



BOK 경제연구



국내 기후변화 물리적 리스크의
실물경제 영향 분석

이지원



2023. 12



국내 기후변화 물리적 리스크의 실물경제 영향 분석

이지원*

2023.12

이 연구내용은 집필자 개인의견이며 한국은행의 공식견해와는 무관합니다. 따라서 본 논문의 내용을 보도하거나 인용할 경우에는 집필자명을 반드시 명시하여 주시기 바랍니다.

* 한국은행 금융안정국 지속가능성장연구팀 과장(02-750-6878, jlee@bok.or.kr)

본 연구에 유익한 조언을 해주신 한국은행 금융안정국 이범호 부장님, 김경섭 팀장님, 김재윤 과장님, 송병현 조사역, 한국은행 포럼(2023.7.17.)에서 유익한 논평을 해주신 모든 분들 및 익명의 심사위원께 감사드립니다.

차 례

I. 연구배경	1
II. 선행연구	2
III. 방법론 및 데이터	5
IV. 분석결과	11
V. 결론	25
참고문헌	28
부록	33

국내 기후변화 물리적 리스크의 실물경제 영향 분석

기후리스크 발생 확률 및 피해 규모에 대한 분석은 기후변화 피해 대책 마련과 더불어 경제주체들의 온실가스 배출 저감을 위한 동기부여 측면에서도 중요하다. 본 연구는 우리나라 기후변화의 만성리스크가 경제성장에 미치는 영향을 NGFS 및 세계 중앙은행들이 시나리오 생성에서 활용하고 있는 Kalkuhl & Wenz (2020)의 피해함수를 활용하여 실증적으로 분석하였다. 분석 결과, 국내 연 총강수량 한 단위(m) 증가는 국내 일인당 지역내총생산의 장기 성장에 -2.54%의 부정적 한계효과를 미치는 것으로 나타났다. 산업별로는 실외에 노출된 생산활동이 많고 노동생산성이 중요한 건설업(-9.84%)과 비금속광물 및 금속제품 제조업(-6.78%), 그리고 금융 및 보험업(-3.62%)의 실질부가가치의 장기 성장이 부정적 영향을 받는 것으로 나타났다. 국내 연 평균기온 상승은 일인당 지역내총생산 장기 성장에는 유의한 영향을 미치지 못하였으나, 각 산업별로는 부동산업(-1.73%) 및 도매 및 소매업(-1.85%)에서 평균기온 1°C 상승에 대한 유의한 부정적 영향이 나타났다. 거시경제적 측면에서 기후변화 관련 국내 지역 및 산업별 피해 영향에 대한 정량적 연구사례가 부족한 점을 고려할 때, 본 연구의 결과는 향후 복잡한 기후 모형, 산업별 심층분석, 금융시스템의 스트레스 테스트, 또는 정책적 참고자료 등에서 널리 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심 주제어: 만성 기후변화, 피해함수, 연 평균기온, 연 총강수량, 경제성장, 일인당 지역내총생산, 총 부가가치

JEL code: E23, O11, O44, Q54, Q56

I. 연구배경

지구 평균온도는 산업화 이전(1850-1900년)에 비해 2011-2020년 약 1.1℃ 상승하였으며, 주요 원인은 인류의 경제활동 등에서 발생하는 온실가스 배출로 알려져 있다 (IPCC, 2023)¹⁾. 지구 평균온도 상승과 함께 세계 여러 지역에서 가뭄, 홍수, 산불, 폭염 등 이상기후 현상들의 강도 및 빈도가 증가하여 기후변화가 인류의 일상 생활 및 경제활동의 리스크 요인으로 작용하고 있다 (Paddison & Gretener, 2023). 기후리스크 중 기상이변 및 자연재해로 발생하는 물리적 영향과 관련한 리스크를 물리적 리스크로 지칭하며, 물리적 리스크는 장기적 시계에서 평균온도 상승, 해수면 상승, 강수량 변화 등의 점진적 기후 패턴 변화로 발생하는 만성 리스크와 자연재해 충격으로 발생하는 사건 기반의 급성리스크로 구분할 수 있다 (FSB, 2017)²⁾.

물리적 리스크로 인한 경제활동에서의 손실 및 피해는 1차산업의 경우 농업에서의 농지침수, 시설붕괴 또는 농작물 생산성 감소, 어업에서의 수산자원 감소, 어종분포 변화 및 양식장 환경 악화, 축산업에서의 가축건강과 생산성 변화 등을 통해 직접적으로 나타날 수 있다. 1차산업 이외의 산업에서도 평균 기온 상승으로 인한 관리비용 증가, 자연재해로 인한 물적자본 파괴 및 공급망 피해가 나타날 수 있으며, 식중독·수인성질병·전염병 발생 확률 증가 및 온열 질환을 포함한 재해 관련 질병률·사망률 증가로 인한 노동생산성 영향이 나타날 수 있다 (IPCC, 2023). 금융업의 경우 자연재해 사건 발생 증가에 따른 보험금 청구 증가로 보험업계에 직접적 영향을 미칠 수 있으며, 기업 또는 가계가 보험을 통해 손해를 보전하지 못한 경우 차주의 손실은 은행들의 손실로 이어질 수 있다 (Campiglio et al., 2018).

한편, 기후리스크는 관련한 확률분포를 가정할 수 없는 근본적 불확실성을 가지는 것으로 인식되어 왔다 (Dennis, 2022). 또한, 지구 평균온도의 상승에 따라 자연재해 사건 발생의 빈도 및 강도 예측에 대한 불확실성이 증가하며, 불확실성의 증가 속도를 늦추기 위해서는 전 지구적 온실가스 감축 노력 및 공조가 필요하다는 국제적 합의가 형성되어 왔다. 이러한 배경하에서 2015년 유엔 기후변화협약 당사국 총회(COP 21)의 파리협정에서는 지구 평균기온 상승 제한을 목표로 탄소중립 달성을 위한 국가별 온실

- 1) 온실가스는 대부분의 태양복사를 투과시키고 지표면에서 방출되는 장파복사를 흡수하거나 재방출하여 온실효과를 유발하는 물질로 이산화탄소, 메탄, 아산화질소, 수소불화탄소, 육불화황 등이 해당된다 (기상청 기상자료개방포털). 그중 가장 큰 부분을 차지하는 것은 이산화탄소이며, 2019년까지 지구상에 축적된 순 이산화탄소 배출량은 2400240에 달한다 (IPCC, 2023).
- 2) 기후리스크는 물리적 리스크뿐만 아니라 탄소중립 정책 등 기후변화 대응정책 시행과정에서 발생하는 전환리스크를 포함하고 있으나, 본 연구에서는 평균기온 상승 및 총강수량 변화와 관련한 만성적 물리적 리스크에 한정하여 분석한다.

가스 감축목표(Nationally Determined Contribution)를 설정하였으며, 향후 정기적 이행점검을 실시하기로 합의한 바 있다. 그러나 기후리스크에 대한 피해 확률 및 피해 정도가 경제주체별로 동일하지 않은 데다, 온실가스 감축 노력의 전 지구적 외부성으로 인해 무임승차 문제가 존재한다 (인소영 & 박기영, 2021). 이에 따라 각 국가를 비롯한 경제주체들의 전략적 행동에 따라서도 기후변화의 불확실성이 증가하여 온실가스 감축을 위한 협력 및 공조에 어려움으로 작용할 수 있다³⁾.

기후리스크 관련 불확실성을 완화하고 다양한 시나리오 하에서 대응책을 모색하기 위하여, 기후변화에 관한 정부간 협의체 (IPCC; Intergovernmental Panel on Climate Change), 국제 에너지 기구(IEA; International Energy Agency), 녹색금융 협의체 (NGFS; Network for Greening the Financial Systems) 등에서는 경제주체들의 온실가스 감축 노력 정도에 따라 차별화된 기후변화 시나리오를 제공하여 경제주체들에게 탄소저감과 관련한 동기부여를 제공한다. 또한, 금융기관의 경우 포트폴리오에 대한 기후리스크 분석에서, 금융감독기관의 경우 금융시스템 전체에 미치는 충격에 대한 기후 스트레스 테스트 등에서 제공된 시나리오를 활용할 수 있다(Brunetti et al., 2022). 다만, 기후변화의 불확실성과 거시경제분석 방법론을 활용한 경제적 영향 추정의 어려움으로 인하여, 시나리오의 바탕이 되는 경제 모형에 대한 이론적 배경 및 실증적 증거가 부족한 실정이다 (Richters et al., 2022).

II. 선행연구

기후변화 대응 정책 분석에서 주로 활용되고 있는 통합평가모형(IAM; Integrated Assessment Model)에서는 경제 및 기후 모듈을 통합하여 경제성장, 에너지 및 토지 사용, 탄소배출, 기후변화 등의 순환적 관계를 모형을 통해 설명하고자 한다⁴⁾. 모형

- 3) 예를 들어, Ellsberg (1961)는 실험을 통해 경제 주체들이 모호성이 높은 불확실성 상황에 비해 확률 분포가 알려진 상황을 선호한다는 모호성 기피 (Ambiguity aversion) 현상을 소개한 바 있는데, Dannenberg et al. (2015)는 이를 기후변화 상황에 적용하여 불확실성이 기후변화 대응 협력에 미치는 영향을 실험하였다. 실험의 설정에 따라 협력의 수준이 한계점(Threshold)에 미치지 못할 경우 집단 피해가 발생하게 되는데, 연구에서는 실험참여자들이 한계점 및 피해 확률에 대한 불확실성이 높은 것으로 인식하는 경우 협력에 부정적인 영향을 미치는 것을 발견하였다.
- 4) 대표적 통합평가모형으로는 Nordhaus (1992)의 DICE (Dynamic Integrated Climate Economy) 모형이 있으며, 기후변화 연구기관별로 AIM (Asia-Pacific Integrated Model, 일본), GCAM (Global Change Assessment Model, 미국), IMAGE (The Integrated Model to Assess the Global Environment, 네덜란드), MESSAGE-GLOBIOM (The Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impact, 오스트리아), REMIND-MAGPIE (The Regional Model of Investments and Development, 독일), WITCH-GLOBIOM (The World Induced Technical Change Hybrid, 이탈리아) 등

내에서는 점진적 평균기온 상승으로 대표되는 기후변화가 경제에 미치는 영향을 설명하기 위하여 피해함수를 활용하고 있으나, 피해함수의 함수형태 (functional form) 및 모형 설정(model specification)의 이론적 배경 및 실증적 증거에 대한 논의가 부족하다는 지적이 있어 왔다 (Weitzman, 2010; Metcalf & Stock, 2015; Pindyck, 2015; Weynant, 2017). 이는 피해함수의 경우 주로 경제 총량과 관련한 거시변수 영향을 설명하고자 하는데, 거시변수의 경우 관측빈도가 낮고 여러 영향이 집계되어 분석 과정에서 기후변화의 미시적 영향이 상쇄되거나 포착되지 않아 분석에서 어려움이 발생함에 기인한다 (Burke, Hsiang, & Miguel, 2015). 기존 연구들을 살펴보면, 농업, 보건업 등 특정산업 부문에서는 미시분석방법론에 기반하여 평균기온 변화의 영향을 확인하는 연구가 활발히 진행되어 왔으나 (Mendelshon & Neumann, 2004; Frumkin et al., 2008; Schlenker & Roberts, 2009; Zhao et al., 2021), 상대적으로 거시변수의 관점에서 기후변화의 영향을 확인한 연구는 소수이다 (Richters et al., 2022). 국내의 경우에도, 거시적 관점에서 전 산업 또는 지역을 대상으로 기후변화의 경제적 영향을 분석한 연구는 소수에 불과하다 (최영준 & 박현용, 2016; 류재나 외, 2017; 권용재,성한경, & 전봉걸, 2019).

이와 더불어, 기후변화의 불확실성은 거시적 관점에서 기후변화의 경제적 피해 관련 모형 설정 및 실증분석을 어렵게 하는 또다른 특성이다. Ackerman, Stanton, & Bueno (2010), Weitzman (2020, 2012) 등에서는 발생 확률이 낮지만 피해규모가 큰 기상재해와 관련한 불확실성을 피해함수 내에서 반영할 때 확률분포 설정에 따라 결과의 민감도가 높음을 수학적 예시 및 Monte Carlo 시뮬레이션을 통해 지적하였다. Pindyck (2017) 역시 피해함수의 자의적 함수형태, 기후변화 불확실성의 모형 반영한계, 그리고 분석 결과의 민감성 등을 이유로 통합평가모형 활용의 적합성에 대해 의구심을 표하였다. 그러나, Metcalf & Stock (2015)은 모형의 현실 반영에 한계가 필연적임을 거론하며, 향후 연구의 발전에 따라 방법론적 투명성 증진, 전문가 피드백 반영, 정기적 업데이트 등을 통해 모형의 한계를 개선할 수 있을 것으로 기대한다. 또한, Weynant (2017)는 피해함수를 비롯한 통합평가모형의 활용은 복잡성이 높은 시스템을 개념화하는 방법으로 기후 대응 정책 결정과정에 통찰력을 제공한다고 주장하고 있으며, 모형을 통해 향후 추가 연구가 필요한 주제가 식별되고 연구가 촉진됨에 따라 불확실성 완화에도 기여할 수 있다고 주장한다.

다양한 통합평가모형이 존재한다. 따라서 NGFS 등에서는 기후변화 시나리오에 대해 평가할 때 대표 통합평가모형들의 결론을 비교 분석하여 강건성을 평가하고 있다 (Brunetti et al., 2022).

이러한 배경 하에서, 평균기온 상승으로 대표되는 기후변화가 경제산출물 또는 경제 성장에 미치는 영향에 대한 실증적 증거 역시 정리되고 있는 추세이다. 예를 들어 Dell, Jones, & Olken (2012)에서는 시차효과(lagged effect)를 고려하여 평균기온과 강수량이 국가별 총생산량 증가에 미치는 영향을 분석하였으며, 특히 후진국의 경우 평균기온 상승에 따라 성장률이 유의미하게 감소함을 확인하였다. 이어서 Burke, Hsiang, & Miguel, (2015)은 평균기온 13도를 임계치로 하여 평균기온이 국가들의 1인당 GDP 성장률에 비선형적 영향을 미침을 발견하였다.

이와 같이 피해함수를 활용한 기후변화의 경제적 영향 관련 연구 및 논의는 여전히 활발히 진행 중에 있으며, 평균기온의 변화가 산출물의 수준에 단기 혹은 즉각적 영향을 미칠지(수준효과), 또는 성장에 장기적 영향을 미치는지(성장효과) 등에 대한 이론적 배경 및 실증분석 방법론과 관련한 논의도 진행 중이다(Richters et al., 2022). Kalkuhl & Wenz (2020)의 연구는 Ramsey 성장모형에 기반한 이론체계를 활용하여 기후변화의 수준효과 및 성장효과의 영향을 구분하고자 하였으며, 전세계 국가 내 지역별 데이터를 활용한 실증분석을 통해 연 평균기온 및 연 총강수량 변화가 경제 성장에 미치는 영향을 검증하였다. 분석결과 세계 연 평균기온 1°C 상승 시 2-4%의 단기적 총생산 피해가 발생함을 발견하였으나, 연 총강수량과 관련해서는 유의한 영향을 발견하지 못하였다. NGFS의 시나리오 데이터베이스에서는 Kalkuhl & Wenz (2020)의 피해함수모형의 분석 결과값을 기반으로 평균기온 상승과 관련한 국가별 GDP 변화 추정치를 제공하고 있으나, 각 국가내에서의 지역별 및 산업별 경제성장 영향을 세분화하여 제공하지는 않고 있다. 따라서, 본 연구는 Kalkuhl & Wenz(2020)의 모형을 기반으로 추정하되, 국내 기후 특성을 반영하고 만성적 기후변화의 국내 실물경제 성장 영향을 지역별(행정구역별) 및 산업별(경제활동별)로 분석하였다.

이하 본 연구의 구성은 다음과 같다. 먼저, 분석방법론과 관련하여 Kalkuhl & Wenz(2020)에서 활용한 이론적 모형과 실증분석 방법론을 요약하고, 국내의 고유한 특성을 반영한 만성 기후리스크 영향 분석을 위해 사용한 추가적 방법론을 소개한다. 이어서 분석에서는 국내 만성 기후리스크의 행정구역별 일인당 지역내총생산 성장에 대한 영향을 정리한 후, NGFS시나리오 등에서 활용하는 세계 평균 추정치와의 차이점을 비교한다. 다음으로는 각 산업별로 실질 부가가치 성장에 대한 국내 만성 기후리스크 영향을 분석한다. 또한 산업별 피해함수 추정치 및 각 지역별 기후 및 산업 분포 차이를 반영하여 만성적 기후변화에 취약한 지역 및 산업을 식별하고 경제성장 영향을 평가한다. 마지막으로 분석결과를 정리하고 시사점을 제시하였다.

III. 방법론 및 데이터

1. 이론적 배경

본 연구의 실증분석은 Kalkuhl & Wenz (2020)에서 소개한 이론체계에 기반하고 있다. Kalkuhl & Wenz (2020)에서는 Ramsey 성장모형에 기반하여, 기후리스크의 영향 $\theta(T)$ 을 반영한 자본 K 와 유효노동력 AL 의 생산함수 Y 가 $Y = \theta(T) \cdot F(K, AL)$ 의 형태를 가진다고 가정하고, 평균기온 및 총강수량과 관련한 기후 관련 벡터 $T(T, P)$ 값의 변화가 총생산 수준에 미치는 영향 $\theta(T)$ 과 노동생산성 증가율 $g_A(T) = \frac{d \ln A}{dt}$ 에 미치는 영향을 분석하였다⁵⁾. 이 때, Ramsey 성장 모형의 특성에 따라 일인당 총생산과 소비의 성장은 장기에 노동생산성 증가율(g_A)에 수렴하는 것으로 가정하며, 노동생산성의 증가율 $g_A(T)$ 은 기후 관련 벡터의 직접적 영향을 받는 것으로 가정한다.

특정 연도에 기온 또는 강수량 충격이 발생하는 상황을 고려해보면, 이 충격이 해당 연도의 총생산 수준에 예상치 못한 충격을 준다고 하더라도 장기 균형성장 경로(Balanced Growth Path)에는 영향을 미치지 않을 수 있다. 따라서 기후 관련 벡터 $T(T, P)$ 의 충격을 포착하는 변수로 \dot{T} 를 정의하고, 이를 지역별로 고유한 기후 조건이 반영되어 있는 $T(T, P)$ 와 구분하여 모형을 설정한다. 로그 변환한 총생산($\ln Y$)이 시간(t)에 따라 변화하는 경로는 아래 수식 (1)과 같이 정리된다.

$$\frac{d \ln(Y)}{dt} = \frac{\theta'(T)}{\theta(T)} \dot{T} + \frac{1}{F} \left(\frac{\partial F}{\partial K} \frac{dK}{dt} + \frac{\partial F}{\partial (AL)} \frac{d(AL)}{dt} \right) \quad (1)$$

위 내용에 기반하여, 만성 기후리스크가 일인당 총생산의 성장 $g_y = \frac{d \ln(\frac{Y}{L})}{dt} = \frac{d \ln(Y)}{dt} - g_L$ 에 미치는 영향을 위의 식과 연계하여 정리하면 아래 수식 (2)와 같이 세 개의 항의 합으로 구분하여 나타낼 수 있다⁶⁾.

5) $\theta(T)$ 는 Nordhaus(1993)에서 소개된 바와 같이 만성리스크가 총생산에 미치는 영향을 나타내며, T 에 대한 감소함수이다.

6) 수식의 전개와 관련한 더욱 자세한 내용은 Kalkuhl & Wenz (2020)에 기술되어 있다.

$$g_y = \frac{\theta'(T)}{\theta(T)} \dot{T} + \Phi \left(s \frac{Y}{K} - \delta - g_L - g_A(T) \right) + g_A(T) \quad (2)$$

위의 수식에서 $\dot{T} = \frac{dT}{dt}$, $\Phi = \frac{\partial F}{\partial K} \frac{K}{F}$, s 는 저축률, δ 는 감가상각률, 그리고 g_L 은 노동 투입량 증가율, $g_A(T)$ 로 노동생산성의 증가율을 의미한다.

따라서 세 개 항은 각각 다른 시계에 대한 만성 기후리스크의 경제성장 관련 영향을 대표한다. 첫째 항은 연 평균기온 및 연 총강수량 변동($\dot{T} = \Delta T$)으로 인한 충격의 수준효과(단기 혹은 즉각적인 총생산 영향($\theta'(T)$)), 둘째 항은 장기 경제성장으로의 수렴 과정에서 나타나는 일시적 영향($\Phi(T)$), 셋째 항은 연 평균기온 및 연 총강수량의 성장효과(장기 성장 영향, $g_A(T)$)를 나타낸다.

2. 실증분석 모형 및 방법론

상기 이론 체계 하에서, 경제성장 영향은 크게 총생산에 미치는 단기 혹은 즉각적 영향 $G(T)\Delta T$ 과 수렴과정에서 나타나는 일시적 영향을 포함한 장기 성장 영향 $F(T)$ 으로 구분하여 아래 수식 (3)과 같이 정리할 수 있으며, $G(T)$ 와 $F(T)$ 각각에 특정 함수형태를 가정하여 실증분석에서 활용한다.

$$g_y = G(T)\Delta T + F(T) \quad (3)$$

위의 수식에서 $G(T) = \frac{\theta'(T)}{\theta(T)} = \alpha + \beta T$, $F(T) = \Phi(T) + g_A(T) = \gamma_1 T + \gamma_2 T^2$ 로 가정한다.

실증분석에서는 고정 패널분석을 활용하며 회귀식은 아래 수식 (4)와 같이 정리할 수 있다.

$$g_{i,t} = \alpha \Delta T_{i,t} + \beta T_{i,t} \Delta T_{i,t} + \gamma_1 T_{i,t} + \gamma_2 T_{i,t}^2 + p_i(t) + \delta_i + \mu_t + \epsilon_{i,t} \quad (4)$$

수식 (1)에서 i 국내의 행정구역, t 는 연도를 의미하며, $g_{i,t}$ 는 일인당 지역내총생산의 로그 차분 값을 사용하였다. $T_{i,t}$ 는 연 평균기온 $T_{i,t}$ 와 연 총강수량 $P_{i,t}$ 을 포함하는

벡터로 관심변수이며, $p_i(t)$ 는 지역의 성장 경향성과 연관된 통제변수, δ_i 는 지역별 고정효과, μ_t 는 연도별 고정효과, 그리고 $\epsilon_{i,t}$ 는 오차항을 의미한다. 이와 같이 회귀식은 행정구역 내 기후 충격($\Delta T_{i,t}$)의 경제성장 영향과 더불어, 이러한 충격의 영향과 기존의 해당 지역 기후조건의 연관관계 ($T_{i,t} \Delta T_{i,t}$), 그리고 해당 지역 기후 벡터의 변화가 장기적으로 미치는 선형 혹은 비선형적 경제성장 영향($T_{i,t}, T_{i,t}^2$)을 모두 반영하고 있다.

추가적으로 본 연구에서는 연 평균기온과 연 총강수량 관련 국내의 고유한 특성을 각각 반영하여 일인당 지역내총생산 영향 분석에 활용하고자 하였다. 먼저 연 평균기온의 경우, 국내의 여름철 상대 습도가 높아 체감기온 기준으로 분석 시 야외 노동생산성 등에 대한 영향이 커질 수 있다 (Golbabaei et al., 2019; Zhao et al., 2021)⁷⁾. 특히, 1981년부터 2018년까지의 여름에 더위에 대한 체감온도의 상승 경향이 최저, 평균, 및 최고 등 실측 기온보다 뚜렷한 경향이 발견되었다 (Lee et al, 2021). 이를 고려하여, 본 연구에서는 연 평균기온 변수를 연 평균체감기온으로 변경하여 상대습도 및 평균풍속을 고려하였을 경우의 기온의 경제성장 영향을 추가로 분석한다.

다음으로는, 국내 연 총강수량이 세계 평균에 비해 상대적으로 높은 편임을 고려하여 (정원식, 2012), 연 총강수량의 경제성장에 대한 영향 추정 시 하천면적, 제방면적, 하수관거 연장 등의 통제변수를 행정구역별로 추가하여 살펴보았다. 관련 통제변수들의 경우 2005년부터 가용하다는 한계가 있으나, IPCC (제 5차 평가 보고서)에서는 1985~2005년을, NGFS에서는 1986~2006년을 기준 시점(baseline)으로 활용하여 기후리스크 영향을 분석하는 점을 감안할 때, 표본샘플 기간을 2005년 이후로 하되 강수량 관련 통제변수를 추가한 경우의 추정 결과를 통해 기존 추정결과(강수량 관련 통제변수 미포함)와 비교함으로써 최근 관측치에서 기후리스크의 영향을 확인하고 강건성을 검증할 수 있을 것으로 보인다⁸⁾.

산업별 영향과 관련해서는, 지역별 및 산업별 실질 부가가치 자료를 활용하여 연 평균기온 및 연 총강수량의 변화가 실물경제에 미치는 영향을 살펴보았다. 다만 일인당 지역내총생산 데이터는 산업별로 구분이 되어 있지 않아, 가용한 각 산업 j 의 실질 부가가치 성장을 종속변수로 사용하되 인구변화율을 통제변수로 포함하여 패널 고정효과 모형으로 분석하였다.

7) 연평균 상대습도는 59~75% 범위에서 나타나지만 여름철인 7-8월의 상대습도가 78~79%로 특히 높게 나타나는 특성이 있다 (기상청 날씨누리).

8) 이와 유사하게, Colacito, Hoffman and Phan (2019)의 추가분석에서도 패널의 시작연도를 변경하여 기후 적응, 기술 발전 등의 영향에 따라 계절별 평균기온 변화가 경제성장에 미치는 부정적 영향이 변화하는지 살펴봄으로써 결과의 강건성을 확인한 바 있다.

$$g_{i,t}^j = \alpha^j \Delta T_{i,t} + \beta^j T_{i,t} \Delta T_{i,t} + \gamma_1^j T_{i,t} + \gamma_2^j T_{i,t}^2 + p_i(t) + \delta_i + \mu_t + g(\text{demographics})_{it} + \epsilon_{i,t} \quad (5)$$

수식 (5) 에서의 계수 값은 각각 연간 평균기온과 총강수량이 산업별 실질 부가가치에 미치는 단기 총생산 영향 (α, β) 및 장기 성장 영향 (γ_1, γ_2)을 나타낸다.

3. 데이터 및 기초통계량

본 연구에서 사용한 통계청의 일인당 지역내총생산 데이터는 1985년부터 2021년 까지 연도별 행정구역별 (시도별 기준) 자료이다. 기상자료개방포털에서 제공하는 기온 및 강수량 자료의 경우, 관측소별 종관지상관측 자료를 행정구역별로 평균하여 사용하였다⁹⁾. 실증분석에 앞서 월 평균기온 및 월 총강수량의 1904년부터 2022년 까지의 시계열 자료를 활용하여, 두 지표에서 유의미한 상승 추세 및 장기 지속성이 나타나고 있음과 아울러 행정구역별로 기후변화 관련 장기 추세에 차이가 나타나는 이질성을 확인하였으며, 자세한 분석 내용은 부록1에 수록하였다.

실증분석에서 사용한 연 평균기온의 경우 각 행정구역의 월 평균기온 자료를 연도별 평균기온(°C)으로 변환하였으며, 연 평균체감기온의 경우 행정구역별 습구온도(현재의 공기가 수증기 공급에 의해 포화되었을 때의 온도), 상대습도, 평균풍속 자료를 이용하여 월별 체감기온을 계산한 후 이를 연도별 평균체감기온(°C)으로 변환하였다¹⁰⁾. 연 체감기온 분포의 경우 평균기온에 비해 상대적으로 높으며, 비대칭도는 낮은 경향을 보인다¹¹⁾. 또한, 연 총강수량의 경우는 행정구역별 평균 월 총강수량을 합하여 연도별 총강수량(m)으로 변환하였다. 기초통계량을 살펴보면, 국내 1985년에서 2021년까지의 연 평균기온의 평균은 약 13.06 °C 이며, 동 기간의 연 평균체감기온은 약 평균16.64 °C 정도로 연 평균기온보다 높은 수치를 보인다. 동 기간 연 총강수량의 평균은 약 1.36m 이다.

9) 종관지상관측이란 종관규모의 날씨를 파악하기 위하여 정해진 시간에 모든 관측소에서 같은 시간에 실시하는 지상관측을 의미한다(기상청 기상자료개방포털).

10) 체감온도를 계산하기 위한 수식은 기상청 기상자료개방포털에서 제공하는 방법론에 따라 습구온도(상대습도를 고려한 기온)를 우선 추정한 후, 계절에 따라 여름철 체감온도(5월~9월)와 겨울철 체감온도(10월~익년 4월)로 나누어 계산하였다. 자세한 계산식은 아래 링크에서 확인할 수 있다.

<https://data.kma.go.kr/climate/windChill/selectWindChillChart.do?pgmNo=111>

11) 평균기온 및 체감기온의 월별 또는 계절별 분포 차이는 더욱 크게 나타나나, 연도별 기준 평균을 사용할 경우 이러한 차이가 완화되는 경향이 있다. 연 평균기온과 체감기온의 분포를 표준화하여 행정구역별로 살펴보면, 행정구역별로 분포의 형태가 다른 점과 체감기온이 대체로 평균기온에 비해 상대적으로 높거나(경기, 충남, 대전, 광주 등) 낮은 지역(강원, 부산, 인천, 제주 등)이 행정구역별 습도, 풍속 등의 특성 차이에 따라 달라짐을 파악할 수 있다(부록 2. [그림 2-A]).

[표 1] 일인당 지역내총생산 및 기후변화 관련 기초통계 (1985~2021년)

변수	평균	표준편차	최소값	최대값	표준편차 (Between)	표준편차 (Within)
일인당 지역내총생산 변화율	0.07706	0.06002	-0.22330	0.26613	0.03438	0.02583
평균기온 (℃)	13.06220	1.45766	9.50926	17.15417	1.39637	1.34792
평균 기온 변화율	0.05034	0.62269	-2.37250	2.52667	0.48858	0.38915
평균 체감 기온 (℃)	16.64225	1.53369	12.51033	20.87262	1.46936	1.39634
평균 체감 기온 변화율	0.05724	0.66840	-1.89834	2.00121	0.41478	0.21157
연 총 강수량 (m)	1.35579	0.35889	0.54850	3.04932	0.33019	0.26284
연 총 강수량 변화율	-0.00072	0.44843	-1.25362	1.89146	0.38919	0.26948
관측치 수				592		
지역 수				16		
연도 수				37		

산업별 실질 부가가치의 경우, 통계청은 대분류 기준의 산업분류에 대하여 행정구역별 지역내총생산 자료를 발표하고 있으며, 제조업의 경우는 8개 제조업에 대해 중분류 기준으로 세분화된 자료를 이용할 수 있다¹²⁾. 기초통계량을 살펴보면, 광업과 섬유 의복 및 가죽 제품 제조업을 제외한 1985-2021년 실질 부가가치 성장은 평균적으로 양의 값을 보이며, 실질 부가가치 성장의 지역 간 표준편차가 가장 크게 나타나는 산업은 광업, 전기 전자 및 정밀 기기 제조업, 섬유 의복 및 가죽 제품 제조업 등으로 나타났다 ([표 2]).

12) 음식료품 및 담배제조업, 섬유 의복 및 가죽 제품 제조업, 목재종이인쇄 및 복제업, 석탄 및 석유 화학 제품 제조업, 전기 전자 및 정밀기기 제조업, 기계 운송장비 및 기타 제품 제조업이 해당된다.

[표 2] 경제활동별 (산업별) 실질 총 부가가치 관련 기초통계 (1985~2021년)

산업명	평균	표준편차	최소값	최대값	표준편차(Between)	표준편차(Within)
농업, 임업 및 어업	0.00443	0.12086	-0.56654	0.93188	0.12075	0.11719
광업	-0.01121	0.40941	-2.45098	1.92236	0.40905	0.39896
제조업	0.05109	0.08918	-0.74841	0.34079	0.08910	0.08620
음식료품 및 담배제조업	0.01581	0.09949	-0.65869	0.31217	0.09940	0.09651
섬유 의복 및 가죽 제품 제조업	-0.00868	0.20345	-1.55370	1.14414	0.20327	0.19828
목재종이인쇄 및 복제업	0.02996	0.13724	-0.47548	0.83646	0.13712	0.13194
석탄 및 석유 화학제품 제조업	0.05538	0.15522	-2.23421	0.63731	0.15509	0.14891
비금속광물 및 금속제품 제조업	0.04369	0.12064	-0.52958	0.65823	0.12053	0.11735
전기 전자 및 정밀기기 제조업	0.12791	0.30647	-1.97259	4.40450	0.30620	0.29044
기계 운송장비 및 기타 제품 제조업	0.06917	0.19065	-1.80191	0.77818	0.19048	0.18438
전기, 가스, 증기 및 공기 조절 공급업	0.06861	0.15259	-0.62496	0.88449	0.15245	0.14648
문화 및 기타서비스업	0.04139	0.08048	-0.45028	0.40014	0.08041	0.07774
건설업	0.02479	0.11355	-0.42505	0.45859	0.11345	0.11041
도매 및 소매업	0.03867	0.09153	-0.83861	0.39741	0.09145	0.08814
운수 및 창고업	0.03922	0.11282	-0.89186	0.57308	0.11272	0.10822
숙박 및 음식점업	0.03239	0.12752	-0.65784	0.72080	0.12741	0.12415
정보통신업	0.09529	0.10685	-0.51428	0.54117	0.10675	0.10205
금융 및 보험업	0.07878	0.10152	-0.54624	0.37718	0.10143	0.09769
부동산업	0.04494	0.06306	-0.60820	0.30774	0.06300	0.06040
사업서비스업	0.07651	0.14009	-1.16584	0.85855	0.13997	0.13449
공공 행정, 국방 및 사회보장 행정	0.04027	0.03543	-0.29453	0.24651	0.03540	0.03388
교육 서비스업	0.02799	0.04237	-0.48117	0.13601	0.04233	0.04110
보건업 및 사회복지 서비스업	0.05984	0.06324	-0.61701	0.27604	0.06318	0.05977

IV. 분석결과

1. 만성적 기후리스크의 일인당 지역내총생산 영향

(1) 연 평균기온 상승의 일인당 지역내총생산 영향

본 절에서는 국내의 연 평균기온 및 연 총강수량의 변화가 행정구역별 일인당 지역내 총생산의 성장에 미치는 영향을 살펴본다. 경제 성장 영향 관련 동태적 특성 파악을 위해 기후 관련 벡터($T(T, P)$)와 연간 변동분(\dot{T})이 미치는 영향에 대한 비교가 중요하다. 그러나, 실증분석에서 기후 관련 벡터의 변화만으로도 성장 효과가 모두 설명될 가능성도 있으며, 기후 관련 벡터와 연간 변동분 사이의 상관관계가 높아 변수들을 추가할 경우 결과값에 차이가 발생하는지 등의 강건성 여부를 차례로 검토할 필요성이 있다.

따라서 본 절에서는 Kalkuhl & Wenz (2020)의 모형 구성과 같이, 6개 모형 중 모형(1)과 (2)에서는 동 기간의 기온 및 강수량 변수의 단기 총생산 영향과 장기 성장 영향을 각각 분석한 경우의 결과값을 제시하고, 모형(3)에서는 교차항(interaction term)을 추가하고 장기 성장 관련 함수 $F(T)$ 를 선형으로 가정한 경우를, 모형(4)에서는 모형 (3)의 $F(T)$ 를 이차함수로 가정한 경우 결과를 제시한다([표 3]). 모형 (5)와 (6)은 모형 (4)와 (5) 각각의 기온 및 강수량 변수에 대해 한 기간 이전의 시차 변수를 사용한 경우의 결과이다. 시차 변수에 대한 검토는 경제성장 관련 수식 (2)에 전기의 기후 조건에 영향을 받는 자본스톡 이 포함되었음을 반영한 것이다.

Kalkuhl & Wenz (2020)는 모형 (1)~(6)의 R^2 및 BIC 통계량 비교 후 모형 (5)를 최종 모형으로 선택하였으며, NGFS등에서 활용하는 기후 시나리오 추정치 역시 모형 (5)의 계수값을 기반으로 하고 있다 (Richters et al., 2022). 국내의 경우 각 모형들을 비교하였을 때 모형 (5)가 R^2 및 BIC 통계량에 있어 뚜렷한 우위를 보인다고는 할 수 없으나, 글로벌 모형과의 비교가능성을 고려하여 모형(5)를 중심으로 분석하였다.

[표 3] 평균기온 및 총강수량의 일인당 지역내총생산 영향 관련 분석결과 (1985~2021)

종속변수: 일인당 지역내총생산 성장률						
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
ΔT	0.00063 (0.00404)		-0.01956 (0.01569)	-0.02935 (0.02562)	-0.02215 (0.01910)	-0.01651 (0.02025)
$L. \Delta T$	-0.00221 (0.00191)		-0.03036** (0.01543)	-0.03418* (0.01992)	-0.02340 (0.01632)	-0.02999 (0.02193)
$T \times \Delta T$			0.00159 (0.00116)	0.00242 (0.00196)	0.00173 (0.00130)	0.00132 (0.00149)
$T \times L. \Delta T$			0.00214* (0.00112)	0.00244 (0.00151)	0.00161 (0.00121)	0.00217 (0.00169)
T		0.00569 (0.02126)	-0.00105 (0.00234)	0.01705 (0.03353)	-0.00109 (0.00275)	0.02219 (0.03657)
T^2		-0.00021 (0.00084)		-0.00071 (0.00135)		-0.00092 (0.00145)
ΔP	-0.00327 (0.00416)		0.01703 (0.01114)	0.03908** (0.01877)	-0.02371 (0.01661)	-0.03460 (0.02133)
$L. \Delta P$	-0.00482 (0.00423)		0.00646 (0.01728)	0.01829 (0.01342)	0.00893 (0.01779)	0.02025 (0.01784)
$P \times \Delta P$			-0.00091 (0.00837)	-0.01753 (0.01329)	0.00784 (0.01266)	0.01652 (0.01569)
$P \times L. \Delta P$			-0.00160 (0.01075)	-0.01032 (0.00793)	-0.00326 (0.01063)	-0.01180 (0.01092)
P		-0.03551 (0.02915)	-0.02721** (0.01110)	-0.07941* (0.04231)	-0.02543** (0.01009)	-0.07030* (0.04069)
P^2		0.00769 (0.00915)		0.01931 (0.01433)		0.01697 (0.01363)
N	554	557	554	554	554	554
R squared	0.00210	0.00881	0.01696	0.02080	0.02022	0.02408
BIC	-2337.8	-2343.8	-2308.2	-2297.7	-2310.1	-2299.6
날씨변수		동기간	동기간	동기간	시차	시차
고정효과	행정구역, 연도	행정구역, 연도	행정구역, 연도	행정구역, 연도	행정구역, 연도	행정구역, 연도
군집	지역(8개도)	지역(8개도)	지역(8개도)	지역(8개도)	지역(8개도)	지역(8개도)

주: () 내는 표준오차, *, **, ***는 각각 10%, 5%, 1% 의 통계적 유의수준(양측검정)을 의미.
 $T(T,P)$ 는 각각 연도별 총 평균기온과 총강수량을, $\Delta T(T,P)$ 는 각 날씨변수의 연간 변화율을, L 로 표시된 변수의 경우 날씨변수의 시차변수가 활용되었음을 의미.

분석 결과를 살펴보면, 글로벌 데이터에서 평균기온 상승이 단기적으로 총생산 수준에 영향을 미치는 것으로 분석된 것과 달리, 국내 자료로 분석한 경우 모형 (5)의 연 평균기온 변화에 따른 일인당 지역내총생산 영향은 통계적으로 유의하게 나타나지 않았다¹³⁾. 모형 (3)에서 동기간 연평균 기온을 사용했을 때 부정적인 단기 총생산 영향이 나타나는 것과 비교하면, 국내의 경우 연 평균기온 변화의 영향이 당해 총생산에 즉각적 영향을 미칠 수는 있으나 그 영향이 다음 해까지 이어지지 않음을 의미한다. 덧붙여, 연 평균기온 변화가 일인당 지역내 총생산 성장에 미치는 장기 성장 영향이 포착되지 않은 것은 글로벌 데이터에 나타난 결과와도 일치한다.

한편, 연 평균체감기온에 대해서 동일한 분석을 수행한 결과, 연 평균기온 변수를 사용한 모형 (1)과 (3)에서는 평균체감기온이 상승한 경우 5% 유의수준에서 유의한 부정적인 영향이 나타났으나, 이러한 영향은 모형 (5)에서는 나타나지 않았다([표4]). 평균기온 및 체감기온 관련 결과를 종합하여 볼 때, 우리나라가 지리적 특성상 중위도 온대성 기후대에 위치하여 평균기온 상승이 산업 생산활동 및 노동생산성에 미치는 영향이 세계 평균 대비 온건하게 나타날 수 있으며, 이는 연 평균기온의 경제성장 영향을 일부 제약하는 요인으로 작용하였을 것으로 해석된다¹⁴⁾.

13) 분산 군집과 관련하여 현재 선택된 8개도의 경우, 각 광역시를 둘러싼 도 단위의 행정구역을 군집으로 지정(경기, 강원, 충남, 충북, 전북, 전남, 경북, 경남)하여 군집 내부의 상관관계가 있을 가능성을 고려하였다. 분산 군집의 사용한 결과값의 강건성을 검증하기 위하여, 분산 군집을 사용하지 않은 경우, 분산 군집의 수를 5개 지역(경기, 강원, 호남, 호서, 영남)으로 변경한 경우를 추가적으로 살펴 보았으며, 이러한 경우에도 전체적인 결과값은 강건하게 나타났다. 결과표는 부록 2의 [표2-B]에서 확인할 수 있다.

14) 또한 국민소득 등을 고려했을 때 냉방 관련 시설이 상대적으로 충분히 갖춰진 점도 연 평균기온의 경제성장 영향에 작용하였을 것으로 보인다.

[표 4] 체감기온 및 총강수량의 일인당 지역내총생산 영향 관련 분석결과 (1985~2021)

종속변수: 일인당 지역내총생산 성장률						
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
ΔT	-0.00266 (0.00437)		-0.02090 (0.01548)	-0.02408 (0.02601)	-0.01507 (0.02029)	-0.01516 (0.02166)
$L.\Delta T$	-0.00990** (0.00398)		-0.02473* (0.01467)	-0.02468 (0.01734)	-0.01239 (0.01401)	-0.01501 (0.02150)
$T \times \Delta T$			0.00108 (0.00099)	0.00130 (0.00159)	0.00075 (0.00114)	0.00077 (0.00134)
$T \times L.\Delta T$			0.00090 (0.00079)	0.00091 (0.00096)	0.00021 (0.00076)	0.00039 (0.00126)
T		0.00233 (0.02094)	-0.00002 (0.00271)	0.00542 (0.03280)	0.00019 (0.00274)	0.00536 (0.03702)
T^2		-0.00012 (0.00068)		-0.00017 (0.00108)		-0.00017 (0.00122)
ΔP	-0.00421 (0.00369)		0.01504 (0.01108)	0.03748** (0.01700)	-0.02572 (0.01625)	-0.03596* (0.02005)
$L.\Delta P$	-0.00761 (0.00485)		0.00050 (0.01646)	0.01249 (0.01351)	0.00342 (0.01756)	0.01436 (0.01848)
$P \times \Delta P$			-0.00052 (0.00799)	-0.01724 (0.01215)	0.00843 (0.01236)	0.01627 (0.01453)
$P \times L.\Delta P$			0.00053 (0.00987)	-0.00814 (0.00788)	-0.00109 (0.01012)	-0.00923 (0.01117)
P		-0.03566 (0.02785)	-0.02734** (0.01076)	-0.07927** (0.03719)	-0.02567** (0.00999)	-0.07059* (0.03940)
P^2		0.00751 (0.00862)		0.01897 (0.01266)		0.01657 (0.01279)
N	554	557	554	554	554	554
R squared	0.00698	0.00904	0.01982	0.02262	0.02177	0.02397
BIC	-2340.5	-2343.9	-2309.8	-2298.8	-2310.9	-2299.5
날씨변수		동기간	동기간	동기간	시차	시차
고정효과	행정구역, 연도	행정구역, 연도	행정구역, 연도	행정구역, 연도	행정구역, 연도	행정구역, 연도
군집	지역(8개도)	지역(8개도)	지역(8개도)	지역(8개도)	지역(8개도)	지역(8개도)

주: () 내는 표준오차, *, **, ***는 각각 10%, 5%, 1% 의 통계적 유의수준(양측검정)을 의미. $T(T,P)$ 는 각각 연도별 총 평균기온과 총강수량을, $\Delta T(T,P)$ 는 각 날씨변수의 연간 변화율을, L 로 표시된 변수의 경우 날씨변수의 시차변수가 활용되었음을 의미.

(2) 연 총강수량 상승의 지역내총생산 영향

연 총강수량의 경우 동기간의 연 총강수량을 고려한 모형 (3),(4)와 시차변수를 고려한 모형 (5),(6)의 장기 성장 영향 관련 변수에서 유의한 부정적 영향이 나타났다. 모형 (5)에 따르면, 연 총강수량의 한 단위(m) 증가는 일인당 지역내총생산의 장기 성장에 약 -2.54%의 부정적 한계효과로 나타나고 있으며, 추정치에 대한 95% 신뢰구간은 -0.26%~-4.83%에 해당한다¹⁵⁾. 이는 우리나라의 경우 연 총강수량이 세계평균 대비 높은 데다, 기후변화로 지구 평균기온이 상승하면서 대기 중 수증기의 양이 증가함과 동시에 지표면은 대기 중으로 수분을 빼앗겨 집중호우·가뭄 발생 등 극한 강수의 발생 위험이 증가하고 있는 점 등이 복합적으로 반영된 영향으로 보인다 (Park et al., 2020).

연 총강수량 한 단위(1000mm) 증가와 관련한 한계효과를 구체적으로 이해하기 위해 우리나라의 강수량 관련 추이를 살펴보면, 연평균 강수량은 전국에 기상관측망이 설치된 1979년 당시 1039mm였으나 2020년에는 1630mm로 증가한 바 있다 (박상현, 2023. 10. 6). 지난 106년 (1912~2017년)을 고려했을 때 평균적으로는 10년마다 16.3mm 정도의 점진적 증가 추세를 보이고 있으나, 연평균 강수량의 변동폭은 최저 754mm(1939년)에서 최고 1756mm(2003년)로 연도별로 큰 편차를 보이며, 변동폭 또한 증가하고 있는 추세이다 (환경부·K-Water, 2020).

연 총강수량 분석의 강건성 검증을 위하여, 강수량 관련 피해를 조절하는 데 영향을 미칠 것으로 예상되는 행정구역별 하천면적, 제방면적, 그리고 하수관거 연장과 관련한 변수들을 내생성 통제변수로 추가한 모형들을 활용하여 추정해 보았다([표5]). 먼저, 하천면적의 경우, 국토교통부의 지적통계에서 제공하는 행정구역별 하천면적을 사용하였다. 제방면적의 경우에는 하천면적과의 상관관계수가 높은 점을 고려하여 면적의 전년 대비 변화율만을 고려하였으며, 역시 국토교통부의 지적통계를 사용하였다¹⁶⁾. 마지막으로 하수관거 연장의 경우 환경부의 하수도 통계자료 중 충시설연장의 전년 대비 변화율을 활용하였다. 강수량 관련 추가분석을 위해 패널의 시작년도를 2005년부터 변경하였을 경우의 기초통계량은 부록2의 [표 2-A]에 정리하였다.

15) 이 결과는 Kalkuhl & Wenz (2020)에서 글로벌 데이터를 사용하였을 때 총강수량이 단기총생산 영향 및 장기 성장 영향 모두에서 통계적으로 유의하지 않았던 것과 대조적이다.

16) 하천 관련 데이터는 국토해양부 및 환경부의 한국하천일람에 등재된 하천수, 하천연장, 하천정비 현황 등도 가용하나, 한국하천일람은 비정기 자료로 2015, 2016, 2017, 2019년 총 4개년도 자료가 발간되지 않아 해당 연도의 관측치가 누락되어 있다. 또한 2012년 7월 세종특별자치시 출범으로 행정구역이 달라짐에 따라 시도별 관리대상 하천이 바뀌고, 재정분권을 위하여 지방하천 관리사업 주체가 지방자치단체로 변경됨에 따라 국고보조금 지원이 중단(2020년)되며 지방자치단체별로 하천정비사업 계획이 변화하는 등, 한국하천일람 각 데이터의 변동이 외생적 요인으로부터 발생하여 관련 자료의 활용에 어려움이 있다.

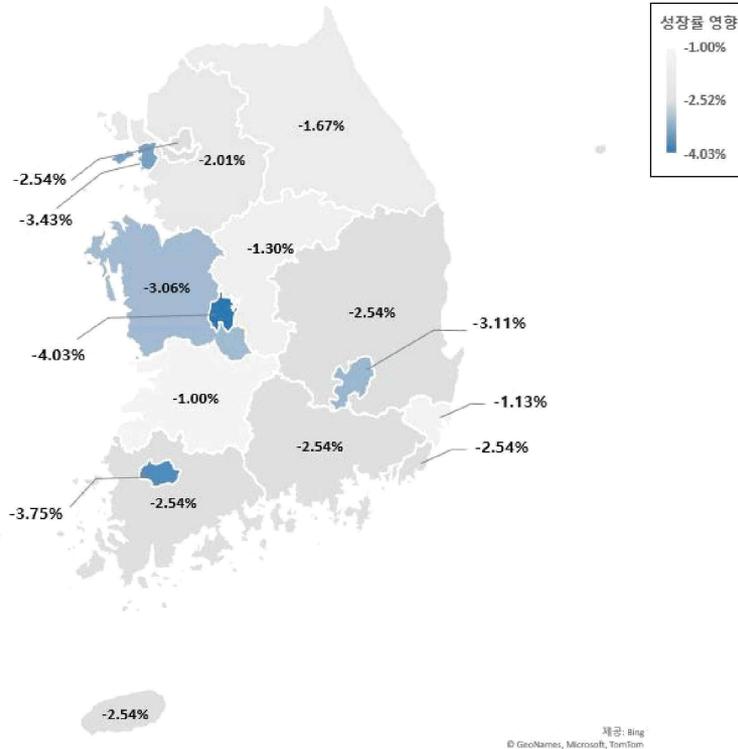
[표 5] 평균기온 및 총강수량의 일인당 지역내총생산 영향 추가분석 (2005 ~2021)

종속변수: 일인당 지역내총생산 성장률				
[표 3]의 모형 (5) 기준				
	(a)	(b)	(c)	(d)
ΔT	-0.00066 (0.03694)	-0.00231 (0.03541)	0.00092 (0.03620)	0.02036 (0.04347)
$L. \Delta T$	-0.01211 (0.03981)	-0.01230 (0.03979)	-0.01074 (0.03915)	-0.02323 (0.03765)
$T \times \Delta T$	0.00022 (0.00254)	0.00028 (0.00245)	0.00003 (0.00250)	-0.00107 (0.00304)
$T \times L. \Delta T$	0.00126 (0.00295)	0.00126 (0.00296)	0.00111 (0.00290)	0.00220 (0.00277)
T	-0.00503 (0.00668)	-0.00682 (0.00685)	-0.00665 (0.00659)	-0.00763 (0.00498)
ΔP	-0.01770 (0.01731)	-0.01824 (0.01650)	-0.01532 (0.01579)	-0.03385* (0.01912)
$L. \Delta P$	-0.00375 (0.02162)	-0.00147 (0.02159)	-0.00120 (0.02180)	-0.02492 (0.02037)
$P \times \Delta P$	0.00972 (0.00780)	0.00918 (0.00732)	0.00785 (0.00714)	0.02100** (0.00949)
$P \times L. \Delta P$	0.01031 (0.01592)	0.00829 (0.01588)	0.00881 (0.01629)	0.02492 (0.01599)
P	-0.03163*** (0.00762)	-0.03299*** (0.00873)	-0.03185*** (0.00848)	-0.03038** (0.01319)
하천면적		0.00099*** (0.00026)	0.00100*** (0.00025)	0.00122*** (0.00025)
제방면적변화율			0.08227 (0.05030)	0.15122* (0.07818)
하수관거연장변화율				0.06359 (0.09729)
N	272	272	272	224
R squared	0.03053	0.05432	0.06089	0.09506
BIC	-1207.0	-1208.1	-1204.4	-965.6
고정효과	행정구역, 연도	행정구역, 연도	행정구역, 연도	행정구역, 연도
군집 표준오차	지역(8개도)	지역(8개도)	지역(8개도)	지역(8개도)

주: () 내는 표준오차, *, **, ***는 각각 10%, 5%, 1%의 통계적 유의수준(양측검정)을 의미.

패널의 시작연도만 2005년으로 변경한 후 어떠한 통제변수도 추가하지 않은 경우 ([표5], 모형 (a))는 1985년부터의 연 평균기온 및 연 총강수량의 경제성장 영향을 살펴본 [표3]의 모형 (5)와 직접 비교가 가능하다¹⁷⁾. 이후 모형 (b)~(d)에서는 통제변수를 하나씩 추가해 가며 영향을 비교하였다. 결과값을 비교하면, 패널의 시작연도를 2005년으로 조절한 경우에도 연 총강수량의 장기 성장에 대한 부정적 영향이 유의하게 지속되고 있음을 확인할 수 있으며, 이러한 영향은 통제변수를 추가한 경우에도 유사하게 나타나 분석결과의 강건성을 확인할 수 있다. 뿐만 아니라, 2005년부터의 최근 데이터를 활용한 경우에는 연 총강수량 증가의 단기 성장 영향 또한 추가로 관측되어, 한국의 경우 강수량 관련 리스크에 특히 취약하며 관련 리스크 관리 및 기후 적응에 대한 투자가 특히 중요함을 알 수 있다.

[그림 1] 행정구역별 연 총강수량 변화의 일인당 지역내총생산 장기성장률 한계효과



주: 연 총강수량 한 단위 (1m) 증가에 대한 행정구역별 한계효과를 나타냄.

17) 동일한 분석에 대해 연평균체감기온을 사용한 결과값은 부록2의 [표 2-C]에 수록하였으며, 연 평균기온을 활용한 경우와 일관된 결과를 보인다.

지역별 고정효과를 반영하여 연 총강수량 변화의 일인당 지역내총생산에 대한 장기 성장 영향을 나타낼 경우, 연 총강수량이 한 단위 변화할 때의 각 지역의 경제성장에 미치는 한계효과는 대전(-4.03%), 광주(-3.75%), 인천(-3.43%), 대구(-3.11%), 그리고 충남(-3.06%) 지역의 순으로 부정적 영향이 크고, 지역 평균(-2.54%)을 큰 폭 상회하였다([그림1]). 이는 도시화 또는 산업화 과정에서 불투수면 면적을 증가시키는 토지 이용의 변화가 자연재해 피해를 가중시킬 수 있다는 연구 결과 (이미연 & 홍종호, 2016) 및 인구와 기반시설이 집중된 지역의 홍수 피해액이 더 클 수 있다는 분석결과와도 일치한다(심우배, 2007). 단, 경제성장 영향의 경우 행정구역별 산업 분포의 차이에 따라 각 산업별로 나타나는 만성 기후리스크로 인한 경제적 영향과도 연관될 것으로 예상되며, 이와 관련해서는 이후 산업별 분석을 통하여 심층적으로 살펴볼 것이다.

2. 만성적 기후변화의 산업별 실질 부가가치 영향

지역별 분석에 이어, 본 절에서는 연 평균기온 및 연 총강수량의 만성적 혹은 점진적 변화가 각 산업별 실질 총 부가가치의 성장에 미치는 영향을 살펴보았다. 산업별 분석의 경우 가용한 총 22개의 대·중 분류 산업에 대해 수행하였으며, 분석 결과에 따라 연 평균기온의 상승에 민감하게 영향을 받는 산업과 연 총강수량 변화에 보다 큰 영향을 받는 산업으로 구분하여 서술하였다. 이를 위해 연 평균기온 및 연 강수량의 변화에 단기 또는 장기 성장 영향을 받는 산업들과 한계효과를 요약하고 ([표 6]), 이후에는 장기 성장에 영향이 나타난 산업들을 중심으로 산업별 분석 결과를 정리하였다 ([표 7-1, 7-2]). 또한 참고를 위하여, 국내 행정구역별 전산업 실질 총 부가가치를 종속 변수로 하여 만성리스크의 실질 총 부가가치에 대한 평균적 영향을 분석한 결과값을 수록하였다(부록 3의 [표3-A])¹⁸⁾. 그리고 각 산업의 실질 총 부가가치의 성장 추이 및 전체 산업 대비 비중은 부록4의 [표 4-A]에서 확인할 수 있다.

18) 이 분석은 이전 결과 비교하여 종속변수가 달라짐에 따라, 일인당 지역내총생산이 아닌 전산업 실질 부가가치를 사용한 경우에도 분석 결과가 대체로 일치하는지 살펴보기 위하여 포함되었다. 분석 결과, 1985-2022년 자료에서 분석하였을 경우 연 총강수량은 10% 수준에서 유의한 직접적 영향과 약한 장기적 영향이 나타났으며 ($p\text{-value}=0.102$), 패널 시작연도를 2005년으로 변경한 경우에는 1% 유의수준에서 부정적 장기 성장 영향을 보여 일인당 지역내총생산을 종속변수로 사용한 분석 결과와 대체로 일치하였다.

[표 6] 산업별 만성적 기후리스크의 실질 부가가치 성장 영향 요약

성장률	연 평균기온	연 총강수량
단기	<ul style="list-style-type: none"> • 광업 (-2.18%) • 도매 및 소매업 (-0.25%) 	<ul style="list-style-type: none"> • 전기, 가스, 증기 및 공기조절 공급업 (-16.05%) • 농업, 임업, 및 어업 (-15.93%) • 문화 및 기타서비스업 (1.75%) • 사업서비스업 (2.27%)
장기	<ul style="list-style-type: none"> • 도매 및 소매업 (-1.85%) • 부동산업 (-1.73%) • 석탄 및 석유화학제품 제조업 (2.75%) • 광업 (25.68%) 	<ul style="list-style-type: none"> • 건설업 (-9.84%) • 비금속광물 및 금속제품 제조업 (-6.78%) • 금융 및 보험업 (-3.62%) • 정보통신업 (4.91%)

주: () 내는 한계효과이며, 연 평균기온의 경우 1℃ 증가, 연 총강수량의 경우 1m 증가에 대한 산업의 실질 부가가치 성장률의 한계효과를 나타냄.

(1) 연 평균기온 상승의 산업별 영향

평균기온 상승에 따른 장기 성장 영향이 유의하게 나타난 산업들을 정리하면([표 7-1])¹⁹⁾, 먼저, 부동산업의 경우에는 평균기온의 1℃ 상승의 장기 성장 영향과 관련하여 -1.73% 수준의 부정적 한계효과가 나타났는데, 이는 냉방 시설 확충 등 설비 비용 증가, 에너지 사용 비용 등 유지비용 증가에 기인한 것일 수 있다 (Deroubaix et al., 2021). 뿐만 아니라, 월중 고온일수가 일정 수준 이상이면 부동산 매매 및 임대계약 수요자의 탐색 시도 및 실제 계약 건수가 감소할 수 있다. 예를 들어, 온라인 부동산 중개 플랫폼의 데이터를 분석한 이탈리아의 사례를 참고하면 월중 고온일수 증가가 부동산 탐색 시도에 미치는 부정적 영향이 최대 3개월까지 지속되었다는 연구 결과가 존재한다 (Casarano & Natoli, 2023).

도매 및 소매업의 경우, 평균 기온에서 부정적인 단기 수준 영향 및 장기 성장 영향이 나타났으며, 그 한계효과는 각각 -0.25%, -1.85% 수준이다. 이러한 부정적 영향의 경우 재고 유지비용 관련 냉방비 증가, 직간접적 재고자산 피해 등의 요인에 기인한 것으로 보인다. 또한, 평균기온의 상승에 따른 폭염 및 폭우 사건의 증가로 원자재 수급 및 상품 운송 등 공급망 문제가 발생할 가능성이 높아지는 것도 이러한 영향을 일정 부분 설명할 수 있을 것이다.

19) 표 7에 포함되지 않은 산업들에 대한 결과값은 부록4의 표4-B 및 4-C에 포함하였다.

[표 7-1] 국내 기후변화의 산업별 실질 부가가치 영향

	종속변수: 실질 총 부가가치 성장률					
	부동산업	도매 및 소매업	석탄 및 석유 화학제품 제조업	광업	정보통신업	비금속광물 및 금속제품 제조업
ΔT	-0.08114* (0.04678)	-0.10906** (0.04902)	0.02805 (0.16023)	0.17920 (0.33910)	-0.08751* (0.04568)	-0.15910* (0.09605)
$L.\Delta T$	-0.02437 (0.02328)	0.05717 (0.03839)	-0.11655 (0.10147)	-0.64977** (0.27682)	-0.01302 (0.03295)	-0.10187 (0.06810)
$T \times \Delta T$	0.00506 (0.00353)	0.00817** (0.00335)	-0.00156 (0.01193)	0.00124 (0.02309)	0.00606* (0.00342)	0.01307* (0.00714)
$T \times L.\Delta T$	0.00157 (0.00178)	-0.00347 (0.00313)	0.00762 (0.00749)	0.04814*** (0.01767)	0.00080 (0.00233)	0.00875* (0.00479)
T	-0.01732*** (0.00545)	-0.01848** (0.00730)	0.02747** (0.01216)	0.25676*** (0.05094)	0.00005 (0.01293)	0.00738 (0.01272)
ΔP	0.02257 (0.03828)	0.07862* (0.04172)	0.02642 (0.09825)	0.34969 (0.29692)	0.04730 (0.04952)	0.03892 (0.07162)
$L.\Delta P$	0.04996 (0.04450)	0.06721 (0.05434)	-0.01128 (0.10170)	0.22001 (0.27127)	0.03588 (0.05815)	0.08049 (0.05706)
$P \times \Delta P$	-0.02070 (0.02101)	-0.04196 (0.03080)	-0.03694 (0.06052)	-0.29094 (0.21473)	-0.01344 (0.03053)	-0.04259 (0.04943)
$P \times L.\Delta P$	-0.02180 (0.02500)	-0.03617 (0.03163)	-0.01177 (0.08158)	-0.15751 (0.17969)	-0.02562 (0.03654)	-0.04266 (0.03336)
P	-0.04307*** (0.01365)	-0.01323 (0.01273)	-0.01301 (0.04054)	0.06486 (0.11394)	0.04910** (0.01983)	-0.06783** (0.02893)
인구변화율	0.02205 (0.02363)	-0.00436 (0.02366)	0.02046 (0.05912)	0.17804 (0.19749)	-0.00928 (0.02658)	0.07611** (0.03768)
N	522	522	522	522	522	522
R squared	0.03070	0.03736	0.0076	0.0548	0.01758	0.0330
BIC	-1602.23	-1356.05	-494.88	541.08	-1231.49	-1014.63
고정효과	행정구역, 연도	행정구역, 연도	행정구역, 연도	행정구역, 연도	행정구역, 연도	행정구역, 연도
군집	지역(8개도)	지역(8개도)	지역(8개도)	지역(8개도)	지역(8개도)	지역(8개도)

주: () 내는 표준오차, *, **, ***는 각각 10%, 5%, 1% 의 통계적 유의수준(양측검정)을 의미. $T(T,P)$ 는 각각 연도별 총 평균기온과 총강수량을, $\Delta T(T,P)$ 는 각 날씨변수의 연간 변화율을, L 로 표시된 변수의 경우 날씨변수의 시차변수가 활용되었음을 의미.

한편 석탄 및 석유 화학제품 제조업은 평균 기온 상승과 관련하여 장기 성장 영향에 2.75% 수준의 긍정적 한계효과가 나타났으며, 이는 평균 기온 상승에 따라 증가하는 전력 수요와 현재의 높은 화력발전 의존도를 반영한 것으로 보인다²⁰⁾. 단 동 산업의 경우, 향후 탄소배출 관련 규제 환경 변화에서 발생하는 전환리스크에도 노출되어 있음에 유의할 필요가 있다. 또한, 광업의 경우 연 평균기온 변화에 따른 단기적인 총생산 영향과 더불어 장기 성장에 긍정적인 영향이 나타나고 있으나, 광업의 경우 2020년 기준 실질 부가가치에서 차지하는 비중이 분석 대상 산업 중 가장 낮은 0.1% 수준에 불과하여 경제 전체에 대한 영향은 미미할 것으로 예상된다²¹⁾. 비금속 광물 및 금속제품제조업의 경우, 연 평균기온과 관련해서는 10% 유의수준에서 부정적 단기 총생산 영향이 약하게 나타났는데, 이는 노동생산성에 대한 부정적 영향 및 냉방 시설 확충과 냉방비용 증가 등에 따른 영향일 수 있다²²⁾.

(2) 연 총강수량의 산업별 영향

강수량과 관련하여 피해영향이 큰 산업들을 중심으로 정리하면([표 7-2]), 먼저 금융 및 보험업의 경우 연 총강수량의 1m 증가에 따라 장기 성장에 -3.62% 수준의 부정적 한계효과가 나타났다. 강수량 증가에 따라 장기적으로 건물, 차량 등 침수피해 발생 확률이 증가하고 추세적으로 손해율이 증가하여 보험업계 손실로 이어질 수 있으며, 금융업 내에서 신용, 시장, 유동성 리스크 등의 형태로 구체화되어 금융 및 보험업 전반에 직간접적 부정적 영향을 미칠 수 있다 (IAIS, 2021; 이석호, 2022; 정지서, 2022). 건설업의 경우 총강수량의 증가의 실질 부가가치 장기 성장 영향 관련 한계효과가 -9.84% 수준으로 나타났으며, 이는 호우와 강설 상황에서 조업이 중단되고 원자재 수급에 차질이 발생하는 등 기상여건에 큰 영향을 받을 수밖에 없는 산업 특성이 반영된 것으로 보인다 (산업통상자원부, 2023).

20) 2021년 기준 국내 전력생산을 원천별로 구분하면 다음과 같다: 석탄 34.3%, 석유 1.2%, 천연가스 31.0%, 원자력 26.1%, 태양광발전 3.9%. <https://www.iea.org/countries/korea>, Electricity Generation by source.

21) 참고로 광업의 경우, 재생에너지, 전기 자동차, 이차전지 산업 등의 발전에 따른 리튬, 흑연, 희토류 등 핵심 광물의 수요 증가와 함께 해외 의존도 문제를 해결하기 위한 국내 부존 자원 및 광산 개발 등의 노력이 이어지고 있다 (전호석 외, 2018; 김유정, 2019; 산업통상자원부, 2021; 한국지질자원연구원, 2021).

22) 덧붙여, 비금속광물 및 금속제품제조업의 경우 연 총강수량 증가에 대해 5% 유의수준에서 -6.78% 수준의 부정적 장기 성장 영향을 보이고 있다. 이는 집중호우 및 홍수 사건 등의 영향이 연 총강수량 증가에 반영되고, 원자재 수급의 어려움, 생산시설의 일시적 가동 중단, 제품 결함률 증가 등의 영향이 실질부가가치 변화에 복합적으로 영향을 미치는 것과 관련이 있을 것으로 예상된다(Carlin, Arshad, & Baker, 2023).

[표 7-2] 국내 기후변화의 산업별 실질 부가가치 영향 (표 7-1에서 계속)

	증속변수: 실질 총 부가가치 성장률					
	금융 및 보험업	건설업	사업서비스업	문화 및 기타서비스 업	전기, 가스, 증기 및 공기 조절 공급업	농업, 임업 및 어업
ΔT	-0.02600 (0.02590)	-0.00605 (0.07760)	0.00593 (0.10265)	-0.01037 (0.03614)	0.06995 (0.09778)	-0.02893 (0.06555)
$L.\Delta T$	-0.01588 (0.03688)	-0.01376 (0.07133)	0.03195 (0.08497)	0.03852 (0.04739)	0.04499 (0.17004)	-0.06847 (0.07878)
$T \times \Delta T$	0.00167 (0.00181)	-0.00119 (0.00538)	-0.00103 (0.00795)	0.00048 (0.00239)	-0.00776 (0.00674)	0.00287 (0.00467)
$T \times L.\Delta T$	0.00103 (0.00264)	-0.00045 (0.00479)	-0.00219 (0.00636)	-0.00310 (0.00359)	-0.00333 (0.01227)	0.00573 (0.00574)
T	0.00815 (0.01030)	0.01480 (0.01568)	0.00086 (0.01441)	-0.00912 (0.00588)	-0.04440 (0.03125)	-0.02678 (0.03489)
ΔP	0.03014 (0.03509)	-0.07035 (0.05367)	0.15358** (0.06202)	0.06536 (0.06182)	0.16103* (0.08415)	-0.29879*** (0.04987)
$L.\Delta P$	0.07484 (0.05136)	0.06455 (0.05634)	0.02791 (0.05807)	0.11382** (0.05413)	0.06612 (0.07159)	-0.10743*** (0.03675)
$P \times \Delta P$	-0.02109 (0.02437)	0.00675 (0.03168)	-0.09637*** (0.03705)	-0.04546 (0.04448)	-0.11822** (0.05556)	0.18180*** (0.04776)
$P \times L.\Delta P$	-0.03889 (0.03165)	-0.01835 (0.03561)	-0.01882 (0.03538)	-0.07095** (0.03444)	-0.05796 (0.04315)	0.05981* (0.03206)
P	-0.03616** (0.01456)	-0.09842*** (0.02713)	-0.01617 (0.02745)	-0.00449 (0.02030)	-0.03738 (0.05886)	0.00300 (0.02928)
인구변화율	-0.01802 (0.01350)	-0.01911 (0.05557)	0.02728 (0.03194)	0.03480 (0.02241)	-0.08084 (0.09905)	-0.09776* (0.05813)
N	522	522	522	522	522	522
R squared	0.02574	0.03442	0.01255	0.0386	0.0223	0.0654
BIC	-1528.67	-984.87	-672.93	-1464.42	-539.97	-872.40
고정효과	행정구역, 연도	행정구역, 연도	행정구역, 연도	행정구역, 연도	행정구역, 연도	행정구역, 연도
군집	지역(8개도)	지역(8개도)	지역(8개도)	지역(8개도)	지역(8개도)	지역(8개도)

주: () 내는 표준오차, *, **, ***는 각각 10%, 5%, 1%의 통계적 유의수준(양측검정)을 의미. $T(T,P)$ 는 각각 연도별 총 평균기온과 총강수량을, $\Delta T(T,P)$ 는 각 날씨변수의 연간 변화율을, L 로 표시된 변수의 경우 날씨변수의 시차변수가 활용되었음을 의미.

기후변화와 가장 밀접한 관련이 있는 것으로 인식되는 농업, 임업 및 어업의 경우, 단기 (혹은 즉각적) 실질 부가가치에 대한 영향이 유의하게 나타났으며, 총 강수량 1m 상승과 관련하여 15.93% 수준의 부정적 한계효과가 나타났다. 농업의 경우, 호우 특보, 대설특보, 태풍특보와 같이 강수량이 크게 증가하는 경우가 발생함에 따라 과수 작물의 생산효율성이 낮아질 수 있으며, 강수량 및 상대습도가 높은 환경에서 병해충 피해가 다발하여 부정적 영향이 확대될 수 있다 (정재원 외, 2018; 김관원 & 김태영, 2018). 또한 강수량 증가 시 조업시설 피해 확률과 산사태 등 재해 위험이 높아짐에 따라 조업 가능한 시간이 감소하여 최종 부가가치 수준에 즉각적인 영향을 미칠 수 있다 (채여라, 2013). 농업, 임업 및 어업 외에도 사업서비스업, 문화 및 기타서비스업의 경우 연 총강수량에 대한 단기적 총생산 영향이 나타났다. 또한 전기, 가스, 증기 및 공기조절 공급업의 경우에도 강수량 증가로 인한 부정적 단기적 총생산 영향이 나타났으며, 이는 집중호우, 폭우 등이 관련 설비의 유지보수 비용 증가를 유발하는 데 기인한 것으로 보인다.

3. 시나리오 기반의 국내 만성 기후리스크의 지역별·산업별 실질 부가가치 영향 평가

본 절에서는 각 산업의 추정된 연 평균기온과 연 총강수량이 실질 부가가치에 미치는 단기 및 장기 성장 영향을 종합적으로 고려하여, 점진적 기후변화를 가정하였을 때 국내의 지역별, 산업별 피해영향을 평가해 보았다. 이를 위해 관측자료 및 NGFS 시나리오의 두 가지 기준을 사용하였으며, 관측자료 기준의 경우 각 행정구역에서 1985년부터 2021년까지 경험한 만성 기후변화의 중간값 수준의 변화가 5년간(2022~2027년) 지속적으로 나타나는 것으로 가정하고, NGFS 시나리오 기준의 경우에는 현재 시행 중인 정책 외에 추가적인 기후정책이 시행되지 않는 현행 정책 유지(current policies) 시나리오에서 지구온난화가 극도로 심화될 수 있는 상위 95% 분위(percentile)에 해당하는 평균기온 및 총강수량을 적용하였다. 분석을 위해서는 각 산업별 피해함수 추정치 중 통계적으로 유의한 추정치 및 각 행정구역의 연도별 기온과 강수량 변화의 관측치를 활용하였다²³⁾. 최종적으로는, 지역별 부가가치 영향을 시산하기 위해 각 지역

23) 평가를 위해 Kalkuhl & Wenz (2020)를 따라(Ch6. 및 부록 S4 참고), 연 평균기온과 연 총강수량의 $t=5$ 년간 점진적 변화를 가정하였을 경우의 실질 총 부가가치와 기후변화의 영향이 없다고 가정한 경우($\tilde{y}_{i,t}; \alpha, \beta, \gamma = 0$)와의 차이를 아래와 같이 산출하였다.

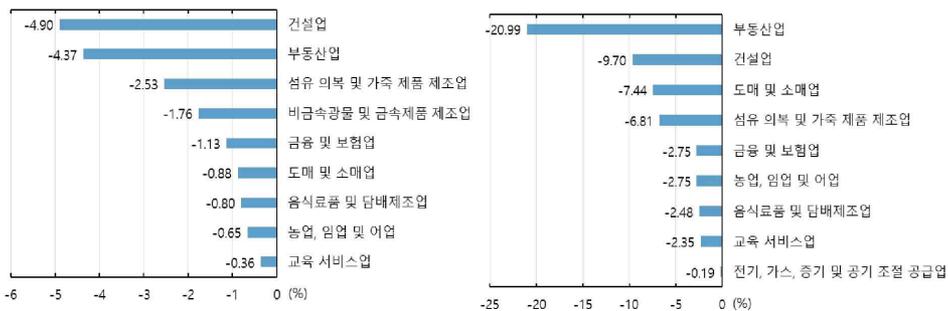
$$\ln(y_{i,t}(\Delta T_i)) - \ln \tilde{y}_{i,t} = \sum_{s=1}^t [(\alpha + \beta T_0) \Delta T_i + \beta(s-1) \Delta T_i^2]$$

다음으로는 만성적 기후변화로 인해 실질 부가가치 성장에 부정적인 영향을 받는 산업들에 대한 추정치를 각각의 기준에 따라 정리하였다([그림3]). 먼저 현재까지의 관측치를 기준으로 1985년부터 2021년까지 나타난 만성 기후변화의 중간값 수준의 변화가 5년 연속 발생한다면, 피해영향이 가장 큰 산업은 건설업으로 약 -4.90% 수준의 실질 부가가치 피해가 예상되며, 부동산업(-4.37%), 섬유 의복 및 가죽 제품 제조업(-2.53%), 비금속광물 및 금속제품 제조업(-1.76%), 금융 및 보험업(-1.13%) 순으로 부정적 영향이 크게 나타났다²⁴⁾. NGFS의 현행 정책 유지 시나리오를 기준으로 추정치를 살펴볼 경우에는 부동산업에 피해 영향이 특히 현저하였으며(-20.99%), 이외에도 건설업(-9.70%), 도매 및 소매업(-7.44%), 섬유 의복 및 가죽제품제조업(-6.81%), 금융 및 보험업(-2.75%), 농업, 임업, 및 어업(-2.75%) 등에서 피해 영향이 두드러졌다.

[그림3] 만성 기후리스크의 산업별 실질 부가가치 영향 예측 (2022~2027 누적치)

1985~2021년 기상 관측자료의 중간값 기준

NGFS 시나리오 Current Policies 기준



주: 관측 자료 기준의 경우 각 행정구역에서 1985년부터 2021년까지 관측된 기후변수 변화량의 중간값이 5년간 지속되는 것으로 가정하고, NGFS 현행 정책 유지(current policies) 시나리오의 경우 지구온난화가 극도로 심화되는 경우(95th percentile)를 가정. 각 산업별 피해함수 추정치 및 각 행정구역별 기후변수 변화(연간 기준 기온과 강수량)를 결합하여 5년간 산업별로 부가가치에 미치는 영향을 도출.

V. 결론

본 연구의 분석결과 국내 연 평균기온 상승의 일인당 지역내총생산 장기 성장 영향은 유의하지 않았으나, 각 산업별 실질 부가가치를 고려하였을 때에는 특히 부동산업 및 도매 및 소매업에서 평균기온 상승에 대한 유의한 부정적 장기 성장 영향을 발견하였다. 한편 연 총강수량 증가의 경우는 장기 성장에 유의한 부정적 영향을 미칠

24) 단, 관측치 기준으로 평가하였을 때 광업, 전기 전자 및 정밀기기 제조업, 정보통신업, 석탄 및 석유 화학제품 제조업, 사업 서비스업 등의 경우 긍정적인 실질부가가치 영향이 추정되었다.

수 있음을 발견하였다. 또한 산업별로 세분화하여 살펴볼 경우, 농업, 임업 및 어업, 사업서비스업, 문화 및 기타서비스업, 그리고 전기, 가스, 증기 및 공기조절 공급업에서 강수량 증가의 부정적 단기 총생산 영향이 나타났다. 장기 성장 영향의 경우 실외에 노출된 생산활동이 많고 노동생산성이 중요한 건설업과 비금속광물 및 금속제품 제조업, 전 산업과 연계성이 높은 금융 및 보험업에 대한 부정적 영향이 추정되었다.

각 지역별 영향을 살펴보면 국내에서도 위도 상 남쪽에 위치한 행정구역 및 도시화 및 산업화 비중이 높은 광역시의 경우 만성 기후리스크와 관련하여 유의한 부정적 경제성장 영향이 나타나고 있다. 이는 향후 거시 경제 및 실물경제의 장기 성장 관점에서 기후변화 대응을 뒷받침하기 위한 재원인 적응 금융(adaptation finance)에 대한 정부와 금융권의 관심이 중요함을 시사한다²⁵⁾. 또한 각 산업의 경우, 원활한 사업 운영 및 미래 전략 등의 측면에서 장기적 시계에서 물리적 리스크를 포함한 기후리스크 관련 식별, 평가, 및 관리의 중요성을 인식할 필요가 있다. 특히 2023년 6월 국제지속가능성기준위원회(ISSB)의 지속가능성장 공시 발표와 함께 국제적으로 시장규율 강화 및 제도화 움직임이 확산되고 있어, 국내기업의 국제경쟁력 제고 및 원활한 기업 운영을 위해서도 기후리스크에 대한 체계적 인식이 중요한 시점이다.

물론 기후변화로 인한 물리적 리스크를 줄이기 위하여 근본적으로는 탄소 중립에 대한 노력이 필수적일 것이다. 그러나 현재 이미 진행 중인 기후변화 속도를 고려할 때, 기후 위기 적응은 온실가스 감축과 더불어 기후변화 대응의 중요한 축임을 인지하여야 할 것이며, 국내의 기후위기 적응 역량 강화를 위한 재원 마련 및 필요한 조치를 강구하기 위한 각 경제주체들의 관심과 노력이 요구된다.

본 연구는 국내 만성 기후리스크에 대한 각 지역별, 산업별 실물경제 성장 영향과 관련한 정량화된 수치를 제공함으로써, 불확실성으로 인해 예측하기 어려운 기후변화의 피해를 지속적으로 완화하고자 하는 기후대응 노력의 중요성을 강조하고자 한다. 기존의 특정 지역 및 산업에 국한되어 있던 기후리스크 피해 분석이 각기 다른 방법론으로 추정되어 계수에 대한 상호 비교가 어려웠던 반면, 본 연구에서 제공하는 추정치의 경우 동일한 분석 기준 하에서 세계평균과 국내평균 영향의 비교가 가능하며, 더 나아가

25) 기후 금융은 지구 온난화 관련 온실가스 배출 저감 목적을 위한 금융으로 정의되며, 기후 금융은 온실가스 배출의 감축, 회피, 흡수, 저장 목적의 감축금융(mitigation finance)과 기후변화로부터 생태계 충격 완화와 복원을 목적으로 하는 적응 금융(adaptation finance)으로 구분할 수 있다(송홍선, 2023). 유엔환경계획(UNEP, United Nations Environment Programme)은 전 세계적으로 적응금융 필요 규모를 2050년까지 연간 3,150억 달러 수준으로 추정하고 있다(UNEP, 2022). 국내의 경우에도 기후 금융의 부족이 예상되어 적극적인 대응이 필요하다(송홍선, 2023).

지역 간, 산업 간의 수치 비교가 가능하다.

그러나, 본 연구에서 살펴본 만성 기후리스크의 실물경제 영향의 경우, 과거 데이터를 활용한 추정치를 사용하고 있어 지구 평균기온 상승에 따라 다변화하는 피해 영향을 예측하는데 한계가 있을 수 있다. 뿐만아니라, 연 평균기온과 연 총강수량의 과거 및 현재 정보를 사용하여 추정된 부분 균형 모형을 바탕으로 하고 있어, 과급효과, 전환 과정 및 장기 균형에 대한 고려와 기후 적응, 기술 변화에 따른 내생적 성장을 고려하지 않은 점에 유의할 필요가 있다.

그럼에도 불구하고, 본 연구의 결과치는 각 산업 및 지역과 연계된 금융업에서 투자자들의 기후리스크 노출 정도를 파악하기 위한 포트폴리오 분석이나 기후 스트레스 테스트에서의 지역 및 산업의 기후리스크 취약성을 분석하기 위한 추정치로 활용할 수 있을 것이다. 또한 지역별 및 산업별 피해 관련 추정치는 통합평가 모형 등에 매개 변수로 활용되어 분석을 정교화하는 데 기여할 것으로 보인다 (Brunetti et al., 2022)²⁶). 뿐만 아니라, 본 연구의 결과는 각 행정구역의 도시 녹지계획, 산업 설비 정비 등의 기후변화 적응 과정에서 나타나는 편익과 비용에 대한 정량적 근거를 제시하여 지역별 기후대응 정책 수립을 위한 정책적 참고자료로도 활용할 수 있을 것으로 기대된다²⁷).

26) 연산일반균형 (Computable General Equilibrium), 동태확률 일반균형 (Dynamic Stochastic General Equilibrium), 행위자 기반 모형 (Agent Based Model) 등이 있다.

27) 기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법 제38조 (국가 기후위기 적응대책의 수립·시행)에서는 기후위기 적응대책에 부문별 지역별 기후위기 영향과 취약성평가에 관한 사항이 포함됨을 명시하고 있다.

참고문헌

- 김관원·김태영(2018), “기후변화에 따른 벼 병해충 피해의 공간적 파급효과 분석,” *농촌경제*, 제41권 제1호, 51-80.
- 권용재·성한경·전봉걸(2019), “기상변화가 중요소생산성과 국내 경제에 미치는 영향에 관한 연구,” *응용경제*, 제21권 제1호, 91-115.
- 김유정(2019), “광물자원 시장동향과 국내 자원수급 현황. 대한지질학회 학술대회,” 131-131.
- 류재나·김호정·김한나·신정우·양상근(2017), “이상기후 대응을 위한 지역 기후경쟁력 증진방안,” *기후환경정책연구*, 2017, 1-234.
- 박상현(2023), 47년새 강수량 60% 늘어...한반도도 ‘극한 기후’ 신음, <조선일보>, <https://www.chosun.com/national/transport-environment/2023/10/06/XJMAZ4BJQNFQJO77RD4ZHI6C44/>
- 산업통상자원부(2021), 「“최소금속 안심국가”실현을 위한 「최소금속 산업 발전대책 2.0」 수립」, <https://www.korea.kr/briefing/pressReleaseView.do?newsId=156465017> (검색일: 2023. 8. 17).
- 산업통상자원부(2023), 「호우피해 관련 시멘트 수급 현황 점검」, http://www.motie.go.kr/motie/ne/press/press2/bbs/bbsView.do?bbs_cd_n=81&bbs_seq_n=167643 (검색일: 2023. 8. 18)
- 송홍선(2023), “탄소중립을 위한 기후금융 발전 과제. 자본시장연구원 *이슈보고서*,” 제23-08호.
- 심우배(2007), “우리나라 홍수피해특성 및 도시하천유역의 효율적인 침수피해방지 방안,” 「*도시하천유역 침수피해방지대책*」을 위한 세미나, 국토연구원.
- 이미연·홍종호(2016), “패널모형을 이용한 자연재해 피해의 결정요인에 관한 고찰,” *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, 제16호 제4권, 247-257.
- 이석호(2022), “기후변화가 보험부문의 재무안정성에 미치는 영향,” *주간금융브리프*, 제31호 제26권, 15-17.

- 인소영·박기영(2021), “기후변화의 경제학,” *The Korean Journal of Economics*, 제28호 제1권.
- 정재원·김성섭·이인규·소남호·고현석(2018), “이상기후가 과수 생산성에 미치는 악영향 - 기상특보 발효횟수를 중심으로,” *한국농림기상학회지*, 제20호 제4권, 305-312
- 전호석·백상호·금성민·고병헌(2018), “국내 희유금속광 부존현황 및 개발기술. *한국 자원공학회지*,” 제55권 제1호, 통권 279호, pp. 67-82.
- 정원식(2012), 지구촌 물현황, <http://www.molit.go.kr/portal.do>, <정책자료> 정책정보, 국토교통부 수자원정책과.
- 정지서(2022), “폭우 피해 속출에 보험株 '이중고'...폐기물주는 급등,” *연합인포맥스*.
<https://news.einfomax.co.kr/news/articleView.html?idxno=4227908> (검색일: 2023. 8. 18)
- 채여라·김희정·윤동근·정지범·강정·장선주·송슬기·황진욱(2013), “국가리스크 최소화를 위한 부문별 리스크 요인 파악 및 관리방안 분석,” *사업보고서*, 1275-1561, 한국환경정책평가연구원.
- 최영준·박현용(2016), “한국 기후변동 패턴과 제조업 중요소생산성의 관계 분석,” *자원·환경경제연구*, 제25호 제2권, 227-247.
- 한국지질자원연구원(2021), “한눈에 보는 6대 핵심광물 주요 현황: 요약본,” *KIGAM Critical Minerals Issue Report*, 2021-01호.
- 환경부(2020), 한국 기후변화 평가보고서 2020.
- 환경부·K-Water(2020). 물과 미래: 2020 세계 물의 날 자료집.
- Ackerman, F., Stanton, E. A., and Bueno, R. (2010), “Fat tails, exponents, extreme uncertainty: Simulating catastrophe in DICE,” *Ecological Economics*, Vol. 69(8), 1657-1665.
- Burke, M., Hsiang, S. M., and Miguel, E. (2015), “Global non-linear effect of temperature on economic production,” *Nature*, Vol. 527(7577), pp. 235-239.
- Brunetti, Celso, John Caramichael, Matteo Crosignani, Benjamin Dennis, Gurubala Kotta, Don Morgan, Chaehee Shin, and Ilknur Zer (2022), “Climate-related Financial Stability Risks for the United States: Methods and Applications,” *Finance and Economics Discussion Series*, No. 2022-043, Washington: Board of Governors of the Federal Reserve System.

- Campiglio, E., Dafermos, Y., Monnin, P., Ryan-Collins, J., Schotten, G., and Tanaka, M. (2018), “Climate change challenges for central banks and financial regulators,” *Nature climate change*, Vol. 8(6), pp. 462-468.
- Carlin, Arshad, and Baker (2023), “Climate Risks in the Industrials Sector. Sectoral Risk Briefings: Insights for Financial Institutions,” *UN Environment Programme Finance Initiative*, April 2023.
- Cascarano, M., and Natoli, F. (2023), “Temperatures and search: evidence from the housing market,” *Working papers*, Available at SSRN 4362881.
- Colacito, R., Hoffmann, B., and Phan, T. (2019), “Temperature and growth: A panel analysis of the United States,” *Journal of Money, Credit and Banking*, Vol. 51(2-3), pp. 313-368.
- Dannenberg, A., Löschel, A., Paolacci, G., Reif, C., and Tavoni, A. (2015), “On the provision of public goods with probabilistic and ambiguous thresholds,” *Environmental and Resource economics*, Vol. 61(3), pp. 365-383.
- Dell, M., Jones, B. F., and Olken, B. A. (2012), “Temperature shocks and economic growth: Evidence from the last half century,” *American Economic Journal: Macroeconomics*, Vol. 4(3), pp. 66-95.
- Dennis, Benjamin N. (2022), “Climate Change and Financial Policy: A Literature Review, ” *Finance and Economics Discussion Series*, No. 2022-048, Washington: Board of Governors of the Federal Reserve System.
- Deroubaix, A., Labuhn, I., Camredon, M., Gaubert, B., Monerie, P. A., Popp, M., ... , and Siour, G. (2021), “Large uncertainties in trends of energy demand for heating and cooling under climate change,” *Nature communications*, No. 5197.
- Ellsberg, D. (1961), “Risk, ambiguity, and the Savage axioms,” *The quarterly journal of economics*, pp. 643-669.
- Financial Stability Board (2017), Recommendations of the task force on climate-related financial disclosures, TFCFD.
- Frumkin, H., Hess, J., Luber, G., Malilay, J., & McGeehin, M. (2008). Climate change: the public health response. *American journal of public health*, 98(3), 435-445.

- G20 (2023). Macroeconomic Risks Stemming from Climate Change and Transition Pathways. *A G20 Report*, July 2023.
- Gil-Alana, Luis A., et al. "Temperature and precipitation in the US states: long memory, persistence, and time trend." *Theoretical and Applied Climatology* (2022): 1-14.
- Golbabaee, F., Heidari, H., Shamsipour, A., Forushani, A. R., & Gaeini, A. (2019). A new outdoor environmental heat index (OEHI) as a simple and applicable heat stress index for evaluation of outdoor workers. *Urban Climate*, 29, 100479.
- International Association of Insurance Supervisors (IAIS). (2021). Global Insurance Market Report: The Impact of Climate Change on the Financial Stability of the Insurance Sector. Available at <https://www.iaisweb.org/activities-topics/financial-stability/gimar/>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2023). Summary for Policymakers. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001
- Kalkuhl, M., & Wenz, L. (2020). The impact of climate conditions on economic production. Evidence from a global panel of regions. *Journal of Environmental Economics and Management*, 103, 102360.
- Lee, H. J., Jeon, W., Lee, W. S., & Lee, H. W. (2021). Human-Perceived Temperature Changes in South Korea and Their Association with Atmospheric Circulation Patterns. *Journal of Climate*, 34(4), 1273-1290.
- Mendelsohn, R., & Neumann, J. E. (Eds.). (2004). The impact of climate change on the United States economy. *Cambridge University Press*.
- Metcalf, G. E., & Stock, J. H. (2015). The role of integrated assessment models in climate policy: A user's guide and assessment. Department of Economics, Tufts Univ.
- Nordhaus, W. D. (1992). An optimal transition path for controlling greenhouse gases. *Science*, 258(5086), 1315-1319.

- Park, J., Kim, H., Wang, S.Y.S., Jeong, J.H., Lim, K.S., LaPlante, M., & Yoon, J.H. (2020). Intensification of the East Asian summer monsoon lifecycle based on observation and CMIP6. *Environmental Research Letters*, 15(9), 0940b9.
- Paddison, L., & Gretener, J. (2023, 05. 17). 'Sounding the alarm': World on track to breach a critical warming threshold in the next five years. CNN. Retrieved August 4, 2023, from <https://www.cnn.com/2023/05/17/world/global-warming-breach-wmo-climate-intl>
- Pindyck, R. S. (2017). The use and misuse of models for climate policy. *Review of Environmental Economics and Policy*.
- Richters O, Bertram C, Kriegler E, Anz J, Beck T, Bresch D, Charles M, Clarke L, Cui R, Edmonds J, Hackstock P, Hilaire J, Holland D, Hurst I, Khourdajie A, Kikstra J, Kropf C, Lejeune Q, Lewis J, Liadze I, Meinshausen M, Min J, Nicholls Z, Pfleiderer P, Piontek F, Rogelj J, Sauer I, Schwind N, Schleussner CF, Schlegel JR, Sferna, F, van Ruijven B, Weigmann P, Yu S, Zhao A, Zimmer A, Zwerling M (2022): NGFS Climate Scenario Database: Technical Documentation V3.1.
- Schlenker, W., & Roberts, M. J. (2009). Nonlinear temperature effects indicate severe damages to US crop yields under climate change. *Proceedings of the National Academy of sciences*, 106(37), 15594-15598.
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2022). Adaptation Gap Report 2022: Too Little, Too Slow – Climate adaptation failure puts world at risk. Nairobi. <https://www.unep.org/adaptation-gap-report-2022>
- Weitzman, M. L. (2010). What Is The " Damages Function" For Global Warming—And What Difference Might It Make?. *Climate Change Economics*, 1(01), 57-69.
- Weitzman, M. L. (2012). GHG targets as insurance against catastrophic climate damages. *Journal of Public Economic Theory*, 14(2), 221-244.
- Weyant, J. (2017). Some contributions of integrated assessment models of global climate change. *Review of Environmental Economics and Policy*.
- Zhao, M., Lee, J. K. W., Kjellstrom, T., & Cai, W. (2021). Assessment of the economic impact of heat-related labor productivity loss: a systematic review. *Climatic Change*, 167, 1-16.

부록

부록 1. 국내 월 평균기온·및 총강수량의 장기 추세

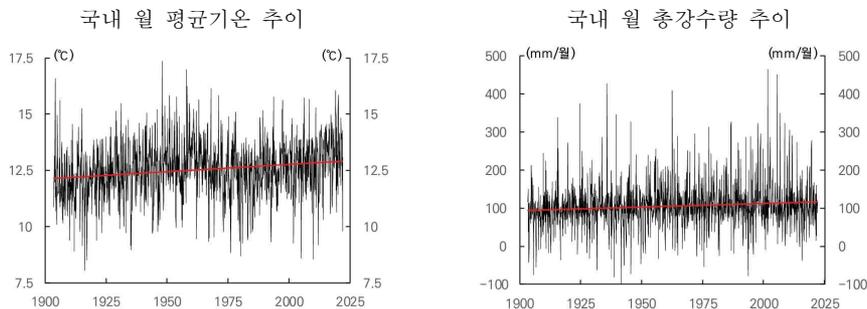
부록에서는 지난 100여년 (1904~2022년) 간 월 평균기온 및 월 총강수량의 시계열 자료를 활용하여 동 기후지표의 유의미한 상승 추세 및 장기 지속성이 존재하는지 ARFIMA (Autoregressive Fractionally Integrated Moving Average) 모형을 바탕으로 검증하였다. 이 때 분석 식은 미국 내 기상관측치를 활용하여 전국·지역 단위의 기후변화 장기추세를 분석한 Gil-Alana et al. (2022)의 방법론을 활용하여 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$y_t = \alpha + \beta t + x_t, (1 - B)^d x_t = u_t, u_t = \rho u_{t-12} + \epsilon_t$$

α 는 절편의 값, β 는 시계열 값의 월 단위 증가량, ρ 는 계절적 자기회귀계수 (Autoregressive coefficient), d 는 분수차분모수(fractional differentiation parameter)로 장기지속성의 정도를 나타낸다.

데이터는 해당시점 종관기상관측치의 단순 평균값을 사용하였으며, [그림 1-A]를 참고하면 단순평균값을 적용한 월 평균기온 및 총 강수량의 장기추세선은 모두 상승하는 경향을 보이고 있다. [표 1-A]는 장기적인 상승 관련 추세를 대표하는 값과 장기 지속성을 대표하는 d 값이 유의한 양의 계수값임을 보이고 있다. 국내 평균기온 관련 값은 기존 연구의 미국 연구결과에서의 추정치보다 낮은 편이며, 총강수량 관련 값은 미국 추정치에 대비하여 상대적으로 높다.

[그림 1-A] 국내 월 평균기온 및 총강수량 추이



자료: 기상청 기상자료개방포털

자료: 기상청 기상자료개방포털

[표 1-A] 국내 월 평균 기온·총강수량의 장기 추세 및 지속성 추정 결과

변수	α (절편)	β (장기추세)	d (분수차분모수)	ρ (계절적자기회귀계수)
월 평균기온	-0.38114*** (0.07024)	0.00054*** (0.00010)	0.23094*** (0.00002)	0.09910*** (0.02659)
월 총강수량	-11.32534*** (3.15364)	0.01587*** (0.00383)	0.04866*** (0.00008)	0.01567 (0.02654)

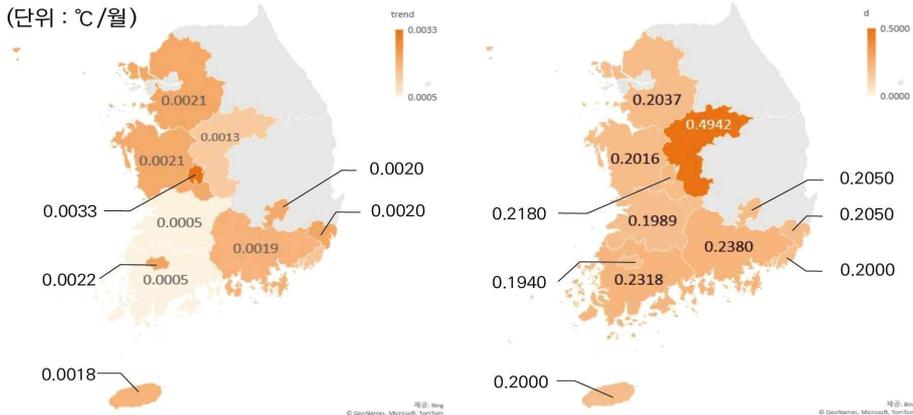
* $p < 0.10$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

행정구역별 월 평균기온 및 월 총강수량의 장기적 상승추세와 장기지속성의 경우 각 행정구역별로 이질적으로 나타났다. 월 평균기온의 경우, 강원, 경북, 서울, 인천을 제외한 16개 중 12개 행정구역에서 유의미한 양의 β 값을 나타내 뚜렷한 평균기온의 상승추세를 보였으며, 대부분의 행정구역에서 이러한 평균기온 상승추세의 장기 지속성이 나타났다. 부록 1-C는 β 와 d 값을 행정구역별로 나타내고 있다. 한편, 총 강수량의 경우, 광주, 전남, 제주 지역에서 장기 상승추세와 지속성을 보인 반면 여타 지역에서는 유의한 결과가 나타나지 않았으며, 부록 1-D는 관련 결과값을 행정 구역별로 나타내고 있다.

[그림 1-B] 월 평균기온의 행정구역별 장기 추세와 장기지속성 영향

월 평균기온의 장기추세(β)

월 평균기온의 지속적 영향(d)

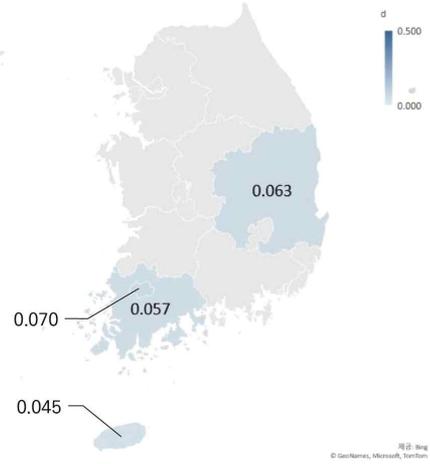
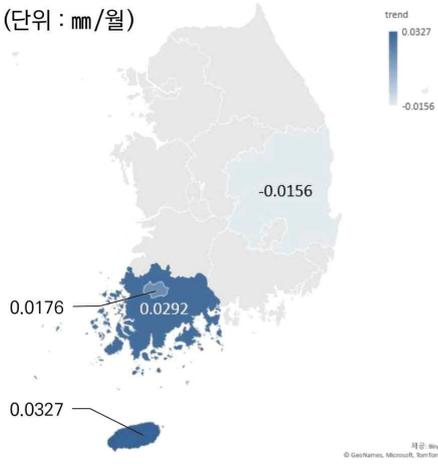


[그림 1-C] 월 총강수량의 행정구역별 장기 추세와 장기지속성 영향

월 총강수량의 장기추세

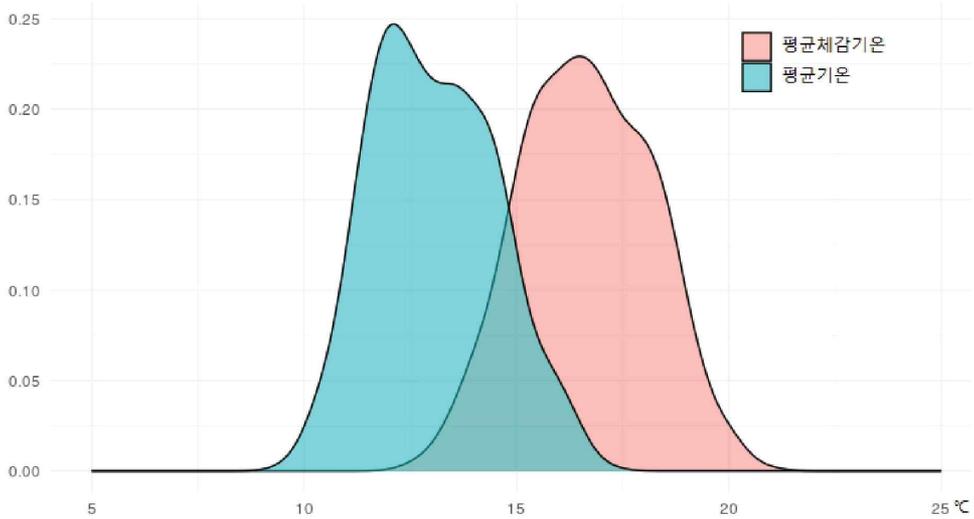
월 총강수량의 지속적 영향

(단위 : mm/월)

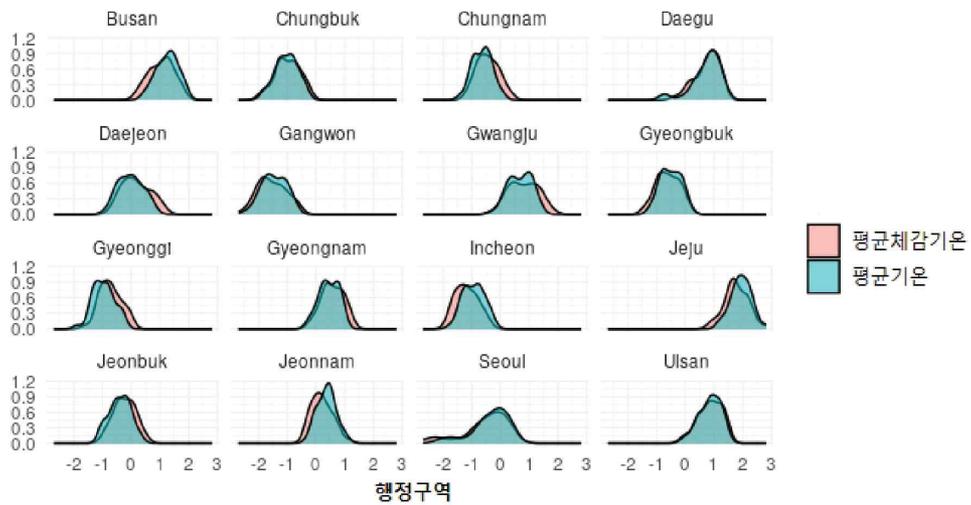


부록 2. 국내 연 총강수량 특성을 반영한 일인당 지역내총생산 영향 분석

[그림 2-A]
평균체감기온 및 평균기온 분포도



지역별 표준화된 평균체감기온 및 평균기온 분포도



주: 지역별 분포도의 경우 평균기온 및 체감기온을 표준화한 분포를 비교

[표 2-A] 일인당 지역 내 총생산(GRDP) 및 기후변화 기초통계 (2005~2021년)

변수	평균	표준편차	최소값	최대값	표준편차 (Between)	표준편차 (Within)
일인당 GRDP변화율	0.04267	0.03236	-0.06696	0.17580	0.03438	0.02583
평균기온 (℃)	13.29667	1.40681	10.42045	17.15417	1.39637	1.34792
평균 기온 변화율	0.02870	0.55381	-2.37250	2.52667	0.48858	0.38915
평균 체감 기온 (℃)	16.94432	1.48489	13.61046	20.87262	1.46936	1.39634
평균 체감 기온 변화율	0.04127	0.50787	-1.89834	1.28235	0.41478	0.21157
연 총 강수량 (m)	1.31028	0.32674	0.54850	2.28160	0.33019	0.26284
연 총 강수량 변화율	-0.01031	0.39047	-1.20470	0.94110	0.38919	0.26948
관측치 수				272		
지역 수				16		
연도 수				17		

[표 2-B] 만성리스크의 일인당 GRDP 영향 관련 분산 군집 강건성 분석

종속변수: 일인당 지역내총생산 성장			
연평균기온, 모형 (5) 기준			
	(a)	(b)	(c)
ΔT	-0.02215 (0.01910)	-0.02215 (0.02475)	-0.02215 (0.01989)
$L.\Delta T$	-0.02340 (0.01632)	-0.0234 (0.02467)	-0.0234 (0.017)
$T \times \Delta T$	0.00173 (0.00130)	0.00173 (0.00181)	0.00173 (0.00135)
$T \times L.\Delta T$	0.00161 (0.00121)	0.00161 (0.00182)	0.00161 (0.00126)
T	-0.00109 (0.00275)	-0.00109 (0.00547)	-0.00109 (0.00287)
ΔP	-0.02371 (0.01661)	-0.02371 (0.01861)	-0.02371 (0.01729)
$L.\Delta P$	0.00893 (0.01779)	0.00893 (0.01587)	0.00893 (0.01852)
$P \times \Delta P$	0.00784 (0.01266)	0.00784 (0.01171)	0.00784 (0.01319)
$P \times L.\Delta P$	-0.00326 (0.01063)	-0.00326 (0.01028)	-0.00326 (0.01107)
P	-0.02543** (0.01009)	-0.02543** (0.01165)	-0.02543** (0.01051)
N	554	554	272
R square	0.02022	0.02022	0.02022
고정효과	행정구역, 연도	행정구역, 연도	행정구역, 연도
군집 표준오차	지역(8개도)		5개 지역 (경기, 강원, 호남, 호서, 영남)

주: () 내는 표준오차, *, **, ***는 각각 10%, 5%, 1% 의 통계적 유의수준(양측검정)을 의미.
 $T(T,P)$ 는 각각 연도별 총 평균기온과 총강수량을, $\Delta T(T,P)$ 는 각 날씨변수의 연간 변화율을, L 로 표시된 변수의 경우 날씨변수의 시차변수가 활용되었음을 의미.

[표 2-C] 만성리스크의 일인당 GRDP 영향 관련 추가분석 (2005년~2021년)

종속변수: 일인당 지역내총생산 성장				
연평균체감기온, 모형 (5) 기준				
	(a)	(b)	(c)	(d)
ΔT	-0.00115 (0.04405)	-0.00231 (0.03541)	0.00092 (0.03620)	0.02036 (0.04347)
$L.\Delta T$	-0.01187 (0.02786)	-0.01230 (0.03979)	-0.01074 (0.03915)	-0.02323 (0.03765)
$T \times \Delta T$	-0.00004 (0.00242)	0.00028 (0.00245)	0.00003 (0.00250)	-0.00107 (0.00304)
$T \times L.\Delta T$	0.00062 (0.00153)	0.00126 (0.00296)	0.00111 (0.00290)	0.00220 (0.00277)
T	-0.00772 (0.00831)	-0.00682 (0.00685)	-0.00665 (0.00659)	-0.00763 (0.00498)
ΔP	-0.01713 (0.02090)	-0.01824 (0.01650)	-0.01532 (0.01579)	-0.03385* (0.01912)
$L.\Delta P$	-0.00567 (0.02190)	-0.00147 (0.02159)	-0.00120 (0.02180)	-0.02492 (0.02037)
$P \times \Delta P$	0.00825 (0.00950)	0.00918 (0.00732)	0.00785 (0.00714)	0.02100** (0.00949)
$P \times L.\Delta P$	0.01150 (0.01514)	0.00829 (0.01588)	0.00881 (0.01629)	0.02492 (0.01599)
P	-0.03458*** (0.00864)	-0.03299*** (0.00873)	-0.03185*** (0.00848)	-0.03038** (0.01319)
하천면적		0.00099*** (0.00026)	0.00100*** (0.00025)	0.00122*** (0.00025)
제방면적변화율			0.08227 (0.05030)	0.15122* (0.07818)
하수관거연장변화율				0.06359 (0.09729)
N	272	272	272	224
R square	0.02750	0.05432	0.06089	0.09506
BIC	-1206.1	-1208.1	-1204.4	-965.6
고정효과	행정구역, 연도	행정구역, 연도	행정구역, 연도	행정구역, 연도
군집 표준오차	지역(8개도)	지역(8개도)	지역(8개도)	지역(8개도)

주: () 내는 표준오차, *, **, ***는 각각 10%, 5%, 1% 의 통계적 유의수준(양측검정)을 의미.
 $T(T,P)$ 는 각각 연도별 총 평균기온과 총강수량을, $\Delta T(T,P)$ 는 각 날씨변수의 연간 변화율을, L 로 표시된 변수의 경우 날씨변수의 시차변수가 활용되었음을 의미.

부록 3. 만성적 기후리스크의 실질 총 부가가치 영향

[표 3-A] 만성적 기후 변화의 실질 총 부가가치 영향 관련 패널분석 결과

	평균온도		체감온도	
	(A)	(B)	(A)	(B)
ΔT	-0.01637 (0.02900)	-0.00269 (0.03178)	0.00198 (0.03414)	0.01315 (0.02695)
$L.\Delta T$	-0.01093 (0.01873)	-0.03864 (0.03346)	0.00506 (0.02120)	-0.02553 (0.02753)
$T \times \Delta T$	0.00123 (0.00213)	0.00033 (0.00238)	-0.00016 (0.00192)	-0.00079 (0.00151)
$T \times L.\Delta T$	0.00106 (0.00138)	0.00299 (0.00249)	-0.00033 (0.00137)	0.00139 (0.00156)
T	-0.00445 (0.00544)	0.00449 (0.00305)	-0.00235 (0.00583)	0.00098 (0.00349)
ΔP	0.01431 (0.02786)	0.00163 (0.01442)	0.01188 (0.02840)	-0.00033 (0.01805)
$L.\Delta P$	0.04495* (0.02563)	0.01092 (0.01679)	0.04308 (0.02682)	0.01027 (0.01645)
$P \times \Delta P$	-0.01305 (0.01863)	-0.00172 (0.00848)	-0.01168 (0.01872)	-0.00048 (0.01035)
$P \times L.\Delta P$	-0.02775* (0.01524)	0.00153 (0.01075)	-0.02689* (0.01547)	0.00219 (0.01002)
P	-0.01557 (0.00951)	-0.02314*** (0.00860)	-0.01514 (0.00953)	-0.02400** (0.00961)
log diff (인구수)	0.01009 (0.01060)	0.02374 (0.03396)	0.00988 (0.01106)	0.02594 (0.03296)
N	522	272	522	272
지역	16	16	16	16
R square	0.01700	0.04068	0.01580	0.03338
BIC	-1919.7	-1340.6	-1919.1	-1338.5
날씨변수		동기간	동기간	시차
고정효과	행정구역, 연도	행정구역, 연도	행정구역, 연도	행정구역, 연도
군집 표준오차	지역(8개도)	지역(8개도)	지역(8개도)	지역(8개도)

주: () 내는 표준오차, *, **, ***는 각각 10%, 5%, 1% 의 통계적 유의수준(양측검정)을 의미. $T(T,P)$ 는 각각 연도별 총 평균기온과 총강수량을, $\Delta T(T,P)$ 는 각 날씨변수의 연간 변화율을, L 로 표시된 변수의 경우 날씨변수의 시차변수가 활용되었음을 의미.

부록 4. 만성적 기후변화의 국내 경제활동별(산업별) 실질 부가가치 영향

[표 4-A] 각 산업의 실질 총 부가가치 성장 추이 및 2020년 전체 산업 대비 구성비

산업명	1990년	2000년	2010년	2020년	20년 구성비
전기 전자 및 정밀기기 제조업	6,845,834	30,710,036	103,257,983	175,983,203	8.1%
사업서비스업	22,412,310	57,923,932	113,227,766	158,224,188	7.3%
부동산업	33,673,008	78,080,492	109,870,342	137,788,747	6.4%
도매 및 소매업	46,959,748	78,841,035	104,631,557	136,362,397	6.3%
금융 및 보험업	16,317,148	35,110,108	68,978,312	111,710,807	5.2%
공공행정, 국방 및 사회보장 행정	35,844,529	59,611,666	83,505,891	109,094,625	5.0%
기계 운송장비 및 기타제품 제조업	20,119,255	51,555,939	91,351,849	98,647,531	4.6%
정보통신업	5,297,412	28,899,827	60,399,297	88,501,384	4.1%
건설업	57,337,784	64,634,481	76,337,053	87,009,653	4.0%
석탄 및 석유화학제품 제조업	16,183,704	49,259,182	76,314,779	85,948,204	4.0%
보건업 및 사회복지 서비스업	16,219,279	28,465,229	46,786,273	85,728,270	4.0%
교육서비스업	36,275,612	52,709,681	75,383,789	85,726,066	4.0%
비금속광물 및 금속제품 제조업	27,629,385	49,552,047	65,594,596	71,286,511	3.3%
운수 및 창고업	16,496,753	34,008,907	48,687,662	50,447,475	2.3%
문화 및 기타서비스업	17,927,503	31,709,512	46,642,544	43,292,396	2.0%
전기, 가스, 증기 및 공기조절 공급업	7,636,967	21,794,419	33,341,516	38,034,456	1.8%
숙박 및 음식점업	15,047,279	29,988,328	36,244,227	33,851,097	1.6%
농업, 임업 및 어업	21,953,923	27,798,080	30,604,098	31,185,167	1.4%
음식료품 및 담배제조업	12,416,796	16,049,759	17,582,317	23,054,903	1.1%
목재종이인쇄 및 복제업	7,347,035	10,953,320	12,674,168	13,509,928	0.6%
섬유 의복 및 가죽제품 제조업	16,409,529	15,129,197	16,439,290	12,400,831	0.6%
광업	3,159,352	3,198,072	2,905,330	1,984,901	0.1%

[표 4-B] 국내 기후변화의 산업별 총 실질 부가가치 성장률 영향

종속변수: 실질 부가가치 성장률					
	음식료품 및 담배제조업	섬유 의복 및 가죽 제품 제조업	목재종이인쇄 및 복제업	전기 전자 및 정밀기기 제조업	기계 운송장비 및 기타 제품 제조업
ΔT	0.04651 (0.07442)	0.03628 (0.15942)	0.09607 (0.07437)	0.75825 (0.57509)	-0.09225 (0.08790)
$L. \Delta T$	0.01027 (0.06021)	0.13761 (0.29276)	0.13325 (0.11310)	-0.45591 (0.44857)	-0.06477 (0.07799)
$T \times \Delta T$	-0.00343 (0.00562)	-0.00269 (0.01205)	-0.00808 (0.00567)	-0.05671 (0.04574)	0.00791 (0.00628)
$T \times L. \Delta T$	-0.00050 (0.00414)	-0.01298 (0.02386)	-0.01157 (0.01000)	0.03560 (0.03432)	0.00679 (0.00576)
T	-0.00179 (0.01492)	0.02703 (0.03955)	-0.01257 (0.02142)	0.01192 (0.04219)	-0.01186 (0.01784)
ΔP	0.11579** (0.05765)	0.14561 (0.12124)	-0.01579 (0.09407)	0.24396* (0.14505)	-0.01439 (0.08438)
$L. \Delta P$	0.07311 (0.05597)	0.10137 (0.07422)	0.05486 (0.06618)	0.41152* (0.21090)	-0.03460 (0.07365)
$P \times \Delta P$	-0.07754** (0.03859)	-0.16584* (0.10058)	-0.01773 (0.06229)	-0.10482 (0.07492)	0.01106 (0.05302)
$P \times L. \Delta P$	-0.07008* (0.03928)	-0.12223** (0.05910)	-0.03985 (0.03882)	-0.23773* (0.13012)	0.02704 (0.05170)
P	0.02564 (0.04172)	-0.06967 (0.09359)	-0.07442 (0.05545)	0.09111 (0.12485)	-0.05349 (0.04093)
인구변화율	-0.01370 (0.03360)	0.04776 (0.08468)	0.07229 (0.04500)	-0.23646*** (0.09119)	0.06485 (0.07712)
N	522	522	522	522	522
R square	0.0124	0.0325	0.0220	0.0753	0.0125
BIC	-902.24	-221.36	-674.95	156.75	-600.92
날씨변수	시차	시차	시차	시차	시차
고정효과	지역, 연도	지역, 연도	지역, 연도	지역, 연도	지역, 연도
군집	지역(8개도)	지역(8개도)	지역(8개도)	지역(8개도)	지역(8개도)

주: 본문의 표에 포함되지 않은 산업 중 제조업 결과 포함. () 내는 표준오차, *, **, ***는 각각 10%, 5%, 1% 의 통계적 유의수준(양측검정)을 의미. $T(T, P)$ 는 각각 연도별 총 평균기온과 총강수량을, $\Delta T(T, P)$ 는 각 날씨변수의 연간 변화율을, L 로 표시된 변수의 경우 날씨변수의 시차변수가 활용되었음을 의미.

[표 4-C] 국내 기후변화의 산업별 총 실질 부가가치 성장률 영향

	종속변수: 실질 부가가치 성장률				
	운수 및 창고업	숙박 및 음식점업	공공 행정, 국방 및 사회보장 행정	교육 서비스업	보건업 및 사회복지 서비스업
ΔT	-0.00878 (0.06880)	-0.00319 (0.06663)	-0.00823 (0.02319)	0.01895 (0.01217)	0.00317 (0.02718)
$L. \Delta T$	-0.03386 (0.06631)	-0.05938 (0.07459)	0.03013* (0.01823)	0.00964 (0.01840)	-0.03247 (0.02479)
$T \times \Delta T$	-0.00042 (0.00527)	0.00072 (0.00455)	0.00081 (0.00151)	-0.00155* (0.00088)	-0.00076 (0.00218)
$T \times L. \Delta T$	0.00167 (0.00444)	0.00552 (0.00569)	-0.00150 (0.00131)	-0.00050 (0.00140)	0.00229 (0.00190)
T	0.00876 (0.01822)	-0.01705 (0.02023)	0.00157 (0.00488)	0.00034 (0.00321)	-0.00234 (0.00591)
ΔP	0.00868 (0.04820)	0.04119 (0.07884)	0.03155 (0.02306)	0.02249 (0.02403)	-0.01466 (0.03408)
$L. \Delta P$	0.00212 (0.06567)	0.09819 (0.06295)	0.02856 (0.02138)	0.02986 (0.03668)	0.00786 (0.03989)
$P \times \Delta P$	-0.00216 (0.02945)	-0.02686 (0.03309)	-0.01422 (0.01339)	-0.01360 (0.01468)	0.00762 (0.01943)
$P \times L. \Delta P$	0.00597 (0.03446)	-0.04408 (0.03219)	-0.01754 (0.01265)	-0.01762 (0.02124)	-0.00115 (0.02215)
P	-0.01867 (0.02374)	-0.00569 (0.04478)	0.01514 (0.01028)	-0.00458 (0.00871)	-0.00688 (0.00813)
인구변화율	0.03842 (0.02679)	-0.06381 (0.05352)	0.00019 (0.00965)	0.00640 (0.01463)	0.00114 (0.01229)
N	522	522	522	522	522
R square	0.00731	0.01776	0.02390	0.00852	0.00741
BIC	-1020.96	-852.45	-2095.30	-2059.64	-1781.73
날씨변수	시차	시차	시차	시차	시차
고정효과	지역, 연도	지역, 연도	지역, 연도	지역, 연도	지역, 연도
군집	지역(8개도)	지역(8개도)	지역(8개도)	지역(8개도)	지역(8개도)

주: 본문의 표에 포함되지 않은 산업 중 제조업 결과 포함. () 내는 표준오차, *, **, ***는 각각 10%, 5%, 1% 의 통계적 유의수준(양측검정)을 의미. $T(T,P)$ 는 각각 연도별 총 평균기온과 총강수량을, $\Delta T(T,P)$ 는 각 날씨변수의 연간 변화율을, L 로 표시된 변수의 경우 날씨변수의 시차변수가 활용되었음을 의미.

Climate Change Impacts on the Domestic Economy in Korea: A Chronic Risk Perspective

Jiwon Lee*

The economic implications of climate risk analysis is crucial not only for devising climate change adaptation strategies but also for motivating economic agents to cut back on greenhouse gas emissions. This study empirically analyzes the effects of chronic climate risks in South Korea on economic growth, and evaluated economic damages at the sectoral and regional levels. The research employs the damage functions that Kalkuhl & Wenz (2020) presented and that NGFS (Network for Greening the Financial Systems) used to generate climate scenarios. According to the result of the analysis, there is a negative marginal effect of -2.54% on the long-term growth of per capita Gross Regional Domestic Product (GRDP) in South Korea for every unit (1 meter, 1000mm) rise in annual total precipitation. At the sectoral level, industries such as construction (-9.84%), manufacture of other non-metallic mineral products and metal product (-6.78%), and financial and insurance activities (-3.62%), experience negative impacts on the long-term growth of real value-added. Although the increase in annual average temperature in South Korea does not show a significant effect on the long-term growth of per capita GRDP, some industries such as real estate activities (-1.73%) and wholesale and retail trade (-1.85%) show significant negative effects in response to a 1°C temperature increase. Given the dearth of quantitative research on the macroeconomic and sectoral impacts of climate risk in South Korea, it is anticipated that the results of this study will be broadly applicable in future endeavors involving complex climate modeling, in-depth industry analyses, financial system stress tests, and policy references.

Keywords: Chronic risk, Climate Change, Damage function, Temperature, Precipitation, Economic Growth, Gross Regional Domestic Product (GRDP), Real value-added

JEL code: E23, O11, O44, Q54, Q56

* Economist, Financial Stability Department, Bank of Korea: jlee@bok.or.kr

BOK 경제연구 발간목록

한국은행 경제연구원에서는 Working Paper인 『BOK 경제연구』를 수시로 발간하고 있습니다. 『BOK 경제연구』는 주요 경제 현상 및 정책 효과에 대한 직관적 설명 뿐 아니라 깊이 있는 이론 또는 실증 분석을 제공함으로써 엄밀한 논증에 초점을 두는 학술논문 형태의 연구이며 한국은행 직원 및 한국은행 연구용역사업의 연구 결과물이 수록되고 있습니다. 『BOK 경제연구』는 한국은행 경제연구원 홈페이지(<http://imer.bok.or.kr>)에서 다운로드하여 보실 수 있습니다.

제2019-1	Deciphering Monetary Policy Board Minutes through Text Mining Approach: The Case of Korea	Ki Young Park · Youngjoon Lee · Soohyon Kim
2	The Impacts of Macroeconomic News Announcements on Intraday Implied Volatility	Jieun Lee · Doojin Ryu
3	Taking a Bigger Slice of the Global Value Chain Pie: An Industry-level Analysis	Chong-Sup Kim · Seungho Lee · Jihyun Eum
4	Trend Growth Shocks and Asset Prices	Nam Gang Lee
5	Uncertainty, Attention Allocation and Monetary Policy Asymmetry	Kwangyong Park
6	Central Bank Digital Currency and Financial Stability	Young Sik Kim · Ohik Kwon
7	은행의 수익 및 자산구조를 반영한 통화정책 위험선호경로	김의진 · 정호성
8	혁신기업에 대한 산업금융 지원: 이론모형 분석	강경훈 · 양준구
9	가계부채 제약하의 통화정책: 2주체 거시모형 (TANK)에서의 정량적 분석	정용승 · 송승주
10	Alchemy of Financial Innovation: Securitization, Liquidity and Optimal Monetary Policy	Jungu Yang
11	Measuring Monetary Policy Surprises Using Text Mining: The Case of Korea	Youngjoon Lee · Soohyon Kim · Ki Young Park
12	Tracking Uncertainty through the Relative Sentiment Shift Series	Seohyun Lee · Rickard Nyman
13	Intra-firm and Arm's Length Trade during the Global Financial Crisis: Evidence from Korean Manufacturing Firms	Moon Jung Choi · Ji Hyun Eum

14	특허자료를 이용한 우리나라 지식전파의 지역화 분석	이지홍 · 남윤미
15	Overhead Labour and Skill-Biased Technological Change: The Role of Product Diversification	Choong Hyun Nam
16	Does the Number of Countries in an International Business Cycle Model Matter?	Myunghyun Kim
17	High-Frequency Credit Spread Information and Macroeconomic Forecast Revision	Bruno Deschamps · Christos Ioannidis · Kook Ka
18	경제 분석을 위한 텍스트 마이닝	김수현 · 이영준 · 신진영 · 박기영
19	Takeover, Distress, and Equity Issuance: Evidence from Korea	Euna Cho
20	The Cash-Flow Channel of Monetary Policy: Evidence from Mortgage Borrowers	Sang-yoon Song
21	부의 효과의 분위 추정: 분위 정준 공적분회 귀를 중심으로	김기호
22	Identifying Government Spending Shocks and Multipliers in Korea	Kwangyong Park · Eun Kyung Lee
23	Systemic Risk of the Consumer Credit Network across Financial Institutions	Hyun Hak Kim · Hosung Jung
24	Impact of Chinese Renminbi on Korean Exports: Does Quality Matter?	Jihyun Eum
25	Uncertainty, Credit and Investment: Evidence from Firm-Bank Matched Data	Youngju Kim · Seohyun Lee · Hyunjoon Lim
26	A Structural Change in the Trend and Cycle in Korea	Nam Gang Lee · Byoung Hoon Seok

제2020 -1	인구 고령화가 실질 금리에 미치는 영향	권오익 · 김명현
2	달러라이제이션이 확산된 북한경제에서 보 유의화 감소가 물가·환율에 미치는 영향	문성민 · 김병기
3	상대공간 벡터오차수정모형을 이용한 월별 GDP 추정: 김스표본추출 접근	김기호
4	우리나라 외환시장 오퍼레이션의 행태 및 환율변동성 완화 효과	박준서 · 최경욱
5	Common Factor Augmented Forecasting Models for the US Dollar-Korean Won Exchange Rate	Hyeongwoo Kim · Soohyon Kim
6	북한「경제연구」로 분석한 경제정책 변화: 텍 스트 마이닝 접근법	김수현 · 손 욱
7	북한의 광물 수출과 품목별 수입: 대중무역을 중심으로	김병연 · 김민정 · 김다울
8	Network-Based Measures of Systemic Risk in Korea	Jaewon Choi · Jieun Lee
9	Aggregate Productivity Growth and Firm Dynamics in Korean Manufacturing 2007-2017	Kyoo il Kim · Jin Ho Park
10	2001년 이후 한국의 노동생산성 성장과 인적자본: 교육의 질적 개선 효과를 중심으로	유혜미
11	House Prices and Household Consumption in Korea	Seungyoon Lee
12	글로벌 가치사슬 변화가 경제성장에 미치는 영향: 2008년 금융위기 전후 전·후방참여 효과의 국제비교를 중심으로	김세완 · 최문정
13	산업구조조정이 고용 및 성장에 미치는 영향	서병선 · 김태경
14	Cross-border Trade Credit and Trade Flows During the Global Financial Crisis	Moon Jung Choi · Sangyeon Hwang · Hyejoon Im

15	International Co-movements and Determinants of Public Debt	Hasan Isomitdinov · Vladimir Arčabić · Junsoo Lee · Youngjin Yun
16	북한 비공식금융 실태조사 및 분석·평가	이주영 · 문성민
17	북한의 장기 경제성장률 추정: 1956~1989년	조태형 · 김민정
18	Macroeconomic and Financial Market Analyses and Predictions through Deep Learning	Soohyon Kim
19	제조업의 수출과 생산성 간 관계 분석: 사업체 자료 이용	이윤수 · 김원혁 · 박진호
20	우리나라 제조업 수출기업의 내수 전환 결정요인 분석	남윤미 · 최문정
21	A Model of Satisficing Behaviour	Rajiv Sarin · Hyun Chang Yi
22	Vulnerable Growth: A Revisit	Nam Gang Lee
23	Credit Market Frictions and Coessentiality of Money and Credit	Ohik Kwon · Manjong Lee
24	북한의 자본스톡 추정 및 시사점	표학길 · 조태형 · 김민정
25	The Economic Costs of Diplomatic Conflict	Hyejin Kim · Jungmin Lee
26	Central Bank Digital Currency, Tax Evasion, Inflation Tax, and Central Bank Independence	Ohik Kwon · Seungduck Lee · Jaevin Park
27	Consumption Dynamics and a Home Purchase	Dongjae Jung
28	자본유입과 물가상승률 간의 동태적 상관관계 분석: 아시아의 8개국 소규모 개방경제를 중심으로	최영준 · 손종철

	29	The Excess Sensitivity of Long-term Interest rates and Central Bank Credibility	Kwangyong Park
	30	Wage and Employment Effects of Immigration: Evidence from Korea	Hyejin Kim
제2021	-1	외국인력 생산성 제고 방안—직업훈련 프로그램의 노동시장 성과 분석을 중심으로	김혜진 · 이철희
	2	한국경제의 추세 성장률 하락과 원인	석병훈 · 이남강
	3	Financial Globalization: Effects on Banks' Information Acquisition and Credit Risk	Christopher Paik
	4	The Effects of Monetary Policy on Consumption: Workers vs. Retirees	Myunghyun Kim · Sang-yoon Song
	5	북한지역 토지자산 추정에 관한 연구: 프레임워크 개발 및 탐색적 적용	임송
	6	김정은 시대 북한의 금융제도 변화 - 북한 문헌 분석을 중심으로 -	김민정 · 문성민
	7	Chaebols and Firm Dynamics in Korea	Philippe Aghion · Sergei Guriev · Kangchul Jo
	8	한국의 화폐환상에 관한 연구	권오익 · 김규식 · 황인도
	9	재원조달 방법을 고려한 재정지출 효과 분석 : 미국의 사례를 중심으로	김소영 · 김용건
	10	The Impact of Geopolitical Risk on Stock Returns: Evidence from Inter-Korea Geopolitics	Seungho Jung · Jongmin Lee · Seohyun Lee
	11	Real Business Cycles in Emerging Countries: Are Asian Business Cycles Different from Latin American Business Cycles?	Seolwoong Hwang · Soyoun Kim
	12	우리 수출의 글로벌 소득탄력성 하락 요인 분석	김경근
	13	북한의 경제체제에 관한 연구: 실태와 평가	양문수 · 임송

14	Distribution-Dependent Value of Money: A Coalition-Proof Approach to Monetary Equilibrium	Byoung-Ki Kim · Ohik Kwon · Suk Won Lee
15	A Parametric Estimation of the Policy Stance from the Central Bank Minutes	Dong Jae Jung
16	The Immigrant Wage Gap and Assimilation in Korea	Hyejin Kim · Chulhee Lee
17	Monetary Non-Neutrality in a Multisector Economy: The Role of Risk-Sharing	Jae Won Lee · Seunghyeon Lee
18	International Transmission of Chinese Monetary Policy Shocks to Asian Countries	Yujeong Cho · Soyoung Kim
19	The Impact of Robots on Labor Demand: Evidence from Job Vacancy Data for South Korea	Hyejin Kim
20	전공 불일치가 불황기 대출 취업자의 임금에 미치는 장기 효과 분석	최영준
21	Upstream Propagation of the U.S.-China Trade War	Minkyu Son
제2022 -1	Immigration and Natives' Task Specialization: Evidence from Korea	Hyejin Kim · Jongkwan Lee
2	Transmission of Global Financial Shocks: Which Capital Flows Matter?	Bada Han
3	Measuring the Effects of LTV and DTI Limits: A Heterogeneous Panel VAR Approach with Sign Restrictions	Soyoung Kim · Seri Shim
4	A Counterfactual Method for Demographic Changes in Overlapping Generations Models	Byongju Lee
5	Housing Wealth, Labor Supply, and Retirement Behavior: Evidence from Korea	Jongwoo Chung

6	Demand Shocks vs. Supply Shocks: Which Shocks Matter More in Income and Price Inequality?	Seolwoong Hwang · Kwangwon Lee · Geunhyung Yim
7	Financial Literacy and Mutual Fund Retail Investing: Evidence from Korea During the 2008 Financial Crisis	Jongwoo Chung · Booyuel Kim
8	Exchange Rate Regime and Optimal Policy: The Case of China	Yujeong Cho · Yiping Huang · Changhua Yu
9	북한 수출입단가지수 추정: 북중무역 데이터를 중심으로	이종민 · 김민정
10	탄소배출을 감안한 국가별 녹색 중요소생산성 분석	안상기
11	북한 소비자 지급수단 조사 및 분석	이주영
12	Selection into Outsourcing versus Integration Strategies for Heterogeneous Multinationals	Sangho Shin
13	Central Bank Digital Currency and Privacy: A Randomized Survey Experiment	Syngjoo Choi · Bongseop Kim · Young Sik Kim · Ohik Kwon
14	Technological Change, Job Characteristics, and Employment of Elderly Workers: Evidence from Korea	Jongwoo Chung · Chulhee Lee
15	Machine-Learning-Based News Sentiment Index (NSI) of Korea	Beomseok Seo · Younghwan Lee · Hyungbae Cho
16	빅데이터를 이용한 실시간 민간소비 예측	신승준 · 서범석
17	Fixed Effects Quantile Estimations with Extended Within Transformation and their Application	Ki-Ho Kim
18	글로벌 금융위기 이후 가계소비행태 변화 분석: 세대별 소비행태를 중심으로	최영준

19	Optimal Monetary Policy under Heterogeneous Consumption Baskets	Seunghyeon Lee
20	통화정책 충격이 생산과 물가에 미치는 효과의 국가별 차이 및 결정요인	임근형 · 나승호 · 오다운
제2023 -1	Shocks, Frictions, and Inequality in Korean Business Cycles	Seungcheol Lee · Ralph Luetticke · Morten O. Ravn
2	소득동질혼과 가구구조가 가구소득 불평등에 미치는 영향: 국제비교를 중심으로	박용민 · 허 정
3	Dominant Currency Pricing: Evidence from Korean Exports	Minkyu Son
4	Banking Crisis, Venture Capital and Innovation	Chun-Yu Ho · Won Sung
5	Can Robots Save Workers? The Effects of Robots on Workplace Injuries and Workers' Health in Korea	Hyejin Kim
6	International Reserve Accumulation: Balancing Private Inflows with Public Outflows	Bada Han · Dongwook Kim · Youngjin Yun
7	Global Bank Branches and Financial Stability: How Do Global Bank Branches Amplify Financial Shocks?	Yoocheol Noh
8	인구구조 변화에 따른 산업별 고용인력 변화와 정책대안별 효과 추정: 여성, 고령자, 외국인 고용확대를 중심으로	김혜진 · 정종우
9	북한 장기 수출입 데이터 재구축 및 분석: 1962~2018년	김민정 · 김다울
10	Econometric Forecasting Using Ubiquitous News Text: Text-enhanced Factor Model	Beomseok Seo

-
- | | | |
|----|---|---|
| 11 | Changes in Inflation Dynamics in Korea: Global Factor, Country Factor, and their Propagation | Yun Jung Kim ·
Noh-Sun Kwark |
| 12 | Financial Technologies and the Effectiveness of Monetary Policy Transmission | Iftekhar Hasan ·
Boreum Kwak ·
Xiang Li |
| 13 | 북한의 시장물가: 2006~2022 | 임 송 · 문승현 |
| 14 | 지난 60년 경제환경변화와 한국기업 재무지표 변화: 『기업경영분석』(1961-2021)에 나타난 지표를 중심으로
Korea's Economic Policy Changes: Reflected in the Corporate Financial Indicators During the Last 60 Years | 조운제 · 최연교 |
| 15 | Extended Two-Way Fixed Effects Quantile Cointegration Regression and Its Application | Ki-Ho Kim |
| 16 | In Search of the Origin of Original Sin Dissipation | Bada Han ·
Jangyoun Lee ·
Taehee Oh |
| 17 | 대규모·비선형 베이지안 VAR 모형을 활용한 한국 거시경제 전망 및 시나리오 분석 | 강규호 · 김도완 |
| 18 | Does the Uncovered Interest Parity Hold in Korea? | Joonyoung Hur ·
Kwanho Shin |
| 19 | 북한이탈주민의 건강과 경제적 적응에 대한 연구: 국민건강정보DB 분석을 중심으로 | 정승호 · 위혜승 · 이종민 |
-

-
- | | | |
|----|--|-----------------|
| 21 | The Effects of Monetary Policy Shocks on Inflation Heterogeneity: The Case of Korea | Seolwoong Hwang |
| 22 | Dollar and Government Bond Liquidity: Evidence from Korea | Jieun Lee |
| 23 | 우리나라의 가계부채와 소득불평등 | 김수현 · 황설웅 |
| 24 | 초저출산의 경제적·비경제적 원인: 설문 실험을 통한 분석 | 남윤미 · 황인도 |
| 25 | 한국경제 80년(1970-2050) 및 미래 성장전략
Eighty Years of the Korean Economy
(1970-2050): The Past and a Future Growth
Strategy | 조태형 |
| 26 | 국내 기후변화 물리적 리스크의 실물경제
영향 분석 | 이지원 |
-

BOK 경제연구 제 2023-26

2023년 12월 18일 인쇄

2023년 12월 18일 발행

발행인 이 창 용

편집인 이 재 원

발행처 한국은행

경제연구원

서울시 중구 남대문로 39

인쇄처 (사)한국장애인이워크협회 일자리사업장

서울 금천구 가산디지털2로 114

© 한국은행, 2023

■ 본 자료는 한국은행 홈페이지에서 무료로 다운로드
받으실 수 있습니다. <http://www.bok.or.kr>

