 변화분 추정치를 의미한다.

직접피해액 산출을 위해서는 기후충격이 포함된 실질 부가가치 경로와 기후충격을 배제한 가상적 경로의 차이가 필요하다. 이를 위해 실제관측치 경로인 ‘Baseline 산출경로’와, 가상경로인 ‘Counterfactual 산출경로’를 설정하였다.

‘Baseline 산출경로’는 기후 충격의 효과가 이미 포함된, 실제로 관측된 실질 부가가치 경로이다. 기준연도



Source: Self-created

Fig. 1. Temperature-productivity response function

($t=0$)의 실질 부가가치($Y_{i,s,t}^{base}$)에 매년 관측된 실질 부가가치 성장률($g_{i,s,t}^{base}$)을 누적하여 아래 식 (3)과 같이 계산한다.

$$\ln Y_{i,s,t}^{base} = \ln Y_{i,s,0}^{base} + \sum_{\tau=1}^t g_{i,s,\tau}^{base} \quad (3)$$

‘Counterfactual 산출경로’는 기후 충격이 없는 가상적인 경로로, 관측된 실질 부가가치 성장률($g_{i,s,t}^{base}$)에서 식 (2)에서 정의한 기후 충격효과($\Delta \hat{p}_{i,s,t}$)를 매년 차감하여 조정된 성장률을 적용한다. ‘Counterfactual 산출경로’ 식은 아래 식 (4)와 같다.

$$\ln Y_{i,s,t}^{count} = \ln Y_{i,s,0}^{base} + \sum_{\tau=1}^t (g_{i,s,\tau}^{base} - \Delta \hat{p}_{i,s,\tau}) \quad (4)$$

마지막으로, 직접 피해액은 ‘Counterfactual 산출경로’와 ‘Baseline 산출경로’의 차이로, 아래 식 (5)와 같이 정의한다.

$$Damage_{i,s,t} = Y_{i,s,t}^{count} - Y_{i,s,t}^{base} \quad (5)$$

식 (5)에서 피해액(Damage)이 양수(+) 값을 가질 경우, 이는 기후 충격이 없었다면 달성했을 부가가치($Y_{i,s,t}^{count}$)가 실제 관측된 부가가치($Y_{i,s,t}^{base}$)보다 높았음을 의미하므로 경제적 손실이 발생했음을 뜻한다. 이 피해액은 2015년 기준 실질 부가가치(백만원) 단위로 환산하여 제시한다.

4. 패널 분석 결과 및 직접 피해액 추정

4.1. 온도차-생산성 반응함수 추정 결과

식 (1)의 비모수적 구간 더미 고정효과 모형을 추정한 결과는 Table 3에 제시되어 있다. Table 3은 각 온도차 구간(bin)별 추정계수($\hat{\delta}_j$)를, Fig. 1은 이를 시각화하여 온도-생산성 반응함수의 형태를 보여준다.

패널분석 결과를 보면, 연간 온도차 구간과 노동생산성 성장률 간에 통계적으로 유의한 비대칭적(asymmetric) 관계가 존재함을 명확히 보여준다. 전반적으로 연간 온도차가 평균보다 작은 온화한 기후 조건에서는 생산성이 향상되고, 평균을 초과하는 극심한 기후 조건에서는 생산성이 저하되는 경향이 관찰되었다.

구체적으로 보면, 온화한 계절의 뚜렷한 긍정적 경제 효과를 알 수 있다. 연간 온도차가 기준 구간([25.4°C,

Table 3. Response of productivity to temperature: Piecewise constant approach

Temperature Interval	Coefficient	SE
[14.9 19.2)	0.148**	(0.066)
[19.2 20.8)	0.110**	(0.049)
[20.8 21.7)	0.091**	(0.040)
[21.7 22.4)	0.067**	(0.033)
[22.4 23.6)	0.073**	(0.031)
[23.6 23.9)	0.047	(0.031)
[23.9 24.4)	0.051**	(0.023)
[24.4 24.8)	0.033	(0.021)
[24.8 25.4)	0.031	(0.020)
[25.4 25.9)	0.000	(.)
[25.9 26.3)	-0.024	(0.016)
[26.3 26.7)	0.024	(0.025)
[26.7 26.9)	0.028	(0.023)
[26.9 27.3)	-0.012	(0.022)
[27.3 27.9)	-0.030	(0.028)
[27.9 28.2)	0.005	(0.030)
[28.2 28.9)	-0.004	(0.028)
[28.9 29.4)	-0.027	(0.035)
[29.4 30.5)	-0.005	(0.034)
[30.5)	-0.099*	(0.058)
Constant	-0.021	(0.013)
Observations	3,590	

Note. ***p < 0.01, **p < 0.05, *p < 0.1

25.9℃))보다 작을 때, 즉 여름과 겨울의 기온 차이가 크지 않은 온화한 기후 조건에서 노동생산성 성장률이 유의하게 증가한다는 점이다. 특히, 가장 온화한 기후 구간인 [14.9℃, 19.2℃)에서는 노동생산성 성장률이 기준 구간 대비 14.8%p 더 높은 것으로 추정되었다(p<0.05). 이러한 긍정적 효과는 온도차가 커짐에 따라 점차 감소하지만, 24.1℃ 구간까지도 통계적으로 유의한 양(+)의 값을 유지하는 것으로 나타났다. 이는 혹서나 혹한이 없는 온화한 계절이 경제 활동 전반에 긍정적인 영향과 상관관계가 있음을 시사한다.

4.2. 기후변화의 경제적 피해 추정

앞서 추정한 반응함수를 이용하여 3.4절에서 제시한 방법론에 따라 기후 충격이 없었을 경우의 가상적인 산출경로(Counterfactual 경로)를 구축하고, 이를 실제 관측된 경로(Baseline 경로)와 비교하여 직접 피해액을 산출하였다.⁷⁾

Table 4는 대구와 경북 지역의 실제 부가가치 경로(기후충격포함)와 가상 경로(기후충격배제)를 비교한 것으로, 두 경로 간의 격차가 바로 연간 온도차 변화로 인한 직접적인 경제적 손실(또는 이익)을 의미한다. 첫째, 대부분의 연도에서 가상 경로(기후충격배제)의 부가가치가 실제 관측된 경로(기후충격반영)보다 높게 나타나, 분석 기간 중

7) 피해액 산출에는 통계적 유의성과 관계없이 모든 구간의 추정계수를 사용하였다. 이는 각 계수가 주어진 데이터 하에서 가장 가능성이 높은 최선 추정치(best estimate)이기 때문이다. 통계적 유의성은 추정치의 불확실성을 나타낼 뿐, 해당 효과가 존재하지 않음을 의미하지 않는다. 본 연구의 목적은 기후 충격이 포함된 실제 경로와 이를 제거한 반사실적 경로를 비교하는 것이므로, 각 구간의 추정계수는 가능한 최선의 추정치로서 모두 활용하는 것이 타당하다(Gelman and Stern, 2006). 특히 통계적으로 유의하지 않은 계수를 임의로 0으로 설정할 경우, 반사실적 경로의 재구성 과정에서 체계적인 편향을 초래할 수 있다(Danilov and Magnus, 2004). 따라서 본 연구는 모든 구간의 추정계수를 활용하여 반사실적 경로를 구성하되, 개별 계수의 통계적 불확실성을 고려하여 결과 해석에 있어서는 신중한 접근이 필요함을 함께 강조한다.

Table 4. Output pathways by region (Unit: Million KRW at 2015 constant prices)

	Daegu		Gyeongbuk	
	With Climate Shocks	Without Climate Shocks	With Climate Shocks	Without Climate Shocks
2007	33,365,669	39,108,017	62,608,163	68,415,244
2008	33,620,076	39,869,969	63,372,586	70,946,876
2009	33,305,154	37,517,675	63,153,604	67,159,468
2010	36,198,950	39,802,515	68,301,328	73,488,520
2011	37,509,980	42,360,106	70,591,881	78,008,293
2012	38,816,486	42,787,459	71,609,854	77,241,177
2013	40,009,900	45,296,371	75,122,255	81,378,967
2014	40,656,312	43,722,118	80,875,742	84,776,122
2015	41,256,595	41,256,595	77,282,201	77,282,201
2016	41,707,717	40,710,505	76,699,112	78,577,872
2017	42,776,346	42,244,970	76,228,720	80,008,933
2018	43,666,167	44,290,650	77,348,513	81,534,101
2019	44,503,750	42,878,625	77,885,424	77,986,741
2020	43,097,536	37,209,564	74,541,705	66,883,933
2021	45,166,059	38,063,122	76,408,670	66,919,886
2022	46,228,900	38,027,331	76,606,653	68,736,746

안 평균적으로 연간 온도차의 변동이 대구·경북 지역 경제에 순손실을 야기했음을 시사한다. 예를 들어, 2013년 대구의 경우 기후 충격이 없었다면 실질 부가가치가 약 5조 2천억 원 더 높았을 것으로 추정되어, 해당 연도의 기후 조건이 생산성에 상당한 부정적 영향을 미쳤음을 알 수 있다.

둘째, 기후 충격의 영향은 매년 가변적이며, 때로는 긍정적인 효과로 작용하기도 한다. 특히 COVID-19 팬데믹 기간이었던 2020년이 대표적인 사례이다. 해당 연도는 연간 온도차가 이례적으로 작은(대구 19.4℃, 경북 19.0℃) 해였는데, 우리 모형은 이를 생산성에 매우 긍정적인 ‘기후 보너스’로 해석하였다. 그 결과, 이 ‘보너스’를 제거한 counterfactual 경로가 오히려 실제 경로보다 낮게 나타났다. 직관과 반대되어 보이는 2021년의 결과는 이러한 누적 효과와 경제 반등의 상호작용을 명확히 보여준다. 2021년의 연간 온도차(약 26.5℃)는 생산성에 미치는 영향이 통계적으로 중립에 가까웠다. 하지만 2020년에 발생한 막대한 ‘기후 보너스’의 유산으로 인해, 실제 경로는 무기후 경로보다 훨씬 높은 출발선에 서 있었다. 여기에 2021년의 강력한 경제 반등(높은 $g_{i,s,t}^{base}$)이 더해지자, 더 높은 출발선에 있던 실제 경로의 절대적 부가가치 증가폭이 무기후 경로의 증가폭을 압도하면서 두 경로 간의 격차는 오히려 더 확대되었다. 이는 기후 충격의 효과가 단년으

로 끝나는 것이 아니라, 경제의 동태적 경로와 상호작용하며 그 영향력을 지속시킨다는 중요한 함의를 제공한다.

Table 5는 앞서 비교한 두 산출 경로의 차이를 금액으로 환산하여, 대구와 경북 지역의 연도별 및 누적 직접 피해액을 구체적으로 제시한 것이다. 여기서 양수(+) 값은 기후 충격으로 인한 경제적 손실을, 음수(-) 값은 기후 조건이 유리하게 작용하여 발생한 경제적 이익(negative damage)을 의미한다. 두 지역의 기후 충격의 경제적 영향이 상당한 규모이며, 매년 그 방향과 크기가 가변적임을 명확히 확인할 수 있다. 예를 들어, 2008년에는 대구와 경북에서 각각 약 6조 2천억 원과 7조 5천억 원의 손실이 발생한 반면, 2020년에는 이례적으로 온화했던 기후 덕분에 각각 약 5조 8천억 원과 7조 6천억 원의 경제적 이익이 발생한 것으로 추정된다.

누적 피해액의 추이는 기후변화가 지역 경제에 미치는 장기적인 부담을 보여준다. 분석 기간 초반인 2007년부터 2014년까지는 매년 경제적 손실이 발생하며 누적 피해액이 꾸준히 증가하여, 2015년 기준 대구는 약 37조 원, 경북은 약 46조 원에 달했다. 이후 2016년부터는 기후 조건에 따라 손실과 이익이 교차하며 누적 피해액이 점차 감소하는 추세를 보였다. 그럼에도, 분석 기간 전체(2007~2022년)를 합산하면 대구 지역에서는 약 13조 2천억 원, 경북 지역에서는 약 30조 7천억 원의 누적 순손실이 발생

Table 5. Estimated annual and cumulative damages by region (Unit: Million KRW at 2015 constant prices)

	Daegu		Gyeongbuk	
	Annual Output	Cumulative Output	Annual Output	Cumulative Output
2007	5,742,348	5,742,348	5,807,081	5,807,081
2008	6,249,893	11,992,242	7,574,290	13,381,371
2009	4,212,521	16,204,763	4,005,864	17,387,236
2010	3,603,565	19,808,328	5,187,192	22,574,428
2011	4,850,126	24,658,455	7,416,412	29,990,840
2012	3,970,973	28,629,428	5,631,323	35,622,162
2013	5,286,471	33,915,899	6,256,712	41,878,875
2014	3,065,806	36,981,705	3,900,380	45,779,255
2015	0	36,981,705	0	45,779,255
2016	-997,212	35,984,493	1,878,760	47,658,015
2017	-531,376	35,453,117	3,780,213	51,438,228
2018	624,483	36,077,600	4,185,588	55,623,816
2019	-1,625,125	34,452,475	101,317	55,725,133
2020	-5,887,972	28,564,503	-7,657,772	48,067,361
2021	-7,102,937	21,461,566	-9,488,784	38,578,577
2022	-8,201,569	13,259,998	-7,869,907	30,708,669

Table 6. Estimated annual damages by sector and year (Unit: Million KRW at 2015 constant prices)

	Daegu		Gyeongbuk	
	Manufacture	Service	Manufacture	Service
2007	1,537,510	4,204,839	3,899,129	1,907,952
2008	1,682,493	4,567,400	5,062,304	2,511,986
2009	1,052,110	3,160,411	2,638,157	1,367,708
2010	1,020,272	2,583,294	3,491,334	1,695,858
2011	1,401,998	3,448,128	4,958,642	2,457,770
2012	1,178,354	2,792,620	3,709,510	1,921,812
2013	1,584,722	3,701,750	4,142,457	2,114,256
2014	919,840	2,145,966	2,645,186	1,255,195
2015	0	0	0	0
2016	-294,397	-702,815	1,211,989	666,771
2017	-157,651	-373,725	2,412,369	1,367,844
2018	181,108	443,375	2,633,971	1,551,617
2019	-450,059	-1,175,066	62,630	38,687
2020	-1,551,988	-4,335,984	-4,661,204	-2,996,569
2021	-1,903,738	-5,199,199	-5,718,378	-3,770,406
2022	-2,269,457	-5,932,112	-4,687,850	-3,182,057

한 것으로 추정된다. 이는 단기적인 기후 변동성이 때로는 경제에 긍정적인 영향을 줄 수 있음에도 불구하고, 장기적인 관점에서는 평균적인 기후 조건을 벗어나는 변동성 자체가 지역 경제에 상당한 비용을 초래하고 있음을

시사한다.

한편, 기후 충격의 경제적 영향은 산업 부문별로 상당한 이질성을 보이는 것으로 나타났다. Table 6은 총 피해액을 제조업과 서비스업 부문으로 분해하여 제시한 것이

다. 분석 결과, 대구 지역의 경우, 분석 기간 동안 발생한 총 피해액의 약 70%가 서비스업 부문에서 발생하여 기후 변동성에 대한 높은 민감도를 보였다. 이는 대구의 산업 구조 내에서 서비스업이 차지하는 비중과 더불어, 해당 부문에 속한 업종들이 기후 조건에 상대적으로 더 민감하게 반응했음을 시사한다.

반면 경북 지역은 제조업 부문의 피해액 규모가 서비스업보다 일관되게 크게 나타나 대구와는 상반된 모습을 보였다. 이는 경북의 산업구조가 제조업, 특히 철강, 전자 등 대규모 장치산업 중심으로 구성되어 있어, 이들 산업의 생산 활동이 기후 조건 변화에 더 직접적인 영향을 받기 때문으로 풀이된다. 2020년과 같이 기후 조건이 유리했던 해에는 두 지역 모두 제조업과 서비스업에서 큰 폭의 경제적 이익이 발생했으나, 그 규모와 비중은 각 지역의 산업구조 특성에 따라 다르게 나타났다. 이러한 부문별 이질성은 기후변화 적응 정책이 모든 산업에 획일적으로 적용되기보다는, 각 지역의 주력 산업과 취약 부문을 정밀하게 식별하여 차별화가 필요함을 강조한다.

5. 결론 및 시사점

본 연구 분석 결과, 대구와 경북은 지자체별 산업 구조의 뚜렷한 이질성으로 인해 기후 충격이 지역 경제에 전이되는 양상이 상이하게 나타났다. 2023년 지역내총생산(GRDP) 기준, 대구는 제조업 비중이 약 20%에 불과한 반면 서비스업 비중은 72%에 달해 서비스업 중심의 경제 구조를 형성하고 있다. 반면 경북은 제조업(41%)과 서비스업(44%)이 비교적 균형 잡힌 구조를 보이며, 특히 자동차 부품, 철강, 기계, 에너지 등 전통적인 중화학 기반 제조업이 지역 경제의 핵심 축을 담당하고 있다. 이러한 장치 산업 및 제조 기반은 생산 활동의 연속성과 공급망 안정성에 매우 민감하게 반응하는 특성을 지닌다.

이러한 구조의 차이는 “대구에는 서비스업이, 경북은 제조업이 기후 충격의 주요 통로로 작용한다”는 본 연구의 실증 결과와 궤를 같이한다. 기온 상승 및 극한 기상 현상은 산업별 특성에 따라 차별적인 방식으로 경제적 손실을 유발한다. 대구의 경우, 극심한 폭염이 시민들의 야외 경제 활동 위축과 서비스업 종사자의 노동 효율성 저하로 이어지며 도시 경제 전반에 타격을 주는 구조이다. 반면, 경북은 기상 재해로 인한 주요 생산 설비의 가동 중단이나 원자재 수급 차질 등 제조업 밸류체인 상의 직접적인 충격이 지역 경제 위축의 주된 요인으로 작용하고 있음을

시사한다.

따라서 향후 기후변화 대응 정책은 국가 단위의 일률적인 접근에서 벗어나, 각 지자체의 산업 특이성과 지리적 여건을 반영한 지역 맞춤형 적응 전략으로 전환될 필요가 있다. 대구와 같이 서비스업 비중이 높은 대도시권에서는 도심 열섬 현상 완화와 야외 노동자 보호, 그리고 기후 리스크에 따른 소비 위축을 방어할 수 있는 회복력 강화에 우선순위를 두어야 한다. 반면, 제조업 중심의 경북에서는 산업단지 내 기후 재난 방재 시설 확충과 기상 변동에 강건한 공급망 관리 체계 구축 등 산업 생산성 유지에 초점을 맞춘 맞춤형 지원책이 마련되어야 할 것이다.

학술적 측면에서도 기후변화의 경제적 영향을 지역별·산업별로 세분화하여 평가하는 분석이 더욱 확대될 필요가 있다. 동일한 기온 상승이라 하더라도 지역의 인구 구조나 공간적 특성(분지형 지형, 산림 인접성 등)에 따라 실질적인 경제적 비용은 천차만별로 나타날 수 있기 때문이다. 향후 연구에서는 지자체 단위의 세밀한 산업연관분석과 실시간 기상 데이터를 결합하여, 특정 지역의 기후 재해가 인접 지역 산업망에 미치는 간접 효과까지 정량화할 필요가 있을 것이다.

사사

이 논문은 한국은행의 재정지원을 받아 작성된 것임. 또한 이 논문은 2022년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2022S1A3A2A01088457).

References

- Cruz JL, Rossi-Hansberg E. 2024. The economic geography of global warming. *Rev Econ Stud* 91(2): 899-939. doi: 10.1093/restud/rdad042
- Danilov D, Magnus JR. 2004. On the harm that ignoring pretesting can cause. *J Econom* 122(1): 27-46. doi: 10.1016/j.jeconom.2003.10.018
- Dell M, Jones BF, Olken BA. 2014. What do we learn from the weather? The new climate-economy literature. *J Econ Lit* 52(3): 740-798. doi: 10.1257/jel.52.3.740
- Eum JH, Kim K, Jung EH, Rho P. 2018. Evaluation and utilization of thermal environment associated with

- policy: A case study of Daegu Metropolitan city in South Korea. *Sustainability* 10(4): 1179. doi: 10.3390/su10041179
- Gelman A, Stern H. 2006. The difference between “significant” and “not significant” is not itself statistically significant. *Am Stat* 60(4): 328-331. doi: 10.1198/000313006X152649
- Hänsel MC, Drupp MA, Johansson DJA, Nesje F, Azar C, Freeman MC, Groom B, Sterner T. 2020. Climate economics support for the UN climate targets. *Nat Clim Change* 10(8): 781-789. doi: 10.1038/s41558-020-0833-x
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2021. Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of working group I to the sixth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: Masson-Delmotte V, Zhai P, Pirani A (eds). Cambridge: Cambridge University Press. doi: 10.1017/9781009157896
- Jung KC, An H, Hwang S, Seo SB, Park H, Park C, Yoo J. 2023. Assessing the suitability of the flood defense policy of the Republic of Korea. *Water* 15(22): 3908. doi: 10.3390/w15223908
- Kim B, Shin SC, Kim DY. 2018. Scenario-based economic impact analysis for bridge closures due to flooding: A case study of North Gyeongsang Province, South Korea. *Water* 10(8): 981. doi: 10.3390/w10080981
- Kim OS, Han J, Kim KW, Shim C, Kim J. 2022. Depopulation, super aging, and extreme heat events in South Korea. *Clim Risk Manage* 36: 100456. doi: 10.1016/j.crm.2022.100456
- Korea Disease Control and Prevention Agency (KDCA). 2019. 2018 health impact report on heat-related illnesses due to heatwaves [Government report]. Cheongju, Korea: KDCA.
- Korea Forest Service (KFS). 2022. 2022 investigation report on wildfire damage in Gangwon and Gyeongbuk [Government report]. Daejeon, Korea: KFS.
- Korea Meteorological Administration (KMA). 2023. Analysis of climate change and the increase in the number of heatwave days [Government report]. Seoul, Korea: KMA.
- Lee M, Hong JH, Kim KY. 2017. Estimating damage costs from natural disasters in Korea. *Nat Hazards Rev* 18(4): 04017016. doi: 10.1061/(ASCE)NH.1527-6996.0000254
- Ministry of the Interior and Safety (MOIS). 2020. 2020 statistical yearbook of natural disasters [Government report]. Sejong, Korea: MOIS.
- Nordhaus WD. 1992. An optimal transition path for controlling greenhouse gases. *Science* 258(5086): 1315-1319. doi: 10.1126/science.258.5086.1315
- Paltsev S, Reilly JM, Jacoby HD, Eckaus RS, McFarland JR, Sarofim MC, Asadoorian MO, Babiker MHM. 2005. The MIT Emissions Prediction and Policy Analysis (EPPA) model: Version 4. Technical report No. 125. Cambridge, MA: MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change. <https://globalchange.mit.edu/publication/14413>
- Schlenker W, Roberts MJ. 2009. Nonlinear temperature effects for US corn and soybeans. *Proc Natl Acad Sci USA* 106(37): 15594-15598. doi: 10.1073/pnas.0906805106
- Song Y, Kim S, Lee S. 2024. Analysis of economic ripple effects in the agricultural field: A case study of drought damage in Korea in 2018. *Agronomy* 14(6): 1090. doi: 10.3390/agronomy14061090
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). 2025. Global assessment report 2025 (GAR 2025): resilience pays—investing and financing for our future. Geneva: UNDRR.
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR), Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED). 2020. The human cost of disasters: An overview of the last 20 years (2000–2019). Geneva: UNDRR.
- World Meteorological Organization (WMO). 2021. Weather-related disasters increase over past 50 years, causing more damage but fewer deaths. Geneva:

WMO News. <https://wmo.int/media/news/weather-related-disasters-increase-over-past-50-years-causing-more-damage-fewer-deaths>

World Meteorological Organization (WMO). 2023. State of the global climate 2022/2023. Geneva: WMO.

Zhang P, Deschenes O, Meng K, Zhang J. 2018. Temperature effects on productivity and factor reallocation: Evidence from a half million Chinese manufacturing plants. *J Environ Econ Manage* 88: 1-17. doi: 10.1016/j.jeem.2017.11.001

Zhao Y, Son S, Lee S, Son K. 2020. Cost of climate change: Risk of building loss from typhoons in South Korea. *Sustainability* 12(21): 8987. doi: 10.3390/su12218987