

2022-2 한국은행 금융안정국

기후변화 물리적리스크가 글로벌가치사슬을 통해 국내 거시경제에 미치는 영향

2023년 2월

정선문¹⁾, 이성태²⁾

1) 동국대학교 경영대학 회계학과 조교수, sunmoonjung@dongguk.edu

2) 홍익대학교 공과대학 전자전기공학부 조교수, lst777@hongik.ac.kr

< 차례 >

I. 연구의 배경과 목적

II. 기후변화 물리적리스크

1. 기후변화 물리적리스크란
2. 기후변화 시나리오와 물리적리스크

III. 한국 경제와 글로벌가치사슬

1. 글로벌가치사슬과 거시경제
2. 세계산업연관표

IV. 수입경로 통한 물리적리스크 전파

1. 교역상대국 기온변화로 인한 수입물가 변화예측
2. 기후변화 시나리오별 미래 물가변화율 추정
3. 해외 물리적리스크가 원자재 수입가격에 미치는 영향
4. 수입가격 변화가 국내 물가에 미치는 영향
5. 분석 결과 요약

V. 수출경로 통한 물리적리스크 전파

1. 한국 수출의 상대국 소득 탄력성 분석
2. 기후변화로 인한 교역상대국 GDP 변화 분석
3. 해외 교역국 기후변화가 산업별 수출에 미치는 영향 예측
4. 분석 결과 요약

VI. 결론 및 시사점

1. 연구의 공헌점
2. 정책적 시사점

참고문헌

〈 요약 〉

기후변화로 인한 물리적리스크는 날씨와 기후 관련 피해가 자산가격에 영향을 미칠 가능성을 의미한다. 우리나라는 기후변화로 인한 물리적리스크가 이행리스크에 비해 경미한 것으로 여겨져 왔다. 그러나 한국은 수출입 의존도가 높은 경제 구조를 가지고 있어 교역국의 기후리스크가 글로벌가치사슬을 통해 전파될 가능성이 농후하다. 교역상대국에서 발생한 기후변화가 해당 국가의 경제성장률을 둔화시키거나 물가를 변화시키는 등의 물리적리스크가 발생하면 해당 국가의 물리적리스크가 무역경로를 통해 한국 경제에 파급효과를 줄 수 있다. 즉, 한국 자체적인 기후변화로 인한 물리적리스크는 경미할 수 있으나, 해외 물리적리스크가 글로벌가치사슬을 통해 우리 거시경제와 금융시스템에 불안정을 야기할 수 있다는 점에서 우리나라도 기후변화로 인한 물리적리스크에서 자유롭지 못하다.

물리적리스크는 수출경로와 수입경로 각각을 통해서 전파될 수 있으며, 우리 거시경제 지표에 영향을 미칠 것이다. (1) 수입경로를 통한 물리적리스크 전파는 다음과 같이 예측된다. 교역상대국의 기후변화로 상대국의 생산품 가격이 상승하거나 가격변동성이 커지면 우리가 수입하는 중간재 가격이 변동하게 된다. 우리 산업의 생산비 변동성이 커지면 국내 물가에 영향을 줄 뿐 아니라 장기적으로 수출경쟁력이 저하되어 경제성장이 둔화될 수 있다. (2) 수출경로를 통한 물리적리스크 전파는 다음 파급경로를 따를 것으로 예측된다. 교역상대국의 기후변화로 해당 국가의 GDP가 감소하면 우리나라 상품에 대한 수입수요가 감소할 것이다. 특히 수출의 소득탄력성이 높은 국내 산업일수록 상대국의 GDP감소로 인한 수출 타격이 심각할 것이다. 수출경로를 통한 물리적 리스크 전파는 교역상대국의 GDP를 손상시켜 우리 수출에 대한 수요를 줄이므로 결국 한국의 GDP가 감소할 것이다. 요컨대 해외 물리적리스크는 수입경로와 수출경로 양쪽으로 전파되어 우리 경제에 심각한 영향을 끼칠 수 있다.

본 연구에서는 실증분석을 통해 해외 물리적리스크가 국내 거시경제 지표(물가, 수출)에 미치는 영향을 정량적으로 분석한다. 먼저 기후변화로 인한 해외 각국의 물리적리스크를 정량화한다. 기후변화 시나리오별로 각국의 미래 GDP와 물가변화를 예측한다. 다음으로, 수입경로를 통한 물리적리스크 전파를 분석하기 위해서, 세계산업연관표와 국내 산업연관표를 사용하여 교역상대국의 기후변화로 인한 각국의 물가변화가 한국의 중간재 수입가격과 국내 물가에 미치는 가격파급효과를 분석한다. 다음으로, 수출경로를 통한 물리적리스크 전파를 분석하기 위해서, 세계산업연관표를 사용하여 우리나라 수출의 해외 소득탄력성을 산업별로 계측하고, 미래 기후변화로 인한 각국의 GDP손상이 우리 수출에 어떤 영향을 미치는지 추정한다.

본 연구는 기후변화 리스크를 분석한 선행 연구들과 차별화된다. 첫째로, 기후변화로 인한 물리적리스크를 분석한 해외연구들은 글로벌가치사슬을 통한 리스크 전파를 고려하지 않았다. 본 연구에서는 기존의 기후변화 경제모형이 예측하는 물리적리스크가 글로벌공급망을 통해 전세계로 전파될 수 있음을 정량적으로 보여준다. 둘째로, 기후변화가 금융리스크에 미치는 영향을 분석한 국내 선행연구들은 이행리스크에 초점을 맞추었고, 물리적리스크에 대한 분석은 희소했다. 본 연구에서는 해외 물리적리스크가 우리 금융시스템에 유의한 영향을 끼칠 수 있음을 실증적으로 보여준다.

본 연구는 정책적 시사점이 있다. 금융당국이 궁극적으로 금융시스템 안정화를 도모하고자 한다면, 본 연구는 교역상대국 물리적리스크가 산업부문에 미치는 영향을 산업별로 나누어 분석함으로써, 정책당국이 어떤 부문에 개입하여야 하는지 구체적인 방향을 제시하는 정책마련의 밑거름이 될 것으로 기대된다.

I. 연구의 배경과 목적

기후변화에 관한 정부간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, 이하 'IPCC')는 2021년 8월 기후변화에 대한 최신 분석보고서를 발표했는데, 동 보고서에 따르면 지구온난화가 인간의 온실가스 배출활동에 의해 매우 빠른 속도로 진행되고 있다고 나타났다. 지구평균온도가 산업화 이전(1850~1900년)에 대비해 약 1.09°C 상승하였으며, 온실가스 배출이 현행대로 지속될 경우 2060년 이전에 지구 평균 온도상승폭이 위험수준(1.5~2°C)을 넘어서며 폭염 등의 기상이변이 빈번히 발생할 것으로 전망하였다. IPCC는 지구온난화가 이미 심각한 상황이며 지구의 평균온도 추가상승으로 생태계 불안, 인간활동 제약이 더욱 커질 수 있다고 경고했다(IPCC 2021).

기후변화에 따른 대내외 경제환경 및 금융시스템 변화에 직면한 상황에서 각국의 중앙은행이 어떤 역할을 수행해야할지에 대한 대응방안 마련이 긴요한 시점이다(한국은행 2021). 기후변화로 인한 리스크는 물리적리스크와 이행리스크로 분류할 수 있다. 물리적리스크는 날씨와 기후 관련 피해가 자산가격에 영향을 미칠 가능성을 의미하며, 이행리스크는 저탄소 경제로 전환하는 과정에서 발생하는 리스크이다. 국내에서도 중앙은행인 한국은행 중심으로 기후리스크와 금융시스템의 관계를 분석한 연구들이 시도되었다(박수련과 정연수 2018; 김재윤과 전은경 2021; 인소영과 박기영 2021). 기후변화에 대응한 탄소중립 이행과정에서 나타나는 이행리스크는 중앙은행의 책무인 물가안정 및 금융안정에 지대한 영향을 미칠 가능성이 있는데다 기후변화의 '대응주체 및 시계의 모호성' 특성으로 인해 중앙은행의 적극적 대응이 필요하다는 주장이 제기되었기 때문이다.

이행리스크와 거시경제의 관련성을 분석한 연구는 상당수 존재하는 반면, 물리적리스크와 거시경제의 상호작용을 분석한 연구는 매우 희소하다.³⁾ 우리나라는 수출중심국가로 글로벌가치사슬(Global Value Chain, 이하 'GVC')의 중심에 놓여있기 때문에,⁴⁾ 해외에서 발생하는 물리적리스크에 상당히 노출되어 있다. 중위도에 위치하는 우리나라 지리적 특성상 국내 물리적리스크는 상대적으로 경미하나(인소영과 박기영 2021),⁵⁾ 무역경로를 통해 우리나라로 전파되는 해외 물리적리스크의 잠재 위험은 과급력이 클 수 있다. 이러한 해외 물리적리스크가 우리 경제에 미칠 영향을 정량화하기 위해 본 연구에서는 전세계 각국의 기후자료 및 거시경제 자료를 사용하여 실증분석을 수행한다.

구체적으로, 본 연구에서는 해외 물리적리스크가 우리나라로 전파되는 경로를 두

3) 박수련과 정연수(2018)에서 물리적리스크로 인해 실물자산 가치하락이 보험과 은행업계에 영향을 미칠 수 있다는 제안을 하였으나, 이는 국내의 물리적리스크만을 고려한 주장이었다.

4) 한국의 GVC 참여율은 2017년 기준 55%로 세계 평균을 상회할 뿐 아니라 미국, 독일, 일본, 영국 등 OECD 주요국들에 비해 높은 수준을 유지 중이다(국제무역연구원, 2020).

5) Eckstein et al. (2018)에 따르면 2017년 기준 (자체적인) 물리적 리스크로 인한 한국의 GDP손실은 0.08%로 세계 108위이다.

가지(수입경로와 수출경로)로 설정하고 각 경로를 통해 우리나라 거시경제 지표(GDP, 물가)에 어떠한 변화가 야기되는지 분석한다. 첫째, 수입경로는 교역상대국에서 수출하는 원자재 가격 상승의 물가과급효과를 분석한다. 교역상대국의 기후변화는 원자재(예. 농산물)가격을 변화시키는데, 우리 산업에서 해당 원자재를 사용하고 있다면 수입가격 상승으로 우리나라 최종 생산품 물가에 영향을 줄 수 있다. 둘째, 수출경로는 교역상대국의 기후변화로 인한 GDP 손실이 우리 수출에 미치는 영향을 분석한다. 교역상대국의 기후변화는 해당국가의 생산성 하락 및 GDP 손실을 불러올 수 있는데, 해당 국가의 소득 감소는 곧 우리 생산품에 대한 수요 감소로 이어지고, 결과적으로 우리나라 GDP 손실로 이어질 것이다.

수입경로 분석 절차와 사용한 자료는 다음과 같다. (1)먼저 각국의 기후변화 자료가 필요한데, 기후변화지식포털(Climate Change Knowledge Portal, 이하 ‘CCKP’)에서 제공하는 과거 및 미래 기후변화 예측치를 사용한다. CCKP 기후 자료의 장점은 매우 긴 표본기간(1951~2021)에 걸쳐 국가별 기후 자료를 제공한다는 점이다. 또한 동일 포털에서 과거 기후 자료와 미래 기후변화 예측치를 모두 제공하고 있어 자료의 일관성이 보장된다는 점도 장점이다.

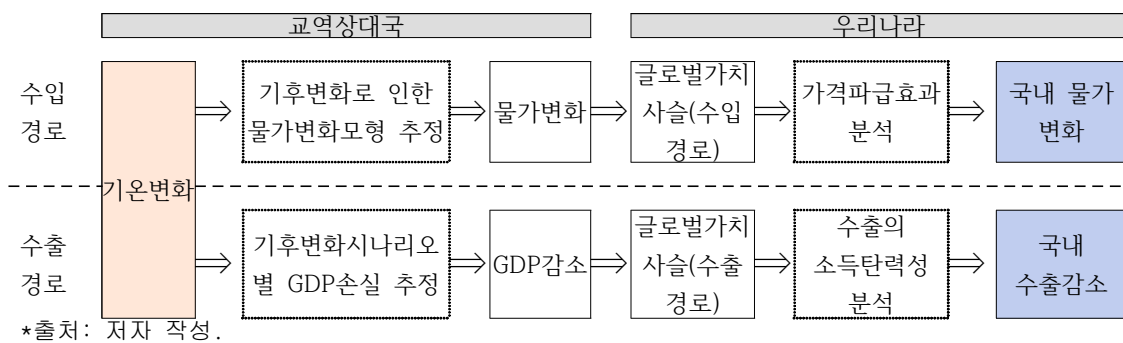
(2)국제노동기구(International Labour Organisation, 이하 ‘ILO’)에서 제공하는 각국의 과거 물가변화율 자료를 사용한다. ILO자료의 장점은 긴 자료기간(국가별로 1950~2022년도 사이 자료)에 대해 물가변화율 자료를 제공한다는 점이다. (1)과 (2)의 자료 중 과거 기온자료와 과거 물가변화율 자료를 활용해 기온변화와 물가변화의 관계식을 추정하고, 추정결과에 기온 변화 예측치를 대입하여 각국의 미래 물가변화를 예측한다. (3)앞서 분석에 따라 기후변화로 인한 교역상대국의 물가변화율이 추정되고 나면, 수입경로를 통해 우리나라 각 산업 원자재 가격에 미치는 영향을 산출하여야 한다. 이를 위해 경제협력개발기구(Organisation for Economic Co-operation and Development, 이하 ‘OECD’)에서 제공하는 세계산업연관표(Inter-country Input-Output Table, 이하 ‘ICIO’)를 사용한다. ICIO를 사용하면 우리 각 산업별로 수입 원자재 국가별 비중을 파악할 수 있어, 산업별 가격과급효과 분석이 가능하다. (4)한국은행 산업연관표를 사용하여 해외 기후변화로 인한 원자재 가격상승이 국내 물가에 미치는 가격과급효과를 계측한다.

수출경로 분석 절차와 사용한 자료는 다음과 같다. (1) 먼저, 각국의 GDP(소득의 대용치)가 우리 수출에 미치는 영향을 계량화하기 위해, 수출의 소득탄력성을 분석하여야 한다. 우리나라 산업별 과거 수출자료와 교역상대국 과거 GDP자료를 사용하여 소득 탄력성 계수를 추정하였다. (2)미래 수출변화를 예측하기 위해서는 각국의 기후변화로 인한 물리적리스크 자료가 필요한데, 녹색금융협의체(Networks for Greening Financial Systems, 이하 ‘NGFS’)에서 제공하는 국제응용시스템분석연구소(International Institute for Applied Systems Analysis, 이하 ‘IIASA’)의 국가별 GDP 예측자료를 사용한다. 해당 자료는

기후변화 시나리오(현행유지, Below 2°C, Net Zero 2050)에 따른 물리적리스크와 이행리스크를 모두 반영하여 각국의 2100년까지의 연도별 GDP를 예측한 것이다. 예측에는 통합기후모형(Integrated Assessment Model, 이하 ‘IAM’)이 사용되었다. (3) 현행 유지시 탄소감축안에 비해 훼손되는 각국의 GDP를 앞서 (1)에서 추정한 수출의 소득탄력성 계수와 곱하여 우리 수출 감소분을 구한다.

요컨대, 해외 물리적리스크가 우리나라의 수입경로 및 수출경로를 통해 우리 거시경제에 미치는 영향을 분석한 본 연구를 도식화하면 <그림1>과 같다.

<그림 1> 기후변화 물리적리스크가 수입경로를 통해 국내 거시경제에 미치는 영향



본 연구는 기후변화 리스크를 분석한 선행 연구들과 차별화된다. 첫째로, 기후변화로 인한 물리적리스크를 분석한 해외연구들은 글로벌가치사슬을 통한 리스크 전파를 고려하지 않았다. 본 연구에서는 기존의 기후변화 경제모형(예, IAM모형)이 예측하는 물리적리스크가 글로벌공급망을 통해 전세계로 전파될 수 있음을 정량적으로 보여준다. 둘째로, 기후변화가 금융리스크에 미치는 영향을 분석한 국내 선행연구들은 이행리스크에 초점을 맞추었고, 물리적리스크에 대한 분석은 회소했다. 본 연구에서는 해외 물리적리스크가 우리 금융시스템에 유의한 영향을 끼칠 수 있음을 실증적으로 보여준다.

본 연구는 정책적 시사점이 있다. 금융당국은 궁극적으로 거시경제와 금융시스템 안정화를 도모하고자 한다. 본 연구는 교역상대국의 물리적리스크가 수입경로와 수출경로 각각을 통해 우리나라 산업부문에 미치는 영향을 분석함으로써, 우리나라에 전파되는 물리적리스크로 인한 경제적 피해를 최소화하기 위해 정책당국이 어떤 부문에 개입하여야 하는지 방향을 제시한다. 또한, 기존의 해외 중앙은행 연구들은 산업별 분석이 아닌 경제 전체 수준의 분석만을 주로 수행하였는데, 본 연구에서는 산업별 분석결과를 제시하여 특정 산업부문이 얼마만큼의 물리적리스크에 노출돼 있는지 구체적으로 제시하여 산업정책을 담당하는 부처에 유용한 정책마련의 밑거름을 제공할 것으로 기대된다.

본 연구의 범위를 벗어나기는 하지만 본 연구에서 계측한 해외 물리적리스크로 인한 거시경제 리스크(GDP 손상 및 물가변화)는 궁극적으로 금융시스템에도

영향을 줄 것으로 예상된다. 예컨대 금융리스크는 주식 및 채권가치 하락, 자산가치 하락으로 인한 부도율 상승 및 은행권 BIS비율 악화가 있을 것이다. 본 연구의 거시경제 분석 결과는 후속연구에서 해외 물리적리스크가 국내 금융리스크에 미치는 영향을 분석하는 기초자료를 제공한다.

II. 기후변화 물리적리스크

2.1. 기후변화 물리적리스크란

2015년 파리협약에서는 처음으로 기후변화 대응에 있어 금융의 역할을 명시하였고, 이후 UN기후변화협약(United Nations Framework Convention on Climate Change, 이하 “UNFCCC”)에서 그 개념을 공식적으로 정의하면서 국제사회에서 기후금융이 중요한 화두로 등장했다(UNFCCC, 2018). 각국의 금융당국에서도 기후리스크를 단순한 윤리적 문제로 간주하지 않고 금융안정을 위협할 수 있는 중대한 리스크로 인식하기 시작했다. 예컨대 국제결제은행(Bank for International Settlements, 이하 “BIS”)은 2020년 1월 그린스완보고서를 발표하며 기후변화로 인한 경제 전반의 파괴적 영향과 금융위기 가능성을 경고하였다(BIS, 2020). 기후변화는 물리적리스크(physical risk)와 이행리스크(transition risk)의 두 가지 채널을 통해 경제를 위협하는데, 물리적리스크는 기후변화 자체로 인한 물적 손해 혹은 자산 가치의 하락을 의미하고, 이행리스크는 저탄소 경제로 전환하면서 발생하는 경제적 손실을 의미한다.

기후 변화는 우리가 홍수, 가뭄 및 폭풍과 같은 심각한 기상 현상을 야기할 수 있다. 인간이 주도한 기후 변화와 관련된 최근 이상 기후현상의 예로는 2013년 여름 중국의 폭염과 가뭄, 그리고 2014년 겨울 영국의 폭우와 홍수가 있다. 비교적 최근인 2021년에는 이상기후가 더욱 빈번하게 관찰되었다. 세계기상기구(World Meteorological Organization, 이하 “WMO”)의 페테리 탈라스 사무총장에 따르면 그린란드 빙상의 정점에 사상 처음으로 눈이 아닌 비가 내렸으며, 캐나다와 미국의 인접 지역 폭염으로 브리티시컬럼비아주의 한 마을의 기온이 거의 50도까지 올라갔다. 미국 남서부 지역의 폭염 기간 중 캘리포니아의 데스 밸리는 54.5도까지 치솟았고 중국의 한 지역에서는 수개월 치에 해당하는 비가 단 몇 시간 만에 내렸다. 유럽 일부 지역에서는 심각한 홍수가 발생하여 수십 명의 사상자가 나오고, 수많은 경제적 손실을 초래했다. 남아메리카 아열대 지역에서는 2년 연속 가뭄이 발생하면서 강 유역의 유량이 감소했으며 농업, 교통, 에너지 생산에 타격을 입었다 (WMO 2021).

기상이변 사건은 경제에 영향을 미칠 가능성이 있는 '물리적 위험'을 가져온다. 즉, 해수면 상승, 홍수, 폭염, 한파, 가뭄, 허리케인 및 산불을 포함한 물리적 위험은 생산 시설, 공급망 및 자본 자산을 손상시켜 자산 가치를 하락시키게 된다.⁶⁾ 물리적 위험은 만성적 위험(예. 꽃가루 매개자의 종 다양성이 점진적으로 감소하여

6) S&P Global에 따르면 기상이변 사건은 경제에 영향을 미칠 가능성이 있는 물리적 위험을 가져오며, 해수면 상승, 홍수, 폭염, 한파, 가뭄, 허리케인 및 산불을 포함한 물리적 위험은 생산 시설, 공급망 및 자본 자산을 손상시켜 자산 가치를 하락시키게 된다.

<https://www.spglobal.com/esg/education/essential-sustainability/climate/physical-risks>.

작물 수확량 감소, 삼림 벌채 또는 물 부족) 또는 급성 위험(예: 새로운 전염병)을 모두 포함하는데, 이러한 물리적위험은 결국 경제적 손실을 야기한다. 기후변화로 인해 실물부문에서 발생한 직접 또는 간접적인 물적 피해가 보험계약, 대출, 투자 등의 거래관계를 통해 금융부문에서 늘어난 보험비용, 자산가치의 하락 등을 통해 경제 전체의 생산성을 떨어트린다(박수련과 정연수 2018).⁷⁾ 또한 작물 생산성의 변화 등은 농산물 가격을 변화시키는 등의 거시경제 효과도 불러올 수 있다. 요컨대, 기후변화로 인한 물리적리스크는 이상기후 현상, 기온상승 등으로 인한 경제의 생산성 하락(예. GDP손실)과 생산품 가격변화(예. 농작물 가격상승) 등을 화폐단위로 나타낸 것으로 이해할 수 있다.

한국 경제는 이행리스크에 비해 물리적리스크가 적은 것으로 평가받아 왔다. 기후리스크를 산출한 연구에 따르면, 우리나라의 물리적리스크로 인한 GDP손실은 2017년 기준 0.08%에 그쳐 세계 108위의 매우 낮은 수준을 보였다(인소영과 박기영 2020). 그러나 위 연구에서 분석한 물리적리스크는 우리나라 자체의 기후변화로 인한 손실만을 고려한 것이고, 해외 물리적리스크가 우리나라로 전파되어 야기하는 경제적 손실은 고려하지 않았다. 그런데 한국 경제는 수출입 비중이 매우 높은 국가이므로, 무역경로를 통해 해외 리스크가 국내로 전파될 위험에 크게 노출되어 있다. 이에 본 연구에서는 글로벌가치사슬(GVC)을 통해 해외 물리적리스크가 국내 거시경제에 어떠한 파급효과를 미칠 것인지 정량적으로 분석하여 한국 경제가 처한 물리적리스크에 대한 이해도를 높이고자 한다.

2.2. 기후변화 시나리오와 물리적 리스크

기후변화 시나리오는 온실가스, 에어로졸, 토지이용 변화 등 인위적인 원인으로 발생한 복사강제력 변화를 지구시스템 모델에 적용하여 산출한 미래 기후 전망정보(기온, 강수량, 바람, 습도 등)이다. 기후변화 시나리오의 목표는 단순히 미래를 예측하는 것이 아니라, ‘광범위하게 발생할 수 있는 모든 범위의 미래’를 고려하여 신뢰할 수 있는 의사결정을 위해 불확실성을 이해하는 것이다. 따라서 기후변화 시나리오는 미래에 기후변화로 인한 영향을 평가하고 피해를 최소화하는데 활용할 수 있는 선제적인 정보로 활용된다.⁸⁾

기후변화 시나리오의 종류는 대표적으로 RCP(Representative Concentration Pathways, 대표농도경로)시나리오와 SSP(Shared Socioeconomic Pathways, 공통사회 경제경로)시나리오가 있다. IPCC 5차 평가보고서(2014)에서는 인간활동이 대

7) 예컨대, 기상이변이 더 자주 발생하면 사람들은 자산(집과 자동차 등)의 손상 비용을 충당하기 위해 보험에 더 의존하게 될 것이며 이는 경제전체의 보험비용을 높일 수 있다. 또한 기온이 상승하면 노동자의 휴식시간이 더 필요하고 노동생산성이 떨어질 수 있다. 과도한 강수량은 공장의 가동시간을 축소시키고 물류를 방해하는 등 기업부문의 생산성을 떨어트릴 것이다. 이러한 경로를 통해 기후변화는 경제의 총산출(GDP)을 감소시킬 것이다.

8) 관련 자료는 기상청 기후변화포털을 참고하라.

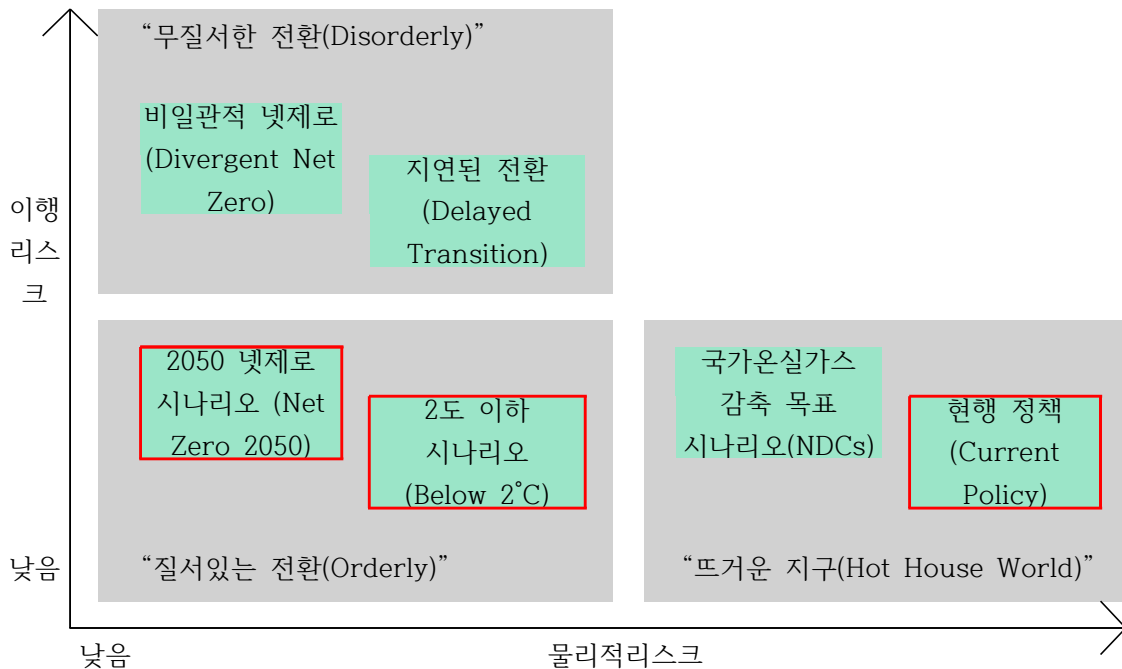
http://www.climate.go.kr/home/CCS/contents_2021/Definition.html.

기에 미치는 복사량으로 온실가스 농도를 정하였고, 같은 복사강제력에 대해서 여러 가지 사회-경제 시나리오가 가능하다는 의미에서 '대표(Representative)'라는 이름을, 그리고 온실가스 배출량 시나리오의 시간에 따른 변화를 강조하기 위해 '경로(Pathways)'라는 이름을 가진 RCP를 작성하였다. RCP는 네 가지 기후변화 시나리오(RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0, RCP8.5)를 제시하며, 각 시나리오 숫자는 온실가스로 인한 추가적인 지구 흡수에너지양을 의미한다. 예컨대, RCP9.5는 CO₂농도가 940ppm이 되면 8.5W/m²가 더 흡수됨을 의미한다(이는 현재 흡수되는 태양에너지양의 3.6%에 해당). SSP는 IPCC 6차 평가보고서(2021)에서 2100년 기준 복사강제력 강도(기존 RCP개념)와 함께 미래 사회경제변화를 기준으로 기후변화에 대한 미래의 완화와 적응 노력에 따라 5개의 시나리오로 구별한 것이다. SSP는 인구통계, 경제발달, 복지, 생태계 요소, 자원, 제도, 기술발달, 사회적 인자, 정책을 고려하였다.

기후 시나리오 분석에 관한 가장 포괄적이고도 구체적인 방법론은 전세계 중앙은행 및 감독당국의 협의체인 NGFS가 제시했다. NGFS는 상기 제시된 기후 시나리오를 통합하여 기후 시나리오를 제시하고, 각 시나리오에 따른 물리적리스크를 정량화하여 제시한다. NGFS 시나리오는 경제 및 금융 시스템에 대한 기후 위험 분석을 위한 공통 출발점을 제공하기 위해 개발되었다. NGFS 시나리오는 전 세계적으로 조화된 일련의 전환 경로, 물리적 기후 변화 영향 및 경제 지표를 통합하였으며, 대륙별이 아닌 개별 국가별로 물리적리스크를 평가하였다는 자료적 우수성이 있다. 따라서 NGFS시나리오는 주로 중앙 은행과 금융당국이 사용하기 위한 목적으로 개발되었지만, 더 넓은 민간 부문, 정부 및 학계에도 유용하게 사용될 수 있다(NGFS 2021).

NGFS에서는 기후변화와 저탄소 경제로 이행하기 위한 노력이 수요와 공급 모두에 영향을 미치기 때문에 거시 및 금융 위험이 증가할 수 있다고 평가한다. 이에 NGFS 최신 시나리오에서는 거시 경제 변수에 대한 기후변화의 영향을 산출하고 있으며 국가 수준으로 세분화되어 제시되고 있다. 본 연구에서는 NGFS 시나리오 중 세 개의 대표적인 시나리오(Current Policy, Below 2°C, Net Zero 2050)를 선정하여, 각 시나리오에서의 물리적리스크 지표를 사용한다. <그림2>는 NGFS 시나리오를 보여준다.

<그림2> NGFS 기후변화 시나리오



*출처: NGFS(2021), “NGFS Climate Scenarios for central banks and supervisors”

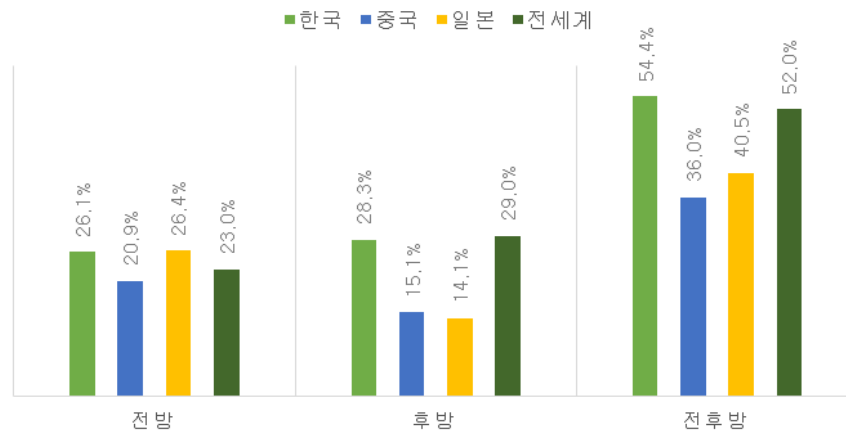
위 <그림2>에서 질서있는 전환(Orderly)은 즉각적이고 적극적인 정책 대응을 통해 파리협약에 부합하도록 온실가스 감축이 이뤄지는 시나리오다. 이행리스크와 물리적리스크가 모두 낮아 가장 바람직한 시나리오라고 볼 수 있는데, 2100년 지구 온도 상승폭을 산업화 이전 대비 1.5도 이하로 제한하는 ‘Net Zero 2050’ 시나리오와 ‘Below 2°C’ 시나리오로 구분된다. 후자의 경우 넷제로가 2070년에 달성될 것으로 추정되었다. <그림2>의 오른쪽 하단의 뜨거운 지구(Hot House World)는 글로벌 정책 대응이 지구온난화를 방지하기에 불충분해 이행 리스크는 낮으나 물리적리스크가 높은 시나리오다. ‘현행정책(Current Policy)’은 기후 정책 부재로 지구온난화가 3도까지 상승하는 시나리오이며, 본 연구에서 온실가스 감축 시나리오에 대비하여 사용하는 시나리오이다. 즉, 본 연구에서는 대표적인 감축시나리오 두 가지 (Net Zero 2050, Below 2°C)에 따른 물리적리스크를 현행유지(Current Policy)시의 물리적리스크와 대비하여 분석에 사용한다.

III. 한국 경제와 글로벌가치사슬

3.1. 글로벌가치사슬과 거시경제

기술이 발전하고 국가 간 교류와 교역이 활발해짐에 따라 생산활동이 급속도로 국제화되고 있다. 우리 경제도 예외는 아닌데, 특히 전자제품, 자동차 등 우리나라가 우위를 점하고 있는 산업은 국제적으로 분업화(fragmentation)가 가장 고도화된 산업이기도 하다. 따라서 교역상대국이 우리 경제의 무역패턴과 산업구조에 미치는 영향 또한 크다고 할 수 있다. 이처럼 제품생산이 점점 글로벌화되는 가운데, 글로벌가치사슬(Global Value Chain, 이하 “GVC”)의 개념이 주목받고 있다. GVC는 제품의 설계, 부품과 원재료의 조달, 생산, 유통, 판매에 이르기까지 제품이 만들어져 소비자에게 전달되는 과정이 다수의 국가 및 지역에 걸쳐 형성된 글로벌 분업체계를 의미한다. GVC는 전방 참여와 후방 참여의 두 가지 범주로 나뉘는데, 제조공정에서 전방참여는 원자재 및 중간재를 생산하여 수출함으로써 GVC에 참여하는 방식이며, 후방참여는 원자재 및 중간재를 수입하여 완제품을 조립, 가공하여 참여하는 방식이다. <그림3>은 우리나라의 GVC참여율을 중국, 일본, 전세계 평균과 비교한 그림이다.⁹⁾

<그림3> 한국의 GVC 전·후방 참여율 (2020년 기준)



*출처: 강내영(2021). “한국형 가치사슬의 구조변화 및 우리의 과제”에서 발췌하여 수정.

<그림3>이 보여주듯, 우리나라는 그 어떤 국가보다 글로벌가치사슬의 영향이 큰 국가라고 할 수 있다. 우리나라의 GVC 전방참여율은 26.1%, 후방참여율은 54.4%로, 전세계 평균 전방참여율 23%, 52%보다 높을 뿐만 아니라, 주변국인 중국 및 일본의 전·후방 참여율에 비해서도 높다. 특히 한국의 GVC

9) GVC참여도 지수는 다음과 같이 산출된다. 후방참여도는 총수출 중 국내 생산에 중간 투입된 해외 부가가치 비중으로, 전방참여도는 총수출 중 해외 생산에 중간 투입된 국내부가가치 비중으로 정의된다.

후방참여율(28.3%)은 중국과 일본의 후방참여율 15.1%, 14.1%에 비해 월등히 높은 수준이다(강내영 2021). 우리나라는 부존자원이 부족하여 일찍이 1960년대부터 가공무역에 기반을 둔 수출주도형 경제성장전략을 취해왔으며, 1980년대부터는 수입시장을 본격적으로 자유화하면서 생산활동의 국제적 분업화 과정에 적극 참여해왔다(정성훈 2014). 즉, 우리나라는 해외에서 원자재 및 중간재를 수입하여 완제품을 조립가공하여 수출하는 방식으로 글로벌가치사슬에 적극적으로 참여하고 있는 것이다.

이처럼 GVC참여율이 높은 한국경제에 있어 기후변화는 중요한 경제적 의미를 가진다. 즉, 교역상대국의 기후변화로 인한 물리적리스크(GDP손상, 물가변화 등)는 글로벌가치사슬을 타고 우리나라의 수출 및 수입에 지대한 영향을 끼치기 때문이다. 예컨대, 기후변화로 인해 해외 원자재 가격이 상승하면 우리나라로 수입되는 중간재 가격이 상승하여 한국에서 완성 가공되는 완제품의 가격 또한 상승하여 수출의 경쟁력을 떨어트릴 수 있다. 다른 예로는, 기후변화로 수출상대국의 GDP가 손상되면 한국 수출상품에 대한 수요가 감소하여 결국 한국의 GDP가 타격을 입게 된다.

3.2. 세계산업연관표

최근 학계나 국제 기구에서는 세계산업연관표(Inter-Country Input-Output, “ICIO”)를 활용하여 국가 및 산업 간의 가치사슬 구조를 측정하고 이것이 국가에 어떤 정책적 시사점을 지니는지 활발한 논의가 이루어지고 있다(국제무역연구원 2020). 세계산업연관표란 국가별 산업연관표와 국가 간의 무역데이터를 이용하여 전 세계의 각 국가 및 산업 간의 투입산출 구조를 하나의 산업연관표로 작성한 것이다.¹⁰⁾ 본 연구에서 사용할 세계산업연관표는 OECD에서 개발한 OECD Inter-Country Input-Output (ICIO) Tables로, 1995년에서 2018년까지 매년 전세계 66개국 간의 중간재와 최종재의 수출입을 국가-산업별로 연결하였다. 산업은 국제연합(United Nations, 이하 “UN”)에서 사용하는 ISIC Rev.4를 따라 45개로 분류하였다. 본 연구에서 OECD의 세계산업연관표를 사용하는 이유는 포함된 국가와 산업의 개수가 다른 산업연관표에 비해 많고, 다른 산업연관표가 5년 주기로 작성된 것에 비해 OECD의 세계산업연관표는 1995년부터 매년 주기로 작성되기 때문이다. 세계산업연관표의 기본적인 구조는 다음의 <그림4>와 같다.

<그림4> 세계산업연관표의 구조

	국가A-산업x 중간투입	국가A-산업y 중간투입	국가B-산업x 중간투입	국가B-산업y 중간투입	...	국가A 국내최종수요	국가B 국내최종수요	...	합계
국가A- 산업x	국내산업x 생산품의	국가A-산업x로 부터의	국가A-산업x로 부터의	국가A-산업x 로부터의	...	국내산업x 생산품의	국가A-산업x 수출품에	...	국가A-산 업x의

10) 세계산업연관표의 구체적인 작성방법은 매우 복잡하며 통일되어 있지 않다(정성훈 2014). 세계 산업연관표의 작성법을 깊게 다루는 것은 본 보고서의 범위를 벗어난다.

	중간재 사용	수입품의 중간재 사용	수입품의 중간재 사용	수입품의 중간재 사용		국내 최종수요	대한 국가 B의 최종수요		총산출
국가A- 산업y	국가A-산업y로 부터의 수입품의 중간재 사용	국내산업y 생산품의 중간재 사용	국가A-산업y로 부터의 수입품의 중간재 사용	국가A-산업y 로부터의 수입품의 중간재 사용	...	국내산업y 생산품의 국내 최종수요	국가A-산업y 수출품에 대한 국가 B의 최종수요	...	국가A-산 업y의 총산출
국가B- 산업x	국가B-산업x로 부터의 수입품의 중간재 사용	국가B-산업x로 부터의 수입품의 중간재 사용	국내산업x 생산품의 중간재 사용	국가B-산업x 로부터의 수입품의 중간재 사용	...	국가B-산업x 수출품에 대한 국가 A의 최종수요	국내산업x 생산품의 국내 최종수요	...	국가B-산 업x의 총산출
국가B- 산업y	국가B-산업y로 부터의 수입품의 중간재 사용	국가B-산업y로 부터의 수입품의 중간재 사용	국가B-산업y로 부터의 수입품의 중간재 사용	국내산업y 생산품의 중간재 사용	...	국가B-산업y 수출품에 대한 국가 A의 최종수요	국내산업y 생산품의 국내 최종수요	...	국가B-산 업y의 총산출
	부가가치	부가가치	부가가치	부가가치	...				
	국가 A-산업x의 총산출	국가 A-산업y의 총산출	국가 B-산업x의 총산출	국가 B-산업y의 총산출	...				

*출처: OECD (2022). "Development of Inter-country Input-output Database 2021 Edition"

요컨대 한국은 글로벌가치사슬 참여율이 높아 타국에서 발생한 물리적리스크가 GVC를 통해 국내로 전파될 가능성이 크다. 이에 본 연구에서는 GVC(수입경로 및 수출경로)를 통한 물리적리스크 파급이 거시경제 지표(GDP, 물가변화)에 미치는 영향을 정량적으로 분석하여 기후변화가 한국 경제에 미칠 영향을 포괄적으로 제시하고자 한다.

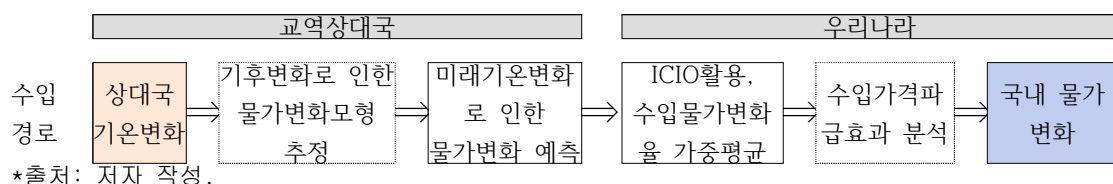
IV. 수입경로 통한 물리적리스크 전파

교역상대국의 기후변화로 상대국의 생산품 가격이 상승하거나 가격변동성이 커지면 우리가 수입해서 사용하는 원자재 가격이 영향을 받는다. 한국 경제는 GVC 후방참여율이 상당히 높기 때문에 수입하는 중간재의 가격이 한국 수출품의 가격 경쟁력에 유의한 영향을 미칠 수 있다. 이는 장기적으로 한국의 수출경쟁력을 저하시킬 수 있는 심각한 문제이다. 이에 본 절에서는 교역상대국의 물가변화가 수입경로를 통해 국내 물가에 미치는 영향을 실증 분석하여 물리적리스크 전파의 파급력을 정량적으로 제시한다. 분석절차를 설명하기에 앞서, 기후변화에 민감하게 변동하는 상품인 농작물 가격을 분석대상으로 삼았다는 점을 미리 밝혀둔다(Faccia, Parker, & Stracca 2021).

수입경로 분석 절차는 다음과 같다. 첫 번째로, 각국의 과거 기후변화 자료와 물가변화율 자료를 사용하여 기온변화와 물가변화의 관계식을 추정한다(Faccia, Parker, & Stracca 2021). 선행연구의 모형을 따라 절대 기온이 아니라 1951-1980년 평균기온을 상회하는 이상기온(extreme temperature)으로 비롯되는 물가변화율을 추정한다. 추정된 기온-물가변화율 계수에 미래 기온 변화 예측치를 대입하여 각국의 미래 물가변화를 예측한다. 이때 공통사회경제경로(SRES)의 SSP116과 SSP585 두가지 시나리오 하에서의 미래 기온 예측치를 사용한다. 앞서 분석에 따라 기후변화로 인한 교역상대국의 물가변화율이 추정되고 나면, 셋째로 수입경로를 통해 우리나라 각 산업 원자재 가격에 미치는 영향을 산출한다. 넷째로, 교역상대국 기후변화로 인한 원자재 가격변동이 국내 물가에 미치는 영향(가격파급효과)을 분석한다. 가격파급효과분석을 할 때는 가장 최근의 산업연관구조(2019년)가 미래에도 동일하게 유지된다는 가정 하에 분석을 진행한다.

본 연구는 경제 전체 수준에서 분석했던 선행연구들과 달리 산업별로 기후변화의 파급효과를 산출한다. 산업별 분석을 위해 OECD 세계산업연관표에 나타난, 각 산업별로 각국의 농산물에 의존하는 비중을 사용하여 수입농산품의 파급효과를 가중평균(weighted average)한다. 최종적으로, 가중평균된 산업별 수입가격변화가 국내 물가변화에 미치는 영향을 산출하기 위해 가격파급효과 분석을 수행한다. 수입경로 분석 절차를 도식화하면 <그림5>와 같다.

<그림 5> 기후변화 물리적리스크가 글로벌가치사슬을 통해 국내 거시경제에 미치는 영향



4.1. 교역상대국 기온변화로 인한 수입물가 변화예측

지난 10년동안, 자연재해가 경제활동에 미치는 영향에 대한 연구들이 증가하고 있다(Noy 2009; Strobl 2011; Fomby et al. 2013; Felbermayr and Gröschl 2014). 문헌에서는 자연재해가 특히 개발도상국에서 단기적인 경제 활동을 축소시키는 영향이 있다고 제시하고 있다. 보다 장기적인 영향에 대한 실증적인 증거는 뚜렷한 합의가 이루어지고 있지 않으나, 몇몇 연구들은 자연재해가 경제활동에 10년 이상의 장기적인 영향을 미친다고 보고한 바가 있다(Coffman and Noy 2012; Hornbeck 2012; Hsiang and Jina 2014). 자연재해의 영향은 보통 공급충격으로서 경제활동을 축소시키고 물가는 상승시키는 요인으로 간주되어왔다. 그러나 최근 많은 연구에서 이러한 가정에 의문을 제기하고 있다(Batten 2018; Ciccarelli and Marotta 2021). 즉, 자연재해로 인한 공급충격이 경제활동과 가격 양쪽에 하방 압력을 가하는 '케인지안 공급 충격'(Guerrieri et al. 2020)으로 나타날 수 있다는 것이다.

자연재해가 인플레이션에 미치는 영향을 실증적으로 분석한 연구들을 살펴보면 다음과 같다. Heinen et al.(2019)는 허리케인이 카리브해 섬 15개에 미치는 인플레이션 영향을 분석하였는데, 바람과 홍수 피해의 잠재적 영향에 주목했다. 동 연구에서는 허리케인이 식료품과 기타상품(식료품, 주택, 유틸리티 제외)에 대한 인플레이션에 유의한 영향을 미치는 것을 발견하였다. Parker(2018)는 212개국에서 자연재해가 인플레이션에 미치는 영향을 고려했는데, 선진국의 경우 자연재해의 영향이 제한적이나 개발도상국의 경우 상당한 수준의 영향이 발견되었으며 몇년동안 지속될 수 있는 것으로 나타났다. 요컨대, 자연 재해의 경제적 영향에 관한 기존 문헌은 주로 지진, 폭풍, 홍수 및 가뭄에 초점을 맞추었는데, 그마저도 많은 연구가 진행되지 않았다.

한편, 이상기온의 경제적 영향에 대한 연구를 살펴보면 다음과 같다. Dell et al. (2012)은 1950-2003년 기간동안 기온과 강수량의 변화가 미치는 영향을 연구했는데, 기온이 높을수록 경제 성장이 억제된다는 결과를 보고했다. Acevedo et al. (2020)은 1950-2015년 동안 180개국의 연간 자료를 사용하여 기온과 경제성장률 간의 비선형적 관계를 발견했다. 즉, 평균기온이 낮은 국가에서는 기온이 경제 성장에 약간 긍정적인 영향을 미치나, 평균기온이 높은 국가에서는 기온이 경제에 부정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 더불어, 동 연구에서는 온도가 높아지면 열에 노출된 생산부문의 노동 생산성이 낮아지는 반면 열에 노출되지 않은 산업에서는 온도 상승이 노동 생산성에 큰 영향을 미치지 않는 것도 발견하였다. 동 연구는 저소득국가에서 2100년까지 기온상승으로 인해 생산량이 9% 감소할 것으로 추정했다. Bandt et al. (2021)은 1960-2017년 기간 동안 기후 변화가 126개국의 중위소득 이하 국가들에 미치는 영향을 연구하였고, 기온이 지속적으로 1°C 상승할때마

다 1인당 실질 GDP의 연간 성장률이 0.74~1.52% 포인트 낮아진다는 것을 발견하였다.

한편, 기후변화는 농업과 같이 열노출이 심한 산업 분야에 더욱 뚜렷한 영향을 주는 것으로 알려졌다. Roberts와 Schlenker(2013)는 기온상승이 작물에 미치는 영향이 위로 볼록(concave)의 관계가 있음을 발견했다. 즉, 기온상승 초반에는 작물 수확량이 늘어나지만, 기온상승이 극심해질수록 작물 수확에 오히려 부정적 영향을 주는 것을 발견했다. De Winne and Peersman(2018)에서는 기후변화가 농업 생산에 미치는 악영향이 전세계적으로 전파될 수 있다고 경고했다. 선진국의 경우 자체적으로는 농업 비중이 크지 않음에도 불구하고 해외 농산물 생산가격 변화로 인해 선진국 경제가 상당한 곤경에 처할 수 있다고 주장했다.

Faccia et al.(2021)에서는 이상기온이 인플레이션에 미치는 영향을 분석하였다. 동 연구는 48개 국가의 패널자료를 사용하여 물가에 대한 국가별 기온 충격의 영향을 추정하였다. 해당 연구에 따르면 여름 폭염은 단기적으로 농산물 인플레이션을 증가시킨다. 그러나 중기적으로는 이상 기온이 가격 지수에 미치는 영향은 유의하지 않거나 부정적인 것으로 나타났다. 기온과 인플레이션 간의 부정적인 관계는 대체로 비선형적이며, 이상기온의 폭이 큰 경우에 더 강한 유의성을 나타냈다.

요컨대, 선행연구들에 따르면 기후는 농산물 생산량 및 가격, 궁극적으로는 GDP에까지 영향을 미칠 수 있다(Heinen et al. 2019; Parker 2018; Dell et al. 2012; Acevedo et al. 2020; Bandt et al. 2021; Faccia et al. 2021). 또한, 해외의 기후변화로 인한 농산물 가격 변화가 기타 지역의 경제에까지 파급효과가 있을 것으로 예측된다(De Winne and Peersman 2018). 본 연구에서는 선행연구에 기반하여 과거 각국의 기온변화가 농산물가격 인플레이션에 비선형적인 영향을 미쳤을것으로 상정하고, 식(1)과 같이 기온-식품가격 관계를 나타내는 고정효과 모형을 설정한다.

$$\ln(P_{c,t}) - \ln(P_{c,t-1}) = \beta_1 Temp_{c,t} + \beta_2 Temp_{c,t}^2 + \sum_{n=1}^3 \gamma_n \Delta \ln(P_{c,t-n}) + CountryFE + \epsilon_{c,t} \quad (1),$$

where c is the country index and t stands for the time index with annual frequency.

종속변수인 $\ln(P_{c,t+h}) - \ln(P_{c,t-1})$ 은 c국가의 전년도 기말 농산물가격지수 대비 해당연도 기말 농산물가격지수의 변화율이다. 과거 기온 및 미래 기온예측 자료(기후변화정보포털 CCKP에서 획득)가 연간 빈도로 존재하기 때문에,¹¹⁾ 식 (1)의 관측단위도 국가-연도 단위이다. 관심변수인 $Temp_{c,t}$ 는 c국가의 t연도 이상기온인데, t연도 평균기온에서 1951~1980년 전체기간 평균기온을 차감한

11) 국가별 과거 기온 자료는 CCKP에서 계절(분기)단위로 획득 가능하나 미래 기온예측치는 연간빈도로만 제공된다. 본 연구에서는 과거 기온 및 물가변화 자료로 기온-식품가격 관계식을 추정한 뒤 궁극적으로 미래의 기온변화 예측치를 대입하여 미래 식품가격지수를 예측하는 것이 목적이므로, 과거 기온자료와 미래 기온자료의 관측단위를 통일하여야 한다.

값으로 정의된다. 그리하여 추정된 β_1 의 계수는 이상기온과 농산물가격지수변화율의 관계를 나타낸다. 더불어, 지난 3년간의 물가변화 추세가 t 연도 물가변화에 미치는 영향을 통제하기 위하여 전년도, 2년전 및 3년전 농산물가격지수 변화율($\Delta \ln(P_{c,t-1}), \Delta \ln(P_{c,t-2}), \Delta \ln(P_{c,t-3})$)를 통제하였다. 국가별로 농산물가격변화율의 패턴이 다를 수 있어 국가 고정효과(Country FE)를 통제하였다.

식(1) 추정결과 이상기온 일차항의 계수(β_1)가 유의한 양(음)이라면 이상기온이 높아질수록 농산물가격이 상승(하락)했다는 의미이다. 이상기온 이차항의 계수(β_2)가 유의한 양(음)이라면 이상기온과 농산물가격 간에 비선형적 관계가 있으며, 그 함수는 위(아래)로 볼록한 형태라는 의미이다. 예컨대 β_1 가 유의한 음이고 β_2 가 유의한 양이라면, 이상기온이 상승함에 따라 농산물가격은 하락하나, 이상기온 상승폭이 지나치게 커지면 농산물가격이 상승한다는 결과로 해석된다.

식(1)을 추정할 때 사용한 표본은 총 161개국의 1981년~2021년 기간의 국가-연도 관측치 2,673개¹²⁾이다. <표 1>은 표본의 기초통계량 및 변수간 상관계수를 보여준다. Panel A에서 연간 농산물가격변화율($\ln(P_{c,t+h}) - \ln(P_{c,t-1})$)은 평균 7.2%이며 중위수는 3.6%이다. 이상기온($Temp_{c,t}$)는 평균 0.9°C이다. 1, 2, 3년전 농산물가격변화율($\Delta \ln(P_{c,t-1}), \Delta \ln(P_{c,t-2}), \Delta \ln(P_{c,t-3})$)의 평균은 각각 7.2%, 7.3%, 7.9%이다. Panel B에서 변수간 피어슨 상관계수를 보여준다. 연간 농산물가격변화율($\ln(P_{c,t+h}) - \ln(P_{c,t-1})$)은 이상기온($Temp_{c,t}$)과 유의한 음의 상관관계를 가지고 있으나($\rho = -0.130, p < 0.01$), 상관계수의 절대값은 크지않다.

12) 최초 표본은 230개국가의 연도별 관측치로 출발하였으나, 모든 국가-연도에 대해 과거 기온 및 물가자료가 존재하는 것이 아니므로 자료가 없는 관측치를 제외한 후 최종 표본은 161개국의 2,673개 국가-연도 관측치가 되었다. 161개국은 다음과 같다: Aruba, Afghanistan, Angola, Anguilla, Albania, United Arab Emirates, Argentina, Armenia, Australia, Austria, Azerbaijan, Burundi, Belgium, Benin, Burkina Faso, Bangladesh, Bulgaria, Bahrain, Bahamas, Bosnia and Herzegovina, Belarus, Belize, Bolivia, Barbados, Brunei Darussalam, Bhutan, Botswana, Canada, Switzerland, Chile, Côte d'Ivoire, Cameroon, Democratic Republic of the Congo, Congo, Colombia, Costa Rica, Cayman Islands, Cyprus, Czechia, Germany, Djibouti, Dominica, Denmark, Dominican Republic, Algeria, Ecuador, Egypt, Spain, Estonia, Ethiopia, Finland, Fiji, France, Gabon, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland, Georgia, Guinea, Guadeloupe, Gambia, Equatorial Guinea, Greece, Grenada, Guatemala, Honduras, Croatia, Haiti, Hungary, India, Ireland, Iran (Islamic Republic of), Iraq, Iceland, Israel, Italy, Jordan, Kyrgyzstan, Cambodia, Kiribati, Saint Kitts and Nevis, Republic of Korea, Kuwait, Lao People's Democratic Republic, Lebanon, Liberia, Saint Lucia, Sri Lanka, Lesotho, Lithuania, Luxembourg, Latvia, Morocco, Republic of Moldova, Madagascar, Mexico, North Macedonia, Mali, Myanmar, Montenegro, Mongolia, Mozambique, Mauritania, Montserrat, Martinique, Mauritius, Malawi, Malaysia, Namibia, New Caledonia, Niger, Nigeria, Nicaragua, Netherlands, Norway, Nepal, New Zealand, Oman, Pakistan, Panama, Palau, Papua New Guinea, Poland, Portugal, Paraguay, Palestine, Qatar, Russian Federation, Rwanda, Saudi Arabia, Sudan, Senegal, Singapore, Solomon Islands, Sierra Leone, El Salvador, San Marino, Serbia, South Sudan, Suriname, Slovakia, Slovenia, Sweden, Eswatini, Seychelles, Chad, Togo, Thailand, Timor-Leste, Tonga, Trinidad and Tobago, Tunisia, Türkiye, Ukraine, Uruguay, United States of America, Saint Vincent and the Grenadines, Viet Nam, Vanuatu, Samoa, South Africa, Zambia, Zimbabwe.

<표 1> 이상기온-농산물가격변화율 관계식

Panel A. 기초통계량

Variables	N	평균	p25	Median	p75	Min	Max	STD
$\ln(P_{c,t+h}) - \ln(P_{c,t-1})$	2673	0.072	0.011	0.036	0.076	-0.181	4.573	0.191
$Temp_{c,t}$	2673	0.904	0.530	0.869	1.269	-1.901	3.265	0.626
$\Delta \ln(P_{c,t-1})$	2673	0.072	0.010	0.036	0.077	-0.181	4.573	0.187
$\Delta \ln(P_{c,t-2})$	2673	0.073	0.011	0.037	0.083	-0.141	5.482	0.190
$\Delta \ln(P_{c,t-3})$	2673	0.079	0.012	0.039	0.087	-0.141	5.482	0.227

Panel B. 피어슨 상관계수

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
(1) $\ln(P_{c,t+h}) - \ln(P_{c,t-1})$	1				
(2) $Temp_{c,t}$	-0.130 <.0001	1			
(3) $\Delta \ln(P_{c,t-1})$	0.621 <.0001	-0.148 <.0001	1		
(4) $\Delta \ln(P_{c,t-2})$	0.367 <.0001	-0.170 <.0001	0.500 <.0001	1	
(5) $\Delta \ln(P_{c,t-3})$	0.265 <.0001	-0.153 <.0001	0.313 <.0001	0.552 <.0001	1

식 (1)을 추정한 결과는 <표 2>와 같다. <표 2>에서 관심변수인 이상기온($Temp_{c,t}$)의 추정된 계수 β_1 는 -0.034로, 1% 수준에서 유의하다. 즉, 연간 기온이 높아질수록 농산물가격은 하락하는 것을 나타낸다. 한편, 이상기온의 이차항($Temp_{c,t}^2$)의 추정된 계수 β_2 는 0.011로, 5% 수준에서 유의하다. 이 결과를 종합하면, 연간 기온이 높아질수록 농산물가격은 하락하지만 기온 상승폭이 지나치게 큰 경우에는 농산물가격이 오히려 상승하는 비선형적 관계가 있음을 나타낸다. 이러한 결과는 기온이 작물생산량에 비선형적 영향을 미친다는 선행연구와 일맥상통하는 결과이다(Roberts & Schlenker 2013). 전년도, 2년전, 3년전 농산물가격변화율 변수($\Delta \ln(P_{c,t-1})$, $\Delta \ln(P_{c,t-2})$, $\Delta \ln(P_{c,t-3})$)에 대한 계수들은 각각 유의한 양의 계수를 나타내어, 가격상승이 지속되어온 경우 당해 가격도 더욱 상승하는 추세를 보였다. 또한 지면상 보고하지 않았으나 연도 고정효과(Country FE)의 경우도 농산물가격변화율에 대해 약 4%의 설명력을 가지는 것으로 나타났다.¹³⁾ 다음 4.2.절에서는 <표 2>의 추정된 계수들 및 연도

13) 식(1)을 추정할 때 분기별 관측자료가 아닌 연도별 관측자료를 사용하였는데, 이는 미래 기온예측 자료가 연도별로만 존재하기 때문이다. 식(1)의 추정결과에 미래 기온예측을 대입하여 결국 미래 가격변화율을 구하는 것이 추정의 목적이기 때문에 분기별 자료를 사용한 추정은 미래 예측목적에 부합하지 않는다. 하지만 선행연구와의 비교목적으로 분기별 자료(161개국의 11,629개 국가-분기 관측치)를 사용하여 추정해 본 결과, 역시 이상기온($Temp_{c,t}$)의 계수는 유의한 음(-)으로, 이상기온 이차항($Temp_{c,t}^2$)의 계수는 유의한 양(+)으로 나타났다($\beta_1 = -0.003$, $p < 0.01$; β_2

고정효과의 계수를 사용하여 미래 기온예측치로 추정된 농산물가격변화율을 산출할 것이다.

<표 2> 이상기온-농산물가격변화율 관계식

Variables		Dep var: $\ln(P_{c,t+h}) - \ln(P_{c,t-1})$
		coef. (t-value)
$Temp_{c,t}$	β_1	-0.034*** (-3.32)
$Temp_{c,t}^2$	β_2	0.011** (2.26)
$\Delta \ln(P_{c,t-1})$		0.503*** (26.61)
$\Delta \ln(P_{c,t-2})$		0.027 (1.33)
$\Delta \ln(P_{c,t-3})$		0.033** (2.14)
Constant		0.361*** (7.12)
Country Fixed Effects		Yes
Observations		2,673
Adjusted R-squared		0.438

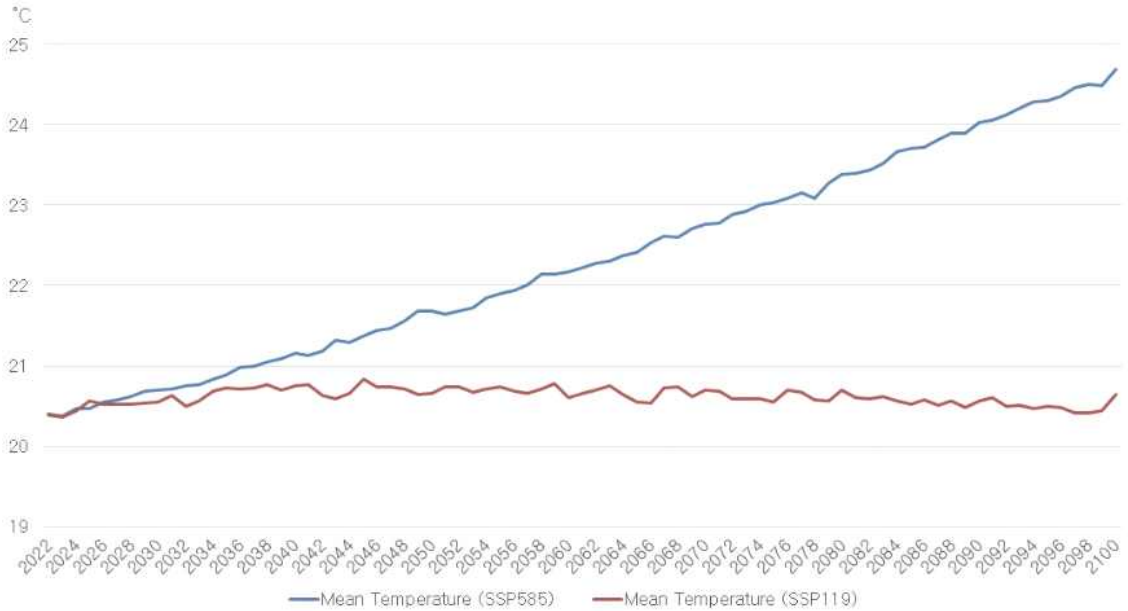
*, **, *** denote the significance at 10%, 5%, and 1%, respectively (two-tailed). In the parentheses are t-values.

4.2. 기후변화 시나리오별 미래 물가변화율 추정

본 절에서는 <표 2>의 추정된 계수들을 사용하여 미래 기온예측치로 추정된 농산물가격변화율을 산출한다. 2022년~2100년 기간동안의 미래 기온예측치는 공통사회경제경로(SRES)의 대표적인 2가지 시나리오(SSP119, SSP585) 하에서 예측된 값을 사용한다. SSP119(SSP1-1.9)는 가장 낙관적인 시나리오이며 2050년경에 전 세계 배출량이 넷 제로에 도달하는 경로이다. 즉, SSP119는 세기 말까지 지구 온난화를 1.5°C로 유지한다는 파리 협약에 부합하는 유일한 시나리오로, NGFS시나리오의 Below 2°C 및 Net Zero 2050에 상응한다. SSP585(SSP5-8.5) 시나리오는 화석연료 자원 사용을 저감하지 않으면서 전 세계 시장이 점점 글로벌화되고 기술진보를 통한 경제성장이 이루어진 경우의 미래이다. 이 경우 물리적리스크가 가장 높은 것으로 예측되며, NGFS시나리오의 현행(Current Policy)유지에 상응하는 시나리오이다. 각 시나리오 하에서 전 세계 평균 미래 기온 예측치는 <그림 5>에 표시된 것과 같다.

=0.001, $p < 0.05$). 이는 연도별 자료를 사용한 <표 2> 분석 결과와 일관된 결과이므로, <표 2>의 결과가 자료의 빈도(예. 분기별 혹은 연도별)에 따른 체계적 차이로 발생한 것은 아님을 알 수 있다.

<그림 5> 기온 예측 시나리오: SSP585 및 SSP119



*출처: NGFS Climate Explorer Database 사용 저자작성.

<그림 5>를 보면, SSP585 시나리오(NGFS 현행유지 시나리오에 상응)에서 전세계 평균 기온은 2100년에 24.7°C까지 상승한다. 반면, SSP119 시나리오(NGFS Net Zero 2050에 상응)에서 전세계 평균기온은 2100년에도 현재와 비슷하게 유지된다.

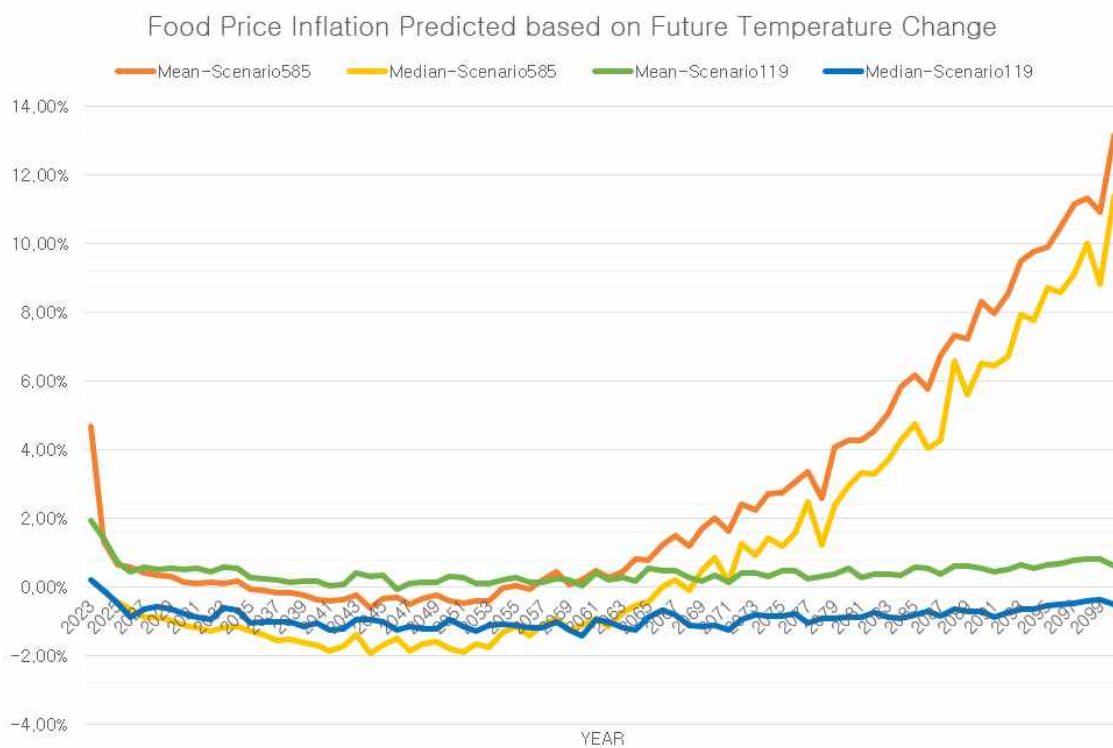
식(2)와 같이, 국가별 미래 이상기온 예측치($Temp_{c,t}$)와 과거 3개년간 물가변화 예측치($\Delta \ln(P_{c,t-1}), \Delta \ln(P_{c,t-2}), \Delta \ln(P_{c,t-3})$)를 추정결과로 얻은 계수들($\hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2, \hat{\gamma}_1, \hat{\gamma}_2, \hat{\gamma}_3$)에 대입하여 농산물가격변화율의 예측값($\ln(P_{c,t}) - \widehat{\ln(P_{c,t-1})}$)을 산출하였다.

$$\ln(P_{c,t}) - \widehat{\ln(P_{c,t-1})} = \hat{\beta}_1 Temp_{c,t} + \hat{\beta}_2 Temp_{c,t}^2 + \sum_{n=1}^3 \hat{\gamma}_n \Delta \ln(P_{c,t-n}) + \widehat{Country FE} + \epsilon_{c,t} \quad (2),$$

국가별 미래 이상기온 예측치($Temp_{c,t}$)는 국가별 연간 평균기온 예측치에서 1951-1980년 기간의 평균기온을 차감하여 정의한다. 과거 물가변화 예측치($\Delta \ln(P_{c,t-1}), \Delta \ln(P_{c,t-2}), \Delta \ln(P_{c,t-3})$)를 구하기 위해서, 각 연도별 동기간 물가변화율 $\Delta \ln(\widehat{P_{c,t}})$ 를 먼저 구한 후, 1년 뒤(t+1), 2년 뒤(t+2), 3년 뒤(t+3)의 전년도, 전전년도, 3년전 물가변화율로 사용한다. <그림 6>은 전세계 평균 물가변화 예측치를 보여준다.

<그림 6> 기후변화로 인한 식품가격변화율 예측치

*출처: 식(2) 계산법에 따라 저자작성.

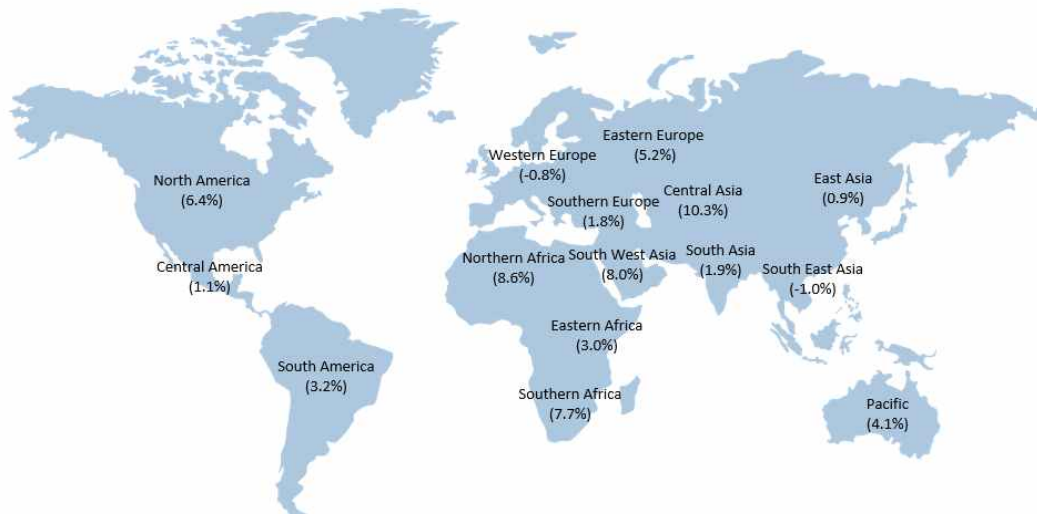


<그림 6>에서 탄소배출 증가율이 현행유지되는 경우 평균 인플레이션율을 보여주는 Mean-Scenario 585 그래프에 따르면, 미래 기온상승으로 인한 농산물가격은 단기적으로 상승하는 것으로 예측된다(2023년~2034년 기간 인플레이션율 0.1%~4.7% 사이). 그러나 이러한 일시적인 농수산물 가격 상승은 온도의 영향이 아닌 종속변수의 시차변수(lagged dependent variable)의 영향인 것으로 보인다. 중기적으로는 다소 하방 압력을 받는 것으로 나타났다(2035년~2056년 기간 인플레이션율 -0.6%~0.0% 사이). 그러나 장기적으로는 가격 상승 압력을 강하게 받는 것으로 나타났는데(2057년~2100년 인플레이션율 0.00%~13.2%), 2100년에 이르러서는 전세계 농산물 인플레이션율이 평균 13%를 상회하는 것으로 예측되었다. 현행유지시 중위 인플레이션율을 나타내는 Median-Scenario 585 그래프도 마찬가지로 농산물가격이 중기적으로는 약간의 하락세를 보이다가(2023년~2068년 기간 인플레이션율 -1.9%~0.2% 사이) 장기적으로는 가격 상승압력을 크게 받는 것을 나타낸다(2069년~2100년 인플레이션율 0.1%~11.4% 사이). 요컨대, 현재의 온난화 속도가 유지될 경우 농산물가격은 중기적으로는 다소 하락하며 안정세를 보일 수 있으나 2060년대 이후에는 급격히 가격이 상승하여 농산물 소비와 원자재가격이 불안정해질 것으로 예상된다.

한편, Mean-Scenario119와 Median-Scenario119은 탄소감축 노력(예. Below 2°C, Net Zero 2050 시나리오)으로 온난화 속도가 지연되는 시나리오에서의 평균 및 중위수 농산물 인플레이션율을 보여준다. 온난화가 지연되는 경우 중장기 평균 농산물 인플레이션율(Mean-Scenario119)이 -0.08%~1.94% 사이에서 유지되어

농산물 가격 충격의 우려에서 자유롭다. 중위 인플레이션을 또한 $-1.41\% \sim 0.21\%$ 사이에서 유지되어 농산물 가격이 현재 수준을 약간 하회하는 수준에서 유지되는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 앞서 탄소 현행유지 시나리오 그래프와는(Mean-Scenario585 및 Median-Scenario585) 사뭇 대비되는 결과로서, 전세계적인 탄소감축 노력이 중장기적으로 농산물가격을 안정화시키는데 기여한다는 것을 보여준다. 더 나아가, 전세계적인 탄소감축 노력은 각국의 원자재(예.농산물) 가격을 안정화시켜 해당 원자재를 중간재로 사용하는 교역상대국의 물가안정에도 기여할 수 있음을 시사한다. <그림 7>은 미래 기온변화(Scenario 585)로 인한 지역별 평균 농산물 인플레이션율을 보여준다(2023년~2100년 기간 인플레이션 평균).

<그림 7> 지역별 미래 기온변화(Scenario 585)로 인한 농산물가격변화율 예측치



*출처: 식(2) 계산법에 따라 저자작성. 지역별 현재-2100년 기간 연간인플레이션율의 평균.

4.3. 해외 물리적리스크가 원자재 수입가격에 미치는 영향

앞절에서 각국의 미래 기온상승으로 인한 물가변화율을 예측하였다. 본 절에서는 해외 농산물가격상승이 글로벌 수입경로를 통해 한국으로 파급되는 효과를 분석한다. 본 절에서는 온난화 속도가 현행유지될때의 시나리오를 가정하여(Current Policy 혹은 Scenario 585), 탄소감축을 하지 않는 경우 우리나라 원자재 수입가격이 얼마나 타격받는지 예측한다. OECD 세계산업연관표는 각국의 농산물(ISIC Rev. 4 산업코드 01~03)이 우리나라 각 산업에 투입되는 양을 보여준다. 세계산업연관표와 한국은행 산업연관표의 산업분류가 상이하므로 한국은행 산업분류 기준으로 통일하여 본 절의 분석을 수행한다. <표 3>은 한국의 산업별-교역상대국별 농산물 수입 의존도를 나타낸다. 각 칸의 값은 산업별 농산품 수입총량 대비 상대국가로부터의 수입량의 비중이다.

<표 3> 한국 산업의 교역상대국별 농산물 수입 비중

	농림수 산업	광산업	음식료 품업	섬유 및 가죽제 품 제조업	목재 및 종이, 인쇄 제조업	석탄 및 석유제 품 제조업	화학제 품 제조업	비금속 광물제 품 제조업	1차 금속제 품 제조업	금속가 공 제조업	컴퓨터, 전자 및 광학기 제조업
미국	31.87%	21.76%	33.92%	33.07%	16.22%	2.66%	30.76%	19.99%	20.05%	22.36%	20.35%
중국	8.52%	3.85%	9.47%	9.28%	0.19%	0.70%	8.36%	5.09%	5.18%	5.72%	5.35%
브라질	6.29%	2.87%	6.92%	6.82%	0.11%	0.70%	6.16%	4.19%	3.87%	4.28%	3.96%
러시아	5.32%	2.99%	5.38%	5.39%	0.95%	6.68%	5.05%	4.86%	7.84%	4.72%	3.48%
뉴질랜드	5.00%	23.21%	1.20%	1.13%	44.34%	0.63%	3.78%	6.30%	4.82%	5.86%	3.88%
필리핀	4.91%	2.20%	5.46%	5.34%	0.07%	0.40%	4.81%	2.93%	2.98%	3.29%	3.08%
호주	4.32%	2.48%	4.61%	4.54%	0.91%	0.45%	4.16%	3.00%	3.91%	3.09%	2.81%
인도네시아	4.10%	1.89%	4.55%	4.45%	0.16%	0.34%	4.02%	2.45%	2.49%	2.75%	2.57%
베트남	4.07%	3.06%	4.17%	4.13%	2.53%	0.47%	4.10%	2.88%	2.70%	3.17%	2.93%
캐나다	2.50%	6.26%	1.72%	1.70%	10.74%	0.35%	2.27%	2.69%	3.05%	2.70%	2.07%
아르헨티나	1.93%	0.87%	2.14%	2.10%	0.03%	0.16%	1.89%	1.15%	1.17%	1.30%	1.21%
태국	1.23%	0.68%	1.34%	1.32%	0.29%	0.10%	1.20%	0.75%	0.76%	0.84%	0.78%
칠레	0.99%	0.58%	1.07%	1.05%	0.29%	0.08%	0.97%	0.62%	0.71%	0.70%	0.64%
인도	0.97%	0.89%	0.98%	0.96%	0.98%	0.08%	0.92%	0.63%	0.62%	0.70%	0.62%
미얀마	0.79%	0.35%	0.88%	0.86%	0.01%	0.06%	0.78%	0.47%	0.48%	0.53%	0.50%
콜롬비아	0.73%	0.34%	0.80%	0.79%	0.01%	0.08%	0.74%	0.48%	0.48%	0.53%	0.50%
프랑스	0.72%	0.54%	0.51%	0.55%	0.34%	0.12%	0.55%	0.54%	0.52%	0.57%	0.44%
불가리아	0.60%	0.28%	0.66%	0.66%	0.01%	0.06%	0.59%	0.64%	0.58%	0.49%	0.50%
일본	0.60%	2.44%	0.22%	0.34%	4.27%	0.12%	0.55%	1.06%	1.00%	1.40%	1.16%
덴마크	0.57%	0.28%	0.51%	0.52%	0.03%	0.08%	0.49%	0.41%	0.40%	0.51%	0.36%
남아프리카 공화국	0.44%	0.21%	0.48%	0.47%	0.03%	0.04%	0.43%	0.26%	0.27%	0.29%	0.27%
이탈리아	0.40%	0.33%	0.40%	0.59%	0.21%	0.09%	0.40%	0.48%	0.43%	0.56%	0.47%
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
합계	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

*출처: 저자작성.

해외 물리적리스크가 GVC(글로벌가치사슬)를 통해 각 산업의 중간재 가격에 미치는 영향은 식(3)과 같이 계산된다.

$$WAP_{i,t} = \sum_{c=1}^n (Weight_{i,c} * \Delta \ln \widehat{P}_{c,t}) \quad (3),$$

where i, c, and t denote industries, countries, and years, respectively.

$WAP_{i,t}$ (Weighted Average Price-change)는 해외 각국의 수입농산물 가격상승이 한국 산업 i에 미치는 영향을 가중평균한 것이다. 이때 농산물가격상승률은 현행유지 시나리오 (Current Policy 혹은 Scenario 585)의 경우를 상정한다. 예컨대 농림수산업의 경우, $WAP_{i,t}$ 는 (31.87%*미국의 t연도 식품가격지수상승률)+(8.52%*중국의 t연도 식품가격지수상승률)+(6.29%*브라질의 t연도 식품가격지수상승률)+... 로 계산된다. <표 4>는 식(3)에 따라 산출된 산업별 $WAP_{i,t}$ 를 보여준다.

<표 4> 산업별 해외 물리적리스크로 인한 수입가격변화($WAP_{i,t}$)

	2025	2050	2075	2100
농림수산물	-0.69%	-0.76%	3.05%	13.42%
광산물	-0.63%	-0.87%	2.48%	12.67%
음식료품	-0.73%	-0.78%	3.08%	13.37%
섬유 및 가죽제품	-0.73%	-0.76%	3.07%	13.33%
목재 및 종이, 인쇄	-0.33%	-0.84%	2.03%	12.05%
석탄 및 석유제품	-0.16%	0.02%	1.52%	5.00%
화학제품	-0.61%	-0.67%	3.05%	13.19%
비금속광물제품	-0.76%	-0.73%	2.59%	11.98%
1차 금속제품	-0.69%	-0.58%	3.18%	13.17%
금속가공제품	-0.71%	-0.71%	2.64%	12.02%
컴퓨터, 전자 및 광학기기	-0.59%	-0.61%	2.23%	10.20%
전기장비	-0.67%	-0.66%	2.48%	11.28%
기계 및 장비	-1.01%	-1.00%	2.23%	11.70%
운송장비	-0.96%	-0.93%	2.40%	11.87%
기타 제조업 제품	-0.58%	-0.55%	2.50%	11.25%
전력, 가스 및 증기	-0.47%	-0.10%	3.90%	13.66%
수도, 폐기물처리 및 재활용서비스	-0.68%	-0.75%	2.60%	12.29%
건설	-0.42%	-0.79%	2.15%	11.88%
도소매 및 상품중개서비스	-0.71%	-0.80%	2.73%	12.96%
운송서비스	-0.96%	-0.80%	2.62%	11.98%
음식점 및 숙박서비스	-0.71%	-0.76%	3.13%	13.70%
정보통신 및 방송서비스	-0.72%	-0.79%	2.57%	12.14%
금융 및 보험 서비스	-0.73%	-0.85%	2.70%	12.90%
부동산서비스	-0.94%	-0.93%	2.59%	12.62%
전문, 과학 및 기술 서비스	-0.66%	-0.70%	3.03%	13.33%
사업지원서비스	-1.04%	-0.97%	3.07%	14.10%
공공행정, 국방 및 사회보장	-0.74%	-0.76%	3.15%	13.59%
예술, 스포츠 및 여가 관련 서비스	-0.70%	-0.69%	3.35%	14.14%
제조임가공 및 산업용 장비수리	-0.58%	-0.55%	2.50%	11.25%

*출처: 식(3)에 따라 저자작성.

<표 4>에서 확인할 수 있듯이, 단기적(2025년)으로는 모든 산업에서 가격 하방 압력이 가해지나(산업에 따라 -1.04%~-0.16% 사이의 수입원자재가격 상승률), 중기적으로는 가격 하방 압력이 사라진다. 예컨대 2050년에는 산업에 따라 -1.00%~-0.02%의 수입원자재가격 상승률을 보인다. 2075년에는 산업에 따라 1.52%~3.90%의 수입원자재가격 상승률을, 2100년에는 5.00%~14.14%의 가격상승률이 예측된다. 그러나 본고의 수입부문의 산업연관분석은 생산구조가 향후 일정하다는 가정을 활용하고 있다는 한계점을 유의할 필요가 있다.

4.4. 수입가격 변화가 국내 물가에 미치는 영향

다음으로, 지금까지 산출한 산업별 수입가격충격이 최종적으로 국내 물가에 미치는 영향을 계산한다. 이를 위해 가격과급효과 모형으로 산업별 수입가격충격이

국내가격에 미치는 과급효과를 산출한다. 가격과급효과모형은 한국은행 산업연관표를 사용한다. 먼저 이론적 모형을 소개하기 위해, 물가 투입산출모형의 기본모형에서 가격변동률 모형을 도출하고, 수입상품가격의 물가과급효과 모형으로 변형한다. 생산물의 단위당 중간생산물 투입액은 그 산업부문의 물량적 투입계수에 투입되는 상품의 가격을 곱하여 표시하고, 부가가치액은 부가가치계수(율)에 부가가치단위당 가격을 곱하여 표시할 수 있으므로 다음 식(4)와 같은 가격에 관한 균형방정식을 나타낼 수 있다(이춘근 2000; 한국은행 2019).

$$A'P + \widehat{A}^V P^V = P \quad (4)$$

여기서 A' 는 물량투입계수행렬의 전치행렬, P 는 생산물 단위가격 벡터, \widehat{A}^V 는 부가가치계수(율)의 대각행렬, P^V 는 부가가치 단위가격 벡터이다. 이것을 P 에 대해서 풀어 가격변동률 모형으로 나타내면 식(5)와 같고, 이것이 과급효과분석의 기본모형이다.

$$\dot{P} = (I - A')^{-1} \widehat{A}^V \dot{P}^V \quad (5)$$

식(5)는 생산품의 가격이 중간재로 사용한 다른 제품의 가격과 본원적 생산요소의 가격에 따라 결정됨을 보여준다. 그런데 본원적 생산요소의 가격은 수입품가격에 전혀 영향을 미치지 않고 중간재도 국산품과 수입품가격에 차이가 있으므로 보다 정교한 물가모형을 도출하기 위해서는 투입계수를 국산품과 수입품으로 구분해야 한다. 식(6)은 국산투입계수와 수입투입계수를 구분한 식(5)의 변형이다.

$$\dot{P}_d = (I - A_d')^{-1} (A^{m'} \dot{P}^m + \widehat{A}^V \dot{P}^V) \quad (6)$$

여기서 \dot{P}_d 는 국내상품가격의 변동률 벡터, \dot{P}^V 는 부가가치 단위가격의 변동률 벡터, $A^{m'}$ 은 수입상품 투입계수행렬의 전치행렬, $A^{d'}$ 는 물량표시 A' 행렬과는 달리 금액표시 국내투입계수의 전치행렬을 나타낸다.

어떤 수입상품가격변동은 먼저 당해 수입상품을 중간재로 투입하는 모든 상품의 가격을 변화시키고, 이들 제품을 다시 중간재로 사용하는 관련제품의 가격에 영향을 미친다. 이외에도 대체효과를 통하여 수입품과 대체관계에 있는 국산품의 가격변화를 야기하고 장기적으로는 투입계수의 변화까지 초래할 수 있다. 이때 수입상품은 국내부가가치부문과는 관계없으므로 ($\dot{P}^V=0$), 식(6)은 다음의 식(7)과 같이 변형된다.

$$\dot{P}_d = (I - A_d')^{-1} (A^{m'} \dot{P}^m) \quad (7)$$

따라서 $(I - A_d')^{-1}A^{m'}$ 만 계산되면 수입상품가격변동이 각 산업에 미치는 파급효과를 계측할 수 있다(이춘근 2000; 한국은행 2019). 한국은행 산업연관표의 생산유발계수 $(I - A_d')^{-1}$ 에 수입투입계수행렬의 전치행렬($A^{m'}$)에 곱하여 도출한 수입가격파급효과 계수 $(I - A_d')^{-1}A^{m'}$ 는 <표 5>와 같다. <표 5>에 따르면, 해외 농산물 수입가격이 10% 상승하면 국내 농림수산업 생산품 가격은 3.304% 상승하고, 국내 음식료품 가격은 4.376% 상승하는 것으로 나타났다. 해외 농산물 수입가격이 10% 상승함에 따라 화학제품 또한 상대적으로 높은 가격상승효과(4.12%)를 보였다.

<표 5> 해외 물리적리스크의 산업별 수입가격파급효과 계수

Industry	해외 농산물 수입가격파급효과
농림수산업	0.3304
광산업	0.0073
음식료품 제조업	0.4376
섬유 및 가죽제품 제조업	0.0475
목재 및 종이, 인쇄 제조업	0.0241
석탄 및 석유제품 제조업	0.0358
화학제품 제조업	0.4012
비금속광물제품 제조업	0.0065
1차 금속제품 제조업	0.0136
금속가공제품 제조업	0.0125
컴퓨터, 전자 및 광학기기 제조업	0.0116
전기장비 제조업	0.0062
기계 및 장비 제조업	0.0181
운송장비 제조업	0.0030
기타 제조업	0.0155
제조임가공 및 산업용 장비 수리 제조업	0.0155
전력, 가스 및 증기 공급업	0.0001
수도, 폐기물처리 및 재활용서비스업	0.0000
건설업	0.0000
도소매 및 상품중개서비스업	0.0080
운송서비스업	0.1532
음식점 및 숙박서비스업	0.0272
정보통신 및 방송 서비스업	0.0120
금융 및 보험 서비스업	0.0142
부동산서비스업	0.0022
전문, 과학 및 기술 서비스업	0.0407
사업지원서비스업	0.0700
공공행정, 국방 및 사회보장 서비스업	0.0515
예술, 스포츠 및 여가 관련 서비스업	0.0038

*출처: 저자작성.

마지막으로, <표 5>의 수입가격파급효과 계수에 <표 3>에 나타난 해외 기후변화로 인한 농산물 수입가격 변동률(P^m)을 곱하여 최종적으로 산출한 해외

물리적리스크로 인한 산업별 가격파급효과는 <표 6>와 같다.

<표 6> 해외물리적리스크가 수입가격변동을 통해 국내 물가에 미치는 영향

	2025	2050	2075	2100
농림수산물	-1.25%	-1.30%	5.20%	22.92%
광산물	-0.84%	-0.82%	2.89%	13.22%
음식료품	-1.52%	-1.60%	6.34%	27.92%
섬유 및 가죽제품	-1.25%	-1.27%	5.30%	23.60%
목재 및 종이, 인쇄	-0.93%	-1.46%	4.46%	22.97%
석탄 및 석유제품	-1.24%	-1.47%	4.85%	23.28%
화학제품	-1.98%	-2.06%	8.53%	37.93%
비금속광물제품	-0.96%	-1.02%	3.79%	17.42%
1차 금속제품	-1.61%	-1.69%	6.44%	29.36%
금속가공제품	-1.44%	-1.40%	5.70%	25.32%
컴퓨터, 전자 및 광학기기	-1.13%	-1.15%	4.43%	20.05%
전기장비	-1.16%	-1.15%	4.57%	20.48%
기계 및 장비	-1.32%	-1.32%	4.04%	19.30%
운송장비	-1.28%	-1.25%	4.40%	20.16%
기타 제조업 제품	-0.83%	-0.86%	3.40%	15.49%
제조임가공 및 산업용 장비수리	-1.45%	-1.52%	5.88%	26.80%
전력, 가스 및 증기	-1.50%	-1.81%	5.93%	28.52%
수도, 폐기물처리 및 재활용서비스	-1.01%	-0.99%	3.56%	16.12%
건설	-0.79%	-0.83%	3.04%	14.01%
도소매 및 상품중개서비스	-2.03%	-2.07%	7.81%	35.26%
운송서비스	-1.88%	-1.80%	6.62%	29.94%
음식점 및 숙박서비스	-1.20%	-1.25%	4.88%	21.62%
정보통신 및 방송서비스	-1.40%	-1.46%	5.30%	24.22%
금융 및 보험 서비스	-1.65%	-1.71%	6.03%	27.70%
부동산서비스	-1.26%	-1.30%	4.50%	20.69%
전문, 과학 및 기술 서비스	-1.73%	-1.78%	6.71%	30.41%
사업지원서비스	-1.56%	-1.54%	5.46%	24.84%
공공행정, 국방 및 사회보장	-0.83%	-0.82%	2.84%	13.11%
예술, 스포츠 및 여가 관련 서비스	-0.93%	-0.92%	3.68%	16.47%

*출처: 저자작성.

<표 6>에 따르면, 단기적(2025년)으로는 해외 기후변화는 농림수산업 상품가격을 -1.25%, 음식료품 가격을 -1.52%, 화학제품 가격을 -1.98% 하락시키는 파급효과를 지닐 것으로 예상된다. 기타 산업에서도 단기적인 기후변화의 효과는 가격 하방 압력을 주는 것으로 나타났다. 이러한 가격 하방 압력은 2050년까지 중기적으로 지속된다. 반면 장기적(2075년 이후)으로는 해외 기후변화로 인한 수입 농산물 가격상승은 대부분 산업에서 가격 상승 요인이 되는 것으로 나타났다. 다만 2075년에는 가격 상승률 13%대에서 높게는 38%대까지 도달하여, 기온상승으로 인한 국내 물가상승효과가 매우 커질 것을 예측되었다.

<표 6>의 결과를 해석하면, 해외교역국의 물리적리스크는 해당 지역의

(작물)생산성을 단기적으로는 호전시켜 원자재 가격을 하락시키지만, 장기적으로는 생산성을 훼손하여 원자재 가격이 크게 상승한다. 이러한 해외 물리적리스크는 장기적으로는 국내 생산제품의 원재료비를 증가시켜 결국 국내 물가까지 크게 상승시킬 수 있는 잠재적 리스크요인이다. 특히 2075년 이후 물가상승률은 기하급수적으로 상승하는 양상을 띄어, 특정 임계치를 넘은 기온상승은 글로벌가치사슬을 타고 지역 경제가 크나큰 타격을 미칠 수 있다는 것을 보여준다.

4.5. 분석결과 요약

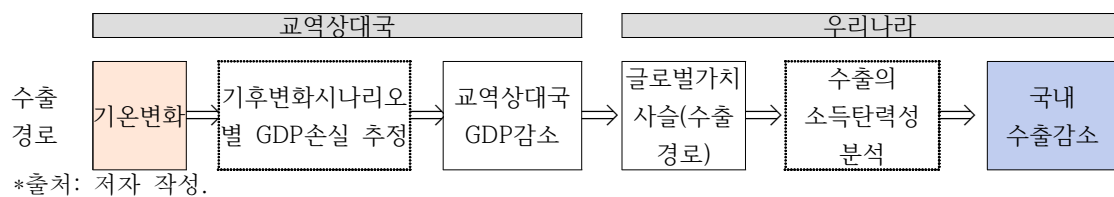
4장의 수입경로 분석결과를 요약하면 다음과 같다. 과거 이상기온과 물가변화를 사이에는 유의한 음의 관계가 관찰되었다. 기후변화 시나리오에 따르면 현행 탄소 배출추세를 유지하면 전세계 평균 기온은 2100년에 24.7°C까지 상승하며, 기온상승으로 인한 농산물가격은 단기적으로 하락하나, 중장기적으로는 강한 상승 압력을 받는 것으로 나타났다. 탄소저감 시나리오 하에서 전세계 평균기온은 2100년에도 현재와 비슷하게 유지된다. 탄소저감 시나리오 하에서 농산물가격은 중장기적으로 미약한 하방압력을 가하면서 원자재 가격안정에 기여한다. 반면, 탄소저감이 이행되지 않은 현행유지 시나리오 하에서 농산물가격은 중기적으로 하락했다가 장기적으로는 크게 가격상승할 것으로 예측되었다. 현행유지 시나리오 하에서 수입가격과급 효과 계수 분석 결과, 농산물 수입가격은 전 산업의 국내생산품가격에 중기적으로 약간의 하방압력을 주었다가 장기적으로 상당한 상방압력을 가하는 것으로 나타났다. 요컨대, 해외 교역국의 온난화로 인한 물리적리스크는 해당 지역의 생산성을 장기적으로 떨어트리는데, 이는 글로벌가치사슬을 통해 국내 수입품 가격을 상승시키고 궁극적으로는 국내 물가를 전반적으로 크게 상승시키는 위험요인으로 작용할 수 있다.

V. 수출경로 통한 물리적리스크 전파

본 장에서는 물리적리스크가 수출경로를 통해 한국의 거시경제에 미치는 효과를 분석한다. 한국의 수출은 우리 재화를 수입하는 국가의 소득에 탄력적으로 움직인다. 즉, 수입국의 GDP가 늘어나면 한국 제품에 대한 수요가 늘어나 우리 수출이 증가하는 것이다. 이를 수출의 소득탄력성이라고 한다. 글로벌 금융위기 이후 우리 재화 수출의 글로벌 소득탄력성은 둔화된 측면이 있으나(김경근 2021), 그럼에도 불구하고 GVC 참여율이 세계평균을 상회하는 우리 경제구조를 감안하면 글로벌 GDP가 우리 거시경제에 미치는 영향은 여전히 상당하다 볼 수 있다(강내영 2021). 교역상대국의 기후변화로 인한 물리적리스크(GDP손상)가 글로벌가치사슬을 타고 우리나라의 수출을 축소시킬 수 있기 때문이다.

다음의 절차로 수출경로 분석을 수행한다. 첫째, 각국의 GDP(소득의 대용치)가 우리 수출에 미치는 영향을 계량화하기 위해, 수출의 소득탄력성을 분석한다. 국제통화기금(International Monetary Fund, 이하 “IMF”)에서 제공하는 국가별 과거 GDP자료와 OECD 세계산업연관표에 나타난 우리나라의 산업별 과거 수출자료를 사용하여 한국 수출의 교역상대국 소득탄력성 계수를 추정한다. 둘째, 각국의 기후변화로 인한 GDP 손상분을 앞서 추정한 수출의 소득탄력성 계수에 곱하여 우리 수출의 감소분을 예측한다. 마지막으로, 한국은행 산업연관표 자료의 생산유발계수를 사용하여 수출 감소로 인한 GDP감소를 제시한다. <그림 8>은 해외 물리적리스크의 수출경로 분석을 도식화한 것이다.

<그림 8> 기후변화 물리적리스크가 수출경로를 통해 국내 거시경제에 미치는 영향



5.1. 한국 수출의 상대국 소득 탄력성 분석

각국의 GDP(소득의 대용치)가 우리 수출에 미치는 영향을 계량화하기 위해 수출의 소득탄력성을 분석하여야 한다. 우리나라 산업별 과거 수출자료와 교역상대국 과거 GDP자료를 사용하여 소득 탄력성을 추정하였다. 수출의 소득탄력성은 수입국의 GDP의 증가율 대비 우리수출 증가율을 나타내는데, 소득탄력성이 3.5라면 수입국의 GDP가 1% 증가할 때 우리 수출이 3.5% 증가하는 효과가 있다는 뜻이다.

글로벌 금융위기 이후 교역량 둔화에 대한 선행연구들은 총수요 변화가

교역둔화의 80%를 설명한다고 제시하며, 교역상대국의 GDP감소는 수출량에 크나큰 타격을 미칠 수 있음을 시사하였다(Aslam et al, 2017; Auboin and Borino 2017). 한편, 소득탄력성과 관련된 연구에서는 총수요구성변화, 국가별 상대적 경제비중 변화, 글로벌가치사슬 변화, 보호무역 등의 여러 요인이 언급되고 있다. 유럽중앙은행 연구(European Central Bank 2016)에서 1980년~2015년까지 글로벌 교역의 소득탄력성에 영향미치는 요인을 분석한 결과, 추정된 소득탄력성 1.7 중 글로벌가치사슬의 기여도가 0.4에 육박한다는 것을 보여주었다(최낙균 외 2017). 국내 연구로는 최문정과 김경근(2019)이 2000년~2016년중 총수요 변수를 이용한 패널분석을 통해 우리나라의 대 선진국 수출 소득탄력성을 분석하였다.

본 연구에서는 국내 수출의 해외 소득탄력성을 분석한 김경근(2019)의 방법론을 준용하여 교역상대국의 GDP가 우리나라 산업별 수출에 미치는 영향을 분석한다. 상기 연구들과 본 연구는 차별점이 있는데, (1)상기 연구들은 국가 수출총량에 대한 영향을 분석한 반면 본 연구는 개별 산업별 수출의 소득탄력성을 분석하고 있으며, (2)상기 연구들은 일부 선진국에 국한하여 소득탄력성을 분석하고 있으나, 전세계 기후변화의 영향을 다루는 본 연구에서는 가용한 범위의 모든 국가에 대해 소득탄력성을 분석하여 포괄적이면서도 세분화된 소득탄력성 분석을 수행한다.

국가 c 의 로그 수입수요 함수는 김경근(2019)에 따라 식(8)와 같이 표현된다.

$$\ln M_{c,t} = \beta_D \ln D_{c,t} + \beta_p \ln P_{M,c,t} \quad (8),$$

여기서 $M_{c,t}$ 은 c 국의 수입, $D_{c,t}$ 는 c 국의 총수요, $P_{M,c,t}$ 는 c 국의 수입상대가격을 의미한다. β_D 는 수입의 총수요에 대한 탄력성이며, β_p 는 상대가격에 대한 탄력성으로 음의 값을 가진다. 식(4)에서 각 변수를 1기 차분하면 식(9)가 도출된다.

$$\Delta \ln M_{c,t} = \alpha + \beta_D \Delta \ln D_{c,t} + \beta_p \Delta \ln P_{M,c,t} + \epsilon_{c,t} \quad (9),$$

여기서 Δ 은 1기 차분 값, α 는 상수항, $\epsilon_{c,t}$ 는 오차항이다. 식(9)에서 c 국의 총수입($M_{c,t}$)이 사용되었는데, 본 분석에서는 이를 c 국의 한국의 산업 i 로부터의 수입으로 한정지어 본다. 즉, 이는 c 국에 대한 우리나라 산업 i 의 수출과 동일하다(김경근 2019). 따라서 식(9)를 우리나라 산업별 수출에 대해 적용하기 위해 식(10)과 같은 OLS 모형을 설정하였다.¹⁴⁾ 식(9)의 추정은 교역국-산업별 소표본(subsample)으로 개별 회귀분석한다.

14) 선행연구들에서는 OLS추정 대신 GMM추정을 채택하였으나(Arellano and Bover 1995; Blundell and Bond 1998), 본 연구에서는 교역국-산업 표본별 회귀분석을 수행하기 때문에 각 추정에 사용되는 표본의 크기가 작다($N=22$). 표본 크기가 작을 때 GMM추정 계수는 편향성이 커지는 문제가 있어 본 연구에서는 GMM추정대신 OLS추정을 채택한다.

$$\Delta \ln EX_{c,i,t}^{kr} = \sum_{l=0}^L \beta_{D,l} \Delta \ln D_{c,t-l} + \beta_p \Delta \ln RER_{c,t-1} + \beta_X \Delta \ln EX_{c,i,t-1}^{kr} + \epsilon_{c,t} \quad (10),$$

여기서 종속변수($\Delta \ln EX_{c,i,t}^{kr}$)는 우리나라 산업 i의 c국에 대한 수출이다.

설명변수는 수출상대국 c의 수입수요의 추정치인 실질GDP($D_{c,t}$)와 c국 통화대비 원화의 실질환율($RER_{c,t-1}$)이다. 실질GDP는 IMF에서 제공하는 국가별 명목GDP를 GDP 디플레이터로 나누어 구하였다. 변수들은 로그변환후 전분기 대비 차분하였다. 또한 종속변수인 수출증가율의 시계열 특성을 고려하여 종속변수의 과거값($\Delta \ln EX_{c,i,t-1}^{kr}$)을 포함하였다. 우리나라 수출증가율에 대한 상대국의 수입수요의 영향이 동기간($l=0$)에 존재할뿐 아니라 시차($l=1$)를 두고 동태적으로 영향을 미칠 수 있음을 고려하여 실질수요 증가율의 전분기 값($\Delta \ln D_{c,t-1}$)을 설명변수에 추가하였다.

분석에 사용된 각 변수의 데이터는 다음 출처로부터 수집하였다. 우리나라의 산업별 수출액은 OECD 세계산업연관표(1995~2018년)에서 추출하였으며, 상대국 명목GDP, GDP디플레이터 자료는 IMF에서 수집하였다. 실질실효환율 데이터는 통계청에서 수집하였다.

<표 7>은 식(10)의 모형을 추정하기 위한 표본의 기초통계량과 상관계수표이다. 표본은 1997년-2018년 기간의 44개 산업의 42개 교역상대국별 수출자료이다($N=39,109$).¹⁵⁾ Panel A의 기초통계량에 따르면 산업-수입국별 연간 평균 수출액은 6백7십억원이다($EX_{c,i,t}^{kr}$). 실질실효환율($RER_{c,t}$)은 평균 101, 교역상대국 평균 실질GDP는 135백7십억원이다($D_{c,t}$). Panel B의 상관계수표에 따르면 산업의 특정 수출국에 대한 수출변화율($\Delta \ln EX_{c,i,t}^{kr}$)은 수출국 실질GDP증가율($\Delta \ln D_{c,t}$)와 유의한 양의 상관관계를 보이고 있어 소득탄력성을 지지한다.

<표 7> 산업별 수출의 소득탄력성 추정 표본의 기초통계량

Panel A. 기초통계량

Variables	N	Mean	p25	Median	p75	Min	Max
$EX_{c,i,t}^{kr} *$	39109	66.743	0.135	1.600	13.814	0.000	11229.108
$RER_{c,t}$	39109	101.052	95.100	101.300	106.600	54.300	178.000
$D_{c,t} *$	39109	1357.361	180.464	434.627	1430.179	11.555	19479.574

15) 분석대상 국가는 Australia, Austria, Belgium, Brazil, Canada, Switzerland, Chile, China, Colombia, Costa Rica, Czechia, Germany, Denmark, Spain, Estonia, Finland, France, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland (the), Greece, Hungary, Indonesia, India, Ireland, Iceland, Israel, Italy, Japan, Luxembourg, Latvia, Mexico, Netherlands (the), Norway, New Zealand, Poland, Portugal, Russian Federation (the), Slovakia, Slovenia, Sweden, Turkey, United States of America (the), South Africa이다.

$\Delta \ln EX_{c,i,t}^{kr}$	39109	0.066	-0.157	0.065	0.287	-4.617	3.939
$\Delta \ln D_{c,t}$	39109	0.011	-0.044	0.025	0.080	-1.377	0.361
$\Delta \ln D_{c,t-1}$	39109	0.008	-0.048	0.022	0.078	-1.377	0.361
$\Delta \ln RER_{c,t-1}$	39109	0.003	-0.022	0.004	0.030	-0.732	0.385
$\Delta \ln EX_{c,i,t-1}^{kr}$	39109	0.063	-0.162	0.057	0.285	-4.617	3.793

*단위: 십억원

Panel B. 변수간 피어슨 상관계수

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
(1) $\Delta \ln EX_{c,i,t}^{kr}$	1				
(2) $\Delta \ln D_{c,t}$	0.207 <.0001	1			
(3) $\Delta \ln D_{c,t-1}$	0.096 <.0001	0.318 <.0001	1		
(4) $\Delta \ln RER_{c,t-1}$	0.054 <.0001	0.099 <.0001	0.641 <.0001	1	
(5) $\Delta \ln EX_{c,i,t-1}^{kr}$	-0.178 <.0001	0.048 <.0001	0.203 <.0001	0.126 <.0001	1

<표 8>은 식(10)을 국내 44개 산업(ISIC Rev. 4에 따른 분류)의 42개 교역상대국 대상 수출자료를 사용하여 OLS 추정한 결과 중 일부를 예시로 보여준다. <표 8>의 (1)열은 국내 기계장비제조업 수출의 미국 GDP에 대한 소득탄력성을 분석한 결과이다. 관심변수인 미국 GDP변화율($\Delta \ln D_{c,t}$)의 계수는 5.900으로, 미국 GDP가 1% 증가할 때 한국의 기계장비 수출이 5.9% 증가한다는 뜻이다. (2)열은 국내 의약품제조업 수출의 중국 GDP에 대한 소득탄력성 분석결과이며, 소득탄력성 계수는 5.119로 중국 GDP 1% 성장시 의약품제조업 수출이 5.2%가량 증가한다.

<표 8> 산업별 수출의 소득탄력성 분석 예시

Variable	Dependent Variable: $\Delta \ln EX_{c,i,t}^{kr}$	
	(1) 산업: Machinery and equipment 교역국: 미국	(2) 산업: Pharmaceutical products 교역국: 중국
	Estimate (t-value)	Estimate (t-value)
Intercept	0.008 (0.17)	-0.051 (-0.30)
$\Delta \ln D_{c,t}$	5.900*** (3.14)	5.119* (1.85)
$\Delta \ln D_{c,t-1}$	-0.781 (-0.42)	-2.938 (-1.07)
$\Delta \ln RER_{c,t-1}$	-2.229*** (-3.14)	2.333 (1.44)
$\Delta \ln EX_{c,i,t-1}^{kr}$	-0.396	-0.257

	(-1.67)	(-1.08)
Adj R-squared	0.466	0.209
N	22	22

<표 9>는 식(10)의 모형을 국내 44개 산업(ISIC Rev. 4에 따른 분류)의 42개 교역상대국 대상 수출자료를 사용하여 OLS 추정한 결과이다. 두 번째 열의 소득탄력성 평균은 식(10)을 각 산업의 해외 소득탄력성 계수를 국가별 수출액 (2018년)기준으로 가중평균한 것이다. 석유화학제조업(Coke and refined petroleum products), 자동차제조업(Motor vehicles, trailers and semi-trailers), 행정서비스업(Administrative and support service activities)에서 해외국 소득탄력성이 각각 4.53, 4.43, 5.03으로 높게 나타났다. 화학제조업(Chemicals and chemical products), 금속제조업(Basic metals), 기계장비제조업(Machinery and equipment), 유틸리티공급업(Electricity, gas, steam and air conditioning supply), 상하수도 및 폐기물처리업(Water supply, sewerage, waste management and remediation activities), 건설업(Construction), 과학기술서비스업(Professional, scientific, and technical services)도 2.00이 넘는 비교적 높은 소득탄력성 계수를 보였다.

<표 9> 산업별 수출의 소득탄력성

산업	소득탄력성
	(수출액 기준 가중평균)
Agriculture, hunting and forestry	0.12
Fishing and aquaculture	-0.86
Mining and quarrying of energy producing materials	-1.36
Mining and quarrying except energy producing materials	1.06
Mining and quarrying except energy producing materials	1.18
Food products, beverages and tobacco	0.19
Textiles, wearing apparel, leather and related products	1.90
Wood and products of wood and cork, except furniture; articles of straw and plaiting materials	0.44
Paper and paper products, Printing and reproduction of recorded media	1.79
Coke and refined petroleum products	4.53
Chemicals and chemical products	2.48
Basic pharmaceutical products and pharmaceutical preparations	-1.81
Rubber and plastics products	1.20
Other non-metallic mineral products	1.28
Basic metals	2.64
Fabricated metal products, except machinery and equipment	-2.48
Computer, electronic and optical products	1.80
Electrical equipment	1.71
Machinery and equipment	2.59
Motor vehicles, trailers and semi-trailers	4.43
Other transport equipment	0.02
Furniture; other manufacturing; repair and installation of machinery and equipment	1.65
Electricity, gas, steam and air conditioning supply	2.60
Water supply; sewerage, waste management and remediation activities	2.87
Construction	2.78

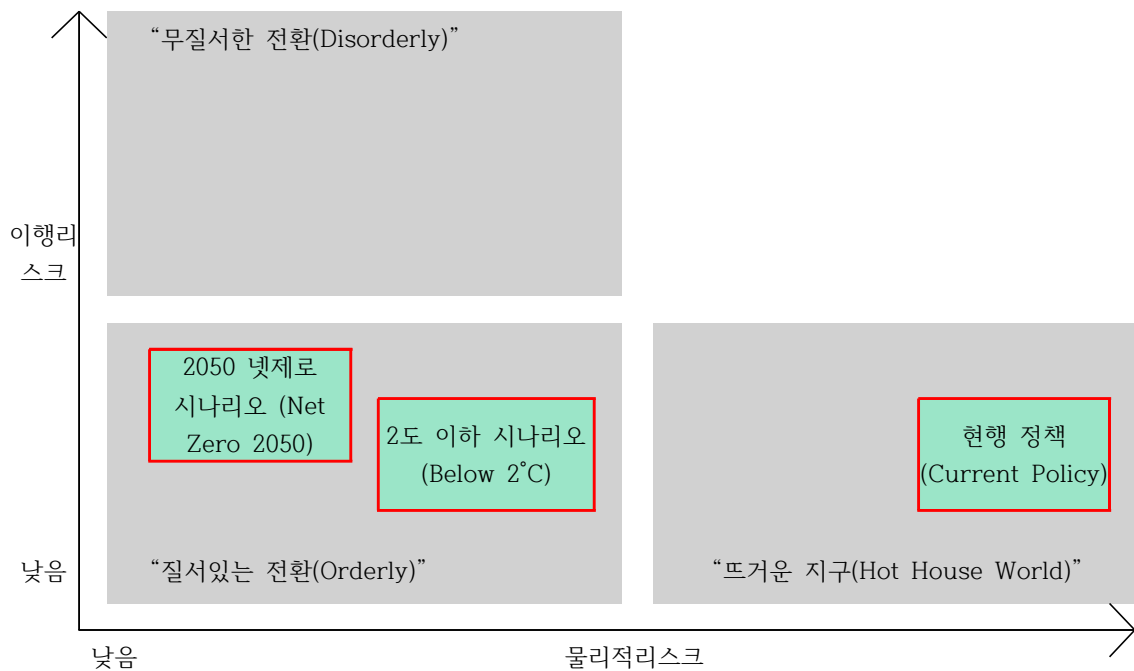
Wholesale and retail trade, repair of motor vehicles and motorcycles	1.31
Land transport and transport via pipelines	0.46
Water transport	0.23
Air transport	1.33
Warehousing and support activities for transportation	0.42
Postal and courier activities	0.76
Accommodation, Food and beverage service activities	1.44
Publishing, audiovisual and broadcasting activities	1.51
Telecommunications	1.08
IT and other information services	1.77
Financial and Insurance services	1.73
Real estate services	1.44
Professional, scientific and technical services	2.04
Administrative and support service activities	5.03
Education	0.94
Human health and social work activities	0.68
Arts, entertainment and recreation	1.96
Other service activities	0.58

5.2. 기후변화로 인한 교역상대국 GDP 변화 분석

앞서 수출의 소득탄력성을 미래 수출변화 예측에 사용하기 위해서 미래 상대국의 GDP변화를 예측하여야 한다. 해외 기후변화로 인한 물리적리스크가 국내로 전파되는 효과를 분석하는 본고의 목적에 상응하여, 기온상승이 유발하는 교역상대국 GDP 손실을 상대국 GDP변화분으로 간주한다. 기온상승으로 인한 GDP 손실을 추정하기 위해 NGFS에서 제공하는 국제응용시스템분석연구소(International Institute for Applied Systems Analysis, 이하 'IIASA')의 국가별 GDP 예측자료(median change 값)를 사용한다. 해당 자료는 기후변화 시나리오(현행유지, Below 2°C, Net Zero 2050)에 따른 물리적리스크와 이행리스크를 모두 반영하여 각국의 2100년까지의 연도별 GDP를 예측한 것이다. 예측에는 통합기후모형(Integrated Assessment Model, 이하 'IAM')이 사용되었다.

NGFS 시나리오 중 세 개의 대표적인 시나리오(Current Policies, Below 2°C, Net Zero 2050)를 상정한다. <그림 9>에서 Below 2°C와 Net Zero 2050는 질서있는 전환(Orderly)을 이루는 시나리오이다. 즉각적이고 적극적인 정책 대응을 통해 파리협약에 부합하도록 온실가스 감축이 이뤄지는 미래인 것이다. 두 시나리오는 이행리스크와 물리적리스크가 모두 낮아 가장 바람직한 시나리오라고 볼 수 있는데, 2100년 지구 온도 상승폭을 산업화 이전 대비 1.5도 이하로 제한하는 것이 'Net Zero 2050' 시나리오이며 2도 이하로 제한하는 것이 'Below 2°C' 시나리오다. 후자의 경우 넷제로가 2070년에 달성될 것으로 추정되었다. 반면, '현행정책(Current Policy)'은 기후 정책 부재로 지구온난화가 3도까지 상승하는 시나리오다.

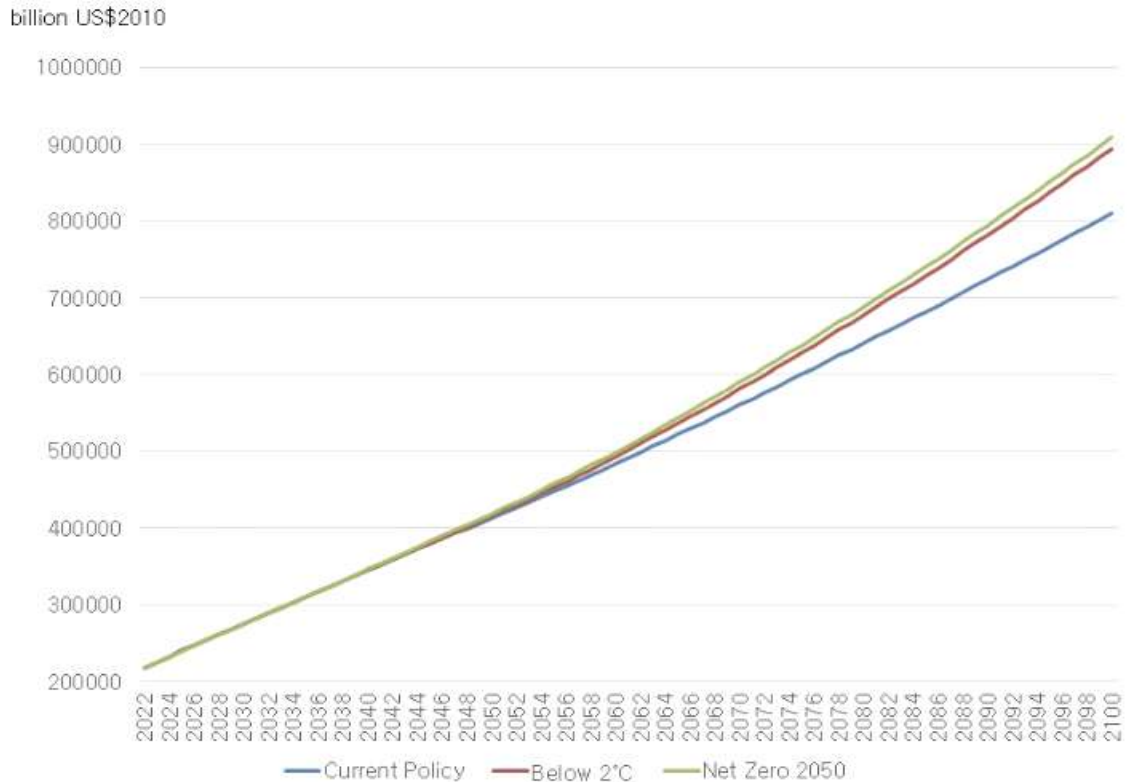
<그림9> NGFS 기후변화 시나리오



*출처: NGFS(2021), “NGFS Climate Scenarios for central banks and supervisors”

<그림 10>는 각 시나리오에서 전세계 GDP 예측치이다. GDP가 2050년까지는 비슷하게 상승하나, 이후부터는 탄소저감시나리오(Below 2°C, Net Zero 2050)가 현행유지에 비해 가속화된 GDP성장률을 보인다. 즉, 탄소저감 노력이 없다면 장기적으로는 만성적인 물리적 손상이 결국 생산성을 떨어트려 경제성장을 둔화시킬 것으로 예상된다.

<그림 10> 기후변화 시나리오별 글로벌 GDP예측



*출처: NGFS IIASA Database 활용 저자작성.

본 연구에서는 탄소저감 시나리오 하(Below 2°C, Net Zero 2050) 에서 GDP와 현행유지시(Current Policy)의 GDP의 차이를 기후변화로 인한 물리적손상의 척도로 간주한다. 식(11)에 따라 예측된 국가별 미래 GDP손상분(GDP_{Loss})은 <표 10>에 나타난다.

$$GDP_{Loss} = GDP_{Punder\ Orderly\ Transition} - GDP_{Punder\ Hot\ House\ World} \quad (11)$$

<표 10>은 현재부터 2100년까지 기후변화로 인한 GDP 손실이 가장 클 것으로 예상되는 상위 20개국의 추정GDP 손실을 보여준다. (1)열은 Below 2°C 시나리오가 실현되지 않고 현행유지(Current Policy)되는 경우 GDP감소분이며, (2)열은 Net Zero 2050이 실현되지 않고 현행유지(Current Policy)되는 경우 GDP감소분이다. (1)열에 나타난 것과 같이 Below 2°C 실현되지 않고 현행유지되는 경우, 인도, 중국, 미국, 나이지리아, 멕시코, 파키스탄, 브라질, 인도네시아, 이집트, 일본, 방글라데시, 대만, 튀르키예, 프랑스, 우간다, 러시아, 에티오피아, 독일, 필리핀, 태국이 기후변화로 GDP 손실이 가장 큰 국가로 꼽혔다. (2)열에 나타난 Net Zero 2050 대비 현행유지 시나리오의 GDP 손실도 (1)열의 경우와 유사한 순위를 보였다.

<표 10> 미래 기후변화로 인한 교역상대국 GDP 추정손실-상위 20개국

Country	GDP Loss (Below 2 ° C)	GDP Loss (Net Zero 2050)
India	-167524.97	-223447.92
China	-106079.56	-141844.11
United States of America	-68843.74	-90564.31
Nigeria	-34095.66	-42553.52
Mexico	-22697.10	-28206.47
Pakistan	-20277.73	-28407.22
Brazil	-19767.75	-25467.28
Indonesia	-18879.17	-23993.63
Egypt	-16323.12	-20682.77
Japan	-10645.02	-14465.89
Bangladesh	-10637.48	-13929.33
China, Taiwan Province of	-10495.50	-13553.55
Türkiye	-9755.02	-12499.68
France	-9553.81	-11834.40
Uganda	-9436.25	-11709.88
Russian Federation	-9374.14	-11440.07
Ethiopia	-8766.32	-11001.20
Germany	-8362.20	-10521.52
Philippines	-7898.61	-9926.00
Thailand	-7843.75	-10428.47

*단위: Billion US Dollars

<그림 11>은 현재부터 2100년까지 기후변화로 인한 GDP 손실합을 지역별로 나타낸 그림이다. Below 2°C 시나리오가 실현되지 않고 현행유지(Current Policy)되는 경우 GDP손실의 합이 가장 클 것으로 예상되는 지역은 총 \$205,520 billion의 손실이 예상되는 남아시아(인도, 방글라데시, 부탄, 아프가니스탄 등)이다. 다음으로 큰 곳은 동아시아(\$133,499 billion), 북아메리카(\$72,955 billion) 등이다.

<그림 11> 미래 기후변화로 인한 지역별 GDP 손실 추정



*출처: 식(11)에 따라 추정하여 저자작성. 단위: Billion US dollars.

5.3. 해외 교역국 기후변화가 산업별 수출에 미치는 영향 예측

기후변화로 인한 교역국 GDP 감소로 인한 우리 수출 감소분을 예측한다. 기후변화 정책을 현행유지할 경우의 예상 수출액과 저탄소경제로 이행할 경우(Below 2°C, Net-zero 2050)의 예상 수출액의 차이를 계산한다. 식(10)의 계수에 해당하는 소득탄력성계수를 앞서 5.1.에서 추정하였으므로, 추정된 계수들을 식(10)에 삽입한다. 식(10)의 설명변수들 중 교역상대국 실질GDP에 해당하는 $\Delta \ln D_{c,t-l}$ 을 시나리오별 예상 GDP 값(*GDPunder Orderly Transition* 및 *GDPunder Hot House World*)으로 대체한다. 실질실효환율($\Delta \ln RER_{c,t-1}$) 및 과거 수출증가율($\Delta \ln EX_{c,i,t-1}^{kr}$)은 미래 값이 없으므로 가장 최근 자료인 2018년 값을 준용한다. 이를 반영한 기후변화 시나리오별 수출예상증가율은 식(12)와 같다.

$$\Delta \ln \widehat{EX}_{c,i,t}^{kr} = \sum_{l=0}^L \widehat{\beta}_{D,l} \Delta \ln (GDPunder Scenario)_{c,t-l} + \widehat{\beta}_p \Delta \ln RER_{c,t-1} + \widehat{\beta}_X \Delta \ln EX_{c,i,t-1}^{kr} + \epsilon_{c,t} \quad (12),$$

where *GDPunder Scenario* is either *GDPunder Orderly Transition*(Below 2°C, Net-zero 2050) or *GDPunder Hot House World*(Current Policy).

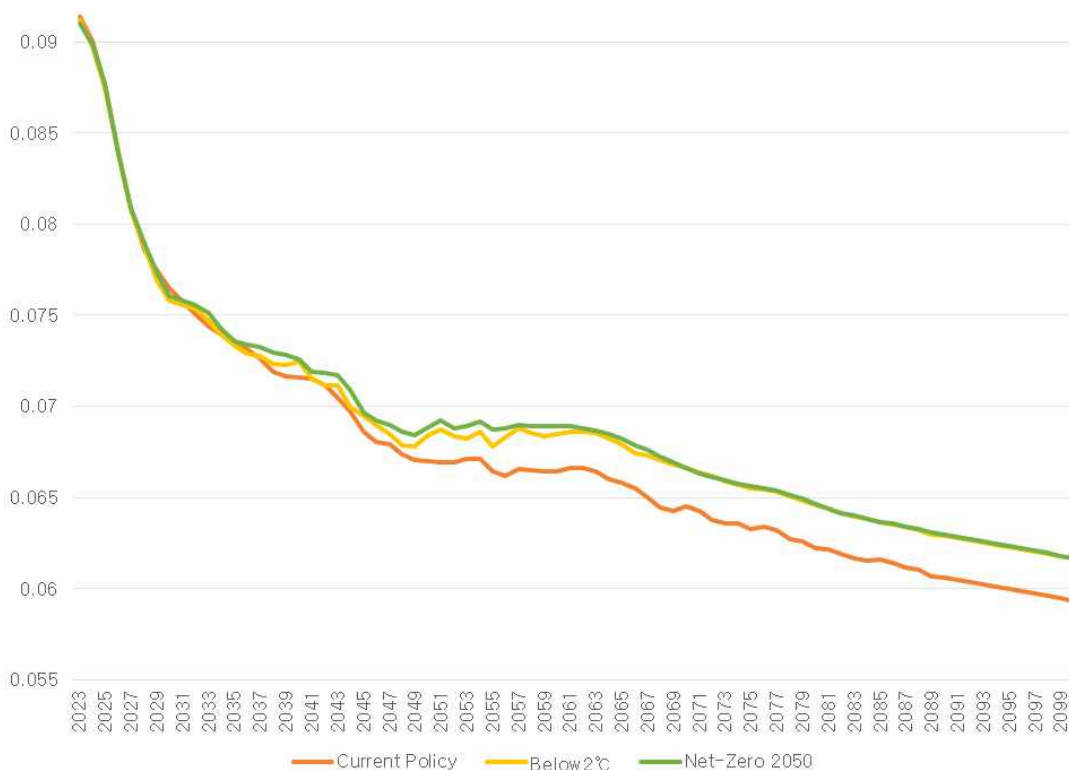
식(12)에 따라 탄소배출 현행유지시(Current Policy) 수출증감율 $\Delta \ln \widehat{EX}_{c,i,t}^{kr}$ 과 저탄소경제로 이행시(Below 2°C, Net-zero 2050) 수출증감율 $\Delta \ln \widehat{EX}_{c,i,t}^{kr}$ 를 구할 수 있다. <그림 11>은 전체 산업의 수출증감율 예측치($\Delta \ln \widehat{EX}_{c,i,t}^{kr}$)를 연도별로

가중평균한 것이다(각 산업별 수출액 기준으로 가중평균). 단기적으로는 각 기후 시나리오(Current Policy, Below2°C, Net-Zero 2050)에 따른 수출 증가율이 비슷한 추세를 보인다. 예컨대 모든 시나리오에서 2040년까지 수출 증가율이 9%이상에서 7.2%까지 증가율이 급격히 하락한다. 2040년 이후 기후 시나리오별 수출증가율이 서로 괴리되기 시작한다. 앞서 <그림 10>에서 교역상대국의 시나리오별 GDP 차이가 2040년대 이후 점점 벌어지기 시작한 것과 무관하지 않은 것으로 판단된다. 2040년 이후에는 기후변화로 인한 생산성 감소가 본격화되기 시작했다.

<그림 11>에서 중요한 것은, 온난화가 지속된 경우(Current Policy) 기후변화가 완화된 경우(Net-Zero 2050, Below 2°C)보다 수출증가율이 낮다는 것이다. 예컨대 2060년 Net-Zero 2050 시나리오에서 수출증가율이 6.9%인 반면, 현행유지 시나리오에서는 6.6%로 0.3%의 차이를 보인다. 2060년 이후 현행유지 시나리오와 탄소감축시나리오(Net-Zero 2050, Below 2°C) 간의 수출증가율 차이가 0.3% 수준을 유지하면서 전체적으로 증가율이 하락한다. 2080년 현행유지시 6.2%, Net-zero 2050에서 6.5%의 수출증가율을 보인다. 2100년에는 현행유지시 5.9%, Net-zero 2050에서 5.9%를 보인다. 즉, 온난화 지속으로 교역상대국의 GDP가 손상되면 우리 수출에 대한 수요가 감소하여 2040년 이후 연간 0.3% 가량의 수출증가율을 손해보게 된다.

다만 <그림 11>의 분석은 과거 수출자료를 활용한 회귀분석에 기반한 예측이므로, 과거 고도성장기의 수출증가세가 미래에도 유지될 것이라는 가정에 기반한다. 이러한 가정이 미래에 성립하지 않는다면 미래 수출증가세가 기후 시나리오와 무관하게 연간 5% 이상이라는 예측은 다소 비현실적일 수 있다. 본 분석에서 중요한 것은 연간 수출성장률의 절대적 수준보다는 해외 기후변화로 인한 물리적리스크가 우리 수출 증가율에 실질적인 손상을 끼친다는 점이다.

<그림 11> 교역상대국 물리적리스크(GDP손상)로 인한 예상 수출증감률($\Delta \ln EX_{c,i,t}^{kr}$)



<표 11>은 교역상대국의 물리적리스크 전파로 인한 수출증가율 손실이 큰 순서대로 산업을 나열한 것이다. 연도별로 수출증가율이 다르므로, 연간수출액 기준으로 연도별 가중평균하여 산업별로 평균 수출증가율(2023년~2100년 기간)을 계산하였다. Net-Zero 2050 시나리오 수출증가율에서 현행유지 시나리오 수출증가율을 차감한 값, 즉 수출증가율 손실분이 가장 큰 순서대로 나열하였다. 해외 물리적리스크로 인한 수출 손실규모가 가장 클 것으로 예상되는 5개 산업은 손실감소분이 0.7%인 석유화학제조업(Coke and refined petroleum products), 0.4%인 의약품제조(Basic pharmaceutical products and pharmaceutical preparations), 0.4%인 에너지연료채굴업(Mining and quarrying of energy producing materials), 0.4%인 가구제조업 및 장비수리 및 기타 제조업(Furniture; other manufacturing; repair and installation of machinery and equipment), 0.4%인 금융보험업(Financial and insurance activities)이 있다. 해외 리스크로 인한 수출 손실규모가 가장 작을 것으로 예상되는 5개 산업은 수출감소분이 -0.1%인 금속제품가공업(기계및장비 제외)(Fabricated metal products, except machinery and equipment)과 수산업(Fishing and aquaculture), 0.0%에 해당하는 비연료채굴업(Mining and quarrying except energy producing materials), 고무플라스틱제조업(Rubber and plastics products), 기타 운송장비제조업(Other transport equipment)이 있다.

<표 11> 교역상대국 물리적리스크(GDP손상)로 인한 산업별 수출증가율 손실

산업분류	(Net-Zero 2050 수출증가율)
	- (현행유지 수출증가율)
Coke and refined petroleum products	0.7%
Basic pharmaceutical products and pharmaceutical preparations	0.4%
Mining and quarrying of energy producing materials	0.4%
Furniture; other manufacturing; repair and installation of machinery and equipment	0.4%
Financial and insurance Activities	0.4%
Arts, entertainment and recreation	0.3%
IT and other information services	0.3%
Postal and courier activities	0.3%
Chemicals and chemical products	0.3%
Mining and quarrying except energy producing materials	0.2%
Construction	0.2%
Machinery and equipment n.e.c.	0.2%
Basic metals	0.2%
Motor vehicles, trailers and semi-trailers	0.2%
Education	0.2%
Accommodation, Food and beverage service activities	0.2%
Administrative and support service activities	0.2%
Professional, scientific and technical activities	0.2%
Telecommunications	0.2%
Water supply; sewerage, waste management and remediation activities	0.2%
Human health and social work activities	0.2%
Air transport	0.2%
Paper and paper products, Printing and reproduction of recorded media	0.2%
Wood and products of wood and cork, except furniture; articles of straw and plaiting materials	0.1%
Other non-metallic mineral products	0.1%
Electricity, gas, steam and air conditioning supply	0.1%
Real Estate Activities	0.1%
Land transport and transport via pipelines	0.1%
Agriculture, hunting and forestry	0.1%
Publishing, audiovisual and broadcasting activities	0.1%
Textiles, wearing apparel, leather and related products	0.1%
Food products, beverages and tobacco	0.1%
Other service activities	0.1%
Wholesale and retail trade, repair of motor vehicles and motorcycles	0.1%
Water transport	0.1%
Computer, electronic and optical products	0.1%
Warehousing and support activities for transportation	0.1%
Electrical equipment	0.1%
Mining and quarrying except energy producing materials	0.0%
Rubber and plastics products	0.0%
Other transport equipment	0.0%
Fabricated metal products, except machinery and equipment	-0.1%
Fishing and aquaculture	-0.1%

5.4. 분석결과 요약

5장의 수출경로 분석 결과를 요약하면 다음과 같다. 각국의 GDP(소득의 대용치)가 우리 수출에 미치는 영향을 계량화하기 위해 수출의 소득탄력성을 분석하였다. 산업별 수출의 소득탄력성 분석 결과, 석유화학제조업, 자동차제조업,

행정서비스업에서 해외국 소득탄력성이 가장 높게 나타났다. 화학제조업, 금속제조업, 기계장비제조업, 유틸리티공급업, 상하수도 및 폐기물처리업, 건설업, 과학기술서비스업도 비교적 높은 소득탄력성 계수를 보였다. 다음으로, 각국의 기후변화로 인한 GDP 손상분을 추정하였다. GDP가 2040년까지는 탄소저감 시나리오든 현행유지 시나리오든 비슷하게 상승하나, 2040년부터는 탄소저감시나리오(Below 2°C, Net Zero 2050)가 현행유지에 비해 가속화된 GDP성장률을 보인다. 즉, 탄소저감 노력이 없다면 장기적으로는 만성적인 물리적 손상이 결국 생산성을 떨어트려 경제성장을 둔화시키는 것으로 예측되었다.

다음으로, 해외 기후변화 시나리오별 미래 GDP 예측치와 앞서 추정한 수출의 소득탄력성 계수를 사용하여 우리 수출의 감소분을 계측하였다. 수출증가율은 2040년까지는 기후 시나리오간에 차이가 거의 없다가, 2040년 이후 해외 물리적리스크에 따라 온난화 현행유지 시나리오 하에서 수출성장률은 탄소감축 시나리오 하에서 수출성장률보다 0.3%가량 낮은 것으로 나타났다. 특히 미래 전략산업인 석유화학제조업과 의약품제조업에서 해외 물리적리스크로 인한 수출피해가 클 것으로 예상되어 각별한 주의가 필요해 보인다.

다만 본 연구의 예측치는 불확실성이 높은 가정들(예. 수출의 과거 증가세가 미래에도 동일하게 유지됨, 수출의 소득탄력성이 미래에도 적용됨)에 기반하고 있기 때문에 수출증가율의 예상치에 대한 해석을 신중하게 할 필요가 있다.

VI. 결론 및 시사점

6.1. 연구의 공헌점

기후변화로 인한 물리적리스크는 날씨와 기후 관련 피해가 자산가격에 영향을 미칠 가능성을 의미한다. 우리나라는 기후변화로 인한 물리적리스크가 이행리스크에 비해 경미한 것으로 여겨져 왔으나 우리나라는 수출입 의존도가 높은 경제 구조를 가지고 있어 교역국의 기후리스크가 글로벌가치사슬을 통해 전파될 가능성이 크다. 교역상대국에서 발생한 기온상승 및 자연재해가 해당 국가의 경제성장률을 둔화시키거나 물가를 변화시키는 등의 물리적리스크가 발생하면, 이는 무역경로를 통해 우리 경제에 충격을 가할 수 있다. 국내의 물리적리스크는 경미할 수 있으나, 해외의 물리적리스크가 글로벌가치사슬을 통해 우리 거시경제와 금융시스템에 불안정을 야기할 수 있다는 점에서 우리나라도 기후변화로 인한 물리적리스크에서 자유롭지 못하다.

본 연구는 기후 변화로 인한 물리적리스크가 특히 글로벌가치사슬을 통해 한국 경제에 미치는 잠재적 영향을 강조한다. 한국이 무역에 대한 의존도가 높아 해외의 리스크에 취약하다는 점에 주목하여, 수입경로를 통한 물가상승효과 및 수출경로를 통한 수출감소효과를 정량적으로 분석하였다. 수입경로를 통한 물리적리스크 전파는 교역상대국의 기후변화로 상대국의 생산품 가격이 상승하거나 가격변동성이 커지면 우리가 수입해서 사용하는 원자재 가격 상승 요인으로 작용한다. 국가별 농산물 가격자료와 기후변화 자료를 사용하여 분석한 결과, 미래 기온상승은 장기적으로 해외 농산물 가격에 단기적으로는 가격 하방압력으로 작용하지만 중장기적으로는 강한 가격 상방압력을 가하므로 국내물가를 크게 상승시킬 것으로 예측되었다. 수출경로를 통한 물리적리스크 전파는 교역상대국의 기후변화로 상대국의 GDP가 감소하면 우리나라 상품에 대한 수입수요가 감소하여 일어난다. 수출의 소득탄력성이 높은 산업일수록 상대국의 GDP감소로 인한 수출 타격이 심할 것이다. 분석 결과, 해외 물리적리스크는 우리 수출에 향후 10년간은 미미한 영향을 미치나, 보다 장기적으로는 2040년대 들어 우리 수출을 감소시킬 수 있는 위험요인으로 파악되었다. 요컨대 해외 물리적리스크는 수출경로와 수입경로 양쪽으로 전파되어 우리 경제에 심각한 영향을 끼칠 수 있다.

본 연구는 기후변화 리스크를 분석한 선행 연구들과 차별화된다. 첫째로, 기후변화로 인한 물리적리스크를 분석한 해외연구들은 글로벌가치사슬을 통한 리스크 전파를 고려하지 않았다. 본 연구에서는 기존의 기후변화 경제모형(예, IAM모형)이 예측하는 물리적리스크가 글로벌공급망을 통해 전세계로 전파될 수 있음을 정량적으로 보여준다. 둘째로, 기후변화가 금융리스크에 미치는 영향을 분석한 국내 선행연구들은 이행리스크에 초점을 맞추었고, 물리적리스크에 대한 분석은 희소했다. 본 연구에서는 해외 물리적리스크가 우리 금융시스템에 유의한

영향을 끼칠 수 있음을 실증적으로 보여준다.

6.2. 정책적 시사점

본 연구의 정책적 함의는 다음과 같다. 한국 경제는 해외무역 의존도가 높기 때문에 기후 변화의 위험을 평가하고 관리하는 것이 필수적이다. 이러한 정책은 해외 기후변화가 한국경제에 대한 위험의 영향을 완화하도록 설계되어야 하며, 여기에는 기후탄력적 인프라 개발에 대한 투자, 무역 파트너의 다각화 및 외부 요인에 대한 의존도를 줄이기 위한 지역 산업에 대한 투자와 같은 조치가 포함될 수 있다. 또한 저탄소경제에서 수출감소 영향을 완화하기 위해서는 제조 및 생산에서 지속가능한 관행을 구현해야 한다.

또한 본 연구는 기후 변화로 인한 물리적 위험이 국가 내에 국한되지 않고 글로벌가치사슬 전체로 퍼질 수 있음을 보여준다. 따라서 정부는 기후변화에 대처하기 위한 국제협력에 참여하고, 한국의 잠재적 위험을 완화하기 위해 다른 국가에서 지속가능한 관행을 촉진하는 정책을 시행해야 한다.

중앙은행 측면에서는 다음과 같은 정책을 고려할 수 있다. 먼저 중앙은행은 금융 기관이 재생가능에너지, 에너지 효율성 및 지속 가능한 제조공정과 같은 환경적으로 지속가능한 프로젝트에 투자하도록 장려할 수 있다. 이를 통해 수출의 탄소 발자국을 줄이고 기후 관련 위험에 대한 탄력성을 높일 수 있다. 둘째로, 중앙은행은 금융기관이 기후정책 및 규제와 관련된 물리적 위험 및 전환 위험을 포함하여 기후 위험에 대한 노출을 공개하도록 요구할 수 있다. 이러한 정보는 투자자가 기후정보에 입각한 투자의사결정을 내릴 수 있도록 도움으로써 금융기관이 기후위험에 대한 노출을 관리하고 완화하도록 장려하는 데 도움이 될 수 있다. 셋째, 중앙은행은 기후위험에 대한 국내경제의 노출도를 평가하고 잠재적 취약성을 식별하기 위해 기후 스트레스 테스트를 수행할 수 있다. 기존에 금융부문에 초점을 맞추었던 연구 범위를 확장하여 산업부문에 대한 스트레스테스트를 수행하여 기후변화-산업부문 리스크-금융부문 리스크로 이어지는 연쇄작용에 대비할 필요가 있다. 또한 해외 물리적리스크에 특히 취약할 것으로 예상되는 산업에 대해 재정지원을 할 수 있을 것이다. 중앙은행은 저탄소부문에 대한 적극적 투자를 장려하도록 저리 대출 또는 기타 형태의 자금 조달을 제공할 수 있다. 마지막으로 다른 중앙은행 및 국제기구와의 협력을 도모할 수 있다. 중앙은행은 다른 중앙은행 및 국제기구와 협력하여 수출과 관련된 것을 포함하여 기후 위험을 해결하기 위한 공통 표준 및 프레임워크를 개발할 수 있다. 이를 통해 정책과 조치가 국경 간에 일관되게 적용되고, 기후 변화가 세계 경제에 미치는 영향을 줄이는 데 도움이 될 수 있다.

참고문헌

- 강내영 (2021). 한국형 가치사슬의 구조변화 및 우리의 과제. 국제무역통상연구원 Trade Focus 2021-37.
- 국제무역연구원 (2020). 글로벌 가치사슬(GVC)의 패러다임 변화와 한국무역의 미래.
- 김경근 (2021). 우리 수출의 글로벌 소득탄력성 하락 요인 분석. BOK 경제연구 제2021-12호.
- 김재윤과 전은경 (2021). 기후변화 이행리스크와 금융안정. 조사통계월보 75(12): 16-52.
- 박수련과 정연수 (2018). 기후변화와 금융안정. BOK 이슈노트 제 2018-6호.
- 이춘근 (2000). 수입상품가격 변동이 대구지역 물가에 미치는 영향. 대구경북개발연구 제 5호.
- 인소영과 박기영 (2021). 기후변화의 경제학. The Korean Journal of Economics Vol, 28(1).
- 정성훈 (2014). 글로벌 가치사슬의 관점에서 본 한국의 산업 및 무역정책.KDI 정책연구 시리즈 2014-15.
- 최낙균, 강준구, 이홍식, 한치록 (2017). 세계 무역분화의 구조적 요인 분석과 정책 시사점. 대외경제정책연구원 연구보고서 17-08.
- 최문정과 김경근 (2019). 선진국 수입수요가 우리나라 수출에 미치는 영향. 경제분석 25(1):24-65
- 한국은행 (2019). 2015년 산업연관표 해설편.
- 한국은행 (2021). 기후변화와 한국은행의 대응방향.
- Acevedo, S., Mrkaic, M., Novta, N., Pugacheva, E., & Topalova, P. (2020). The effects of weather shocks on economic activity: what are the channels of impact?. Journal of Macroeconomics, 65, 103207.
- Aslam, A., Boz, E., Cerutti, E., Poplawski-Ribeiro, M., and Topalova, P. (2017), "The Slowdown in Global Trade: A Symptom of a Weak Recovery?," IMF Economic Review, Vol. 66(3), pp. 440-479.
- Arellano, M., & O. Bover (1995), "Another Look at the Instrumental Variable Estimation of Error-Components Models," Journal of Econometrics, Vol. 68(1), pp. 29-51.
- Auboin, M. and Borino, F. (2017), "The Falling Elasticity of Global Trade to Economic Activity: Testing the Demand Channel," WTO Staff Working Papers ERSD-2017-09
- Bank for International Settlements (2020), "The green swan: Central banking and financial stability in the age of climate change"

- Batten, S. (2018). Climate change and the macro-economy: a critical review. Bank of England Working Paper No. 706, 2018.
- Blundell, R. & S. Bond (1998), "Initial Conditions and Moment Restrictions in Dynamic Panel Data Models," *Journal of Econometrics*, Vol. 7, pp. 111–143.
- Ciccarelli, M., & Marotta, F. (2021). Demand or supply? An empirical exploration of the effects of climate change on the macroeconomy.
- Coffman, M., & Noy, I. (2012). Hurricane Iniki: measuring the long-term economic impact of a natural disaster using synthetic control. *Environment and Development Economics*, 17(2), 187–205.
- De Bandt, O., Jacolin, L., & Thibault, L. (2021). Climate change in developing countries: global warming effects, transmission channels and adaptation policies.
- Dell, M., Jones, B. F., & Olken, B. A. (2012). Temperature shocks and economic growth: Evidence from the last half century. *American Economic Journal: Macroeconomics*, 4(3), 66–95.
- De Winne, J., & Peersman, G. (2018). Agricultural price shocks and business cycles—a global warning for advanced economies.
- Eckstein, D., Künzel, V., & Schäfer, L. (2018). Global climate risk index 2018: Who suffers most from extreme weather events? Weather-related loss events in 2016 and 1997 to 2016. Germanwatch, Bonn.
- European Central Bank. (2016). "Understanding the Weakness in Global Trade – What is the New Normal?" ECB Occasional Paper No. 178.
- Faccia, D., Parker, M., & Stracca, L. (2021). Feeling the heat: extreme temperatures and price stability.
- Felbermayr, G., & Gröschl, J. (2014). Naturally negative: The growth effects of natural disasters. *Journal of development economics*, 111, 92–106.
- Fomby, T., Ikeda, Y., & Loayza, N. V. (2013). The growth aftermath of natural disasters. *Journal of applied econometrics*, 28(3), 412–434.
- Guerrieri, V., Lorenzoni, G., Straub, L., & Werning, I. (2022). Macroeconomic implications of COVID-19: Can negative supply shocks cause demand shortages?. *American Economic Review*, 112(5), 1437–74.
- Heinen, A., Khadan, J., & Strobl, E. (2019). The price impact of extreme weather in developing countries. *The Economic Journal*, 129(619), 1327–1342.
- Hsiang, S. M., & Jina, A. S. (2014). The causal effect of environmental catastrophe on long-run economic growth: Evidence from 6,700 cyclones (No. w20352). National Bureau of Economic Research.

- Hornbeck, R. (2012). The enduring impact of the American Dust Bowl: Short- and long-run adjustments to environmental catastrophe. *American Economic Review*, 102(4), 1477–1507.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2014). IPCC Fifth Assessment Report–Synthesis Report.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2021). IPCC Sixth Assessment Report.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (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. Cambridge University Press.
- NGFS (2021). NGFS Climate Scenarios for central banks and supervisors.
- Noy, I. (2009). The macroeconomic consequences of disasters. *Journal of Development economics*, 88(2), 221–231.
- Montiel Olea, J. L., & Plagborg-Møller, M. (2021). Local projection inference is simpler and more robust than you think. *Econometrica*, 89(4), 1789–1823.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (2022). “Development of Inter-country Input-output Database 2021 Edition”
- Parker, M. (2018). The impact of disasters on inflation. *Economics of Disasters and Climate Change*, 2(1), 21–48.
- Roberts, M. J., & Schlenker, W. (2013). Identifying supply and demand elasticities of agricultural commodities: Implications for the US ethanol mandate. *American Economic Review*, 103(6), 2265–95.
- Strobl, E. (2011). The economic growth impact of hurricanes: Evidence from US coastal counties. *Review of Economics and Statistics*, 93(2), 575–589.
- UNFCCC(2018), “Summary and Recommendation by the Standing Committee on Finance on the 2018 Biennial Assessment and Overview of Climate Finance Flows,” UN Frame Convention on Climate Change.