

R 901 | 2020. 12. |

기후변화를 반영한 농식품 교역 모형 개발 연구

A Study on the Development of Agri-food Trade Model
Reflecting Climate Change

김상현 김종진 정대희 박수연 오새라



한국농촌경제연구원

R 901 | 2020. 12. |

기후변화를 반영한 농식품 교역 모형 개발 연구

A Study on the Development of Agri-food Trade Model
Reflecting Climate Change

김상현 김종진 정대희 박수연 오새라



연구 담당

김상현 | 부연구위원 | 연구 총괄, 일반균형 분석, 제1~2장, 제4~6장 집필

김종진 | 연구위원 | 주요 경제모형 검토, 제3장 집필

정대희 | 전문연구원 | 부분균형 및 중력모형 분석, 제5장 집필

박수연 | 연구원 | 부분균형 및 중력모형 분석, 제2장, 제5장 집필

오새라 | 연구원 | 문헌 및 통계자료 분석

위탁 연구

김태영 | 경상대학교 교수 | 제5장 참여(중력모형)

이상현 | 강원대학교 교수 | 제3장 참여(모형검토)

조성주 | 제주대학교 교수 | 제5장 참여(일반균형 모형)

조현경 | 한국마사회 연구원 | 제5장 참여(일반균형 모형)

연구보고 R901

기후변화를 반영한 농식품 교역 모형 개발 연구

등 록 | 제6-0007호(1979. 5. 25.)

발 행 | 2020. 12.

발 행 인 | 김홍상

발 행 처 | 한국농촌경제연구원

우) 58321 전라남도 나주시 빛가람로 601

대표전화 1833-5500

인 쇄 처 | 지아이지인

I S B N | 979-11-6149-415-9 93520

- 이 책에 실린 내용은 출처를 명시하면 자유롭게 인용할 수 있습니다.
무단 전재하거나 복사하면 법에 저촉됩니다.

국제사회는 기후변화가 자연생태계뿐 아니라 무역을 포함한 세계 경제 전반에 심각한 위협요인이 될 것이라는 우려 속에서 지난 수 세기 전부터 기후변화에 적극 대응하고자 다각적인 협력을 모색하고 있다. WTO, OECD, FAO, UN 등 다양한 분야의 국제기구에서도 국제무역이 농식품 생산패턴과 비교우위의 변화를 초래하는 기후변화에 적응하는 역할뿐 아니라, 효율적 배분을 통한 지속가능성 측면에서도 중요한 요소임을 강조하고 있다. 특히, 세계무역을 관장하는 WTO 내부에서조차 기후변화와 농업의 지속가능성 측면에서 농업통상 정책의 논의를 다자화하려는 움직임을 보이고 있다. WTO 농업협상 전문가에 따르면 농업정책과 탄소국경제가 최우선 논의 대상이 될 것이라는 전망이다. 기후변화와 국제무역의 중요성이 강조되는 가운데 우리나라도 2016년 제1차 기후변화대응 기본계획에 이어 2019년 제2차 기후변화대응 기본계획을 수립하여 기후변화가 위협요인만이 아닌 차세대 경제성장 동력을 창출하는 기회요인으로 활용하는 등 기후변화에 적극 대응하고 있다.

이런 기후변화 대응 정책기조에 부응하기 위해서는 기후변화와 무역을 연계한 사전 기초연구가 필요하다. 하지만 기후변화에 관한 방대한 문헌과 다양한 분석 모형에도 불구하고 기후변화가 농업 생산구조나 무역에 미치는 연구는 상대적으로 미미한 실정이다. 이런 인식을 바탕으로 본 연구는 기존 교역 모형의 접근 가능성과 운용 현실성을 감안하여 농업부문에 기후변화를 반영할 수 있는 교역 모형을 활용하여 세계 기후 시나리오에 따른 국내농업에 미치는 영향을 분석하고 향후 개선과제를 제시하였다. 아무쪼록 이 연구가 농업부문 기후변화를 반영한 교역 모형을 개발하는 연구자나 기후변화 관련 정책입안자에게 필요한 기초자료로 활용되기를 기대한다.

2020. 12.

한국농촌경제연구원장 김 홍 상

요 약

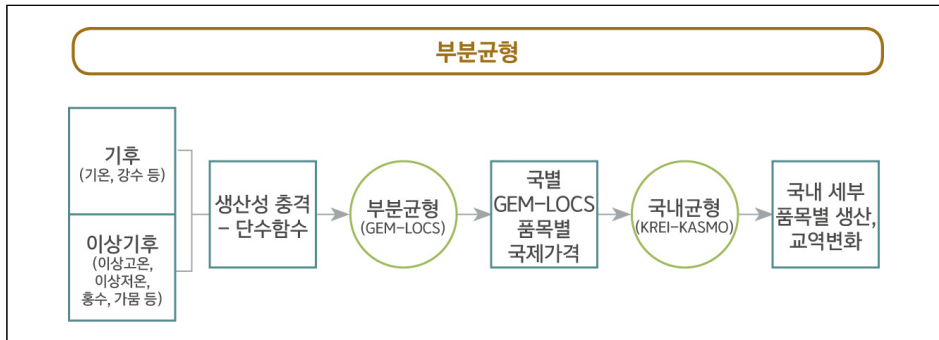
연구 배경과 목적

- 지난 수 세기 동안 기후변화는 국제사회의 화두로 논의되어 왔다. 농업은 기후 변화의 부정적 영향에 가장 취약한 산업 가운데 하나이며, 일반적으로 선진국 뿐만 아니라 특히, 개도국의 경제에 미치는 영향이 보다 심각할 것으로 분석되고 있다. 기후변화와 무역과의 관계가 강조되고 있는 가운데 우리나라는 2016년 제1차 기후변화대응 기본계획, 2019년 제2차 기후변화대응 기본계획의 수립을 통해 기후변화에 적극적으로 대응하고 있다.
- 세계무역을 관장하는 WTO 내부에서조차 기후변화와 농업의 지속가능성 측면에서 농업통상 정책의 논의를 다자화하려는 움직임을 보이고 있어, 국내적으로 기후변화 대응을 위한 제도나 정책을 수립하는 데 기여할 수 있도록 기후변화가 국내 농업과 농식품 무역에 미치는 영향을 분석할 수 있는 기반이 마련되어야 한다. 따라서 기후변화 대응 정책기조에 부응하는 차원에서 단기뿐만 아니라 중장기 농식품 통상정책을 수립하는데 기여할 수 있는 무역과 기후변화를 연계한 사전 기초연구가 필요한 상황이다.
- 이러한 필요성을 고려하여 본과제는 먼저, 기후변화가 농업부문 생산과 무역에 미치는 영향을 이론적으로 살펴보고, 기존 교역 모형에 기후변화를 어떻게 반영했는지 심층 분석하였다. 이를 바탕으로 모형의 접근 가능성과 운용 현실성을 감안하여 국내 농업부문에 적용할 수 있는 기후변화를 반영한 교역 모형을 구축하였고 이를 통해 전 세계 기후 시나리오별 국내 농업에 미치는 영향을 분석하였다. 분석 결과와 모형구축 과정에서 제기된 모형의 장단점을 바탕으로 향후 우리나라 농업부문의 기후변화와 무역을 연계한 모형을 개발하는 데 필요한 과제를 제안하고자 한다.

연구 방법

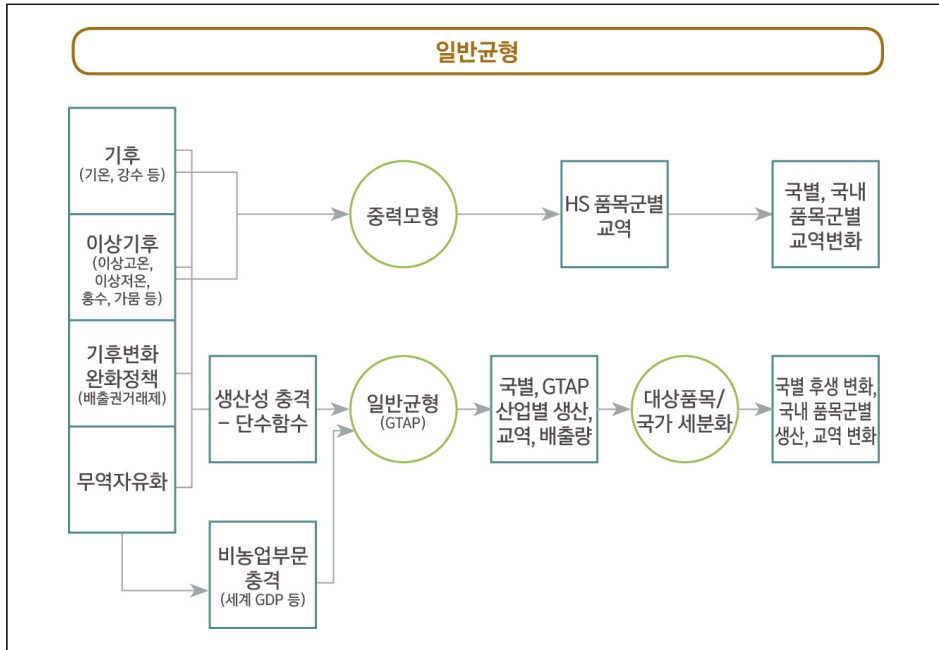
- 기후변화가 농업부문과 농식품 무역에 미치는 영향을 분석하기 위해서 크게 부분균형 접근 방식과 중력모형을 포함한 일반균형 접근 방식으로 분석체계를 구축하였다.
- 기후변화를 반영한 부분균형 접근에서는 기후(기온, 강수 등)나 이상기후(이상고온, 이상저온, 홍수, 가뭄 등)의 변화가 생산함수의 관계를 통해 작물에 미치는 영향을 각국의 생산량 변화로 간주하여 GEM-LOCS 모형에 반영하고 각 품목의 새로운 세계가격을 도출하였으며, 이러한 세계가격의 변화를 KREI-KASMO 모형에 반영하여 국내 세부품목의 생산 및 교역 변화를 계측하였다<요약 그림 1>.

〈요약 그림 1〉 기후변화 반영 부분균형 분석체계도



주: 사각형은 변수나 결과를 의미하고, 원형은 프로세스나 함수를 의미함.

〈요약 그림 2〉 기후변화 반영 일반균형 분석체계도



주: 사각형은 변수나 결과를 의미하고, 원형은 프로세스나 함수를 의미함.

주요 연구 결과

- 부분균형 모형을 활용한 기후변화 충격이 우리나라 농산물 무역과 국내 농업 생산에 미치는 영향 분석은 대두, 밀, 보리, 쌀, 옥수수 등 주요 5대 곡물을 대상으로 하여 기상변수와 이상기후가 작물 단수에 미치는 영향을 분석하였다. 분석된 결과는 GEM-LOCS 모형과 KREI-KASMO 모형에 연결하여 기후변화가 우리나라 곡물 교역과 국내 생산에 미치는 영향을 RCP 시나리오별로 살펴 보았다. 기후변화에 따른 국내 농업의 영향은 KREI-KASMO 모형에 반영하기 어려운 한계점이 있어, 국내농업 부문은 해외농업 부문에서 파생된 영향을 받아들이는 것으로 가정하였다.

○ 최종 결과를 살펴보면, RCP 4.5 시나리오하에서 기후변화에 따른 국제곡물가격 변화로 예상되는 농업부문 영향은 우리나라 전체 농업생산액의 0.04% 수준¹인 10년 누적 1,785억 원, 연평균 178억 원 수준으로 예상되었다. RCP 6.0 시나리오에서 기후변화에 따른 국제곡물가격 변화로 예상되는 농업부문 영향은 10년 누적 6,446억 원, 연평균 645억 원 수준이며, 이는 국내 농업생산액의 0.13% 수준이다. 마지막으로 RCP 8.5 시나리오의 경우 우리나라 전체 농업생산액의 0.10% 수준인 10년 누적 4,986억 원, 연평균 499억 원 수준의 생산액 감소 효과가 예상되었다. RCP 6.0 시나리오에 비해 영향이 크게 작아진 것으로 RCP 8.5 시나리오에서 예측된 분석기간 동안의 온도가 RCP 6.0 시나리오에 비해 높아 상대적 생산성이 낮았고 이로 인해 국제곡물가격이 상대적으로 높아 곡물 수입량이 적었기 때문이다.

○ 일반균형 모형을 활용한 기후변화 충격이 우리나라 농산물 무역과 국내 농업 생산에 미치는 영향 분석은 기후변화의 생산성 효과 분석과 기후변화 정책 효과 분석 두 가지로 나누어 이루어졌다.

○ 먼저 GTAP-E를 활용한 기후변화의 생산성 효과 분석은 대부분의 기존 연구와 달리 아시아 혹은 OECD 회원국에 포함되어 집계되는 우리나라를 세분화 하였으며, 농업부문(분석대상 작물)을 가능한 한 세분화하는 데 중점을 두어 분석을 실시하였다. 기후변화에 따른 생산성 효과 분석을 위한 분석 시나리오에서는 국가와 지역으로 집계된 과거 기후에 따른 생산성과 미래 기후변화 시나리오에 따른 생산성을 사용하여 생산성 변화율을 도출하였다.

1 2020년 전체 농업생산액은 50조 4,380억 원으로 전망됨(한국농촌경제연구원, 농업전망 2020).

- 기후변화에 따른 작물생산성 변화율 전망치(시나리오)를 GTAP-E에 적용한 결과, 거시경제 변화로는 기후변화로 인해 작물의 생산성이 변화할 경우 대부분의 국가에서 GDP가 감소하는 것으로 나타났으며, 총수입과 총수출 전망의 경우 무역의 균형을 위해 기후변화 효과가 대부분 수출입 간에 상반된 결과를 보이는 것으로 나타났다.²

○ 다음으로 GTAP-E를 활용한 기후변화 정책 효과 분석은 기후변화 대응조치 가운데 완화와 관련된 배출권거래제(Emissions Trading System: ETS)와 무역자유화 조치 등 정책 요인을 GTAP-E에 반영하여 기후변화의 영향을 살펴보았다. 기후변화 정책 요인을 추가한 분석 시나리오를 다섯 가지(기준시나리오, 생산성 변화(충격) 시나리오, 생산성 충격+배출권 거래시장 형성 시나리오, 생산성 충격+무역자유화 조치 시나리오, 생산성 충격+배출권 거래시장 형성+무역자유화조치 시나리오)로 정리하여 분석하였다.

○ 분석 결과, 기후변화 정책 시나리오에 따라 지역별·산업별로 상이한 결과가 나타났다. 정책 목적에 따라 어떠한 대안에 좀 더 주의를 기울여야 할지의 판단이 필요할 것으로 보이며, 지역과 부문에 맞는 기후변화 관련 정책 설정이 필요할 것으로 판단된다.³

○ 중력모형을 활용한 기후변화의 국내 수입 영향 분석은 기후변화로 인한 지역적 온난화 등의 영향으로 작물 전환이 일어날 가능성이 있는 품목인 열대과일, 온대과일, 감귤류를 중심으로 이루어졌으며, 기후변화에 따른 열대과일 수입

2 보다 자세한 분석 결과는 본보고서를 참고 바람.

3 보다 자세한 분석 결과는 본보고서를 참고 바람.

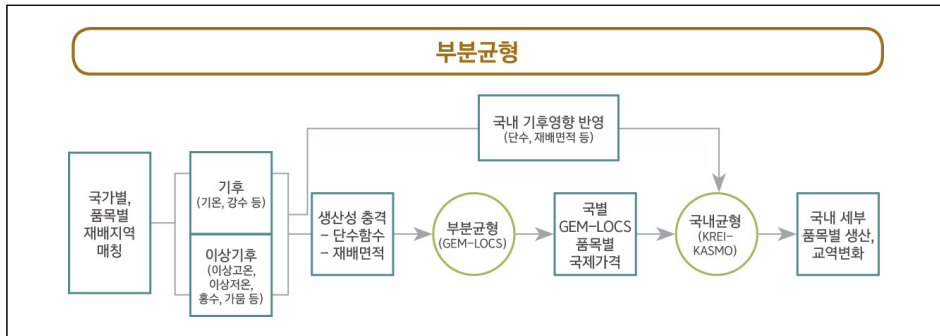
전망은 열대과일 출발국 기후요소만 고려한 경우, 출발국과 도착국의 기후변화를 모두 고려할 경우 두 가지로 나누어 실시하였다.

- 먼저, 열대과일 출발국의 기후변화만을 고려할 경우, 우리나라의 열대과일 수입전망은 기온이 올라갈수록 수입량이 감소하기 때문에 출발국의 기온 상승은 우리나라의 열대과일 수입에 부정적인 영향을 미치는 것으로 분석되었다.
- 열대과일 수출국(출발국)과 수입국인 우리나라(도착국)의 기후변화를 모두 고려할 경우, 우리나라의 열대과일 수입전망은 수출국 기후변화 요소만 고려했을 경우와 반대 결과가 나타났다. 그 이유는 출발국의 기온이 상승하면 열대과일 수입실적은 감소하는 반면, 우리나라의 기온이 상승하면 열대과일 수입실적이 증가하기 때문이다. 또한 우리나라 기온상승으로 인한 열대과일 수입 증가 정도가 출발국의 기온상승으로 인한 열대과일 수입 감소 정도보다 더 크기 때문에, 국내 수입수요가 더 크게 작용을 하여 기온이 상승할수록 전체적인 수입실적이 증가하는 것으로 전망되었다.
- 중력모형을 이용한 기후변화 시나리오별 열대과일 수입전망은 다음과 같은 한계를 가진다. 먼저, 주요 설명변수의 전망치를 산정하는 데 어려움이 있어 일인당 GDP와 생산량을 제외한 대다수 변수의 전망치를 최근 3년치 이동평균이나 전년도 자료를 사용함에 따라 열대과일 전망치가 기존 수입 실적 증가 흐름에 비해 다소 과소평가될 우려가 있다. 열대과일 수입 전망치는 대부분 기후변화 시나리오별 차이로 인한 것으로 볼 수 있음을 의미한다. 다음으로 추정모형에 도착국(우리나라) 기후요소의 포함 여부에 따라 기후변화 시나리오별로 상반된 분석 결과가 도출될 수 있기 때문에 전망치 결과를 해석하는 데 전제 조건을 이해하는 것이 무엇보다 중요하다.

요약 및 향후과제

- 본과제인 “기후변화를 반영한 농식품 교역 무역 개발 연구”는 우리나라 농업 부문을 대상으로 한 기후변화와 무역을 연계한 모형을 개발하는 데 필요한 과제를 제시하였다. 이를 위해서 분석 결과와 모형 활용 과정에서 제기된 분석모형의 장단점을 파악하고 이를 바탕으로 기후변화와 무역을 연계한 모형을 개발하기 위한 개선안을 제시하였다. 먼저, 부분균형 모형을 활용한 접근 방식에서 나타난 한계점들을 극복할 수 있도록 제시한 부분균형 접근 방식의 개선 방안은 <요약 그림 3>과 같이 나타낼 수 있다.

<요약 그림 3> 부분균형 접근 방식 개선 방안

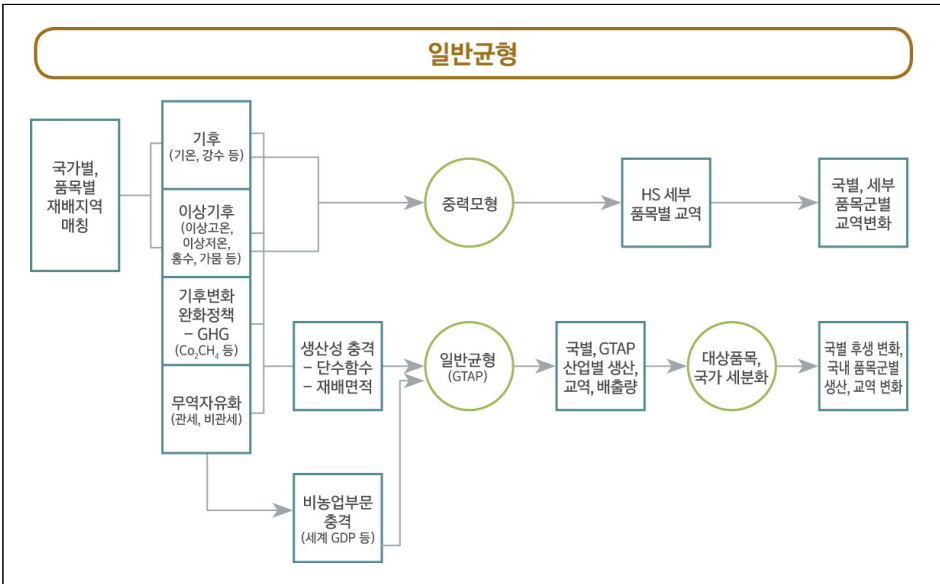


주: 사각형은 변수나 결과를 의미하고, 원형은 프로세스나 함수를 의미함.

- 일반균형 접근 방식 중 일반균형 모형을 활용한 방식은 기후변화의 영향으로 인한 국가별 거시경제 변화, 산업별 생산과 무역의 변화 등을 동시에 파악할 수 있는 장점이 있는 반면, 국내 주요 세부 품목에 미치는 개별 영향에 대한 분석은 어렵다는 한계가 있었다. 중력모형 접근 방식은 기후나 이상기후가 교역에 직접적으로 미치는 영향에 대해 축약형 방정식으로 나타낼 수 있다는 장점이 있지만 생산구조 변화를 파악할 수 없다는 한계가 있었다. 이상의 결과를

토대로 중력모형을 포함한 일반균형 접근 방식의 개선 방안은 <요약 그림 4>와 같이 도식화할 수 있다.

〈요약 그림 4〉 일반균형 접근 방식 개선 방안



주: 사각형은 변수나 결과를 의미하고, 원형은 프로세스나 함수를 의미함.

ABSTRACT

A Study on the Development of Agri-food Trade Model Reflecting Climate Change

Background and Purpose

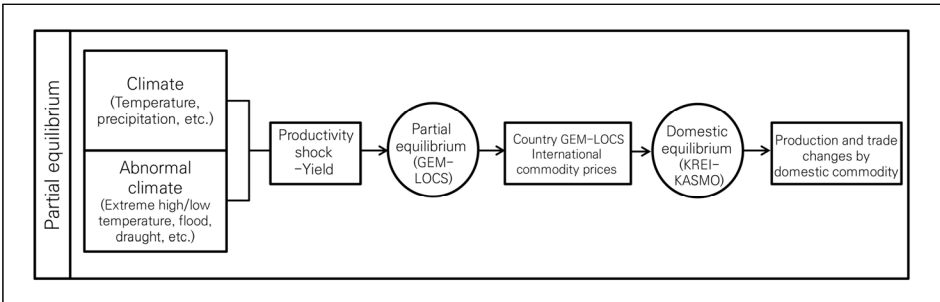
- Climate change has been a topic for discussion in the international community for centuries. Agriculture is one of the most vulnerable industries to negative impacts from unusual weather patterns, and such effects are more severe in developing economies than advanced nations (Tekce and Pinar, 2016). While the link between climate change and trades gains attention, the Korean government actively responds to climate change by establishing the 1st and 2nd basic plan for coping with climate change in 2016 and 2019, respectively.
- The World Trade Organization (WTO) has multilateral discussions on agricultural trade policies regarding climate change and agricultural sustainability. Amid the trend, it is crucial to prepare a platform to analyze climate change's impacts on domestic farming and agro-food trade. The platform will contribute to establishing systems or policies to cope with climate change (the Korea Meteorological Administration, 2019). Accordingly, basic research on trade-climate change relations is required for the government's response to climate change in the short term and the establishment of agro-food trade policies in the mid to long term.

- Against this backdrop, this research explored climate change's impacts on agricultural production and trade theoretically and analyzed how climate change was reflected in the existing trade models. Based on the analysis, we built a trade model reflecting climate change to apply to domestic agricultural sector in consideration of the model's accessibility and practicality. Using the model, we simulated impacts on domestic agriculture for various world climate scenarios. Based on the simulation results and the merits/ demerits of our model detected through the modeling process, we intend to suggest tasks required for developing a model linking climate change and trade in agriculture.

Research Methodology

- We applied two approaches to analyze climate change's effects on agriculture and agro-food trade: a partial equilibrium model and a general equilibrium model including a gravity model.
- In the partial equilibrium model for climate change adaption, we regarded the impacts of changes in climate (temperature, precipitation, etc.) or unusual climate (unusual high/ low temperature, flood, draught, etc.) on crops through a production function as each country's production volume changes. We reflected the inputs to the GEM-LOCS model and gained the outputs of new world prices. Then, we estimated the changes in domestic production and trade by reflecting the changes in world prices in the KREI-KASMO model(Figure 1).

〈Figure 1〉 Diagram of partial equilibrium analysis after reflecting climate change



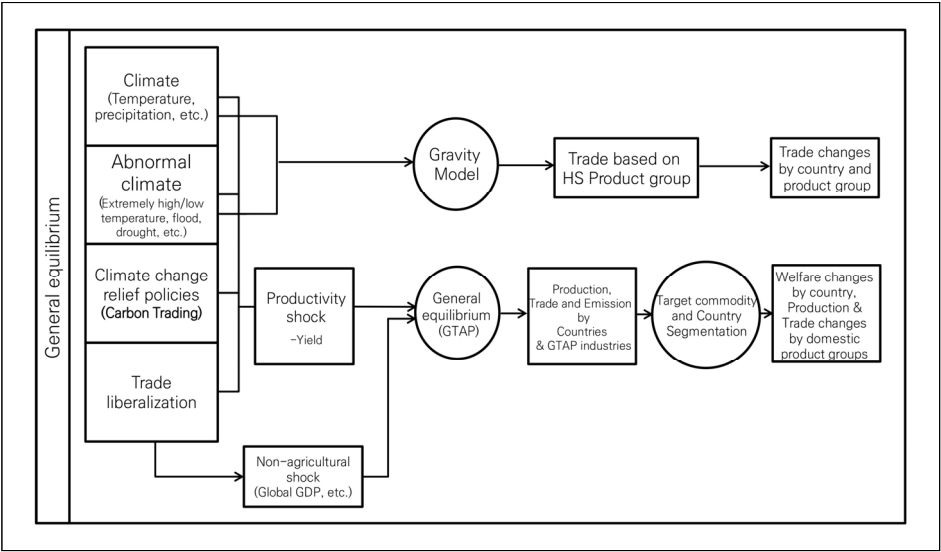
Note: The squares refer to variables or outcomes, while the circles refer to processes or functions.

- For the general equilibrium approach, we applied the equilibrium model and the gravity model ⁴.
- For the general equilibrium approach (GTAP model applied) for climate change adaptation, we reflected long-term estimates of productivity and macroeconomic variables from each country's climate change to the GTAP-E model to compute changes in each country's welfare (GDP) and production/ trade in agriculture, the food industry, and other related sectors. The commodity group and the region (country) group of the GTAP-E model were re-categorized for analysis. In particular, inputs for Korea were reflected in a detailed manner to predict production and trade changes.
- As to the gravity model approach for the analysis of climate change effects, we assumed, unlike the previous model, that climate or unusual patterns would directly impact trade by country and by commodity. In this analysis, we estimated climate change's impacts on

⁴ We applied the gravity model for the general equilibrium approach to estimate changes in agriculture and agro-food trade following climate change.

agro-product imports based on the basis gravity model. The model we used is an extended version of the basic gravity model. The diagram of general equilibrium analysis after reflecting climate change is shown in Figure 2.

〈Figure 2〉 Diagram of general equilibrium analysis after reflecting climate change



Note: The squares refer to variables or outcomes, while the circles refer to processes or functions.

Key Findings

- The analysis of the impacts of climate shocks on Korea’s agro-food trade and domestic agricultural production used the partial equilibrium model. We used five grains, including soybean, wheat, barley, rice, and maize, to analyze unusual weather patterns’ effects on crop yields. The outputs were reflected on in GEM-LOCS model and the KREI-KASMO model for inspecting climate change’s influences on

Korea's grain trade and domestic production by RCP scenario. As climate change's impacts on local farming have limitations in reflecting on the KREI-KASMO model, we assumed domestic agriculture received impacts derived from overseas agriculture.

- After simulating the models, we achieved results as follows. In the RCP 4.5 scenario, the impact on agriculture from international grain price changes due to climate change is expected to be KRW 178.5 billion(10-year cumulative) and KRW 17.8 billion(per year). It is equivalent to 0.04% of the total sum of agricultural production. In the RCP 6.0 scenario, the impact on agriculture from global grain price changes due to climate change is predicted to be KRW 644.6 billion(10-year cumulative) and KRW 64.5 billion(per year). It is equivalent to 0.13% of the total sum of domestic agricultural production. Lastly, the RCP 8.5 scenario shows the negative impact of KRW 498.6 billion(10-year cumulative) and KRW 49.9 billion per year. It is equivalent to 0.10% of the total sum of domestic agricultural production. The RCP 8.5's impact is smaller than in the RCP 6.0 because the former's temperature is higher than the latter. The higher temperature lowers productivity, resulting in hikes in international grain prices and reduced grain imports in Korea.
- As to the climate shocks' impacts on Korea's agro-food trade and domestic agricultural production, we used the general equilibrium model. The analysis included two aspects: productivity effects and climate change policy effects.

- First, the GTAP-based analysis of productivity effects from climate change, unlike previous research, subdivided Korea's statistical data which are normally aggregated to OECD or Asian countries. In particular, we tried to sub-categorize the agricultural factors (subject crops) as possible as we could. The scenario to analyze productivity effects due to climate change used past productivity data aggregated from regions/ countries and future productivity estimates. By simulating the scenario, we produced productivity change ratios.
- We applied the crop productivity changes (estimates) following the suggested climate changes to the GTAP-E model. According to our simulation, changes in crop productivity from climate change are estimated to reduced most nations' GDP. As to gross import and export projections, climate change effects displayed reverse import/export outcomes to balance trade⁵.

- Regarding the GTAP-based analysis of policy effects, we selected responsive actions such as the Emissions Trading System (ETS) and trade liberalization measures. We reflected them in the GTAP-E model to see climate change's impacts. For analysis, we prepared five scenarios by adding the policy factor: the basic scenario, the productivity change (shock) scenario, the productivity shock + ETS market formation scenario, the productivity shock + trade liberalization scenario, and the productivity shock + ETS market formation + trade liberalization scenario.

⁵ Refer to pp. 91–105 for the detailed analysis results.

- Our simulations showed different results for regions and industries following the scenarios. Accordingly, it is necessary to decide which alternatives the government should focus on according to policy purposes. Also, the government should set policy directions suitable for regions and industry sectors⁶.

- The gravity-based analysis of import impacts targeted tropical fruits, temperate fruits, and tangerines, susceptible to crop conversion due to regional warming from climate change. Regarding the import projections for tropical fruits following climate change, we considered two assumptions: I) exporting countries' climate factors and II) exporting/ importing countries' climate factors.
 - First, when exporting countries' climate factors were considered, the import projections reduced with temperatures going up. The result implied that the temperature rise in exporting countries would negatively impact on Korea's imports.
 - When the climate factors of tropical fruit exporting countries and Korea (importing country) are considered, the result was the opposite of the first scenario discussed above. When the exporting countries' temperatures went up, Korea's imports decreased. However, when Korea's temperatures rose, its imports increased. Also, as the degree of Korea's import increase from rising temperatures was more prominent than that of Korea's import decrease from increasing

6 Refer to pp. 105–115 for the detailed analysis results.

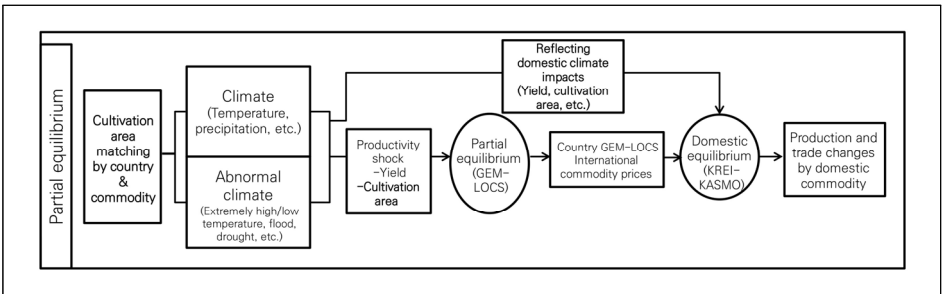
temperatures, it was expected that overall imports would increase with temperatures going up.

- The gravity model-based scenarios to predict tropical fruit imports have limitations. First, as it is hard to estimate major explanatory variables' predictions, we applied the latest 3-year rolling averages or the previous year's data for most variables except GDP and production volumes. Consequently, tropical fruits' projections would possibly be underestimated compared with existing import increases, indicating that differences in climate change scenarios caused tropical fruits' import projections. Also, depending on whether the estimation model included the importing country (Korea)'s climate factors, different scenarios could result in different outcomes. Therefore, It is important to have a better understanding of the prerequisites in interpreting the results of the forecast.

Summary and Future Tasks

- This research ("The Study on Developing an Agro-food Trade Model Reflecting Climate Change") suggested essential tasks to develop a model connecting climate change and trade for Korea's agriculture. It discussed the merits and demerits of the analysis models based on the results and issues detected through the simulation process. Based on our findings, we suggested ways for improvement to develop a model connecting climate change and trade. First of all, to overcome the challenges in the partial equilibrium approach, we suggested the measure to improve as shown in Figure 3.

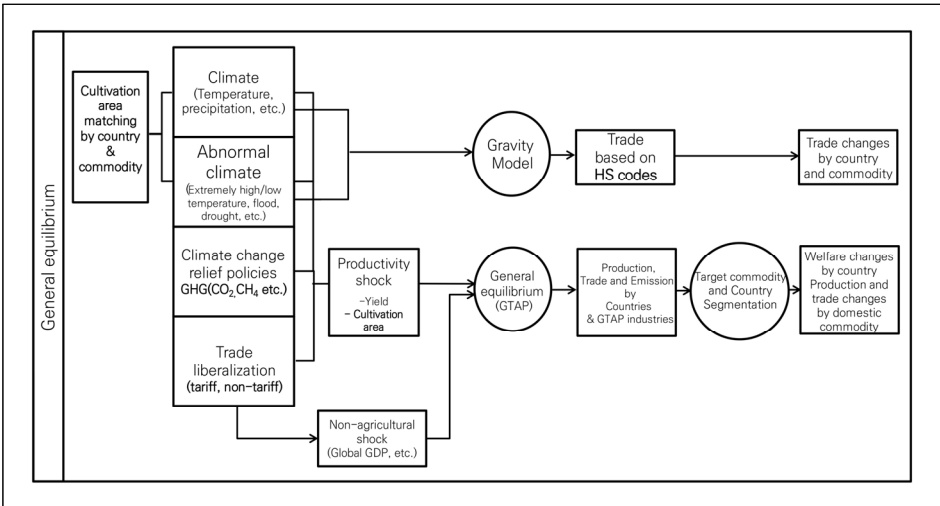
〈Figure 3〉 Improved diagram for the partial equilibrium approach



Note: The squares refer to variables or outcomes, while the circles refer to processes or functions.

- In the general equilibrium approach, the general equilibrium model had merits in understanding macroeconomic, industrial production, and trade changes simultaneously from climate change. On the other hand, it had limitations in analyzing individual impacts on Korea's key commodities. The gravity model was useful for expressing the impacts of climate or abnormal climate on trade through reduced equations. However, it had limitations in figuring out changes in production structures. Based on these findings, we suggested the idea to improve the general equilibrium approach, including the gravity model, as shown in Figure 4.

〈Figure 4〉 Improved diagram for the general equilibrium approach



Note: The squares refer to variables or outcomes, while the circles refer to processes or functions.

Researchers: Kim Sanghyun, Kim Jongjin, Chung Daehee, Park Suyeon, Oh Saera

Research period: 2020. 1. ~ 2020. 12.

E-mail address: sanghyun@krei.re.kr

차 례

제1장 서론	1
1. 연구 필요성 및 목적	3
2. 선행연구 검토 및 차별성	7
3. 연구 내용과 방법	13
제2장 기후변화와 국제무역	17
1. 기후변화와 국제무역의 이론적 관계	19
2. 기후변화의 직·간접 무역효과	23
3. 요약 및 소결	32
제3장 기후변화를 반영한 교역 모형	33
1. 모형의 기본 구성	35
2. 기후변화와 실물 부문의 연계성 분석	37
3. 기후변화를 반영한 교역 모형구축	38
4. 모형 구축사례 검토	41
5. 요약 및 소결	50
제4장 기후변화를 반영한 분석체계	51
1. 기후변화를 반영한 모형 선택 기준 및 개요	53
2. 기후변화를 반영한 모형 분석체계	66
제5장 국내 농업 영향 분석을 위한 모형 시뮬레이션	71
1. 부분균형 모형을 활용한 국내 농업 영향 시뮬레이션	73
2. 일반균형 모형을 활용한 국내 농업 영향 시뮬레이션	91

제6장 요약 및 향후과제 127

- 1. 요약 129
- 2. 부분균형 접근 방식 개선 방안 131
- 3. 일반균형 접근 방식 개선 방안 134

부록

- 1. GTAP 10 데이터베이스 지역 및 부문 구성 139
- 2. 중력모형 추정방식 145
- 3. 기후변화의 과일 수입 중력모형 추정결과 152
- 4. 기후 및 이상기후가 농작물의 생산에 미치는 영향 분석 172

참고문헌 183

표 차례

제1장

〈표 1-1〉 대표적 선행연구 분류	7
〈표 1-2〉 선행연구와의 차별성	12
〈표 1-3〉 연구 대상과 범위	14

제2장

〈표 2-1〉 교역관련 기반시설에 대한 기후변화의 잠재적 직접효과	24
--	----

제3장

〈표 3-1〉 기후변화를 반영한 농업 부문 모형의 범위와 특징	42
--	----

제5장

〈표 5-1〉 작물별 단수와 기후변수 기초통계량	79
〈표 5-2〉 세계 작물별 단수 추정 결과	80
〈표 5-3〉 예측력 평가(2009~2018년)	82
〈표 5-4〉 기후변화 시나리오에 따른 주요 곡물 품목별 단수 변화율	84
〈표 5-5〉 주요 곡물 품목별 국제가격 변화 전망	86
〈표 5-6〉 시나리오별 주요 곡물 수입량 변화 전망	88
〈표 5-7〉 RCP 4.5 시나리오하 농업부문 영향분석 결과	89
〈표 5-8〉 RCP 6.0 시나리오하 농업부문 영향분석 결과	90
〈표 5-9〉 RCP 8.5 시나리오하 농업부문 영향분석 결과	91
〈표 5-10〉 지역 집계를 위한 상위국가 기준	93
〈표 5-11〉 국가(지역) 세분화(18개 지역)	94
〈표 5-12〉 작물 및 부문 세분화 내역(17개 부문)	95
〈표 5-13〉 시나리오 전망 자료 출처(SSP2 기준)	97
〈표 5-14〉 베이스라인 시나리오를 위한 거시경제변수 변화율 전망	97
〈표 5-15〉 기후변화 영향 시나리오를 위한 작물 생산성 변화율 전망	100

〈표 5-16〉 거시경제 변화 전망(시나리오 Y)	102
〈표 5-17〉 농식품의 국내 생산과 소비 변화 전망	103
〈표 5-18〉 국내 농식품의 수출입과 수입비중 및 수출비중 변화 전망	104
〈표 5-19〉 농식품의 국내 가격 변화 전망	105
〈표 5-20〉 기후변화 완화 시나리오 설정	106
〈표 5-21〉 기후요인 변수의 정의 및 출처	117
〈표 5-22〉 중력모형 연구대상 및 범위	117
〈표 5-23〉 중력모형 추정방법	119
〈표 5-24〉 중력모형 기본변수 정의와 출처	119
〈표 5-25〉 주요 기후변수의 유의성과 부호 요약	122
〈표 5-26〉 시나리오별 열대과일 수입전망(출발국 기후요소만 고려할 경우)	123
〈표 5-27〉 시나리오별 열대과일 수입전망 (출발국과 도착국 기후요소를 모두 고려할 경우)	125

부록 3

〈부표 3-1〉 열대과일 수입모형 추정결과(출발지 기후, 수입량 기준)	152
〈부표 3-2〉 열대과일 수입모형 추정결과(출발지 기후, 수입액 기준)	154
〈부표 3-3〉 열대과일 수입모형 추정결과(출발지-도착지 기후, 수입량 기준)	155
〈부표 3-4〉 열대과일 수입모형 추정결과(출발지-도착지 기후, 수입액 기준)	157
〈부표 3-5〉 감귤류 수입모형 추정결과(출발지 기후, 수입량 기준)	159
〈부표 3-6〉 감귤류 수입모형 추정결과(출발지 기후, 수입액 기준)	160
〈부표 3-7〉 감귤류 수입모형 추정결과(출발지-도착지 기후, 수입량 기준)	162
〈부표 3-8〉 감귤류 수입모형 추정결과(출발지-도착지 기후, 수입액 기준)	163
〈부표 3-9〉 온대과일 수입모형 추정결과(출발지 기후, 수입량 기준)	165
〈부표 3-10〉 온대과일 수입모형 추정결과(출발지 기후, 수입액 기준)	166
〈부표 3-11〉 온대과일 수입모형 추정결과(출발지-도착지 기후, 수입량 기준)	168
〈부표 3-12〉 온대과일 수입모형 추정결과(출발지-도착지 기후, 수입액 기준)	169

부록 4

〈부표 4-1〉 작물별 단수와 기후변수 기초통계량	173
〈부표 4-2〉 세계 작물별 단수 추정 결과	176
〈부표 4-3〉 국내 작물 재배면적할당 분석 기초통계량	178
〈부표 4-4〉 국내 작물재배할당 평균한계효과 결과	180

그림 차례

제1장

〈그림 1-1〉 연구 추진체계	15
------------------------	----

제3장

〈그림 3-1〉 부분균형 모형 흐름도(예시)	39
〈그림 3-2〉 일반균형 모형의 지출 흐름도(예시)	41
〈그림 3-3〉 IMPACT 모형의 구조	43
〈그림 3-4〉 OECD ENV-Linkages 모형의 구조	45
〈그림 3-5〉 AIM/CGE 모형의 구조	47

제4장

〈그림 4-1〉 KREI-KASMO 모형의 구조	59
〈그림 4-2〉 GTAP와 GTAP-E 모형 생산구조 비교	65
〈그림 4-3〉 기후변화 반영 부분균형 분석체계도	67
〈그림 4-4〉 기후변화 반영 일반균형 분석체계도	69

제5장

〈그림 5-1〉 RCP 시나리오별 지구 평균 온도와 강수량	74
〈그림 5-2〉 기후와 관련 있는 사건(1980~2014년)	75
〈그림 5-3〉 품목별·RCP 시나리오별 단위 예측	83
〈그림 5-4〉 2000~2030년의 RCP 시나리오별 지구 평균 온도 변화	86
〈그림 5-5〉 시나리오별 주요 곡물 수입량 변화 전망	87
〈그림 5-6〉 시나리오별 주요 국가의 실질 GDP 변화 전망	108
〈그림 5-7〉 시나리오별 주요 국가의 총수입 변화 전망	109
〈그림 5-8〉 시나리오별 주요 국가의 총수출 변화 전망	110
〈그림 5-9〉 시나리오별 주요 국가의 CO ₂ 배출량 변화 전망	110
〈그림 5-10〉 시나리오별 국내 주요 농식품의 생산량 변화 전망	111

〈그림 5-11〉 시나리오별 국내 주요 농식품의 수입량 변화 전망	112
〈그림 5-12〉 시나리오별 국내 주요 농식품의 수출량 변화 전망	113
〈그림 5-13〉 시나리오별 국내 주요 농식품의 소비 대비 수입 비중 변화 전망	113
〈그림 5-14〉 시나리오별 국내 주요 농식품의 생산 대비 수출 비중 변화 전망	114
〈그림 5-15〉 시나리오별 국내 주요 농식품의 생산자가격 변화 전망	115
〈그림 5-16〉 기후변화 및 이상기후가 열대과일 교역에 미치는 경로	120
〈그림 5-17〉 시나리오별 열대과일 수입전망(출발국 기후요소만 고려할 경우)	124
〈그림 5-18〉 시나리오별 열대과일 수입전망 (출발국과 도착국 기후요소를 모두 고려할 경우)	126

제6장

〈그림 6-1〉 부분균형 접근 방식 개선 방안	134
〈그림 6-2〉 일반균형 접근 방식 개선 방안	137

제1장

서론

서론

1. 연구 필요성 및 목적

지난 수 세기 동안 기후변화는 자연 생태계뿐 아니라 세계 경제 전반에 심각한 위협요인으로 작용할 것이라는 우려 속에서 국제사회의 화두로 등장했다.¹⁾ 이에 국제사회는 여러 차례 회의와 협상을 개최하고 국제협력을 모색하며 기후변화의 효과에 대응하기 위해서 노력해왔다. 특히 기후변화가 태풍, 홍수, 가뭄 등 자연재해의 빈도와 정도를 일으키고 인류의 생존을 위협하는 요인으로 작용한다는 인식이 전 세계적으로 확산되는 가운데 UN을 중심으로 기후변화 대응을 위해 국제적인 협상체계를 마련하기 위한 논의가 본격화되었다. 기후변화로 인한 북극해 빙

1) 국제사회는 기후변화에 적극 대응하기 위해서 1998년 UN 총회 결의에 따라 세계기상기구(WMO)와 유엔환경계획(UNEP)에 정부간기후변화협의체(Intergovernment Panel on Climate Change: IPCC)를 설치하고, 1990년 제네바에서 개최된 제2차 세계기후회의에서 기본협약을 체결하여 1992년 유엔환경개발회의(UNCED)에서 기후변화협약(United Nations Framework Convention on Climate Change: UNFCCC)을 채택함. 이후 1997년 선진국 감축의무가 포함된 교토의정서가 제3차 파리 기후변화총회에서 채택되어 2005년 발효되었으며, 2016년 21차 총회에서 선진국뿐만 아니라 개도국에 대한 온실가스 감축의무가 부과된 파리협정이 발효됨(국토환경정보센터, <http://www.neins.go.kr/etr/climatechange/doc06a.asp>, 검색일: 2020. 11. 3.).

하 감소, 산호초 등 자연생태계의 파괴, 기온상승, 이상기후 등은 지구온난화를 가중시키며 이런 변화는 지역별 작물생산과 물 이용가능성을 감소시키면서 생물다양성 손실과 불가역적 환경변화를 초래하고 있다. 농업은 기후변화의 부정적 영향에 가장 취약한 산업 가운데 하나로 간주되고 있으며 토양침식, 물 부족, 홍작 등과 같은 부정적인 기후요인들은 지리적인 입지에 따라 차이는 발생할 수 있지만 일반적으로 선진국뿐만 아니라 특히, 개도국의 경제에 미치는 영향은 심각한 것으로 보고되고 있다.²⁾ 이는 대다수 개도국들은 전체 경제에서 차지하는 농업 의존도가 상대적으로 높고, 선진국에 비해서 기후변화로 발생하는 새로운 환경과 조건에 적응하거나 부정적 영향을 완화하는 능력이 취약하기 때문이다.

기후변화가 농업에 미치는 영향은 지역별, 품목별로 상이하지만 대체로 농산물의 상대가격에 직·간접적으로 영향을 미칠 수 있다. 가령, 기후변화로 혜택을 입는 지역 또는 국가의 생산량 증가에 비해 기후변화로부터 손실을 입는 지역 또는 국가의 생산량 감소가 상대적으로 클 경우, 세계 농산물 공급량의 감소로 농산물 가격은 상승할 것이다. 이처럼 기후변화가 생산량의 상대적 변화를 통해서 가격에 직접적인 영향을 미칠 수 있다. 또한 기후변화의 위협요인에 대응하기 위해 석유, 석탄과 같은 화석연료의 사용을 줄이려는 전 지구적 노력은 곡물을 원료로 활용하는 신생에너지 창출원인 바이오연료의 수요를 증가시켜 농산물의 가격을 상승시키는 간접적인 효과가 있다.

다양한 분야의 국제기구(WTO, OECD, FAO, UNCTAD 등)에서는 기후변화에 따른 농식품 생산 패턴과 비교우위의 변화를 고려할 때 국제무역이 기후변화 적응에 중요한 역할을 하며, 지속가능성 측면에서도 효율적 생산 분배를 가능하게 하는 중요한 요소임을 강조하고 있다. 기후 특성으로 비교우위 품목이 많은 국가의

2) 기온이 1℃ 상승하는 경우 작물 단수는 5% 정도 감소하는 것으로 나타남. 국제적으로 옥수수, 밀, 여타 주요 작물의 단수가 1981~2002년 연간 40메가 톤 감소한 것으로 나타남. 고위도 지역의 경우 지구온난화로 인해 수자원이 증가하는 긍정적인 효과를 기대할 수 있지만 작물단수에 대한 기후변화의 세계 총량 효과는 상당히 부정적임. 저위도 지역의 경우 작물단수가 2020년까지 50% 감소하며, 특히 주요 곡물의 단수는 기온이 1℃ 상승으로 5~10% 감소하는 것으로 보고됨(Tekce and Pinar 2016).

경우 국제무역 흐름의 변화에 더 큰 영향을 주거나 받을 수 있다. 기후변화로 인해 전 세계 평균 작물 생산성이 대체로 하락할 것으로 예상되는 가운데, 농업부문에 서는 경작되는 작물을 교체하거나 토지이용 변화를 통해 기후변화에 적응하고 있다.³⁾ 또한 국제무역은 농식품 가격 변화를 통해 기후변화 적응에 긍정적인 영향을 미치는 반면 각 국가의 농업 보조금 지급 등의 특정 무역 조치가 가격을 왜곡할 경우 그 영향은 감소하는 것으로 보고되고 있다.

기후변화와 무역과의 관계가 강조되고 있는 가운데 우리나라는 2016년 제1차 기후변화대응 기본계획, 2019년 제2차 기후변화대응 기본계획의 수립을 통해 기후변화가 위협요인만이 아닌 경제성장 동력을 창출할 수 있는 기회요인이라는 인식 아래 기후변화에 적극적으로 대응하고 있다. 이런 기후변화에 적응하고 이를 완화하는 정책기조에 부응하는 차원에서 단기뿐만 아니라 중장기 농식품 통상 정책 수립 시 반영할 수 있는 무역과 기후변화를 연계한 사전 기초연구가 필요한 상황이다. 특히 세계무역을 관장하는 WTO 내부에서조차 기후변화와 농업의 지속 가능성 측면에서 농업통상 정책의 논의를 다자화하려는 움직임을 보이고 있다. WTO 협상 전문가에 따르면 최근 논란이 되고 있는 탄소국경세나 기후요인이 반영된 농업정책 등의 이슈가 우선순위 논의 대상이 될 전망이다.⁴⁾

이처럼 국제적으로 무역관련 기후변화 대응조치나 정책에 관한 글로벌 규범을 마련하는 논의가 추진될 예정인 가운데, 국내적으로 기후변화 대응을 위한 제도나 정책을 수립하는 데 기여할 수 있도록 농업 또는 농식품 무역에 대한 기후변화의 영향을 분석할 수 있는 기반을 마련할 필요가 있다.⁵⁾ 기후변화는 농업생산에

3) IPCC의 『제5차 평가보고서』에 따르면 주요 작물(쌀, 밀, 옥수수)의 경우 지리적 차이나 기온상승에 따라 단수가 증가하는 경우도 있으나 대부분의 지역에서는 단수가 감소하는 것으로 나타남(Porter et al. 2017).

4) World Trade Online(2020) 참조.

5) 글로벌 경제 전반에 영향을 미치는 기후변화의 미래 예측과 관련 효과에 대한 대응 노력은 기후변화 완화(mitigation)와 적응(adaption)과 관련됨. 기후변화 완화는 대기로부터 발생하는 탄소 또는 이산화탄소를 흡수하는 산림이나 해양과 같은 흡수원(sinks)을 개선하거나 온실가스 배출량을 감축하는 데 목표를 둔 정책과 선택인 반면, 기후변화 적응은 기후변화의 부정적 영향을 줄이거나 기후변화의 잠재적 혜택을 활용하는 대응과 관련됨. 완화는 기후변화 또는 관련 효과의 크기와 빈도를 줄이는

직접적인 영향을 미치지만 그 영향은 품목별, 지역별로 상이하게 나타나므로 단편적으로 평가하기 어렵다. 또한 우리나라 농식품 산업은 곡물 사료 및 식품 원재료 확보 측면에서 무역의존도가 높으며, 이들 주요 원재료는 기후변화에 따라 가격 변동폭이 클 것으로 전망되고 있다.

따라서 농식품 산업의 지속가능성 제고를 위해서 기후변화로 인해 발생하는 생산 및 무역 변화 분석과 전망을 위한 모형 개발이 필요한 시점이다. 하지만 기후변화에 대한 방대한 문헌과 다양한 분석모형에도 불구하고 기후변화로 인한 농산물 생산구조의 변화와 무역에 미치는 관련 연구는 상대적으로 미미한 실정이다. 관련 연구들에 따르면 기후변화가 가격에 미치는 영향은 대체로 명확하지만, 국제 무역에 미치는 영향은 지역별, 국가별로 상이하게 나타나기 때문에 기후변화가 농산물 무역에 미치는 영향을 분석하는 것은 실증적인 영역이라고 할 수 있다. 더욱이 국내에서 기후변화 대응에 따른 농식품 산업 전반의 생산구조 변화와 무역의 영향을 연계하여 내생적으로 분석한 연구는 제한적이다. 또한 기존의 농식품 무역 관련 연구는 국가·산업 간 상호작용을 파악하는 데 한계가 있으며, 구체적인 농업부문의 변화를 제한적으로 반영하고 있는 실정이다.

이러한 필요성을 고려하여 본과제인 ‘기후변화를 반영한 농식품 교역 모형 개발’ 연구는 먼저, 기후변화가 농업부문 생산과 무역에 미치는 영향을 이론적으로 살펴보고, 기존 교역 모형에 기후변화를 어떻게 반영했는지 심층 분석하였다. 이를 바탕으로 모형의 접근 가능성과 운용 현실성을 감안하여 국내 농업부문에 기후변화를 반영할 수 있는 교역 모형을 활용하여 전 세계 기후 시나리오별 국내 농업에 미치는 영향을 분석하였다. 분석 결과와 모형설정 과정에서 제기된 모형의 장단점을 바탕으로 이 연구에서는 향후 우리나라 농업부문의 기후변화와 무역을 연계한 모형을 개발하는 데 필요한 과제를 제안하고자 한다.

데 반해 적응은 기후변화에 대응하는 인류 또는 생태계의 능력을 증가시킴으로써 기후변화 효과의 결과를 억제하는 대응임(기상청 2019).

2. 선행연구 검토 및 차별성

2.1. 선행연구 검토

본 연구의 선행연구는 기후변화와 농업 및 무역, 농업부문 기후변화 적응과 무역, 농업부문 기후변화의 완화와 무역 측면에서 검토되었다<표 1-1>.

〈표 1-1〉 대표적 선행연구 분류

사례연구	선행연구	
기후변화와 농업 및 무역	무역	Dellink et al.(2017); Golub et al.(2010); OECD(2008); Nelson et al.(2009); World Bank(2008); Nyong(2008); Tamiotti et al.(2009)
	농업	황재희 외(2012); 박경원·권오상(2011); 김창길·정학균(2010); 김창길 외(2012); 김창길 외(2014); 권오상·이한빈(2013)
농업부문 기후변화 적응과 무역	Verma et al.(2014); Baldos and Hertel(2015); Costinot et al.(2016); Gouel and Laborde(2018)	
농업부문 기후변화 완화와 무역	OECD(2008); Blandford et al.(2015); Mattoo et al.(2009)	

자료: 저자 작성.

가. 기후변화와 농업 및 무역 관계 사례연구

기후변화가 무역의 결정요인에 충격을 줌으로써 무역에 미치는 간접효과뿐만 아니라 국가 간 상품 교환을 위한 운송수단에 미치는 직접효과로 인해서 국제무역은 기후변화의 영향을 심화시킨다. 전통적으로 무역이론은 국가 간 기술 또는 생산성 차이(리카도 비교우위론)와 생산요소 부존자원의 차이(헤셔-올린-사무엘슨)에 따라 국가별 특화가 발생하고, 이것이 무역을 결정한다고 설명하고 있다. 또한 기후변화가 생산성과 단위(기술), 경작 가능한 토지와 물의 양(부존자원)에 영향을 미치고, 이에 따른 변화는 생산의 지리적 특화 수준까지 영향을 주게 된다. Dellink et al.(2017)에 따르면 기후변화는 해수면 상승 등을 야기해 운송 인프라에 부정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 반면 무역은 직·간접적으로 기후변화

에 영향을 미치기도 하는데 직접적으로는 운송수단 활용에 따라 온실가스를 배출하기도 하며, 간접적으로는 국제 농업생산의 분배, 구조, 규모 등의 결정에 영향을 주어 이와 관련된 온실가스 배출 수준에 영향을 미치게 된다. 반면, Nelson et al.(2009)은 무역이 기후변화에 따른 탄소 감소와 그에 따른 식량 부족을 보완하는 수단으로서의 역할을 하지만 이런 효과는 미미한 것으로 분석되었다.

기후변화와 농업에 관한 연구는 다양한 부문에서 이뤄지고 있는데 기후변화가 농업생산에 미치는 영향에 대해 분석한 국내 연구는 황재희 외(2012), 박경원·권오상(2011), 김창길·정학균(2010) 등이 있다. 황재희 외(2012)는 5개 과수작물의 지역별 특화계수를 파악하기 위해서 다중모형(Multi-level Model 또는 Random Coefficient Model)을 활용한 특화지역 분석을 실시하고, 지도 및 지리정보 작업을 위한 지리정보 프로그램인 ArcGIS를 활용한 기후변화에 따른 작물선택 변화를 파악하였다. 박경원·권오상(2011)은 동태 실증수리계획(Positive Mathematical Programming: PMP) 모형을 개발하고, 기후변화로 인한 쌀 생산성 변화가 쌀을 포함한 농업부문 전체 생산에 미치는 영향을 분석하였다. 추가적으로 기후변화 적응 노력의 일환으로써 농업생산성 향상이 농업부문 생산에 미치는 영향분석을 장기(2100년까지)에 걸쳐 전망하였다. 김창길·정학균(2010)은 로지스틱 함수를 활용하고 미곡 단수를 비선형 OLS로 추정하여 기상요건이 단위(미곡수량) 변화에 얼마나 영향을 미치는지와 기상요소의 영향력 변화 추이가 어떻게 되는지 등을 분석하였다.

기후변화의 경제적 영향분석 측면에서 기후변화가 농업, 국가경제, 무역 등에 미치는 영향을 분석한 국내 연구는 김창길 외(2012), 김창길 외(2014), 권오상·이한빈(2013) 등이 있다. 그러나 기후변화의 무역 부문 영향은 농업생산에 미치는 영향에 비해 연구가 활발하지 않은 편이며, 구체적으로 분석되지 않고 있다. 김창길 외(2012)는 기후변화에 따른 식량공급 변화를 CERES(Crop-Environment Resource Synthesis-Rice) 작물생육모형과 한국농촌경제연구원 농업부문 전망모형인 KREI-KASMO(KREI-Korea Agricultural Simulation Model) 모형을 연계한 기후변화 식량공급분석 모의모형인 SIMCAR(Simulation Model for Climate

-Agricultural Relations) 모형을 활용하여 분석하였다. 또한 패널분석 모형을 이용한 기후변화가 벼 병해충 관찰포 피해면적에 미치는 영향 계측, 패널분석인 확률효과 모형을 활용한 이상기상이 쌀 생산수량에 미치는 영향 분석, 다중회귀분석을 이용한 기후변화가 국제곡물시장에 미치는 영향, 순위형 로지스틱 회귀모형을 이용한 농업인의 기후변화 적응기술 수용 의향분석 등을 실시하였다. 김창길 외(2014)에서는 농업부문 기후변화 시나리오별 곡물의 생산량 예측, 식량수급 등을 중장기적으로 전망하기 위해 CERES-Rice, CERES-Sorgum 모형과 CROPGRO-Soybean 모형을 활용하였다. 권오상·이한빈(2013)은 글로벌 연산가능일반균형(Computable General Equilibrium: CGE) 모형인 PEP-W-1을 수정·보완하여 활용하였으며, 기후변화 효과 시나리오하에서 전 세계 농업생산의 변화를 지역별·국가별로 살펴보고 경제적 영향에 대해 분석하였다.

기후변화가 무역에 미치는 영향에 초점을 맞춰 연구한 Dellink et al.(2017)은 연산가능일반균형 모형으로서 환경연구를 위한 OECD ENV-Linkage를 사용하여 기후변화가 무역에 미치는 직·간접적인 영향을 분석하였다. 먼저 직접적인 영향으로 기후변화에 따라 발생하는 잦은 극한 기후와 해수면의 상승 등은 교역량에 부정적인 영향을 미치며, 그 영향은 타산업보다 농업과 식품산업에서 크게 나타나는 것으로 분석되었으나 일부 쌀, 밀 등과 같은 작물 교역량은 증가하는 것으로 나타났다. 또한 간접영향 분석을 소득효과에 따른 거시 경제 경로(macroeconomic channel)와 비교우위 변화가 고려된 부문 간 경로(sectoral channel)로 구분하여 분석하였다.

나. 농업부문 기후변화 적응과 무역 관계 사례연구

최근 기후변화의 적응과 무역 사이의 논의는 기후변화 적응 측면에서 무역의 역할이 무엇인가에 관한 것이 주를 이루고 있다. 이를 위해서 다양한 계량경제학 방법, 부분균형과 일반균형 모형을 사용한 연구가 이루어지고 있다.

농업부문 기후변화 적응과 무역과의 관계에 대한 연구로 Verma et al.(2014)은 무역자유화를 통한 국제시장의 통합이 기후변화의 영향에 따른 미국 옥수수 가격 변동

성에 어떠한 영향을 미치는지에 대해 확률적 시뮬레이션을 통해 분석했으며, 옥수수
에 대한 관세철폐를 가정하여 재화의 이동이 자유로워질수록 기후변화에 따른 옥수
수가격 변동성이 8% 감소한다는 결론을 도출하였다.

Baldos and Hertel(2015)은 부분균형 모형인 SIMPLE(Simplified International
Model of agricultural Prices, Land use and the Environment) 모형을 사용하여 기
후변화 시나리오에 따른 2050년의 상황을 전망하였다. 통합된 세계시장을 가정할
때 그렇지 않은 경우보다 소비자들이 낮은 가격에 상품을 구매하고 시장 변화에
보다 쉽게 적응하게 되어 기후변화에 따른 식량안보 위협요인 가운데 영양실조 인
구 비율이 완화되는 것으로 분석되었다.

Costinot et al.(2016)은 일반균형 모형의 경쟁균형(competitive equilibrium)을
가정하여 농업부문의 무역(총수출) 조정(trade adjustment)이 기후변화에 따른 후
생변화로써 GDP 변화에 어떠한 영향을 미치는지 분석하고 이를 생산 조정
(production adjustment)의 효과와 비교하였다. 분석 결과에 따르면, 무역 조정이
기후변화에 따른 후생손실을 어느 정도 완화시키는 역할을 하지만, 그 수준이
0.01%로 미미하여 생산조정의 효과가 상대적으로 큰 것으로 나타났다. Gouel and
Laborde(2018)는 Costinot et al.(2016)의 분석 모델과 방법론을 활용하되 양자 간
수입 비중을 조정하는 방식으로 무역 조정을 반영하여 분석하였다. 분석 결과에
따르면, Costinot et al.(2016)의 분석 결과와 달리 무역 조정이 없을 경우 후생 감소
분이 76% 수준으로 대폭 증가하는 것으로 나타났으며, 무역 조정이 기후변화의
부정적 영향을 완화하는 데 크게 기여할 수 있다는 연구결과를 제시하였다.

다. 농업부문 기후변화 완화와 무역 관계 사례연구

기후변화 완화를 위한 정책은 농업부문 무역과 무역정책에 영향을 미치는데,
Golub et al.(2010)은 국제탄소세(global carbon tax)와 산림 탄소 고정 보조 정책
적용 시 국별 감축비용 차이에 따라 일부 개도국의 축산업이 크게 위축되며 관련
품목의 수입증가와 수출감소 등이 유발된다는 연구결과를 보였다. 또한 많은 국

가에서 바이오연료에 대한 지원을 기후변화 완화 정책으로 활용하고 있는데, OECD(2008) 등 연구는 바이오연료의 온실가스 감축 효과가 상대적으로 작고 곡물과 채유용 종자의 국제가격을 상승시키는 효과를 가져올 수 있다고 분석하였다. 바이오연료 사용의 긍정적 측면을 본다면, 바이오연료와 그 원료의 관세 인하 등이 바이오연료 사용을 국제적으로 촉진하는 데 중요한 요소가 된다.

기후변화 완화와 무역 사이의 논의는 기후변화 완화 정책이 무역에 미치는 영향, 무역이 온실가스 배출에 미치는 영향, 기후변화 완화의 수단으로 무역 정책을 활용하는 방법 등이 있다. Blandford et al.(2015)은 노르웨이 농업부문의 수리계 획모형(mathematical programming model)을 사용하여 무역자유화와 온실가스 배출저감 사이의 관계를 분석하였다.⁶⁾ 분석 결과에 따르면, 무역자유화가 노르웨이 농업부문 온실가스 배출 감축에 긍정적인 영향을 미쳤지만, 그 효과가 미미한 것으로 분석되었다. Mattoo et al.(2009)은 세계은행의 ENVISAGE 모형을 사용하여 탄소국경세를 적용할 경우 수입품의 탄소함량을 기준으로 부과할 때와 국내(수입국) 생산품의 탄소함량을 기준으로 부과할 때로 구분하여 경제적 영향을 비교·분석하였다. 고소득 국가일수록 수입품 탄소 함량 기준 탄소국경세는 경쟁력과 환경 측면의 문제를 해소하는 데 유용하지만 상대 교역국 중 특히 개도국의 경우 실질소득과 수출을 감소시키는 것으로 나타났다. 반면, 탄소국경세를 국내 생산품의 탄소 함량 기준으로 할 경우, 개도국의 무역과 소득을 감소시키는 영향은 상대적으로 작다는 분석 결과를 제시하였다.

2.2. 본 연구의 차별성

이 연구는 농업과 농식품 산업과 타 산업 연계를 고려하고, 기후변화가 국내 생산 및 무역에 미치는 영향과 국제적 기후변화 정책이 국내 생산과 무역에 미치는

6) 이 연구에서 무역자유화라 함은 2008년 WTO DDA 농업 분야 4차 의장수정안(TN/AG/W/4/Rev.4)에 기초하여 무역 왜곡적인 국내보조한도를 감축했을 때를 가정함(WTO 2008).

영향을 종합적으로 분석할 수 있는 모형을 검토하여 기후변화와 무역을 연계한 모형 개발의 기반을 마련한다는 점에서 차별성이 있다.

기존 선행연구에서는 전 세계, 권역, 국내의 경우를 하나의 지역 또는 더 넓은 지역의 일부분으로 간주하거나 상대국 효과를 외생적으로 간주한 데 반해, 이 연구에서는 우리나라와 주요 농식품 교역국을 중심으로 하는 상대국 효과 또한 고려하고 있다. 산업측면에서 기존 선행연구는 전체 산업 가운데 농업을 하나의 산업으로 간주하거나 세부적인 농식품 품목을 개별적으로 다루지만 타산업과의 연계성을 외생적으로 간주하고 있다. 이를 보완하기 위해서 본 연구에서는 농업 및 식품 산업과 타산업과의 연계 가능성을 고려하였다.

또한 기존 선행연구에서 수행한 기후변화, 무역, 정책, 거시경제 등의 영향분석의 한계점을 극복하기 위해서 이 연구에서는 기후변화나 관련 정책이 농업생산과 무역에 미치는 영향을 종합적으로 분석할 수 있는 분석틀을 제시하였다. 특히 부분균형 모형을 활용한 선행연구에서 거시경제 효과를 외생적으로 간주한 데 반해 이 연구에서는 국내 농식품 부문의 거시경제효과를 추가적으로 분석함으로써 농업 또는 농식품 부문을 대상으로 기후변화와 무역을 연계하여 분석하는 방법을 고찰하여 개선 방안을 제시하였다.

〈표 1-2〉 선행연구와의 차별성

구분	기존연구	본 연구
지역	전 세계·권역·국내의 경우를 하나의 지역 또는 더 넓은 지역의 일부분으로 간주 / 상대국 효과를 외생적으로 간주	우리나라와 주요 농식품 교역국(국가 단위)을 중심으로 상대국 효과 또한 고려
산업	전체산업 중 농업을 하나의 산업으로 간주 / 세부적인 농식품 품목을 다루나 타산업과의 연계 외생적으로 고려	농업과 식품산업 및 타산업과의 연계를 고려
기후변화	기후변화나 관련정책이 농업 생산에 미치는 효과 / 농업이 온실가스에 미치는 효과	기후변화나 관련정책이 농업의 생산 및 교역에 미치는 영향을 종합적으로 분석하는 틀 제시
무역	통상정책이 기후변화에 미치는 영향 / 무역이 온실가스에 미치는 영향	
정책효과	무역정책과 통상정책을 따로 분석	
거시경제 효과	부분균형 모형에서는 후생, GDP, 고용 등 거시경제효과 추정에 한계	국내 농식품 부문의 거시경제효과 추정 가능

자료: 저자 작성.

3. 연구 내용과 방법

3.1. 연구 내용과 범위

제1장 서론을 시작으로 제2장에서는 기후변화와 국제무역 관계에 대한 이론적 접근을 통해서 기후변화가 무역에 미치는 직·간접 영향을 살펴보았다. 제3장에서는 국내외적으로 강조되고 있는 기후변화와 무역의 관계를 고려하여 기후변화 영향에 따른 농업 및 농식품 생산과 무역 변화와 거시경제효과뿐만 아니라 국제 기후변화 정책 영향 분석을 위한 교역 모형 개발의 기반을 마련함에 있어서 어떤 모형을 적용하는 것이 타당한지의 여부를 검토하였다. 이를 위해서 기존 주요 교역 모형의 구조와 특징, 접근 가능성 등을 고려하여 기후변화를 반영한 농식품 교역 모형 개발의 적합한 형태를 검토하고, 모형개발 작업과 운영의 현실성을 고려하여 기후변화를 반영한 농식품 교역 모형 개발에 적합한 형태와 방향성을 고찰하였다.

제4장에서는 제3장의 모형의 접근 가능성, 운용의 현실성을 고려하여 기후변화를 고려한 농식품 생산과 무역과의 관계, 거시경제효과 분석을 위한 모형 체계를 구축하였다. 이를 위해서 부분균형과 일반균형 분석체계로 구분하여 살펴보았다. 제5장에서는 KREI GEM-LOCS와 KREI-KASMO 모형을 연계한 부분균형 모형, 중력모형을 포함한 연산가능 일반균형 모형 중 대표적인 GTAP-E 모형을 활용하여 기후변화의 국내 농업 영향을 분석하는 방법론과 분석 결과를 제시하였다. 마지막으로 제6장에서는 앞 장에서 살펴본 분석 결과와 방법론을 바탕으로 각 모형의 장단점을 파악하여 추가 보완될 사항과 모형 간의 상호 연계 가능성을 검토함으로써 기후변화와 무역을 연계한 모형 개발의 기반을 마련하는 데 필요한 과제를 제시하였다.

대다수 연산가능 일반균형과 부분균형 모형은 국제기구나 특정 연구소, 대학이 개발하여 운영하고 있어 공개범위가 제한적이고 접근이 용이하지 않다. 본 연구에서는 제3장에서 식별된 분석모형의 적합성을 바탕으로 부분균형 모형을 활용하면

서 한국농촌경제연구원의 세계 곡물 계량경제모형인 GEM-LOCS(KREI-World Grains Econometric Model including Livestock, Oilseeds, Cotton and Sugar) 모형과 KREI-KASMO 모형을 연계하여 기후변화의 영향에 대해 분석하는 방법론을 고찰하였다. 시계열예측 모형을 활용한 분석에서는 패널자료를 바탕으로 중력모형을 활용한 계량경제학적 실증분석 방법론을 검토하였다. 일반균형 모형에서는 표준 GTAP(Global Trade Analysis Project) 모형을 확장하여 에너지와 환경을 연계한 GTAP-E(An Energy-Environmental Version of the GTAP Model) 모형을 활용하였다. GTAP-E는 생산성 충격으로 인한 작물 단수의 변화를 기후변화 영향에 반영할 수 있고 CO₂ 배출량, 탄소국경제, 배출권거래제와 같은 정책 요인을 반영하도록 조정되어 기후변화 정책에 따른 농업부문 영향 분석이 가능하다. 또한 분석 대상 지역은 국내와 주요 농식품 교역국으로, 대상 산업은 농업과 식품산업으로 한정하여 국내 생산과 무역의 주요 품목을 대상으로 하는 공간범위를 설정하였다. 부분균형 모형과 패널데이터를 활용한 중력모형은 중단기 예측에 적합한 모형으로 2030년 전망에, 일반균형 모형은 장기 예측에 적합한 모형으로 2050년 전망에 각각 활용하였다<표 1-3>.

〈표 1-3〉 연구 대상과 범위

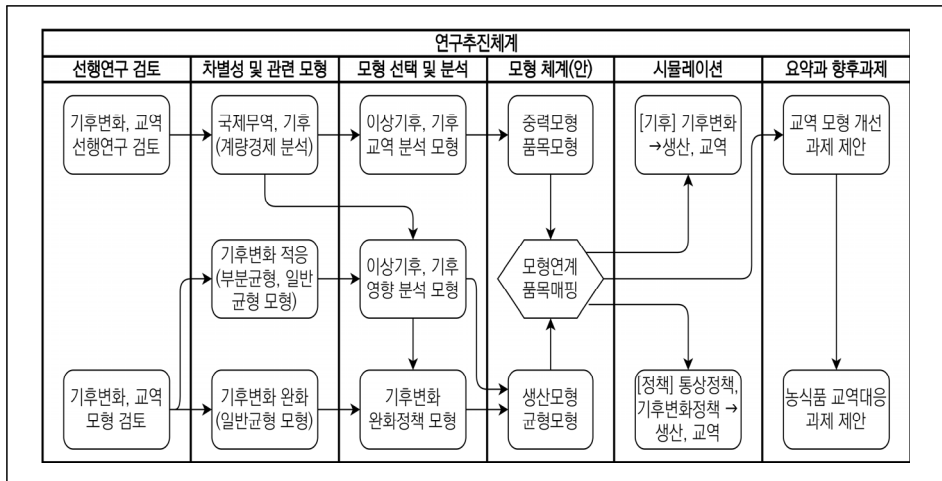
구분		설명
공간범위	지역	국내와 농식품 주요교역국(교역액 기준 상위 국가)
	산업	농업과 식품산업(국내 주요 생산·무역 대상 품목 중심)
연구대상 및 시간범위		(부분균형 모형) 농산물 대상 2030년 전망 (시계열예측 모형) 농산물 대상 2030년 전망 (일반균형 모형) 농식품 및 거시경제 대상 2050년대의 기후변화 시나리오 적용하여 전망
분석방법		(부분균형 모형) GEM-LOCS를 국내 농업부문 균형 모형(KREI-KASMO)과 연계 (시계열예측 모형) 중력모형을 활용한계량경제학적 실증 분석 (일반균형 모형) CGE 국제모형(표준 GTAP 모형, GTAP-E)

자료: 저자 작성.

3.2. 연구 방법 및 추진체계

이 연구에서는 접근 가능성과 운용 현실성을 고려하여 농업부문 기후변화와 무역을 연계한 교역 모형을 선택하고, 이를 바탕으로 각 모형의 기후변화의 영향 분석 결과를 반영한 교역 모형 개발을 위한 과제를 도출하고자 하였다. 이를 위해서 이론적, 실증적 연구방법을 통해 연구를 진행하였다. 먼저, 선행연구 검토를 통해 기후변화가 농업과 농식품 부문 생산 및 무역뿐만 아니라 거시경제에 미치는 영향을 살피고 기후변화와 무역을 연계한 모형, 시나리오 설정을 위한 자료에 대하여 사전조사를 실시하였다. 다음으로 선행연구와 전문가 자문을 바탕으로 분석을 위한 시·공간 범위와 분석 모형 또는 방법론을 설정하였다.⁷⁾

〈그림 1-1〉 연구 추진체계



자료: 저자 작성.

7) 기후변화의 영향을 반영한 주요 교역 모형 적용 타당성 검토는 강원대학교 이상현 교수, 일반균형 모형을 활용하여 분석한 기후변화의 국내 농업 영향 전망은 제주대학교 조성주 교수와 한국마사회 조현경 박사, 패널모형을 바탕으로 기후요인 변수를 반영한 중력모형 분석에서는 경상대학교 김태영 교수가 참여함.

제2장

기후변화와 국제무역

기후변화와 국제무역

1. 기후변화와 국제무역의 이론적 관계⁸⁾

온실가스 배출량이 증가하고 기온이 상승하는 등 기후변화의 효과는 전 세계적으로 확산·심화될 것으로 예상되고 있다. 평균 기온의 소폭 상승에도 불구하고 허리케인, 태풍, 홍수, 가뭄, 폭풍우와 같은 이상기후의 형태가 다양화되고, 빈도와 강도 또한 증가할 것으로 보인다. 이런 기상변화의 분포는 권역 또는 지역과 국가별로 상당한 차이를 보이며, 인구나 생태계의 취약성에 따라 그 영향이 크게 좌우될 것으로 예측된다. 특히, 개도국 내에서 가장 빈곤하고 소외된 인구는 선진국보다 적응능력이 떨어지기 때문에 미래 기후변화의 영향에 가장 부정적인 영향을 받고, 그 영향에 가장 취약할 것이다. 더욱이 기후변화의 위험은 빈곤퇴치, 보건의료 개선, 식량안보 강화, 에너지 공급원에 대한 접근 개선 등을 야기시켜 이들 국가들이 이미 직면하는 어려움을 더욱 악화시킬 것으로 보인다.

기후변화가 지역 또는 위치나 발전수준에 따라 상이하다는 특징이 있을지라도 기후변화의 영향은 세계 경제 전반뿐만 아니라 세계 무역에도 영향을 미치게 될 것으로 예측하고 있다. 특히, 세계 무역에서 중요한 부분을 차지하는 농업은 기후

8) Tamietti et al.(2009)의 내용을 바탕으로 저자 작성.

변화에 가장 취약한 부문 중 하나다. 대다수 개도국이 위치하는 저위도 지역에서 기온이 1℃만 상승해도 주요 곡물의 단수는 5~10% 감소하는 것으로 전망되고 있다(World Bank 2008; Nyong 2008). 기후변화의 다른 주요 영향은 무역 인프라와 무역경로에 대한 것이다. 가령 건물, 도로, 철도, 공항과 같은 시설은 허리케인, 태풍, 홍수, 가뭄, 폭풍우와 같은 이상기후의 빈번한 발생에 매우 취약할 수 있으며 특히 교량과 같은 항만시설은 해수면 상승으로 인한 손실위험에 노출되어 있다.

세계 무역은 지난 60년 동안 괄목할만한 성장을 기록하였다. WTO와 World Bank 자료에 따르면, 2010년대(최근 10개년) 세계 교역액은 1960년대보다 94배 증가했으며, 세계 GDP에서 차지하는 교역액의 비중 또한 동기간 16.8%에서 46.5%로 거의 3배 정도 증가했다.⁹⁾ 이러한 세계 교역 규모의 확대는 수송과 통신 비용을 낮추는 기술발전보다 개방적인 무역과 투자 정책에 의해서 가능했다. 또한 세계 무역에 참여하는 국가의 수 또한 증가하는 추세이며, 특히 개도국의 상품 교역에서 차지하는 비중뿐만 아니라 참여국가의 수 또한 1960년대에 비해 거의 2배 수준으로 증가했다.

이처럼 세계 무역이 확대됨에 따라 무역 개방이 온실가스 배출량에 미치는 효과에 대한 관심이 고조되는 가운데 Tamiotti et al.(2009)에 따르면, 무역개방(trade opening)은 규모효과(scale effect), 구조변화효과(composition effect), 기술효과(technique effect) 등 3가지 경로를 통해서 온실가스 배출량에 영향을 미친다.

첫째, 규모효과는 무역개방에 따라 증가하는 경제활동과 이에 따른 온실가스 배출량의 효과와 관련된다. 경제활동 수준이 증가함에 따라 에너지 사용은 보다 증가할 것이며, 온실가스 배출량 수준도 지속 증가할 것이다.¹⁰⁾ 둘째, 구조변화효과는 상대가격의 변화에 대응한 시장개방이 한 국가의 생산구조를 변화시키고, 이런 생산 방식과 구조의 변화가 온실가스 배출량에 미치는 영향과 관련된다. 시

9) WTO DATA(<https://data.wto.org/>, 검색일: 2020. 10. 12.), World Bank Indicators(<https://data.worldbank.org/indicator>, 검색일: 2020. 10. 12.).

10) 산업화 시대 이전부터 경제성장과 인구증가가 주 원인(drivers)이 되어 인위적 온실가스 배출량이 지속적으로 증가하고 있는 상황임(기상청 2019).

장을 개방하는 국가의 생산구조는 비교우위에 영향을 받는다. 즉, 온실가스에 대한 효과는 해당 국가가 온실가스 배출량 집약 산업에 비교우위가 있는지, 또는 해당 산업이 성장하고 있는지 위축되고 있는지에 영향을 받게 된다. 시장개방을 통한 무역자유화를 추구하는 국가의 생산구조의 변화는 국가 간 환경규제의 차이에 서도 발생할 수 있다. 즉, 배출 집약적 산업은 배출규제 정책이 엄격하지 않은 지역 또는 국가로 재배치 될 수 있다. 마지막으로 기술효과는 상품과 서비스 생산방식의 개선과 관련되며, 이런 기술효과를 통해 생산물의 배출 집약도가 감소될 수 있다. 이는 무역개방이 기후변화를 완화하는 데 기여할 수 있는 주요한 경로다.

온실가스 배출 집중도를 완화하는 방식은 다음 두 가지로 요약할 수 있다. 먼저, 보다 개방적인 무역은 기후친화적인 상품과 서비스를 낮은 비용을 사용하여 합리적인 가격에 공급함으로써 해당 재화의 생산이 부족한 국가의 수요를 충족시키는 데 기여할 수 있다.¹¹⁾ 또한 무역개방으로 소득수준이 증가함에 따라 온실가스 배출량을 낮추고자 하는 요구가 증대할 수 있다. 소득 증가로 인한 환경개선 요구가 늘어남에 따라 정부는 대중의 요구를 충족시키기 위해 적절한 조세와 규제조치를 검토해야 한다. 그런 조치가 마련될 경우에 한해 기업들은 보다 환경 친화적인 생산기술을 도입하고, 이에 따라 온실가스 배출량이 적은 제품을 일정 수준 생산할 수 있을 것이다.¹²⁾ 규모효과와 기술효과는 주로 부(-)의 관계를 보이며, 구조변화 효과는 국가 간의 비교우위와 규제 차이에 의존하기 때문에 온실가스 배출량에 대한 무역의 총괄적인 효과는 사전적으로 결정할 수 없다. 온실가스 배출량에 대한 순 효과는 3가지 개별 효과의 크기와 강도에 의해서 결정될 것이며, 이는 실증분석의 영역이다.¹³⁾

11) 현재 WTO는 환경 재화와 서비스 시장의 추가개방을 목표로 2001년 무역과 환경에 관한 도한 작업 계획을 수립하여 복수국 간 협정의 일환으로 진행하고 있음.

12) 일 인당 소득과 환경의 질(quality) 간의 정(+)의 관계가 기후변화에 적용될 수 있는 것은 아님. 온실가스 배출량은 대기 중으로 방출되고, 이런 비용의 일부를 다른 국가의 국민이 부담해야 하므로 해당 국민의 소득이 증가하고 있을지라도 해당 국가로 하여금 배출량 감축을 위한 조치를 취하도록 하는 강력한 유인책이 존재하지 않을 수 있음(Tamiotti et al. 2009).

13) 대다수 실증연구에 따르면, 보다 개방적인 무역은 CO₂ 배출량을 증가시키는 경향이 있으며, 이는

무역은 상품과 서비스가 생산지역으로부터 소비지역으로 이전되는 교환 과정을 의미한다. 따라서 국제무역이 확대됨에 따라 운송 서비스에 대한 수요 또한 증가하는 경향이 있다. 상품 교역은 항공, 도로, 철도, 수로를 통해서 이뤄질 수 있다. 특히 해상 운송은 국제 교역의 상당부분을 차지하고 있다.¹⁴⁾ 운송으로부터 발생하는 총 CO₂ 배출량에 대한 기여도는 국제 해상운송이 11.8%, 항공운송이 11.2%, 철도운송이 2.0%이며, 도로운송이 72.6%로 가장 높은 비중을 차지하고 있다 (IMO 2008). 이러한 기후변화가 국제무역의 운송에 미치는 영향은 다음 절에서 추가적으로 살펴보고자 한다.

국제무역은 기후변화 완화기술을 한 국가로부터 다른 국가로 확산시키는 경로의 역할을 수행할 수 있다. 특히, 이런 무역을 통한 기술 확산으로부터 개도국들은 선진국들의 기후변화 관련 기술혁신에 대한 학습 기회를 제공 받을 수 있으며, 이런 기술이 전파될 수 있는 방법은 다음과 같다. 첫째, 한 국가가 스스로 생산할 수 없는 중간재와 자본재를 수입하는 것이다. 둘째, 무역이 국가 간 경험 공유 기회를 제공하기 때문에 개도국은 선진국으로부터 생산 방식과 디자인에 관해서 학습할 수 있다. 셋째, 국제무역은 지역 조건을 충족하는 해외 기술 채택 기회를 증가시킬 수 있다. 넷째, 국제경제 관계에 의해서 가능한 학습과정이기 때문에 미래 혁신적이며 모방 비용을 줄인다.

기후변화 완화에 대한 기회 제공뿐만 아니라 무역은 인류가 미래 지구온난화에 적응하는 데 중요한 역할을 한다. 기후변화는 가장 취약한 농업 또는 농식품과 함께 지리적 생산 패턴을 변화시키도록 위협하고 있다. 무역이 수요와 공급 차이를 조정하는 수단을 제공하기 때문에, 기후변화로 인해서 피해를 입는 한 국가는 상품과 서비스의 제공 여력이 충분한 다른 국가로부터 수입을 통해서 부족한 상품과 서비스를 충당할 수 있다. 반면, 국제무역이 농업과 농식품 분야의 기후변화 적응

규모효과가 기술효과와 구조변화효과를 상쇄시키는 경향이 있으며, 선진국 또는 개도국, OECD 회원국 또는 비회원국 간에도 상이한 결과가 나타나는 것으로 분석됨(Tamiotti et al. 2009).

14) UNCTAD(2007)에 따르면, 세계 무역량에서 차지하는 비중이 항공화물은 0.3%, 육상화물은 10.2%이며, 나머지 89.6%가 해상화물에 해당함.

비용을 줄이는 데 기여할 수 있지만, 국제무역이 적응에 기여할 수 있는 정도는 농산물 가격이 시장에 어떻게 전가되는지에 의존한다. 특히, 농업 보조금과 같은 특정 무역조치가 시장가격의 신호를 왜곡하는 경우 기후변화 적응에 대한 무역의 기여도는 상당히 감소할 수 있다. 기후변화는 국가의 비교우위 변화를 통해서 국제무역의 규모와 패턴을 변화시킬 수 있다. 이러한 효과는 비교우위가 기후변화에 기인하는 국가들에서 강력하게 나타날 것이다. 더욱이 기후변화는 국제무역이 의존하는 공급, 운송, 유통 경로의 취약성을 심화시킬 수도 있다. 이러한 공급사슬의 붕괴는 국제무역에 참여하는 비용을 증가시킬 것이다. 다음 절에서는 기후변화와 국제무역의 직·간접적인 효과에 대해서 보다 자세히 살펴보고자 한다.

2. 기후변화의 직·간접 무역효과¹⁵⁾

앞에서 설명한 것처럼 국제무역은 세계 경제성장을 견인하는 데 지대한 영향을 미친다. 세계경제의 무역의존도가 증가하는 가운데, 기후변화는 무역의 패턴과 특화(specialization)의 정도를 변화시키는 등 국제무역에 직·간접적으로 영향을 미친다. 직접효과는 기후변화가 무역관련 공급·수송·유통 사슬에 미치는 효과이다. 가령 해수면 상승 또는 극심한 이상기후(extreme weather)로 인한 항구 등 수출입 기반시설(infrastructure)에 대한 부정적 영향과 이상 기온상승에 따른 북극 빙하 감소로 인한 새로운 북극 교역항로의 개설 등이 이에 해당한다. 반면, 기후변화가 자본, 노동, 토지와 같은 생산요소의 구성을 변화시켜, 상품과 서비스의 생산에 영향을 미침으로써 간접적으로 무역에 영향을 미칠 수 있다. 이런 기후변화의 무역에 대한 직·간접 효과는 모두 비교우위의 변화를 통해서 무역의 흐름과 패턴의 변화를 초래한다.

15) Dellink et al.(2017)을 참고하여 저자 작성함.

2.1. 기후변화의 직접효과

대다수 연구에서는 기후변화가 직접적으로 공급·운송·유통 사슬에 부정적인 영향을 미쳐 미래 국제무역의 패턴을 변화시키는 것으로 분석되었다.¹⁶⁾ 이상기후로 인해 항구와 운송경로가 일시적으로 봉쇄될 수 있고, 교역에 중요한 기반시설이 피해를 입게 됨으로써 장기적인 무역효과를 발생시키기도 한다. 이런 효과들로 인해서 국제교역이 지연되거나 비용이 증가할 수 있다. 또한 국제무역에 참여하는 기업들이 운송의 신뢰성을 높이하고자 대안을 추구함에 따라 무역패턴의 변화를 초래할 수 있다(WTO 2009). IPCC(2014) 연구에 따르면, 기후변화는 해상·육상·항공을 연계한 국제교역의 모든 운송에 부정적 영향을 미치는 것으로 나타났다 <표 2-1>.

〈표 2-1〉 교역관련 기반시설에 대한 기후변화의 잠재적 직접효과

기후변화 효과	구분	직접효과	결과	영향
기온 및 태양복사열 상승	육상	도로 포장 균열, 철로궤도 좌굴, 수밀봉 손실로 인한 도로붕괴	빈번한 보수 철로·도로 보수 및 이에 따른 운송속도 제약 유지보수 및 보험 비용 상승	(-) (-) (-)
	항공	공항 활주로 수명 단축 항공운송 능력 감소	항공운송 능력을 보완하기 위한 긴 활주로 건설 지상냉각 장치 구축 유지보수 및 보험 비용 상승	(-) (-) (-)
	해상	냉동저장 기간 단축	냉동저장 비용 상승	(-)
강우량 및 하천홍수 증가	육상	국토 범람, 강의 교량세굴, 잦은 포장도로 및 안전상의 위험	피해 도로를 우회하기 위한 경로 변경 유지보수 및 보험 비용 상승	(-) (-)
	항공	활주로 및 진입로 범람, 가시성 저하, 활주로 등 시설 피해	유지보수 및 보험 비용 상승	(-)
	해상	항구 화물 적재능력 감소, 부식 및 산화장비 증가	운송지연 위험 건설 및 유지보수 비용 상승	(-) (-)

16) 기후변화의 부정적인 효과가 과장되었음을 지적하면서 교역 기반시설의 운송·공급·유통망에 미치는 기후변화의 긍정적 효과 발생 가능성을 지적한 일부 연구가 있음(Heininen et al. 2015; Liu et al. 2014; Maddocks et al. 2010 등 참조).

(계속)

기후변화 효과	구분	직접효과	결과	영향
해수면 상승 및 바다폭풍 해일	육상	항구적/일시적 침수, 교각잠수	운송 지연 위험 유지보수 및 보험 비용 상승	(-) (-)
	항공	공항터미널 및 마을 침수	사업 및 사람의 이전 또는 이주	(-)
	해상	수로 교량 통과 저조, 항구 기반시설 피해, 부식 및 산화장비 증가	새로운 선박설계 운영지역의 구조변경 유지보수 비용 상승 및 항구시설 정비	(-) (-) (-)
이상기후 조건	육상	신호보안 등 전자 인프라 수송중단	운영중단 유지보수 및 보험비용 상승	(-) (-)
	항공	신호보안 등 전자 인프라 수송중단	운송지연 위험 유지보수 및 보험비용 상승	(-) (-)
	해상	일시 항구봉쇄, 출항조건악화, 신호 보안 등 전자 인프라 수송중단	운송지연 위험 유지보수 및 보험비용 상승	(-) (-)
북극 해빙커버 감축	해상	북극 운송경로 개방	거리 및 시간 단축 추가 항로 보조 장치 필요 북극 경로 사용 선박 보험비용 상승	(+) (-) (-)

자료: Dellink et al.(2017)을 참고하여 저자 작성.

기후변화로 인해 발생하는 육상 운송에 대한 무역효과는 도로와 교량 등 기반 시설의 빠른 침하나 영구동토¹⁷⁾ 지역의 확대로 운송경로의 가용성이 저하됨으로써 발생할 수 있다. 교량은 해수면 상승과 기후변화 적응 관련 장기 정책 부재 등으로부터 부정적 영향을 받게 된다. 지구온난화로 인한 열 스트레스와 결빙-해빙 주기(freeze-thaw cycle)가 증가하는 현상은 포장도로의 침하현상을 가속시킬 수 있다. 기온상승은 영구동토의 급속해빙을 유발하거나 결빙토양 지역을 통한 운송경로의 가용성 저하를 가속시킨다.

또한 기후변화는 공항운영에 차질을 빚음으로써 국제무역을 위한 상품의 항공 운송에 부정적 영향을 미친다. 특히 기후변화로 인한 빈번한 해수면 상승, 폭풍우 증가, 이상 강우량은 기후변화에 취약한 저지대 지역의 공항 등 기반시설 운영에 부

17) 영구동토는 여름에도 녹지 않고 2년 이상 일 년 내내 항상 얼어있는 퇴적물, 토양 또는 기반암을 의미하며, 영구동토의 해빙은 메탄가스와 이산화탄소의 대기 중 방출로 이어져 기후 온실효과를 만들어 낸다(국립기상과학원(http://www.nims.go.kr/?sub_num=866, 검색일: 2020. 5. 26.)).

정적 영향을 미친다. 세계 항공 배출량(세계 이산화탄소 배출량의 2%, 운송에 의해 사용된 화석연료 사용의 13%를 차지)을 규제하는 국제기구인 국제민항공기구(International Civil Aviation Organization: ICAO)는 기술표준 강화, 온실가스 배출량을 기반으로 한 부과금 또는 배출권 거래제(cap-and-trade scheme)와 같은 시장기반 정책을 강화하려는 움직임을 보이고 있다. 이러한 움직임은 항공운송료 인상에 따른 국제교역의 비용 상승을 초래할 것이다(Dellink et al. 2017).

세계 교역량의 80%, 세계 교역액의 70% 이상을 차지¹⁸⁾하는 해양운송 또한 기후변화로부터 부정적 영향을 받을 수 있다. 폭풍우와 강우량 증가, 해수면 상승과 같은 이상기후는 보다 빈번한 항구붕쇄를 초래하여 통관속도에 영향을 미치며, 운송경로의 대안을 모색하게 할 뿐만 아니라 선박과 항구의 유지보수 비용을 증가시킨다. 기후변화로 인해 발생하는 물리적 효과는 입지조건에 따라 미래 국내운항에 영향을 미칠 수 있다. 반면, 기후변화로 인해 북극 빙원이 빠른 속도로 해빙됨에 따라 북극지역으로의 새로운 해상운송 가능성이 제기되고 있다. 이런 새로운 운송경로의 이용 가능성이 증가함에 따라 국가 간 무역경로가 단축될 수도 있는데, 무역경로의 단축은 거래 시간과 비용을 절감할 수 있어 국제무역 패턴에 대해 중요한 의미를 가진다.

‘교역 상대국 간 거리’는 수송비용에 영향을 미치는 요소들 가운데 무역에 영향을 미치는 중요한 결정요인이다.¹⁹⁾ 국제무역 관련 연구에서 교역량은 수송비용의 증가(운항비용과 운송거리 증가)를 반영하여 양국 간 거리가 증가함에 따라 감소하는 것으로 나타났다. 새로운 해상경로의 운용 가능성은 기존 주요 교역 경로에서 발생하는 수익을 감소시킬 수 있다. 반면, 이런 북극 해상 운송경로의 개척은 해당 북극지역 국가들에게 혜택을 제공하고 교역패턴을 변화시킬 수 있는 동시에 해당 국가나 지역 경제성장과 일자리 창출에 긍정적인 간접효과를 가져올 수 있다. 북극 운송경로의 상업적 활용 가능성이 거리뿐만 아니라 교통물류 장벽(예를 들어 낙후된 통신체계, 불충분한 항법장치, 제한적인 상업적 일기예보, 항해속도 감

18) Dellink et al.(2017).

19) 대다수 무역관련 중력모형은 국가 간 인접성 즉 거리변수가 운송비용의 대리변수로서 교역량에 (-)의 관계를 보임(Frankel 1997).

축 등)에 영향을 받는다는 점을 고려할 때, 단순히 거리상 이점만으로는 미래 북극 운송경로의 상업적 용도의 실행가능성을 담보하지 못한다. 거리가 단축되면 시간에 민감한 화물에는 유리할 수 있지만, 앞서 언급된 장벽으로 인한 손실이 더 클 수도 있다. 이런 조건들은 운송보험 비용을 증가시킴으로써 상업적 운영의 실행가능성을 제약하게 될 것이다.

북극 운송경로를 통한 새로운 기회창출은 북극 생태계를 파괴할 수 있다는 우려를 야기하고 있다. 경제적 이득에도 불구하고, 북극 항로를 이용한 경제적 활동이 북극의 환경과 생물다양성을 해치는 위협요인으로 작용하기 때문이다(Dellink et al. 2017). 이에 따라 국제해양기구(International Maritime Organization: IMO)는 2015년 극지해역 운항선박 국제기준(Polar Code)을 채택하였다. 이런 북극운송을 위해 신설된 의무규정은 경제적 활동으로부터 발생하는 순 이득(북극운송 항로를 활용한 운송경로 단축)에 영향을 미치는 요소로 작용하게 된다. 국제무역에 대한 기후변화의 직접효과에 대한 다양한 이슈들은 추가적으로 규명될 필요가 있다. 물류장벽의 정도와 속도에 대한 불확실성, 기반시설의 부족, 이상기후 조건, 짧아지는 겨울, 빙하의 해빙 등이 북극 기후의 안정성에 미치는 영향뿐 아니라 북극 화물운송이 국제무역에 얼마나 큰 영향을 미치는지 계량적으로 예측하기는 어려운 실정이다. 보다 분명한 것은 기후변화 효과로부터 발생하는 운송비용의 증가는 무역비용을 증가시킴으로써 교역패턴에 영향을 미친다는 것이다.

2.2. 기후변화의 간접효과²⁰⁾

2.2.1. 기후변화의 세계경제 영향

2015년 OECD는 기후변화가 장기 경제성장에 미치는 영향을 평가하였다. 기후변화 대응조치가 없을 경우 기후변화가 세계 경제에 미치는 영향을 지역별, 분야별

20) OECD(2015)의 분석내용을 기초로 저자 작성.

로 추정하고 정책개입 효과를 계량적으로 추정했다. 분야별로 기후변화의 효과를 작물단수의 변화, 해수면 상승으로 인한 토지와 자본 손실, 수산물 어획량 변화, 허리케인으로 인한 자본손실, 노동생산성 변화, 질병과 열 스트레스로 인한 의료지출 변화, 관광 흐름 변화, 냉난방을 위한 에너지 수요변화 등으로 구분하여 추계하였다.

동 보고서의 결과에 따르면, 선택된 효과로부터 발생하는 시장손실은 시간에 따라 점진적으로 증가하고, 세계 경제활동 수준보다 빠르게 증가하는 것으로 전망하였다. 기후변화에 대응하는 추가조치가 취해지지 않을 경우 세계 GDP는 2060년 2% 수준까지 감소할 것으로 전망하였다. 특정 분야는 특정 기후변화 효과에 의해 직접적으로 영향을 받는다. 가령, 서비스 분야는 의료효과, 에너지 분야는 에너지 수요효과에 의해 직접적인 영향을 받는다. 반면, 기후변화로 인한 전반적인 가격 변화에 따라 실질적인 간접효과도 발생한다. 에너지 수요에 대한 효과는 에너지 가격에 영향을 미침으로써 에너지 집약 산업부문의 생산변화를 유도하며, 해수면 상승으로 인한 자본손실은 자본의 한계생산성 변화를 통해서 모든 분야에 영향을 미친다. 작물단수 변화와 의료보건 영향(노동생산성)은 각각 2060년까지 연간 GDP의 0.9%, 0.8%를 감소시켜 거시경제에 큰 영향을 미치는 것으로 전망했다.

기후변화가 세계경제에 미치는 영향은 생산요소들의 변화로 구분하여 살펴볼 수 있다. 기후변화는 생산요소인 노동, 자본, 토지와 자연자원에 직접적으로 영향을 미친다. 상대적으로 노동과 토지 공급은 경직적이기 때문에 세계경제에 보다 직접적인 영향을 미치는 반면, 자본의 경우 소비자들이 경제상황 변화에 대응하여 저축패턴을 조정할 수 있기 때문에 장기적으로 신축적이다. 따라서 소득수준의 변화는 저축을 변화시켜 자본축적에 영향을 미친다. 따라서 기후변화 효과는 자본축적 감소를 통해서 세계 GDP 수준뿐만 아니라 성장률에 영향을 미치게 된다. OECD 보고서에 따르면, 세계 GDP 손실의 50%가 자본에 대한 간접효과에 의한 것으로 분석되는데 이는 성장효과(growth effect)로 간주된다. 기후변화의 장기 영향은 중단기 영향보다 실질적으로 악화된다는 것을 의미할 수 있다.

기후변화는 국제 교역이 많이 이뤄지는 상품을 포함하여 경제 전반의 모든 상품 생산에 부정적인 영향을 미친다. 특히 농산물은 기온상승과 이상고온으로 기

후변화에 의해 크게 영향을 받는다. 대다수 지역은 강우량의 변화로 작물단수가 감소하고, 이로 인해 작물 생산량이 감소한다. 특정 지역의 특정 품목은 상대적으로 낮은 기온상승과 적정 강우량의 증가로 작물생산이 증가할 수도 있다.

2.2.2. 기후변화 효과로 인한 무역패턴 변화

앞에서 살펴본 기후변화가 세계 경제에 미치는 효과는 국가별 무역과 생산에 대해 중요한 의미를 가진다. 기후변화는 세계 GDP나 국제 교역량에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 일반적으로 GDP의 변화는 교역량의 변화와 비례하여 움직이는 경향이 있다. 기후변화로 소득이 악화된 국가의 경우 국내 경제활동이 위축되고 교역량(수출 및 수입) 규모 또한 감소하는 것으로 나타났다. OECD 보고서에 따르면, 기후변화로 인해 세계 GDP 감소와 함께 세계 수출과 수입은 2060년 각각 1.8%, 1.6% 감소하는 것으로 전망되었다. 무역의 증가는 기후변화로 인해 가장 피해를 입은 경제의 생산손실을 보완하는 경향이 있다. 그러나 세계 GDP 감소가 세계 최종수요의 위축으로 이어지고, 국내외 상품과 서비스의 불완전 대체를 감안할 때, 생산과 교역 모두 감소하게 될 것이다.

기후변화에 의해 가장 피해를 입은 지역의 수출은 GDP 이상으로 감소하는 것으로 나타났다. 이들 지역은 기후변화의 영향으로 교역상대국보다 생산비가 급증한 결과 시장의 경쟁력도 감소하게 된다. 수입변화는 소득변화에 의해 주도되기 때문에 이들 지역의 수입 감소는 GDP 감소와 밀접하게 관련되어 있다. 반면, 기후변화의 영향을 덜 받는 국가들의 경우 내수시장에서의 경쟁력을 높일 수 있어 수입의 비중과 수준은 GDP보다 더 감소하게 된다. 이들 국가들은 수입보다 수출로부터 더 큰 이득을 얻을 수 있으며, 이는 국제시장에서 경쟁력이 향상될 수 있다는 사실을 보여준다.

분야별 수입패턴의 변화는 거시경제와 분야별 효과가 결합하여 나타난다. 분야별 총수입변화는 다음과 같이 살펴볼 수 있다. 첫째, 분야별 수입은 경제의 규모에 의존하며, 이런 소득효과는 GDP 변화로 인한 수입의 변화로써 계측된다. 둘째, 실질 GDP 대비 총수입량 비중 변화는 새로운 균형으로 조정될 수 있다. 이런 교역효

과는 총수입 변화와 GDP 변화의 차이로써 정의된다. 셋째, 분야별 특정효과는 분야별 수입 구성을 조정하도록 유도한다. 일반적으로 총수입량은 GDP의 움직임과 밀접하게 관련되어 있으며, 이런 소득효과는 무역효과보다 더 크다. 무역효과는 국내 생산비용의 변화를 보상하기 위해서 수입을 조정하기 때문에 소득효과와 반비례하는 경향도 있다. GDP의 감소 효과는 기후변화가 국제무역에 영향을 미치는 유일한 경로가 아니다. 경제 분야별 기후변화의 부정적 효과는 무역의 구성 변화에 따라 차이를 보이는 반면, 기후변화가 농산물 무역에 미치는 영향은 작물에 대한 직접적인 충격을 통해서 상대적으로 크게 나타날 것으로 전망된다. 또한 분야별, 지역별 무역흐름의 변화는 세계 수출시장 점유율의 변화를 가져온다. 일반적인 상황에서 수출의 비중이 상대적으로 높고 그 추세가 증가하고 있으므로 경제성장의 동력으로써 무역에 대한 의존도가 높은 지역 또는 국가는 기후변화의 부정적 충격에 따라 교역 기회를 상실하게 됨으로써 수출비중이 감소하게 된다.

2.2.3. 농식품 비교우위의 변화

기후변화가 국가 간 비교우위에 미치는 영향은 분야별 또는 연관 효과(compositional effect)로 구분하여 살펴볼 수 있다. 기후변화 이외의 요인에 의한 분야별 변화가 상호작용하여 다양한 충격을 발생시키기 때문에 기후변화의 영향을 분석하는 데 한계가 있다. 여기서는 OECD 보고서(OECD 2015)에서 제시된 작물 단수와 농식품 무역에 대한 기후변화의 효과에 대해서 개괄하고자 한다. 동 보고서에 따르면, 작물단수를 감소시키는 기후변화의 영향은 브라질, 아시아(특히 인도), 아프리카에서 두드러지게 발생하고 이런 감소 추이는 GDP 감소와 비례하는 것으로 나타났다. 농식품 무역에 대한 영향은 품목별로 상당한 차이를 보인다. 특히 쌀 무역은 주요 쌀 수입국들이 기후변화에 의해 강한 충격을 받기 때문에 상당히 증가할 전망이다 반면 다른 일부 품목의 세계 무역은 감소하게 되면 세계 전체 농식품 무역은 다소 감소하게 될 전망이다. 이런 농산물 무역이 감소한 원인은 기후변화로 인한 상대적으로 큰 폭의 단수감소, 식품분야의 작물 수요 감소, 경제위

축으로 인한 소득감소, 국내식량 수요 변화 등 다양한 요인이 혼재해 있다.

기후변화 효과에 따른 국가별 현시비교우위(Revealed Comparative Advantage: RCA)의 변화는 국제시장에서 특정 상품과 서비스의 공급에 있어 한 국가의 비교우위(advantage)와 열위(disadvantage)에 대한 정보를 제공한다. 기후변화 영향에 따른 RCA의 변화는 국가별로 상이하게 나타난다. 기존 국가 간 비교우위의 분포는 기후변화의 부정적 충격에 의해 크게 변화하지 않는 반면, 기후변화의 부정적 영향은 농식품 분야에서 특화정도가 높은 국가의 RCA의 변화를 가져온다. 특히 기후변화의 여파로 인도네시아, 인도, 중동 등 아시아 국가의 RCA가 큰 폭으로 감소한 반면 대다수 국가들의 경우 증가하는 것으로 나타났다.

기후변화로 인해 비교우위가 변화되는 주요 요인 중 하나는 작물 단수의 변화이다. 반면, 상호 연계된 분야 및 지역 간의 상호작용과 내생 변화는 단수충격에 의해서 유발되어 다른 경제 분야의 조정으로 이어진다. RCA와 작물단수 변화 간의 상관관계를 분석한 결과에 따르면, 작물단수의 변화만으로 RCA의 변화를 설명할 수 없다. 기후변화로 인해 작물단수가 감소한 일부 국가의 경우 비교우위가 증가한 반면, 다른 국가의 경우 비교우위가 감소한다. 기후변화의 부정적 효과인 실질 환율의 상승으로 수출가격이 상승한 국가의 경우 수출량은 크게 감소한다. 식량수출 및 수입(revenues)의 변화는 RCA의 변화와 비례하는 것으로 나타났다. 즉, 수출량이 크게 감소한 국가는 RCA가 감소한 반면 수출량이 증가한 국가는 RCA가 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 지역별 또는 국가별 수준에서는 보다 복잡한 상호 간의 영향력이 크게 작용하고, RCA와 수출 수입의 지역별 변화를 보면 총량 수준에서 설명하는 데 한계가 있다. 무역흐름의 변화와 국가별·지역별 RCA와 비교우위 또는 경쟁력 변화 사이의 상호간 영향에 대한 이해 제고를 위해서는 국제 교역시장과 특정시장에서의 국가별 경쟁력을 보다 면밀히 분석해야 한다. 또한 앞에서 살펴본 바와 같이 국제무역은 기후변화의 직접·간접적인 요인 또는 이들 요인의 상호작용에 의해서 영향을 받기 때문에 기후변화가 국제무역에 미치는 요인들을 분석모델에 모두 포함하는 것은 현실적으로 제약이 따른다. 국제기구와의 협력을 통해서 신뢰할 수 있는 가용 정보를 활용한 분석이 요구된다.

3. 요약 및 소결

기후변화는 농업뿐만 아니라 비농업 분야에 영향을 미치지만, 그 영향은 일방적인 패턴을 보이지 않는다. 이는 기후변화와 관련된 물리적 과정이 각 부분에 영향을 미치고 부문 간 상호작용에 의해서도 영향을 받기 때문이다. 먼저 기후변화는 한 국가의 비교우위를 변화시킴으로써 국제무역의 패턴을 변화시킨다. 이런 효과는 기후와 지역 조건으로부터 비교우위가 파생되는 국가들에서 보다 강력히 나타나는데 농업의 의존도가 높은 국가나 지역은 지구온난화와 빈번한 이상기후로 인한 작물 단수 감소로 국내생산이 감소하고 이는 수출 감소로 이어질 수 있다. 반면, 다른 지역의 농산물 단수는 증가할 가능성도 있어 기후변화가 수출에 항상 부정적인 영향을 미치는 것은 아니다.

다음으로 기후변화는 국제무역이 의존하는 공급, 운송, 유통 사슬의 취약성을 증가시킬 수 있다. 극단적 이상기후는 항구와 운송경로를 일시적으로 봉쇄하고 무역에 중요한 기반시설을 훼손함으로써 국제무역의 비용을 초래하며 특히, 국제무역 참여 의존도가 높은 개도국은 선진국보다 기후변화의 부정적인 영향에 취약할 수 있다. 기후변화로 인한 새로운 운송항로의 개척은 해당 국가들에게 혜택을 제공하면서 교역패턴을 변화시킬 수 있다. 동시에 이런 개척은 해당 국가들의 경제성장과 일자리 창출에 긍정적인 간접효과를 가져올 수 있다. 마지막으로 기후변화에 따른 기술진보, 소비자 선호 변화, 경제정책의 변화는 경제의 완충작용을 하고 상대적 비교우위를 변화시키며 국제무역은 기후변화 적응을 위한 중요한 수단이 될 수 있다.

제3장

기후변화를 반영한 교역 모형

기후변화를 반영한 교역 모형

1. 모형의 기본 구성

앞장에서 살펴본 바와 같이 기후변화는 농업뿐만 아니라 다양한 분야에 영향을 미치며 이러한 영향은 다양한 경로를 통해 농업 및 농산물 교역에 영향을 미치게 된다. 따라서 기후변화를 반영한 농식품 교역 모형은 각 경로를 통한 영향을 반영한 기존 교역 모형에 기후변화 변수를 추가하거나 기후변화를 포함한 새로운 농식품 교역 모형을 재설계하는 방식으로 구축될 수 있다. 구체적으로는 모두 다음의 두 단계를 거치게 된다.

기후변화를 반영한 농식품 교역 모형의 1단계는 기후 혹은 기상변수가 농업 및 거시경제 등의 다양한 실물 변수에 미치는 영향을 분석하는 것이다. 이 단계에서는 기후변화가 기상의 형태로 나타나 실물 변수에 영향을 주게 되므로 강수량, 기온, 일조량, 이상기상 발생 횟수 등의 기상변수가 실물 변수에 미치는 영향을 분석하게 된다. 그리고 일반적인 교역 모형이 변수를 파라미터로 연결하는 선형함수에 기반하여 구축되는 만큼²¹⁾ 기후 혹은 기상이 농산물 수급 및 농업자원, 거시경

21) 비선형 모형으로 교역 모형을 구축할 경우 최종결과의 원인 분석이 용이하지 않으며 시나리오 분석에서도 한계를 갖기 때문에 대부분의 경제 모형은 선형함수를 가정하여 수행됨.

제, 교역 비용 등의 변수에 미치는 영향을 나타내는 함수 형태를 설정하고 이에 필요한 파라미터(탄성치)가 추정되어야 한다. 특히, 기상이 농산물 생산에 미치는 영향은 작물생육 모형을 통해 표현될 수 있는 만큼 작물생육 모형을 모듈로 추가하는 방식으로 기상이 작물생산에 미치는 영향을 표현할 수도 있다.²²⁾

기후변화를 반영한 농식품 교역 모형의 2단계는 1단계에서 설정된 기상과 실물 부문의 연결 고리를 포함하여 교역 모형을 구축하는 단계이다. 2단계에서 활용되는 교역 모형은 앞서 언급한 바와 같이 기존 농식품 교역 모형일 수도 있고 새롭게 재설계할 수도 있다. 다만, 모형을 재설계하는 경우에도 기존의 교역 모형 구성 방법과 동일한 논리를 따를 수 있다.

기존의 국제 교역 모형은 분석 방법에 따라서 시계열예측 모형과 시장균형 모형으로 구분할 수 있다. 시계열예측 모형은 과거 자료와 시계열 계량경제학의 통계적 기법으로 미래를 예측하는 데 반하여, 시장균형 모형은 가격의 변화에 대응하는 시장 참여 주체들의 이윤 또는 효용 극대화 행동에 따른 행위변화를 통해 특정 상품의 수급 및 가격을 예측하여 시장의 새로운 균형을 찾는 방식이다. 시계열예측 모형의 경우 시장균형 모형에 비해 상대적으로 요구되는 자료의 양이 적고, 분석 방법도 단순하나 분석 대상이 변동하는 원인에 대하여 이론적으로 설명하기 어렵다는 단점을 가지고 있다. 이러한 특성으로 인해 시계열예측 모형은 교역 모형보다 인플레이션, 환율 등을 예측하기 위한 거시계량 모형에서 널리 활용된다. 반면, 시장균형 모형은 시장의 수급 이론에 근거하여 작동하기 때문에 어떤 변화의 원인에 대한 설명이 용이하다는 장점이 존재한다. 그러나 분석에 있어서 방대한 자료와 복잡한 수식이 요구되는 경우가 많으며 이로 인하여 이윤 혹은 효용 극대화 추구 행위를 직접 모형에서 도출하는 것보다 축약형 방식이 일반적으로 널리 사용된다(Van Tongeren and Van Meijl 1999).

국가 간의 무역은 수출국의 수급과 수입국의 수급에 따라 크게 영향을 받기 때

22) 실제로 IFPRI의 IMPACT 모형은 작물생육모형(DSSAT, LPJmL) 모듈을 통해 기상변수와 농산물 생산량을 연결하였음.

문에 각 국가의 생산자와 소비자의 의사결정이 무역 변동 결정에 매우 중요하다. 따라서 교역 모형의 경우 시계열예측 모형보다는 생산자, 소비자, 수출자, 수입자 등 경제 주체들의 행동 변화와 국내, 국제 간 자원의 분배를 예측할 수 있는 시장균형 모형이 보편적으로 사용된다. 이에 본고는 시장균형 모형에 초점을 맞추어 전개하고자 한다.²³⁾

2. 기후변화와 실물 부문의 연계성 분석

기후변화는 다양한 경로를 통하여 직간접적으로 농산물 교역에 영향을 줄 수 있다. 기후변화가 농산물 교역에 미치는 영향을 반영하기 위해서는 기후변화가 농산물의 재배면적, 축산물 생산량, 농·축산물의 생산성, 농식품의 수요량에 대한 연계성뿐만 아니라 농·축산물 이외의 산업에 미치는 영향이 검토되어야 한다. 또한, 기후변화의 직접효과로 나타나는 무역을 위한 거래비용과 관계되는 연계성도 검토되어야 한다. 이는 농산물 이외 산업 및 거시경제변수가 투입산출 구조 등을 통해 농산물의 수급 및 가격에 영향을 미쳐 농산물의 교역량 증감으로 귀결될 수 있기 때문이다. 그리고 국제 교역에 소요되는 항구 및 공항 이용료, 선적료, 운임 등의 교역 비용은 농산물의 수입국 가격에 전이되어 무역량을 결정하는 중요한 요소이다. 요약하면, 기후변화와 실물 부문의 연계성은 농·축산물 부문, 거시경제 부문, 무역 비용 부문의 세 가지 분야에서 분석되어야 한다는 것이다.

각 분야를 구체적으로 살펴보면, 기후변화와 농·축산물 부문의 연계성은 특정 국가의 농·축산물 생산량과 소비량이 수출량과 수입량 결정과 직결된다는 측면에서 그 효과가 클 것으로 예상되므로 모형의 예측력 향상을 위해서 가장 중요한 부분이라 할 수 있다. 이러한 중요성에도 불구하고 실제 기후 혹은 기상변수와 농축

23) 본 연구에서는 기후변화를 반영한 농식품 교역 모형의 대안으로 통상적인 부분균형과 일반균형 모형에 더하여 직접적인 교역 모형인 중력모형의 활용을 제시하고 있음.

산 수급 변수 간의 연계성 구축은 전 세계를 대상으로 다수의 품목과 국가에 대해 수행되어야 하며 생산성 영향뿐만 아니라 기후변화에 따라 재배 혹은 생산 적지의 이동, 수자원 등의 투입요소 시장변화 등을 고려하여야 한다는 측면에서 매우 많은 물적·인적 자원이 소요될 수 있다. 이러한 어려움으로 이미 구축된 경제모형들은 각 국가의 기상과 작물생산 간의 연계성을 분석한 기존 연구 결과를 활용하거나 작물생육모형을 모듈로 삽입하는 방법을 사용하기도 한다.

기후변화와 비농업 부문 및 교역 비용 간의 연계성은 효율적 모형구축을 위해 모형구축의 목적, 분석 기간 및 대상(품목) 등에 따라 변수들의 분류기준을 크게 설정하거나 일정한 가정을 도입하는 방식으로 간소화할 수 있다. 이는 모형에 도입되는 가정의 현실성이나 모형의 응용력을 떨어트릴 수 있음에도 인적·물적 자원 제약 등으로 대부분의 농업 관련 경제 모형이 이러한 방법을 사용하고 있다. 특히, 부분균형 모형을 사용하는 경우 농업 이외 부문 및 무역비용 관련 부분을 외생변수로 처리할 수 있다. 이러한 외생 변수들은 타기관 혹은 모형에서 도출된 전망치를 사용하게 된다.

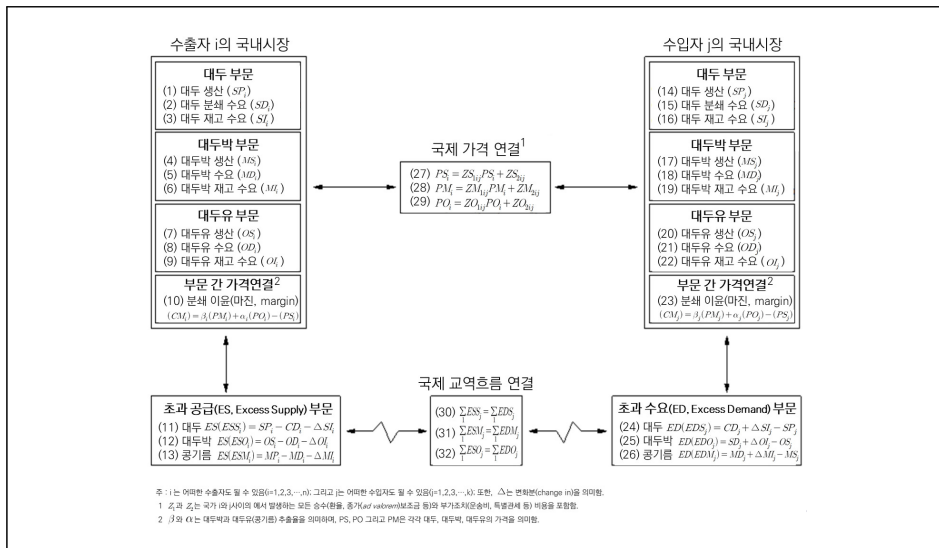
3. 기후변화를 반영한 교역 모형구축

전술한 바와 같이 기후변화를 반영한 농식품 교역 모형의 구축은 기존의 교역 모형의 구조와 논리를 그대로 적용할 수 있다. 다만 어떤 모형도 모든 목적이나 상황에 일률적으로 적용될(one size fits all) 수는 없으며, 특정 목적이나 상황에 가장 적합한 모형을 선택하기 위해서는 각 모형의 장단점에 대한 파악이 우선되어야 한다. 즉, 새로운 모형을 개발하기에 앞서 모형들 간의 공통점, 차이점 그리고 접근 방식 등에 관한 사항을 모두 검토하는 것이 반드시 필요하다. 이러한 검토가 선행된 이후에 수행하고자 하는 분석이 어떤 모형을 사용하였을 때 최선의 결과를 도출할 수 있는지를 검증함으로써 연구 목적에 가장 적합한 모형을 선택할 수 있다.

국제 교역 모형에서 주로 사용하는 시장균형 모형도 범위에 따라 모형을 보다 세 부적으로 구분할 수 있다. 즉, 농업 등 특정 산업 또는 영역 등만을 다루는 부분균형 모형과 경제 내 대부분의 영역이 포함되는 일반균형 모형이 존재한다. 부분균형 모형과 일반균형 모형은 개발 목적, 가정, 포함하는 경제 범위, 생산, 요소, 내·외생 변수 구성 등에 차이를 보인다. 또한 부분균형 모형은 특정 지역 혹은 산업에 특화된 모형으로 그 이외의 요소는 외생적으로 취급하여 분석한다. 경제 전체 및 다른 산업에 미치는 영향은 볼 수 없으나 특정 부문에 미치는 영향을 보다 정확하고 정밀하게 파악할 수 있다는 장점이 존재한다.

일반적인 부분균형 모형은 다음과 같은 성격을 갖는다. 먼저, 지역 범위는 교역 모형일 경우 세계로 정하며, 분석에 있어 지역 특징은 국가 간 모수적 차이로 반영한다. 둘째, 동일재를 가정하며 일반적으로 정태분석을 시행한다. 셋째, 정책은 가격상당치(무역정책의 경우 관세상당치)로 주로 분석하며, 이론적 일치성을 엄격하게 적용하지는 않는다. 마지막으로 생산요소 시장과 비농업 분야는 외생적으로 처리한다.

〈그림 3-1〉 부분균형 모형 흐름도(예시)



자료: Williams et al.(2014)을 재인용.

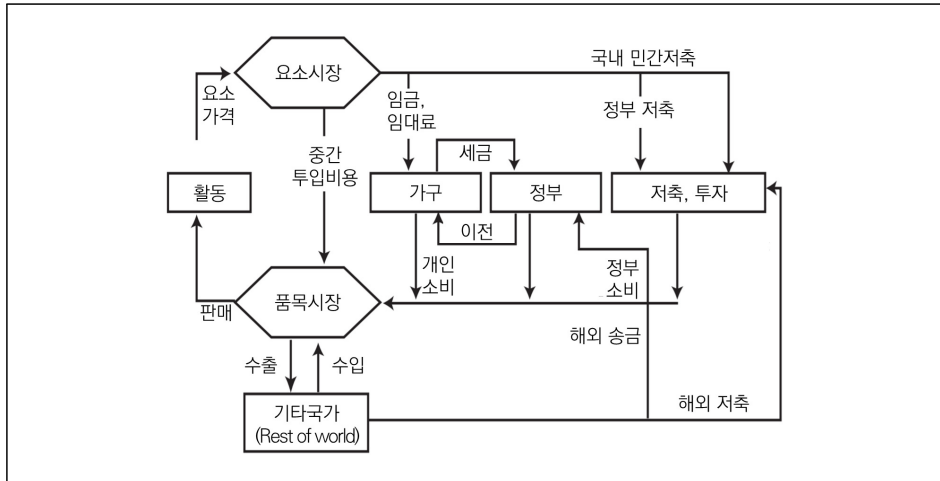
반면, 일반균형 모형은 경제 주체들의 상호의존성을 고려하여 경제 내 모든 부문(산업, 상품, 생산요소 등)이 모형에 포함되며, 일반균형이론에 따라 모든 부문의 시장에서 동시에 달성되는 균형을 도출한다. 특히, 연산가능일반균형(Computable General Equilibrium: CGE)은 경제 이론과 실제 데이터를 결합한 대표적인 일반균형 모형이다.

Van Tongeren and Van Meijl(1999)의 연구에 따르면, 일반균형 모형의 주요 성격은 다음과 같다. 첫째, 노동과 자본은 국내 부문에서 완전히 이동 가능한 것으로 가정하고 토지는 불완전하게 이동하는 것으로 가정한다. 둘째, 소비자 수요는 예산 제약하에서 효용 극대화 과정에서 파생되며 소비자는 지출을 국내외 재화에 배분한다. 셋째, 정부는 수입 관세 및 수출 보조금 등 다양한 유형의 간접세 및 보조금을 부과하고 있음을 고려하고, 정부 정책은 주로 가격상당치(무역정책의 경우 관세상당치)를 활용하여 분석함으로써 모델 구조에 이론적 일치성을 유지한다. 마지막으로 생산요소 시장을 비롯한 모든 시장에서 가격과 생산량이 내생적으로 결정되는 구조이며, 부존자원과 정책 등은 외생적으로 처리하였다. 이상의 일반균형 모형은 규모와 다양성 효과를 추정할 수 있도록 불완전한 경쟁에 따라 일부 부문에서 수익 증가가 발생할 수 있음을 가정(2세대 모형)하거나 미래를 고려한 행동 결정을 반영하기 위해서 전통적인 일반균형 모형에 실물경제의 자본흐름 모형을 결합시키는 모형(3세대 모형)으로 발전해왔다.²⁴⁾

요약하면, 농산물 교역을 분석하기 위한 부분균형 모형의 경우 일반적으로 농업 이외의 요인들은 외생변수로 처리한다. 대신 농산물 품목에 대해서는 세분화하여 심층적인 분석이 가능하다. 그러나 일반균형 모형이라 해서 모든 지역이나 영역을 동일한 중요도로 다루는 것은 아니며, 각 지역 또는 영역의 구조가 다 동일해야 하는 것도 아니다. 다만, 모든 지역 또는 영역의 특징을 모두 반영하여 구축하는 것이 어렵기 때문에 동일구조가 일반적으로 가장 많이 적용된다.

24) Van Tongeren and Van Meijl(1999)은 이러한 일반균형 모형의 개선 사항을 구분하기 위하여 각각 1, 2, 3세대 모형으로 구분하였음.

〈그림 3-2〉 일반균형 모형의 지출 흐름도(예시)



자료: Löfgren et al.(2002)을 재인용.

4. 모형 구축사례 검토

현재 기후변화를 반영하여 국제교역을 분석할 수 있는 다양한 모형이 개발·운영되고 있다. 다만, 이러한 모형들은 전 세계 혹은 특정 국가를 대상으로 개발된 모형으로 우리나라의 교역을 설명하는 데 한계가 존재한다. 아래 표는 이들 연구를 앞 절에서 논의한 분류기준인 부분균형 모형과 일반균형 모형으로 나누어 정리한 것이다. 주의할 것은 이러한 개별 모형과 더불어 이들 두 모형을 연계하여 특정 국가의 기후변화에 따른 교역 영향을 분석하고자 하는 시도도 존재한다는 것이다. 이러한 연계 모형의 장점은 기존의 모형을 바탕으로 구축되므로 모형구축에 따른 인적·물적 자원을 크게 절약할 수 있다는 것이다. 아래는 이런 모형들의 구조와 함께 구축 목적과 범위 등을 정리한 것이다<표 3-1>.

〈표 3-1〉 기후변화를 반영한 농업 부문 모형의 범위와 특징

유형	모델	경제범위	공간단위		생산성 변화	무역	출처
			수요	농업생산			
부분 균형 모형	GCAM	농업, 에너지	지역	지역 /AEZ	YS	HO	Wise and Calvin(2011)
	GLOBIOM	농업, 산림, 바이오 에너지	지역	그리드	YS	HO	Valin et al.(2013)
	IMPACT	농업	국가	소지역	YS	HO	Robinson et al.(2015)
	MAgPIE	농업	지역	그리드	YS	SS HO	Lotze-Campen et al.(2008)
	GAPS	농업	국가	국가	YS	HO	Kavallari et al.(2016)
	FASOM	농업, 산림	지역	지역			Adams et al.(1996)
일반 균형 모형	CDS	전체	지역	그리드	YS	ARM	Costinot et al.(2016)
	GL	전체	국가	그리드	YS	ARM	Gouel and Laborde(2018)
	AIM/CGE	전체	지역	지역	PF	ARM	Fujimori et al.(2018)
	ENVISAGE	전체	지역	지역	PF	ARM	Van der Mensbrugghe(2008)
	EPPA	전체	지역	지역	PF	ARM	Chen et al.(2015)
	FARM	전체	지역	지역 /AEZ	PF	ARM	Sands et al.(2014)
	GTEM	전체	지역	지역	PF	ARM	Pant(2007)
	MAGNET	전체	지역	지역	PF	ARM	Woltjer et al.(2014)
연계 모형	OECD ENV-Linkages	전체	지역	지역	PF	ARM	OECD(2015)
	CAPSiM +GTAP	농업	지역	국가	YS	HO ARM	Xie et al.(2018)
	IMPACT +CGE	농업	지역	국가	YS	HO ARM	Oktaviani et al.(2011)

주: YS(Yield Shock), PF(Production Function), HO(Homogenous Output), SS(Self-sufficiency), ARM(Armington model).

자료: Hertel(2018)을 기반으로 일부 추가·수정함.

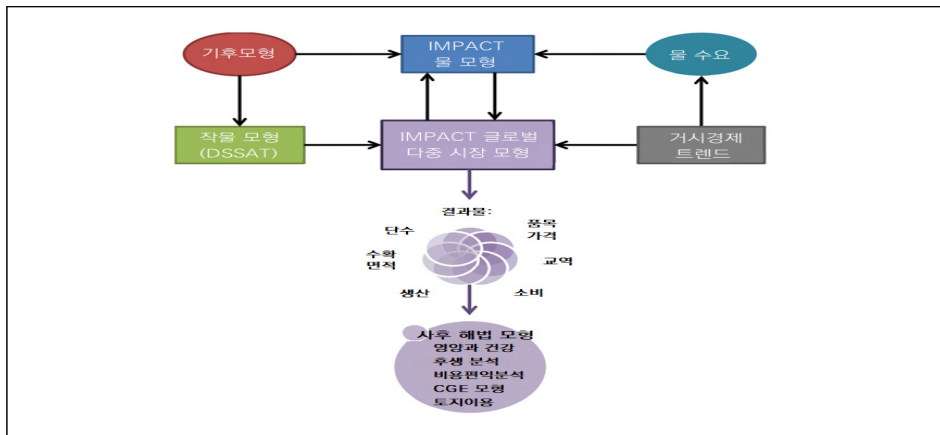
4.1. 부분균형 모형

기후변화를 반영한 농업 부문의 부분균형 모형으로 국제교역을 분석할 수 있는 대표적인 모형은 국제식품정책연구소(International Food Policy Research Institute: IFPRI)에서 개발한 IMPACT(The International Model for Policy Analysis of Agricultural Commodities and Trade)와 유엔식량농업기구(Food and

Agriculture Organization of the United Nations: FAO)가 개발한 GAPS(The Global Agriculture Perspectives System)가 대표적이다.

우선, IFPRI의 IMPACT 모형은 농업 부문에 국한된 다시장 모형으로 기후 모듈, 곡물 시뮬레이션 모듈, 수자원 모듈 등이 통합적으로 운영된다. 특히, 이 모형은 사회경제적, 농업생산 및 미래의 식량 가용성 등과 관련한 기후변화의 종합효과 분석에 초점이 맞추어져 있으며, 이를 위해 작물생육모형(DSSAT, LPJmL)과 수자원 모듈을 연계하여 분석이 이루어지도록 설계되어 있다. 이러한 통합 프레임워크를 통해 농업 생산성의 변화가 지역생산, 국제생산, 국제 식량 가격, 교역 등에 어떠한 영향을 미치는지를 평가할 수 있다. 김창길 외(2015)는 한국의 기후변화 영향평가에 IMPACT 모형 도입과 적용 가능성을 검토·추진한 바 있다. 또한, Nicola et al.(2016)의 연구는 IMPACT 모형을 활용하여 기후변화가 한국 농업생산과 주요 무역 상대국에 대한 수출 변화를 전망하고 한국의 농업 분야 적응기술 채택에 따른 영향을 분석하였다.²⁵⁾

〈그림 3-3〉 IMPACT 모형의 구조



자료: Robinson et al.(2015: 4).

25) 요약하면, 쌀의 경우 작물모델하에서는 장기적으로 기후변화의 영향으로 생산량이 감소할 것으로 예상되었으나 경제 모델 시뮬레이션 결과, 쌀 생산성 증가와 시장 효과에 따라 그 손실은 완화될 것으로 전망되었으며 쌀 수출 또한 기후변화 시나리오하에서 증가하는 것으로 분석되었음. 한국의 주요 교역 상대국의 대한민국 농산물 수출과 생산은 전반적으로 증가하는 것으로 분석되었음.

반면, FAO의 GAPS는 사회 경제적 변동, 기후변화 및 투자 수익이 미래의 세계 식량 수요에 미치는 영향을 분석하기 위한 모형이다. GAPS 모형은 영양부족(undernourishment) 지표 보고를 위한 모델의 보완 모형으로 전 세계를 대상으로 농식품에 대한 수요-공급을 분석하는 자립모형이다. FAOSTAT 데이터를 활용하여 농식품 정보를 상세하게 다루고 있다. 이외에도 농업 분야의 다양한 부분균형 모형들이 존재하는데 이들의 대부분은 기후변화를 명시적으로 모형에 포함시키지 않거나 교역을 외생적으로 처리하는 한계를 가진다. 이러한 모형에는 GCA M²⁶⁾, GLOBIOM²⁷⁾, MAgPIE²⁸⁾, FASOM²⁹⁾(The Forest and Agricultural Sector Optimization Model) 등이 존재한다.

26) GCAM(Global Change Assessment Model)은 글로벌 경제, 에너지시스템, 농업, 토지이용으로 구성되며 육지와 해양 탄소순환을 포함하는 모형으로 농업, 임업, 에너지, 토지 등의 공급과 수요는 가격기반 시장청산 메커니즘에 따라 균형을 도출함. 도출된 균형값은 외생적으로 생태계와 내륙 탄소 사이클의 이용에 연결되는 형태임.

27) GLOBIOM(The Global Biosphere Management Model)은 농업, 임업, 바이오 에너지 간의 토지이용 경쟁을 분석하는 모형으로 토지 이용변화 분석에 기반을 두고 토지이용과 생태계 서비스 주변의 관계(다양한 트레이드오프와 시너지)를 탐구하는데 사용됨. 18가지 작물을 다루며 GLOBIOM-EU에서는 27개의 작물을 다룸. 축산 모듈이 존재하여 축산업 구조변화가 토지이용에 미치는 영향을 분석할 수 있으며, 또한 자원으로 물을 포함하여 물 관련 시나리오 분석이 가능함.

28) MAgPIE(Model of Agricultural Production and its Impact on the Environment)는 LPJmL(격자 기반 동적 식물 모델)과 결합하여, 여러 제약조건(농산물 수요, 생산비용, 수확량, 이용 가능한 토지와 물 등)하에서 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 그리드 토지 이용패턴, 수확량 및 농업 생산 비용 등을 도출하는 모형임. MAgPIE의 목표는 주어진 양의 지역 생산량 및 수요량과 바이오에너지 수요하에서 총생산비용을 최소화하는 것임.

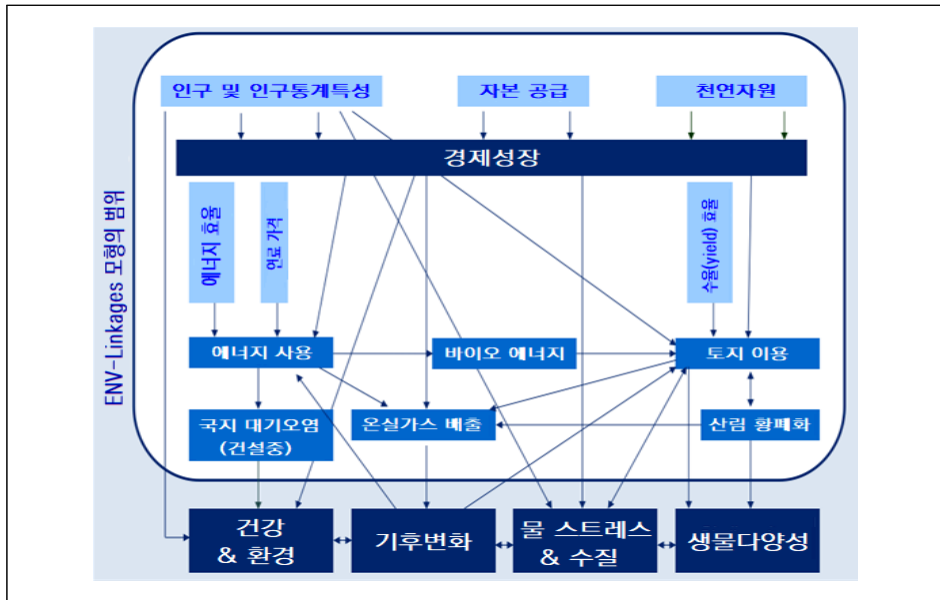
29) FASOM(The Forest and Agricultural Sector Optimization Model)은 임업 및 농업부문 최적화 모형으로 가격탄력성 파라미터를 이용하여 수요곡선을 나타내는 비선형 모형으로, 시장가격이 내생적으로 결정됨. 미국 전역을 63개 지역(48개 주)으로 구분하고, 미국 농업과 산림부문의 소비자잉여와 생산자잉여 합 의 현재가치를 극대화시키는 자원배분량과 연도별 시장균형을 도출함. 전체 경제영역 중에서 농업과 산림부문을 주로 다루며, 다른 부문과의 상호작용은 고려하지 않음.

4.2. 일반균형 모형

일반균형 모형을 사용하여 기후변화와 국제 교역 간의 관계를 분석하는 대표적인 모형은 OECD ENV-Linkages, 미국 USDA/ERS에서 개발된 FARM, MIT와 스탠포드대학 출신이 개발한 CDS 모형, 일본 NIES에서 개발된 AIM/CGE 모형, 프랑스 국립농업연구소(INRAE)와 국제식량정책연구소(IFPRI)가 개발한 GL 모형, 중력모형을 이용한 Tekce and Pinar(2016)의 연구를 들 수 있다. 이외에도 기후변화를 반영할 수 있는 다양한 일반균형 모형이 개발·운영되고 있다.

OECD ENV-Linkages는 OECD가 개발한 다지역-다시장 축차 동태형 CGE 모형이다. OECD ENV-Linkages 모형은 환경정책 분석을 위해 사용되던 OECD GREEN 모형을 발전시킨 것으로 기후변화 정책의 중장기적 효과를 분석하는 데 활용되고 있다. 25개 지역, 35개 산업으로 구성되며 전기 산업은 전기 생산 기술에 따라 7가지로 세분화하고 있다(OECD 2015).

〈그림 3-4〉 OECD ENV-Linkages 모형의 구조



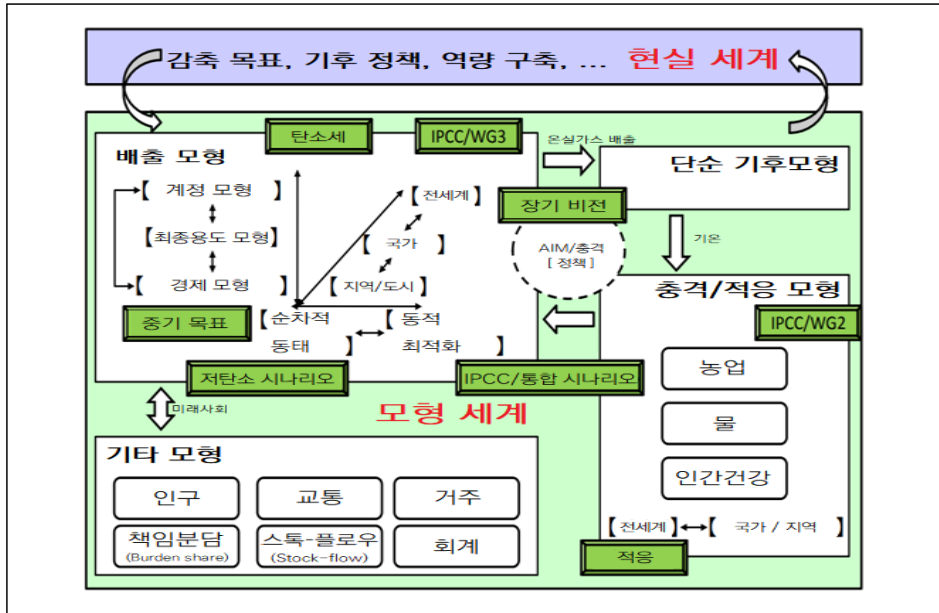
자료: Dellink(2013: 3).

FARM(Future Agricultural Resources Model) 모델은 CGE 모형으로 미국 USDA에서 기후변화가 세계 토지 이용, 농업 생산, 국제무역에 미치는 영향을 분석하기 위해 개발한 모형이다. FARM 모형은 토지 배분(land allocation) 메커니즘에 초점을 맞추고 있으며, 지역별 토지경쟁을 FAO의 농업-생태 구역(Agro-Ecological Zone: AEZs) 단위로 분석한다. FARM은 GTAP 데이터베이스(version 7)를 바탕으로 하며, 국가(지역)와 산업을 각각 13개, 38개로 집계하여 모형을 구축하였다.

CDS(Costinot, Donaldson, Smith) 모형은 MIT와 스탠포드대학 출신의 Costinot, Donaldson, Smith 세 사람이 개발한 것으로 FAO의 GAEZ(Global Agro-Ecological Zones) 데이터세트를 활용한 일반균형 모형이다. 기후변화가 농업 시장에 미치는 영향에 대한 일관성 있고 거시적인 수준의 이해를 목표로 한 모형이다. CDS 모형은 기후변화의 경제적, 거시적 결과를 정량화하기 위해 (i) 농작물이 어디서 생산되고, 또 어떤 생산성 변화가 관련되고, 어떤 것이 관련되지 않는지, (ii) 농작물 공급에 대한 충격이 전 세계 가격에 미치는 영향은 얼마나 되는지, (iii) 생산성과 가격의 변화가 소비와 복지의 변화에 어떻게 매핑되는지를 예측할 수 있도록 설계되었다. CDS 모형 내 생산과 무역 패턴의 변화를 통해 기후변화에 대한 적응에서 얻는 이득을 연구하고 수량화하며 비교할 수 있다.

AIM/CGE(Asia-Pacific Integrated Model/CGE)은 아시아-태평양 지역의 기후변화 영향 분석을 위해 일본 NIES(National Institute for Environmental Studies)에서 개발된 통합평가 모형(Integrated Assessment Model)으로 크게 온실가스 배출 모형, 글로벌 기후변화 모형, 영향 모형으로 이루어져 있다. AIM/CGE는 작물모형(Global Gridded Crop Model), 토지이용 모형(AIM/PLUM) 등을 포함한다. 아시아 및 태평양 지역 국가들의 특성이 반영되어 아시아 지역의 기후변화 정책, 개발 정책 등의 장·단기적 영향을 평가할 수 있다. AIM/CGE는 42개 산업부문, 17개 지역으로 구성되며 산업부문은 크게 농업(10개), 에너지(20개), 타산업(식품 등)으로 분류된다(Fujimori et al. 2018).

〈그림 3-5〉 AIM/CGE 모형의 구조



자료: Masui et al.(2012: 3).

GL(Gouel and Laborde) 모형은 프랑스 국립농업연구소(INRAE)의 Christophe Gouel과 국제식량정책연구소(IFPRI)의 David Laborde가 개발한 것이다. 이 모형은 리카르도의 무역 이론을 반영하였으며, 토지이용 선택에 관한 이론적·경험적 문헌과도 일치하도록 개발된 정량적 일반균형 무역모델이다. 기후변화의 영향을 감소시키는 데 국제교역이 하는 역할을 계량화할 수 있도록 고안되었으며 기후에 의한 수익률 변화와 이로 인해 발생하는 가격의 움직임이 재배면적 및 무역의 조정에 미치는 영향을 결과로 제시한다.

Tekce and Pinar(2016)는 대표적인 무역 실증 분석 모형인 중력모형을 이용하여 중동과 북아프리카 지역(The Middle East and North Africa: MENA)의 기후변화에 따른 농산물 교역 영향을 분석하였다. 중력모형을 통한 모형구축은 기후변화가 농산물 무역에 미치는 다양한 경로상의 변수들을 생략하면서도 일반균형의 논리구조를 유지하기 때문에 적은 자료로 기후변화에 따른 농산물 무역량 변화를 전망할 수 있다는 장점을 가진다. 다만 중력모형을 사용할 경우, 생략된 영향 경로

와 변수들로 최종적인 결과가 나타나게 된 원인을 설명할 수 없는 한계가 존재한다. 또한 파라미터 추정에 사용된 자료가 충분하지 않을 경우, 기후변화로 인한 재배 혹은 생산 적지의 이동과 수자원 등의 농업 부존자원의 변화를 반영하는 데는 한계점이 존재한다.

이상의 기후변화를 반영하여 농산물 및 농식품의 교역을 분석할 수 있는 모형 이외에도 기후변화를 반영할 수 있는 일반균형 모형이 존재한다. 다만, 이러한 모형은 국제교역 분석을 명시적인 모형 개발의 목표로 하지 않은 만큼 기후변화가 농식품 교역에 미치는 영향을 분석하기에는 한계점이 존재한다. 이러한 모형에는 ENVISAGE³⁰⁾, EPPA³¹⁾, GTEM³²⁾, MAGNET³³⁾ 등이 존재한다.

30) ENVISAGE(ENVironmental Impact and Sustainability Applied General Equilibrium model)는 CGE 모형으로 온실가스 배출, 기후변화 영향, 기후변화 적응, 기후변화 정책 평가, 토지이용에 따른 온실가스 배출, 기후변화 영향·적응·완화 결과의 분배적 측면 등을 분석하기 위해 세계은행에서 개발한 모형임. GTAP 데이터베이스(version 7)를 기반으로 하여 113개 국가·지역, 57개 산업을 약 20~30개 지역과 산업으로 집계(aggregate)하여 모형을 구축하였음.

31) EPPA(Economic Projection and Policy Analysis)는 MIT에서 개발된 다지역·다시장 축차 동태형 CGE 모형으로 독립적으로도 사용되나 기후 정책 분석 시 지구 시스템 모형(MIT Earth System Model)과 연결하여 사용되기도 함. 지역은 국가·다국가 단위 18개, 산업은 14개(농업부분은 작물, 축산, 산림)로 구성됨. EPPA 모형은 에너지와 탄소배출 관련 분석에 주로 사용되었으나 최근 개발 정책이 경제, 온실가스 배출, 농업과 토지 사용에 미치는 영향, 인간 건강과 농업 생산성에 따른 환경변화가 경제에 미치는 영향 등에 대해 분석하는 데 활용됨.

32) GTEM(Global Trade and Environment Model)은 호주 농업자원경제국(Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics)에서 개발한 동태 CGE 모형으로 세계 경제를 포괄하는 모형임. 크게 경제, 인구, 환경 모듈로 구성되며 목적에 따라 모듈을 연계하거나 분리하여 사용할 수 있음. 경제와 인구 모듈은 서로 영향을 주는 방식으로 구축되어 경제 성장에 따른 인구변화, 인구변화에 따른 경제 성장의 영향이 모두 고려된다. 지역과 산업 부문은 GTAP 데이터베이스에 기초함.

33) MAGNET(Modular Applied GeNeral Equilibrium Tool)는 네덜란드 바헤닝언 농업경제연구소(LEI Wageningen)가 개발한 모형으로 GTAP 표준 CGE 모형(GTAP Standard CGE)을 중심(core)으로 하여 모듈을 결합(addition)하는 방식으로 구현되었음. GTAP 수정 모듈(Modified GTAP), 완전유연생산구조, 내생적 토지 공급, 토지분배, 실질 GDP 변화 반영 소비함수, 요소 이동성 분화, 투자, 정책(생산 쿼터, EU 공동농업정책(CAP), 바이오연료, 양자간 TRQ) 모듈 등을 활용함.

4.3. 부분균형과 일반균형 연계 모형

분석 범위와 대상에 따라 분석 목적을 효율적으로 달성하기 위해 부분균형 모형과 일반균형 모형이 통합되어 사용되기도 한다. 이러한 연계 모형은 특정 국가의 농업 부문을 자세하게 분석하기 위해 전 세계를 대상으로 한 모형에 세분화된 자국을 대상으로 한 모형과 결합하는 방식으로 이루어진다. 즉, 이러한 방법은 전 세계와 특정국을 대상으로 한 각기 다른 기존 모형을 결합하여 단시간 내에 적은 비용으로 효율적인 모형구축을 가능하게 한다는 장점이 존재한다.

부분균형 모형과 일반균형 모형을 결합한 모형을 구축한 사례로 Xie et al.(2018)의 연구를 들 수 있다. 이 연구는 중국의 농업부문 부분균형 모형인 CAPSiM(China Agricultural Policy Simulation Model)과 CGE 모형인 GTAP 모형을 연계하여, 기후변화에 따라 예상되는 중국 및 주요 교역국의 작물 수확량 변화가 중국의 식량 생산, 가격, 무역 및 자급률에 미치는 영향을 분석하였다. CAPSiM 모형은 13개의 서브 모델로 구성된 부분균형 모형으로 중국의 농업정책과 전망을 분석하는 가장 포괄적인 모델 중 하나다. CAPSiM 모형 내에는 22개의 농산물 품목이 포함되어 있다.

결합한 모형을 구축한 또 하나의 사례로 Oktaviani et al.(2011)을 들 수 있는데, 이 모형은 기후변화가 인도네시아 경제에 미치는 영향을 분석하기 위해 부분균형 모형인 IMPACT 모형과 인도네시아 CGE 모형을 연계하였다. IMPACT 모형을 통해 추정된 기후변화로 인한 단수변화가 인도네시아 CGE 모형에 생산성 변화(충격)로 반영되는 구조이다. IMPACT 모형을 통해 분석된 생산성 충격은 인도네시아의 3개 식품 생산 단위에 대해 별도로 모델링되었으며 옥수수, 콩, 카사바, 사탕수수, 과일·야채, 그리고 쌀의 6가지 주요 농산물로 제한하였다. 인도네시아 CGE 모델에는 쌀 대신 논이 포함되어 있다.³⁴⁾

34) 쌀을 가공되기 전 상태인 논으로 전환하기 위해 3/2의 전환비율을 포함하여 계산함.

5. 요약 및 소결

기후변화를 반영한 농식품 교역 모형은 기후변화와 실물 변수들 간의 연관관계를 기존의 농식품 교역 모형에 도입하는 방법으로 구축될 수 있다. 그러나 교역 모형이 전 세계 다양한 국가의 농작물 및 축산, 식료품 수급뿐만 아니라 농업 이외 부문, 거시경제변수, 무역 비용 등을 포괄하여 구축되어야 하는 만큼 많은 인적·물적 자원의 소요를 필요로 한다. 이러한 어려움을 회피하고자 이미 구축된 대부분의 농업부문 교역 모형들은 기존 연구 결과와 모형을 최대한 활용하는 방법을 취하고 있다. 즉, 모형구축으로 달성하고자 하는 목적에 손상이 가지 않는 한도에서 농업 이외의 부문과 영향 경로의 해상도를 낮추거나 선행연구 결과를 사용하는 방식으로 모형 구축의 효율성을 높이고 있다.

따라서 기후변화가 우리나라 농식품 교역에 미치는 영향을 분석할 수 있는 모형을 구축할 경우에도 이미 존재하는 우리나라 농업모형이나 교역 모형뿐만 아니라 기존 연구 결과를 적극적으로 활용할 필요가 있다. 더하여 특정 품목이나 재배 적지 이동 및 부존자원의 변화를 반영하지 않아도 될 정도의 기간을 대상으로 한 특정 품목에 한정된 모형구축은 중력모형을 통해 비교적 용이하게 구축될 수 있을 것으로 판단된다.

기후변화를 반영한 분석체계

기후변화를 반영한 분석체계

기후변화의 영향에 대한 방대한 문헌에도 불구하고 기후변화가 농업부문, 특히 농산물 무역에 미치는 영향에 대한 연구는 상대적으로 소수에 불과하다. 대체로 기후변화가 가격에 미치는 영향은 명확하지만, 국제무역에 미치는 영향은 지역별, 국가별로 상이하며 다양한 경로를 통해서 나타난다. 따라서 기후변화가 농업과 농산물 무역에 어떻게 영향을 미치는지의 여부는 실증적인 영역이라 할 수 있다. 본 장에서는 앞 장에서 고찰한 기후변화를 반영한 교역 모형의 검토 결과를 바탕으로 모형에 대한 접근 가능성과 운용 현실성을 고려하여 이미 구축된 우리나라 농업 및 농산물 무역을 분석할 수 있는 모형을 선정하고 분석체계를 구축하였다. 기후변화를 반영한 교역 모형 분석체계는 크게 부분균형 모형, 중력모형을 포함한 일반균형 모형³⁵⁾으로 구분하여 살펴보았다.

1. 기후변화를 반영한 모형 선택 기준 및 개요

기후변화를 고려한 농식품 생산과 무역을 분석하기 위해서 2개의 부분균형 모

35) 중력모형을 활용한 모형구축은 기후변화가 농업과 농산물 무역에 미치는 다양한 경로상의 변수들을 생각하고 일반균형의 논리구조를 유지하고 있으면서, 효율적인 자료의 활용으로 기후변화에 따른 농업과 농산물 무역의 변화를 전망할 수 있다는 장점이 있어 일반균형 접근에 포함시킴.

형인 세계곡물계량모형(KREI GEM-LOCS, 이하 GEM-LOCS) 및 우리나라 농업부문 전망모형인 KREI-KASMO, 대표적 일반균형 모형인 GTAP 모형, 무역 중력모형을 활용하고자 한다. 본 절에서는 각 모형의 개요와 특징에 대해 설명한다.

1.1. 부분균형 모형: GEM-LOCS과 KREI-KASMO

1.1.1. GEM-LOCS(세계)³⁶⁾

가. 모형 선택 기준

축산·유지종자·면화·설탕을 포함하고 있는 세계곡물계량모형(Grains Econometric Model including Livestock, Oilseeds, Cotton and Sugar: GEM-LOCS)은 세계 곡물 시장에 대한 예측과 분석을 목적으로 2012년 한국농촌경제연구원과 미국 식품농업 정책연구소(FAPRI)가 공동으로 개발하여 운영해오고 있는 모형이다. GEM-LOCS 모형은 농업전망 및 국제곡물 관측에 사용되고 있으며, 농업부문 전망모형인 KREI-KASMO(KREI-Korea Agricultural Simulation Model)의 국제 곡물가격과 축산물 전망가격은 GEM-LOCS 모형의 전망치와 연계되어있다.

GEM-LOCS 모형은 국제곡물시장의 수요와 공급 그리고 무역과 가격 결정 방식식으로 구성되어 있어 기후변화가 세계 곡물시장에 미치는 영향을 반영할 수 있는 모형이라 판단하여 분석에 이용하고자 한다. GEM-LOCS를 활용하여 분석한 추정치, 즉 기후변화로 인한 세계 곡물 단위 변화(생산성 변화로 간주)가 세계 곡물 가격에 미치는 영향을 KREI-KASMO 모형에 반영하여 국내 농업부문 생산과 무역에 미치는 영향을 분석하고자 한다.

36) Scott and Daniel(2012)의 보고서를 참고하여 GEM-LOCS 모형을 요약 정리함.

나. 모형 개요

GEM-LOCS는 품목 상호 간 생산과 소비 대체로 연결되어 있는 계량경제학적 연립방정식체계 모형이다. GEM-LOCS를 구성하는 데이터의 주요 출처는 다음과 같다. GEM-LOCS의 생산 및 공급과 분배에 관한 데이터는 미 농무부 산하 해외농업국(USDA Foreign Agricultural Service(FAS))이 제공하며, 생산자가격에 대한 데이터는 유엔 식량농업기구(FAO)로부터 얻고 있다.³⁷⁾ 또한 IHS 글로벌인 사이트에서 제공하는 거시경제 데이터와 전망치를 포함하고 있으며, 이 외에도 모델에서 활용하고 있는 데이터로는 미 농무부의 각종 발간물로부터 얻을 수 있는 국제상품가격, 미국 에너지정보국이 제공한 유가전망, 여러 국가로부터 제공받은 관련 농업 정책가격 등을 포함한다.

GEM-LOCS는 14개 품목을 포함하고 있으며, 품목별로 다소 간의 차이는 있으나 한국을 포함한 14개 국가 및 지역과 그 외 나머지 국가로 구분되어 모형에서 다루어지고 있다. 모형에 포함된 품목범위는 쌀, 옥수수, 보리, 수수, 밀 등 곡물류 및 콩, 유채, 해바라기 등 유지류와 육우, 양돈, 육계, 낙농 등 축산물뿐 아니라 면화와 설탕 등이다. 가격 결정 방정식은 품목별 차이는 있으나 일반적으로 국제가격의 함수로 구성되며, 특정국의 생산이 세계 생산에서 차지하는 비중, 정부의 정책변수 등이 반영되어 결정되도록 구성되어 있다.

먼저 공급(수확면적) 추정은 전기가격과 곡물 간 대체를 설명하기 위해 2단계로 구성되어 있다. 1단계에서는 7가지의 곡물품목(옥수수, 보리, 수수, 밀, 대두, 유채 및 해바라기 씨)의 총 재배면적에 대한 방정식의 경우 전기($t-1$) 총재배면적과 전기 품목가격의 석유가격(투입비용)에 대한 비중³⁸⁾을 반영하여 결정되며, 이와 유사하게 면화와 설탕의 생산에 대한 방정식, 쌀 재배 방정식 등이 결정된다. 육우

37) USDA Foreign Agricultural Service(FAS)(<http://www.fas.usda.gov/psdonline/psdHome.aspx>, 검색일: 2020. 6. 20.)와 Food and Agriculture Organization of UN(FAO) FAOSTAT (<http://faostat.fao.org/site/351/default.aspx>, 검색일: 2020. 6. 20.).

38) 석유가격은 회계연도(calendar year) 기준의 가격이지만, 곡물 재배면적은 유통연도(marketing year)를 기준으로 계산되므로 해당 기간에 대해 t 기와 $t-1$ 기의 비율을 고려한 가중치를 이용함.

재고, 양돈 재고, 육계 생산과 낙농우 재고 등을 포함한 가축 공급방정식 추정에도 유사한 전략이 사용된다. 다만 가축 공급방정식 투입비용으로는 석유가격이 아닌 옥수수과 대두가격이 고려되어 있다.

2단계에서의 생산수준은 1단계에서 결정된 품목 재배면적이나 가축 재고수준을 바탕으로 결정된다. 생산수준 예측에는 곡물 품목에 대한 수확량 예측이 필요한데, 모델구조의 단순화를 위해 수확량은 외생적으로 GEM-LOCS 모델에 의해 결정되도록 구성되어있다. 외생적인 수확량 결정은 각 국가의 품목별 20년간의 추세 수확량, 10년간의 추세 수확량, 5년간의 올림픽 평균 수확량을 계산한 후, 계산된 3가지 측정치에 대한 도표 비교를 통해 합리적인 예측수확량 경로 또는 3가지 측정치의 가중평균값을 선택하여 결정되도록 구성되어 있다.

GEM-LOCS에서 수요는 사료용 수요와 오일시드 가공용 수요로 구분되며, 수확면적(공급) 결정과 마찬가지로 2단계 과정을 거쳐 결정된다. 이처럼 사료용 수요와 오일시드 가공용 수요로 구성하는 것은 국가마다 존재하는 곡물기업과 축산기업 사이의 의존성 및 상호관계의 통합³⁹⁾을 가능케 한다. 먼저 1단계로 사료용 곡물 수요는 가축생산을 위한 수요와 곡물 총생산량을 변수로 이용하며, 또 다른 변수인 관련 상품 가격은 각 곡물 품목의 총곡물 생산 기여도에 따라 가중되어 반영된다. 오일시드 가공용 곡물 수요 또한 유사한 방식으로 결정되고 있다.

1단계에서 사료용과 오일시드 가공용(분쇄)의 총수요 수준이 결정되면, 이 2가지 수요 이외에 식용 또는 산업용 수요와 같은 다른 구성요소를 결정하도록 방식이 구성된다. 해당 결정에는 자체 가격조건 및 수입조건과 대체 품목에 대한 가격조건 등이 포함된다. 다만, 무역부문은 GEM-LOCS 모형 내에서 결정되지 않는 한계가 있다. 동 모델이 수입과 수출에 대한 방정식을 포함하고 있지 않다는 점이 문제인 듯 보일 수 있으나, 모형에는 이미 무역에 영향을 줄 대부분의 요소가 반영되어 있다.⁴⁰⁾ 예를 들어, 특정국가의 통화 강세(환율 하락)는 수요의 증가를 초래

39) 가정된 축산 생산수준(쇠고기, 돼지고기, 닭고기, 우유)을 달성하기 위해 요구되는 곡물과 오일시드의 투입량을 결정하고, 이러한 수준에서의 사료용 곡물과 가공용(분쇄) 오일시드 수요량을 연결함.

40) 다만, 모형 내에서 결정되는 무역구조가 현재 사용되고 있는 정책의 방향이나 합리적인 기대에서 벗어나

하고, 수요의 증가는 공급과 수요의 균형을 도출하기 위한 조정을 통해 순 수출 감소를 초래하게 된다. 또 다른 예로 수출세 폐지의 경우, 가격 관련 방정식에 의해 변동된 세계가격에 비례하여 상승된 국내가격이 국내생산의 증가와 국내소비 감소를 초래하게 되어 순 수출의 증가를 유발하게 된다. 이처럼 무역과 관련한 결정 구조가 이미 모형에 반영되어 있다고 볼 수 있다.

시장청산가격은 세계 수요와 공급이 균형을 이루는 점에서 결정되도록 구성되어 있어 KREI-KASMO와 동일한 동시균형 모형(simultaneous model)이다. 초과 수요가 있는 경우 가격을 올리며, 초과공급이 있는 경우 가격을 내리도록 조정하는 가격 균형 인자를 통해 모형의 균형점 도달 속도와 조정 크기를 결정하게 된다.

1.1.2. KREI-KASMO(국내)⁴¹⁾

가. 모형 선택 기준

KREI-KASMO 모형의 대상품목은 2019년 생산액 기준 재배업의 98.7%, 축산업의 98.9% 등 전체 농업 생산액의 98.8%를 차지하고 있어 국내 농업부문을 가장 포괄적으로 나타낸 부분균형 모형이라고 할 수 있다. KREI-KASMO는 일반경제 거시변수 전망, 농업 생산요소 전망, 재배업 전망, 축산업 전망, 농업총량 전망의 5개 부문으로 구성되어 있으며, 각 부분은 상호 연계되어 다양한 분석이 가능하도록 설계되어 있다. KREI-KASMO 모형은 현재 농축산물 품목별 수급, 농업부문 총량지표 전망 등 농업부문 중장기 전망을 비롯하여 다양한 정책 시뮬레이션을 통한 농정방향 가이드라인 제공 등에 활발히 이용되고 있다.

따라서 본 연구에서는 앞에서 설명한 GEM-LOCS 모형과 연계된 KREI-KASMO를 활용하여 세계가격 및 품목매핑을 통해 국제적 기후변화가 국내 농업에 미치는 영향을 분석하고자 한다.

지 않는다는 것을 보장하기 위해서, 연구자가 생산과 국내소비를 결정하는 방정식을 통해 초래되는 순 무역상황의 변화를 신중히 관찰해야 함.

41) 서홍석 외(2019)를 활용하여 KREI-KASMO의 구조를 요약 정리함.

나. 모형 개요

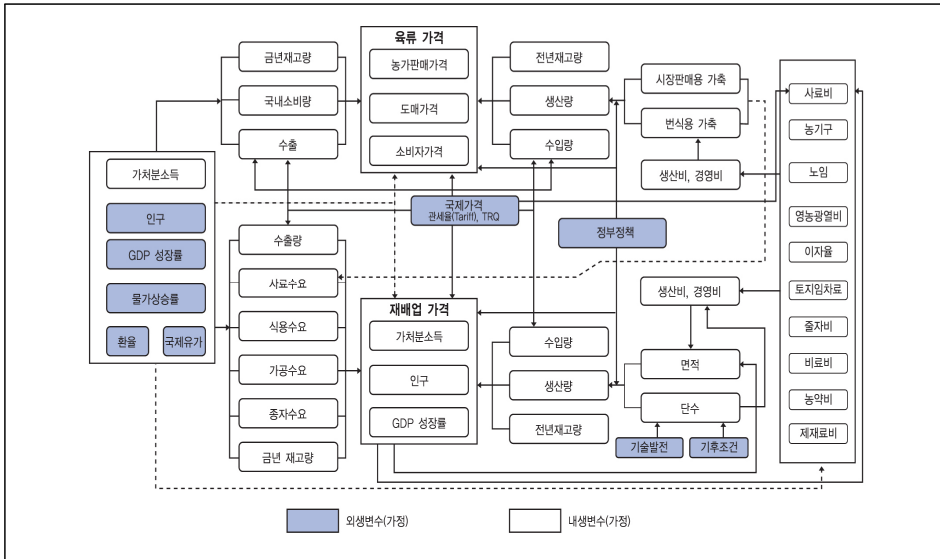
KREI-KASMO는 농업부문에 국한된 동태부분균형(dynamic partial equilibrium) 모형으로 국제시장과 비농업부문을 모형 내에서 외부 요인으로 취급한다. 품목 간 생산 대체와 소비대체 관계가 있는 품목은 계량경제학적 연립방정식체계(simultaneous equation system)⁴²⁾로 연계되도록 구성되어 있다. 모형 내에서 상호 연계되어 결정되는 일반경제 거시변수, 농업 생산요소, 재배업, 축산업, 농업총량 등 5개 부문의 전망은 다음과 같이 구성된다<그림 4-1>.

일반경제 거시변수 전망에는 실질 GDP와 국민 1인당 처분가능소득이 포함된다. 농업 생산요소 전망부문에는 영농활동에 필요한 투입요소(농기구가격, 사료비, 영농광열비, 종자비, 비료비, 농약비, 제재료비, 농업노임, 농지임차료 등)들의 가격 지수 전망이 포함되어 있다. 재배업 부문은 곡물, 채소, 과채, 과일, 특용작물로 분류되고, 각 품목의 재배면적 반응함수, 단수함수, 수요함수, 수입수요함수, 수출함수와 수급균형 항등식 등으로 구성되어 품목별 수급전망뿐 아니라 균형가격을 도출할 수 있도록 구성되어 있다.

축산부문은 한·육우, 젖소, 낙농, 돼지, 육계, 산란계, 오리, 벌꿀, 양잠 등으로 구성되어 있으며, 낙농부문은 치즈, 버터, 분유(조제, 전지, 탈지), 발효유, 연유로 세 분류되어 있다. 농업총량(농업생산액, 농업부가가치, 농가판매가격지수 등) 전망 부문은 농업 생산요소 전망치와 품목별·축종별 생산량, 가격 전망치를 이용하여 농업부문 총량 지표를 계산되도록 구성되어 있다.

42) 연립방정식 모형(simultaneous model)은 수요와 공급이 동시에 균형을 유지함으로써 균형가격을 도출하는 방식임. 이와 반대로 축차모형(recursive model)은 공급량이 결정된 후 수요와 공급의 항등식에 의해 수요량이 결정되는 방식으로 추정된 축차모형의 가격신축성함수(역수요 함수)의 파라미터는 편의(bias)가 발생할 수 있음(서홍석 외 2019).

〈그림 4-1〉 KREI-KASMO 모형의 구조



자료: 한석호 외(2011: 12).

KREI-KASMO에서는 품목별 수급전망이 모형의 설명력을 나타내는 주요 요인이라고 할 수 있다. 특히, 재배업과 축산 부문의 각 방정식들은 수요, 공급, 가격 부문의 추정치를 도출하기 위해서 각 품목별 특성을 고려하여 구성되어 있다.

1) 재배업

재배업 부문은 곡물류, 채소류, 과실류로 구분하여 품목별 특성을 반영하도록 방정식이 구성되어 있다. 각 방정식의 구성요소는 조금씩 차이가 있으나 크게 공급부문(재배면적, 총공급량(생산량, 수입량, 연초재고량))과 수요부문(1인당 수요량, 품목 수출단가, 총수요량(수요량, 수출량, 연말재고량)), 그리고 가격부문(도매가격, 농가판매가격)의 3가지 부문으로 구분하여 구성되어 있다. 품목의 균형가격은 초과공급 시 균형가격이 하락하고, 초과수요 시 균형가격이 상승하는 과정을 반복하여 총공급과 총수요가 균형을 이루는 점에서 결정된다.

먼저 공급부문에 있어 품목의 재배면적 함수는 전기 재배면적과, 품목의 당기 기대수익률,⁴³⁾ 대체품목의 당기 기대수익률로 구성된다.⁴⁴⁾ 품목의 국내 생산량

은 품목의 재배면적과 품목의 단수의 곱으로 구성된 함수이다. 품목의 수입량은 품목의 소매가격을 품목의 수입가격⁴⁵⁾으로 나눈 값으로 구성된 함수이다. 품목의 연초(전년이월) 재고량은 해당품목의 전기 연말재고량에 의해 결정되는 함수이며, 품목의 국내 총공급량은 품목의 국내생산량, 수입량, 연초재고량으로 구성된 함수이다.

수요 부문의 경우 재배업에서 품목 1인당 수요량 함수는 품목 소매가격, 대체품목 소매가격, 1인당 국민가처분소득으로 구성된다. 품목 수출량은 품목 수출단가와 환율에 의해 결정되며, 품목 수출단가는 품목 도매가격과 환율에 의해 결정되는 함수이다. 품목 연말재고량은 품목 소매가격과 해당 품목의 국내 총공급량에 의해 결정된다. 품목 국내 총수요량은 품목 수요량과 품목 수출량, 품목 연말재고량의 함수로 구성된다. 가격부문의 경우 품목 도매가격은 품목 소매가격의 함수이며, 품목 농가 판매가격은 품목 도매가격의 함수이다.

2) 축산업

축산부문 역시 공급, 수요, 가격 등 3개 부문으로 구분하여 결정되며, 해당 수급 모형은 품목별로 한·육우, 돼지, 육계, 오리, 산란계, 젖소와 같은 11개의 품목으로 구성된다. 축산부문 개별 모형은 축종별 생육주기를 고려한 생물학적 모형이며 특히, 사육마릿수 등과 같은 공급측면의 함수는 연령별 생존율 등을 고려하여 설계되었다는 점에서 재배업 함수와 차이가 있다. 가령, 한우의 경우 당해 연령별 사육 마릿수는 전년도 인공수정마릿수와 1세 미만 사육마릿수에 의해 결정되지만, 돼지의 경우 모든 사육마릿수는 전년도뿐만 아니라 당해 연도 수익성에 따라 결정되도록 구성되어 있다.

43) 기대수익률=기대농가판매가격×기대단수/기대경영비

44) 재배면적 결정에 단수는 포함되는 것이 타당하나 단수는 주요 설명변수인 농업기상의 미래전망치 자료 획득이 어려울 뿐만 아니라 기상 예측치 확보가 어려움. 따라서 과거 추세를 고려하고, 한국농촌경제연구원 농업관측본부 품목담당자와 전문가 의견을 바탕으로 전망하고 있음.

45) 수입가격(원)=수입단가(USD)×(1.1+관세율(%))×환율(원/USD)

1.2. 일반균형 모형: GTAP(세계, 지역)

1.2.1. 모형 선택 기준

대부분의 연산가능 일반균형 모형(Computable General Equilibrium: CGE)은 국제기구, 특정 연구소, 대학 등이 개발하여 운영하고 있어 공개 범위가 제한적이고 접근이 어려운 실정이다. 반면, 글로벌 CGE 모형의 대표적 사례인 GTAP 모형은 표준 모형을 공개하고 상세한 매뉴얼과 교육과정을 제공하고 있어 일반 균형 모형 개발과 분석을 시도하는 연구자들의 접근이 용이한 모형이라고 할 수 있다. GTAP 기반의 모형들은 GEMPECK을 사용해 연산하고 RunGTAP, Gdyn(동태) 등의 소프트웨어로 시각화하여 사용자가 편리하고 유연하게 모형을 활용할 수 있다는 장점이 있으며 소프트웨어로써 GAMS(General Algebraic Modeling System)를 활용해 사용되기도 한다. 더불어 GTAP의 표준 및 확장 모형을 위한 데이터베이스는 다양한 CGE 모형에서 사용되고 있어 CGE 데이터베이스의 표준이 된다고 볼 수 있다.

GTAP 기반의 다양한 모형 가운데, 본 연구는 GTAP 표준 모형의 확장판인 GTAP-E(에너지-경제-환경-무역 연계) 모형을 사용하고자 한다. GTAP 표준 또는 확장 모형은 작물의 단수 충격을 기후변화 영향으로써 반영할 수 있다. Jacobs(2016)와 Dissanayake(2018) 등은 표준 GTAP 모형을 활용해 각각 캐나다, 호주의 사례를 분석한 바 있다. 다른 확장 모형인 GTAP-AEZ(토지이용부문 모형)은 토지이용변화 등의 요소를 반영하여 모형을 추정할 수 있으나, GTAP 데이터베이스의 최신버전이 현재일 기준 공개되지 않아 GTAP-E를 활용하였다. GTAP-E는 기존 표준 GTAP에 에너지-경제-환경-무역을 연계한 버전으로 이산화탄소 배출량, 탄소국경세, 배출권거래제 등의 정책 요소를 반영토록 조정되어 기후변화 정책에 따른 농업부문 영향을 살펴보기에도 적합한 일반균형 모형이다.

1.2.2. 표준 모형 개요

GTAP 표준 모형의 상세한 설명은 Hertel et al.(1997)과 Corong et al.(2017)에서 찾아볼 수 있으며, 본고에서는 모형의 특징을 중심으로 간략하게 소개하고자 한다. 표준 GTAP 모형(Version 7)은 다지역·다부문 연산가능일반균형 모형으로 GTAP 10 데이터베이스 기준 121개 국가와 65개 부문(산업)을 포함하고 있다. GTAP 모형은 모든 개별국가와 세계시장이 완전경쟁이며 규모에 따른 수확불변이라는 가정하에 일반균형 모형의 정의에 따라 생산물, 요소시장 등 모든 시장에 시장청산조건을 부여하고 가계 효용극대화, 기업 이윤극대화를 달성하는 방식으로 작동한다. 정책효과 등의 외부 충격에 따라 재화와 생산요소의 가격이 시장청산조건을 만족시키도록 변경되면서 시장균형이 달성된다. 생산 기여에 따라 생산 및 판매 수입은 생산 기여분만큼 요소와 중간재에 완전히 분배된다. 가계 소득은 저축과 소비의 합과 일치하며, 정부의 조세 수입은 정부지출 및 가계이전과 일치하는 구조이다(조경엽·송원근 2009: 78-79).

일반균형 모형의 토대는 사회계정행렬(Social Accounting Matrix: SAM)이며 행렬 내 경제 단위의 수입·분배 방정식, 소비·생산 행태방정식 등으로 구성된 연립방정식 체계이다. GTAP 모형은 기업, 소비자 등 경제 주체와 국가의 폐쇄경제 방정식을 각각 구성하고 이를 국제적으로 연결하고 있다(한석호 외 2015: 73). GTAP 모형의 SAM에는 지역 주체(regional household)로 구분되는 거시경제계정(행측은 요소 수입과 세금으로부터의 국내수입총계, 열측은 민간지출, 정부지출, 국내 저축)이 있다. 따라서 지역 주체 계정은 국내수입이 민간 및 정부 지출과 저축으로 얼마나 분배되는 지를 나타내는 부분이다(Burfisher 2017: 66). 이는 수입과 지출 측면의 국내 총생산(GDP) 개념으로 이해할 수 있지만, 수입측면에서 감가상각이 제외되어 국내 순 생산(NDP)으로 계산된다고 볼 수 있다(Burfisher 2017: 66).

생산요소는 자본, 토지, 노동, 천연자원 등으로 구성되며 요소의 이동성에 따라 완전유동적 요소(자본, 노동), 부분유동적 요소(토지), 고정 요소(부문 특이적 요소, 천연자원)로 나눌 수 있으며 이동성은 사용자가 유연하게 부여할 수 있다

(Corong et al. 2017: 39).⁴⁶⁾ GTAP에서 기업의 행동은 다른 CGE 모형과 같이 일련의 중첩(nested) CES 생산함수를 가정한다. 현재 버전에서 기업 행동의 상위 네스트(top nest)는 중간재 수요와 부가가치를 복합하는 단계이며,⁴⁷⁾ 두 번째 네스트는 개별 중간재 수요(아밍턴 중간재화)와 개별 요소 수요를 복합하는 단계이다. 마지막 네스트에서는 복합재를 국내재화와 수입재화로 구분하고 있다(Corong et al. 2017: 13-16).

GTAP 모형은 정책 분석 결과의 해석에 활용할 수 있는 후생변화 요인분해(decomposition) 방법을 제공한다. 후생변화를 재화, 요소, 세금 등의 요인에 따라 분배효율성 효과(allocative efficiency effect), 부존 효과(endowment effect), 기술 효과(technology effect), 재화의 교역조건 효과(commodity terms of trade effect), 투자-저축 교역조건 효과(investment-savings terms-of-trade effect), 선호변화 효과(preference change effect) 등 6가지 효과로 분해할 수 있다(Burfisher 2017: 197).

GTAP 모형 구현과 관련하여 셋(Set), 모수(Parameter), 변수(Variables)가 정의된다. 모형의 완결(Model Closure) 기법을 사용하면 변수를 내·외생화할 수 있다. 셋(Set)은 재화, 지역(국가), 생산요소 등의 집합을 의미하고, 모수는 대체탄력성 등의 상수를 의미한다. Closure 기법은 가정되는 경제 상황과 분석 기간(장·단기) 등에 따라 사용자가 변수의 내·외생 처리 여부를 다르게 설정하도록 한다. 예를 들어 단기 분석 시에는 임금률을 외생변수로 처리하고, 장기 분석 시에는 실업률을 외생변수로 취급하는 방식으로 모델의 완결(Model Closure)을 변경할 수 있다.

1.2.3. GTAP-E 모형(세계, 지역)⁴⁸⁾

에너지는 경제활동의 주요한 재화이며, 이런 에너지의 사용으로 기후변화로 인

46) GTAP 7버전 이전 요소는 유동적이거나 약한 이동성의 두 가지 유형으로 분류됨.

47) GTAP 7버전 이전에는 중간재 수요가 레온티에프 가정에 따라 산출물에 직접 연결되었으나, 현재 버전에서는 중간재와 부가가치의 복합 단계로 구성되어 사용자가 생산 기술을 정립(specification)하는 데 유연성을 부여함.

48) Burniaux and Truong(2002)과 대외경제정책연구원(2010)을 참조하여 요약·정리함.

한 이산화탄소(CO_2) 배출량이나 온실가스 효과를 통해서 환경에 영향을 미친다. 하지만 기존의 표준 GTAP 모형은 에너지 대체문제를 적절히 반영하지 못해 에너지, 경제, 환경, 나아가 무역 사이의 연관관계를 통합하여 설명하는 데 한계가 있다. 본 연구에서는 에너지 대체문제를 표준 GTAP 모형에 반영한 에너지-환경 GTAP(GTAP-E) 모형을 활용하여 기후변화의 효과를 분석하고자 한다.

GTAP-E는 표준 GTAP 모형에 연료 간, 연료와 생산요소 간의 대체성, 화석연료 CO_2 배출량과 국제배출권거래의 메커니즘을 도입하여 에너지-경제-환경-무역 간의 연관관계를 동시에 파악할 수 있는 확장 모형이다. 에너지 대체탄력성의 특성을 표준 GTAP 모형에 반영한 모형으로, 화석연료의 연소로부터 발생하는 탄소배출량을 내생적으로 결정하도록 하여 국제적으로 탄소배출량이 거래되는 메커니즘을 제공하는 등 기후변화의 정책과 관련성이 높다.

GTAP-E 모형은 일반균형 분석을 위한 회계방정식과 각 지역의 가계, 정부, 기업 등 경제주체들의 행태방정식으로 구성된다. 회계방정식은 수요이론의 왈라스 법칙에 근거한 일반균형을 달성하도록 부문별 시장청산조건, 수입과 지출의 일치, 이윤극대화 조건 등을 설명하는 방정식이다. 일반적으로 일반균형 조건들은 생산량에 대한 수준변수로 표현되지만, GTAP-E 모형의 경우 이를 변화율로 표현하는 방식을 사용하여 계산을 용이하게 한다.

GTAP-E 모형은 폐쇄경제로부터 개방경제까지 확장하기 위해서 해외운송 부문과 세계은행의 개념을 도입하여 수입재를 민간소비, 정부소비, 기업소비(중간재용) 등으로 구분하고 있다. 행태방정식은 소비자(기업 및 정부)의 경우 효용극대화, 생산자(기업)의 경우 이윤극대화를 통해서 소비와 생산을 결정하는 과정을 묘사하는데, GTAP-E 모형 내에 명시적인 효용함수나 생산함수를 포함하는 대신 효용과 이윤을 극대화하는 수요와 공급을 변화율 형태로 표현하고 있다.

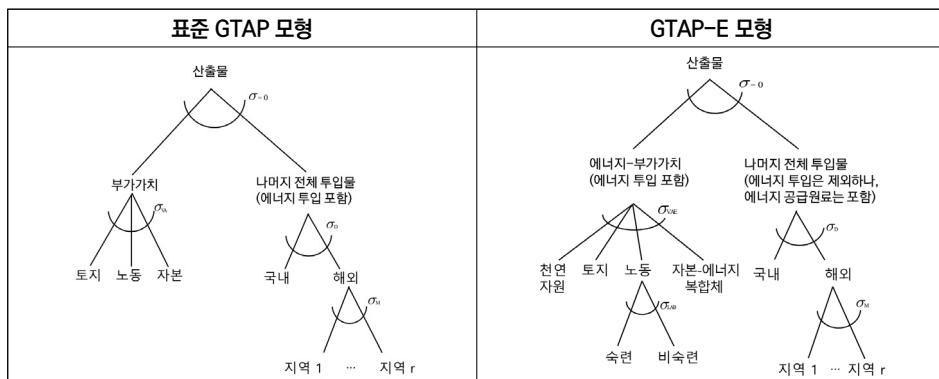
GTAP-E 모형의 생산구조는 <그림 4-2>와 같다. 최종재나 총공급은 불변대체 탄력성(Constant Elasticity of Substitution: CES) 생산함수를 통해서 부가가치, 에너지 복합재(Value-added-Energy Composite), 복합중간재(All other inputs)를 결합하여 생산되는 것으로 가정하고 있다. 부가가치와 에너지 복합체는 토지, 노동

(숙련 또는 비숙련), 천연자원, 자본과 에너지 복합재(Capital-Energy Composite) 등 다섯 가지 생산요소가 CES 생산함수와 결합·생산되며, 이 중 토지와 천연자원은 이동이 불가능하지만, 자본과 노동은 생산부문 간 불변전환탄력성(Constant Elasticity of Transformation: CET) 함수에 근거하여 이동이 가능하도록 가정하고 있다.

복합중간재는 각 투입중간재별로 국내재와 복합수입재가 CES 생산함수를 통해서 결합된 뒤, 여러 부문에서 생산된 투입중간재들이 다시 CES 생산함수를 통해 결합·생산 되는 구조를 형성한다. 불완전 대체성을 전제로 하는 아밍턴(Armington) 가정에 따라 여러 지역으로부터 수입된 품목들이 모두 차별화된 제품으로 취급되어 CES 결합을 통해 복수 수입재를 생산해내는 구조이다.

앞서 언급한 바와 같이, GTAP-E 모형은 자본을 부가가치로부터 독립시켜 에너지와 우선 결합시키는 방식으로 에너지-자본 사이의 대체탄력성 문제를 해결한다. GTAP 모형은 표준 모형과 다양한 확장모형이 존재하며, 대체로 모형은 3~4년 주기로 갱신되는 데이터베이스에 비해 장기간 동일 버전을 활용한다. 2020년 10월 기준, 표준모형은 7.0버전인 반면 확장모형은 6.2버전을 기반으로 운용되고 있다. GTAP 데이터베이스는 10A버전으로 2004년, 2007년, 2011년, 2014년 기준 데이터를 제공하는데 본 연구에서는 GTAP-E의 최신 모형인 GTAP-E 6.pre2 버전을 활용하였다.

〈그림 4-2〉 GTAP와 GTAP-E 모형 생산구조 비교



자료: Burniaux, J.M., and T.P. Truong(2002)을 재인용.

2. 기후변화를 반영한 모형 분석체계

기후변화가 농업부문과 농식품 무역에 미치는 영향을 분석하기 위해서 크게 부분균형 모형과 중력모형을 포함한 일반균형 모형으로 분석체계를 구축하였다. 어떤 모형을 선택할지와 선택된 모형을 어떻게 모형화할지가 중요한 관건이며, 무엇보다 모든 모형은 그 자체로 장단점을 지니고 있다는 점을 인식해야 할 것이다. 하나의 모형으로 모든 상황에 적절한 분석을 수행하는 것은 불가능하므로 분석의 목적과 상황에 맞는 방법을 적용할 필요가 있다. 따라서 각 방법은 세부적인 분석에서 포괄적인 분석까지 상호보완적으로 활용될 수 있을 것이다.

2.1. 기후변화를 반영한 부분균형 접근

부분균형 방법은 기후나 이상기후가 직접적으로 세계가격에 영향을 미쳐 국내 균형을 변화시키기 때문에 국내의 세부품목별 효과를 볼 수 있다는 장점이 있다. 예를 들어 기후변화로 인한 사료작물 등의 국제가격 변화를 직접적으로 국내균형모형에 투입하여 각 품목별 생산과 교역에 미치는 영향을 분석할 수 있다. 반면, 이러한 분석은 국가와 산업 간의 관계를 파악하기 어렵다는 한계가 있다.

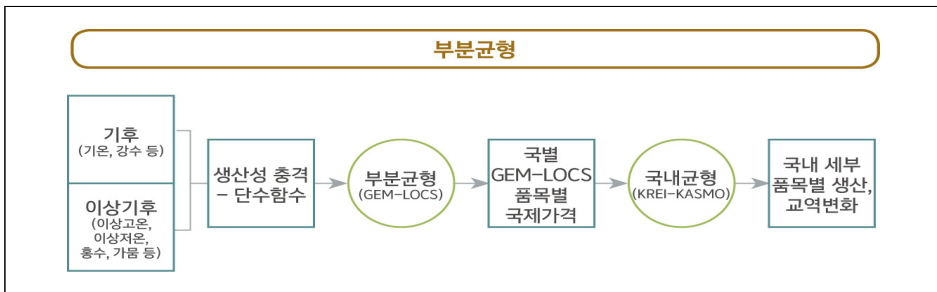
기후변화를 반영한 부분균형 접근에서는 기후(기온, 강수 등)나 이상기후(이상고온, 이상저온, 홍수, 가뭄 등)의 변화가 생산함수의 관계를 통해 작물이나 축산물의 생산에 영향을 미치는 것으로 간주한다. 각국의 생산량 변화를 GEM-LOCS 모형에 반영하여 각 품목의 새로운 세계가격을 도출하고, 이러한 세계가격의 변화를 KREI-KASMO 모형에 반영하여 국내 세부품목의 생산과 교역 변화를 계측한다<그림 4-3>.

〈참고〉 GEM-LOCS와 KREI-KASMO 연계방식

○ GEM-LOCS를 통한 기후변화와 이상기후 효과의 작물단수 충격에 따른 곡물 세계 가격 변화가 국내 농업생산 및 무역에 미치는 영향분석

- ① GEM-LOCS: 기후변화와 이상기후가 국제 곡물 생산량에 미치는 영향(시나리오) → 세계 곡물가격 변화 추정 → 국가별 수입가격 변화 추정
- ② KREI-KASMO: 국가별 수입가격 변화 시나리오 → 국가별 국내 생산 및 무역 변화 추정

〈그림 4-3〉 기후변화 반영 부분균형 분석체계도



주: 사각형은 변수나 결과를 의미하고, 원형은 프로세스나 함수를 의미함.

자료: 저자 작성.

2.2. 기후변화를 반영한 일반균형 접근

2.2.1. 일반균형 접근

일반균형 접근 방법은 기후변화에 따른 생산성 충격이 국가별 거시경제부문과 산업별 생산 및 교역에 미치는 영향을 파악할 수 있다는 장점이 있다. 예를 들어 일반균형 접근 방식을 통해 기후변화가 세계 농업 전반과 연관 산업에 미치는 영향을 산업 단위로 분석할 수 있다. 그러나 국내 주요 세부 품목에 미치는 개별 영향에 대해서 분석하는 것이 어렵다는 한계가 있다.

일반균형 접근에서도 기후변화를 반영한 부분균형 모형에서와 같이 기후나 이상기후의 변화가 생산에 영향을 미치게 된다. 각국의 기후변화로 인한 생산성과

거시경제변수의 장기 전망치를 GTAP-E 모형에 반영하여 국가별 후생 변화(GDP 변화율)뿐 아니라 농업과 식품산업 또는 다른 연관 산업의 생산과 교역의 변화를 도출하게 된다. GTAP-E 모형의 품목군과 지역(국가) 군을 재분류하여 세분화하였으며, 특히 우리나라를 세분화하여 생산과 교역의 변화를 추정한다.

GTAP-E는 기존 표준 GTAP 모형에 에너지, 경제, 환경뿐만 아니라 무역을 연계하여 확장된 모형으로 CO₂ 배출량, 탄소국경세와 기후변화 완화정책의 일환으로써 배출권거래제 등의 정책요소를 반영하도록 조정되어 기후변화 정책에 따른 농업부문 파급영향을 파악하는데 유용한 모형이다. 일반균형 모형을 이용한 본 분석에서는 기후변화 완화정책 가운데 배출권 거래제의 시나리오를 적용한 일반균형 접근을 활용하고자 한다.

이러한 접근은 국가별 거시경제 변화와 산업별 생산 및 무역의 변화를 동시에 파악할 수 있다는 장점이 있다. 예를 들어 배출권거래제 시행으로 인한 온실가스 감축목표에 따라 온실가스 배출을 제한했을 경우 배출량의 변화뿐만 아니라 국가별, 농업부문을 포함한 산업별 후생, 생산, 무역 등에 미치는 영향을 파악할 수 있을 것이다. 기후변화를 반영한 일반균형 분석체계도는 <그림 4-4>와 같다.

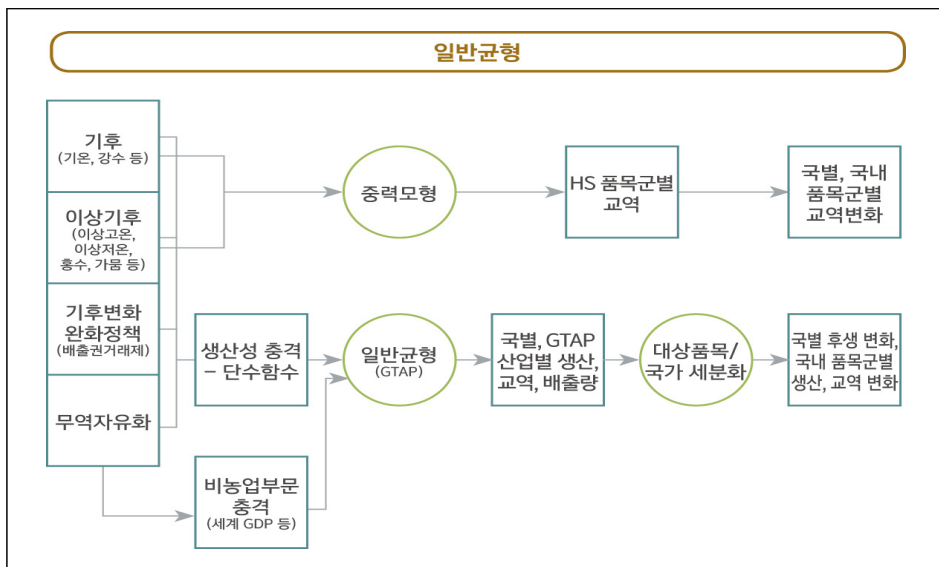
2.2.2. 중력모형 접근⁴⁹⁾

중력모형 접근 방식은 기후나 이상기후 등 기후요인 변수들이 직접적으로 교역에 미치는 영향에 대해 축약형 방정식으로 나타낼 수 있다는 장점이 있다. 예를 들어 부분균형 또는 일반균형 모형들은 기후변화의 간접효과를 주로 측정하는 반면 중력모형은 기후변화가 운송비 등에 영향을 미치는 직접효과에 대해 분석할 수 있다는 장점을 가지지만, 한편으로 생산변화를 구조적으로 파악할 수 없다는 한계를 가진다.

49) 중력모형을 통한 모형구축은 기후변화가 농업과 농산물 무역에 미치는 다양한 경로상의 변수들을 생각하면서도 일반균형의 논리구조를 유지하고 효과적인 자료의 활용을 통해 기후변화에 따른 농업과 농산물 무역의 변화를 전망할 수 있다는 장점이 있어 일반균형 접근에 포함시킴.

기후변화의 효과 분석을 위한 중력모형 접근 방식은 앞의 시장균형 모형들과 달리 기후나 이상기후가 국가별·품목별 무역에 직접적인 영향을 미치는 것으로 가정하고 있다. 중력모형 추정결과를 통해 HS 코드 기준 품목 군별 교역 변화를 도출할 수 있다. 본 연구에서는 국가 간 거리변수(교역비용의 대리변수)와 소득의 함수로써 설명되는 기본 중력모형을 바탕으로 기후변화가 우리나라 농산물 수입에 미치는 영향을 추정하였다. 본 연구에서 활용하는 모형은 무역에 영향을 미칠 수 있는 모든 관련변수를 포함하도록 기본 중력모형을 확장하고 있다. 중력모형 분석대상 품목은 미래 기후변화에 따른 지역적 온난화 등의 영향으로 작목전환의 가능성이 있는 것으로 판단되는 열대과일, 온대과일과 감귤류 등의 과일류로 한정하였다. 또한 기후나 이상기후와 같은 기후요인 변수들이 분석대상 과일류 수입에 미치는 영향을 분석하기 위해서 국제적 품목 수급모형 등을 고려한 중력모형을 활용해 수입수요 모형을 구축하였다. 보다 자세한 내용은 제5장 중력모형 설명 부분에 제시하였다. 기후변화를 반영한 중력모형 분석체계도는 아래 그림과 같다.

〈그림 4-4〉 기후변화 반영 일반균형 분석체계도



주: 사각형은 변수나 결과를 의미하고, 원형은 프로세스나 함수를 의미함.

자료: 저자 작성.

국내 농업 영향 분석을 위한 모형 시뮬레이션

국내 농업 영향 분석을 위한 모형 시뮬레이션

1. 부분균형 모형을 활용한 국내 농업 영향 시뮬레이션

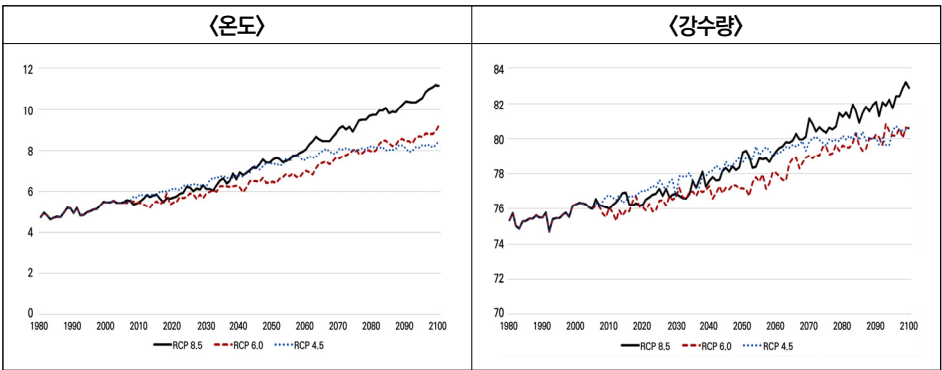
1.1. 부분균형 모형을 활용한 국내 농업 영향

본 절에서는 기후변화로 인한 충격이 우리나라 농산물 무역과 국내 농업생산에 미치는 영향을 분석하고자 한다. 우선 대두, 밀, 보리, 쌀, 옥수수 등과 같은 주요 5대 곡물을 분석대상으로 하여 기상변수와 이상기후가 작물 단수에 미치는 영향을 분석하고, 분석된 결과를 GEM-LOCS 모형과 KREI-KASMO 모형에 연결하여 기후변화가 우리나라 곡물 교역과 국내 생산에 미치는 영향을 대표농도경로(Representative Concentration Pathways: RCP) 시나리오별로 분석하였다. 그러나 국내 농업의 기후변화에 대한 영향은 KREI-KASMO 모형에 반영하기 어려운 한계점이 있어, 국내 농업 부문은 해외농업 부문에서 파생된 영향을 받아들이는 것으로 가정하였다. 즉 기후변화로 인한 국제 곡물 생산과 교역 변화의 충격이 국내에 미치는 영향만을 한정하여 분석하였다.

RCP 시나리오는 정부 간 기후변화 협의체(Intergovernmental Panel on Climate

Change: IPCC)의 5차 평가보고서에서 사용된 온실가스 농도 변화를 반영한 것으로, RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0, RCP 8.5 등 총 4개의 시나리오로 구성된다. RCP 시나리오에서 숫자의 의미는 복사강제력(Radiative Forcing)을 의미하며, 이는 온실가스 등에 영향을 미칠 수 있는 정도를 나타낸다. 즉, RCP 시나리오의 숫자가 커질수록 온실가스가 지구에 미치는 영향이 크다는 것을 의미한다. RCP 2.6 시나리오는 인간의 활동에 의해서 발생하는 모든 영향이 지구 자체의 자정능력으로 회복 가능한 경우이며, 2100년 대기 중의 CO₂ 농도가 420ppm으로 2020년 현재의 대기 중 CO₂ 농도인 약 415ppm과 유사하다. 따라서 이는 실현 불가능한 시나리오로 평가된다. RCP 8.5는 온실가스가 저감 없이 배출되는 시나리오이며, 현재 추세로 분석을 하면 2100년의 대기 중 CO₂ 농도가 940ppm이 될 것으로 예측된다. 반면, RCP 4.5 시나리오와 RCP 6.0 시나리오는 온실가스 저감 정책이 실현되는 경우로, RCP 4.5 시나리오하의 2100년의 대기 중 CO₂ 농도는 540ppm으로 예측되고 있으며, RCP 6.0 시나리오의 경우에는 670ppm으로 예측되고 있다. 이에 따라 2100년 기준 지구 평균 온도는 RCP 8.5 시나리오에서 가장 높으며, RCP 4.5 시나리오에서 가장 낮다. 반면, 강수량의 경우에는 RCP 8.5 시나리오에서 변동성이 더 크며, RCP 4.5 시나리오에서는 상대적으로 변동성이 작다<그림 5-1>.

〈그림 5-1〉 RCP 시나리오별 지구 평균 온도와 강수량



주: 격자자료를 평균하여 사용하였음.

자료: 기상청 기후정보포털(<http://www.climate.go.kr/home/>, 검색일: 2020. 10. 7.)을 활용하여 저자 작성.

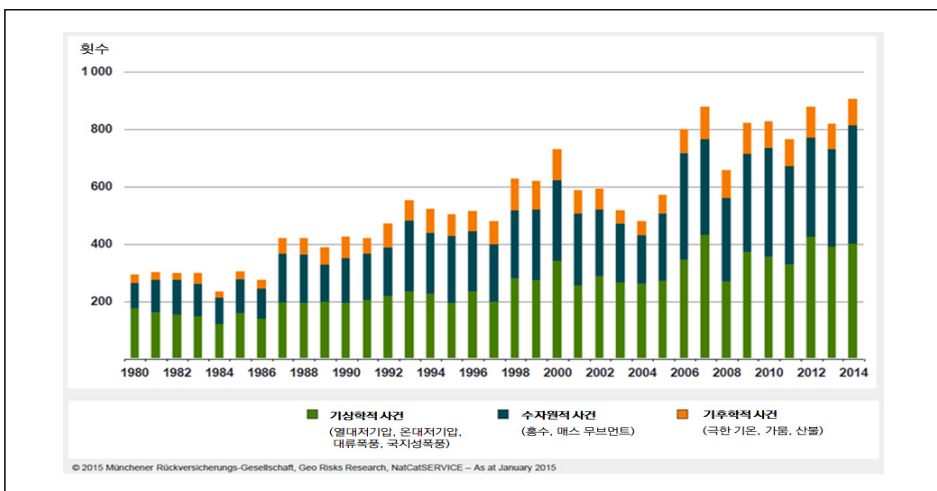
1.1.1. 곡물별 생산단수 추정

가. 분석개요

기후변화가 농산물 무역과 국내 생산에 미치는 영향 분석의 선행 단계로, 기후와 이상기후가 전 세계 국가의 농작물 생산에 미치는 영향을 분석하였다. 기후와 이상기후의 영향을 반영하여 국가별, 작물별 단수를 추정하거나 선행연구의 결과를 이용했다. 본 연구에서는 기후변수를 고려한 곡물 단수를 추정하고, 추정 결과를 바탕으로 RCP 시나리오에 따른 단수를 예측하였다.

기후는 농작물의 단수 등에 직접적인 영향을 미치는데, 특히 최근 기후변화로 인한 기상의 불확실성이 증가하자 농업 생산의 불확실성도 증대되고 있다. 기후변화 관련 연구들에 따르면 폭염, 가뭄, 홍수 등의 이상기후 현상이 최근 들어 증가하는 경향을 보이고 있다<그림 5-2>. 특히 2018년의 폭염은 RCP 8.5 시나리오를 넘어서는 이상고온 현상이었다. 따라서 기후변화가 농업 생산에 미치는 영향을 분석하기 위해서는 온도와 강수량의 변화와 더불어 이상기후 발생을 고려할 필요가 있다.

<그림 5-2> 기후와 관련 있는 사건(1980~2014년)



자료: Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft, Geo Risks Research(2015)를 재인용.

본 연구에서는 Roberts et al.(2012)의 분석방법을 활용하여 기온, 강수, 최고기온 등이 작물의 단수에 미치는 영향을 추정하였다. Roberts et al.(2012)의 연구와 선행연구는 일반적으로 생장기온일수(growing degree days: GDD)를 활용하여 단수를 추정하였다. 그러나 국가별·품종별로 생산 시기가 상이하며 한 국가의 특정 품목 내에도 다양한 품종을 생산하고 있고, 이에 따른 통계자료가 구축되어 있지 않기 때문에 작물 특성을 고려한 기상변수 구축에는 현실적인 어려움이 존재한다. 또한 전 세계 국가별·작물별 단수 자료는 대부분 연도별로 구축이 되어 있기 때문에 본 연구에서도 연평균 자료를 활용하여 곡물 단수를 추정하였다.

이상기후로 인한 세계 규모의 작물 생산변화를 추정하기 위해서는 Vogel et al.(2019)이나 Lesk et al.(2016)의 분석 방법에 따라 이상기후재해(Extreme Weather Disaster: EWD)를 구축하여 활용 가능하다. Vogel et al.(2019)은 이상기후(유형 1: 관측치와 계산치)가 농작물 단수에 미치는 영향을 기계학습의 일종인 랜덤 포레스트(random forest) 방법을 사용하여 설명력의 정도로 이상기후의 영향을 분석하였다. Lesk et al.(2016)은 이상기후(유형 2: 재난통보)가 농작물 단수에 미치는 영향을 SEA(Superposed Epoch Analysis) 통계방법을 사용하여 설명력의 정도로 분석하였다. 이상의 두 가지 방법은 이상기후가 작물 단수나 생산에 미치는 영향에 대해 기존 문헌과 비교가 불가능하다는 한계점을 가지고 있으며, 또한 본 연구는 기후변화 시나리오에 따른 미래의 영향 분석을 목적으로 하고 있기 때문에 이러한 자료를 이용할 경우 시나리오 분석에 적용하기 어려울 수 있다.

따라서 본 연구에서는 국가별로 관측된 기온과 강수량의 상·하위 2.5%를 이상기후로 간주하였다. 이를 이용하면 시나리오별 예측값에도 이상기후를 적용할 수 있는 장점이 있다. 이상기후를 설정하기 위해 우선 분석기간인 1961년에서 2014년까지 개별 분석 대상 국가에서 관측된 온도와 강수량의 평균과 표준편차를 이용하여 각 관측치의 누적분포 값을 계산하였다. 그리고 상·하위 2.5%를 임계치로 설정하여 온도의 상·하위 2.5%와 강수량의 상·하위 2.5%를 이상기후로 설정하였다. 각 RCP 시나리오는 앞에서 계산된 임계치를 이용하여, 임계치 이상(혹은 이하)의 경우를 이상기후의 경우로 간주하였다. 그러나 이러한 방법은 온도와 강수량이

지속적으로 증가하는 경우 임계치를 넘어서는 기준 시점부터 대부분의 연도가 이 상기후로 간주될 수 있는 단점이 있어 향후 정교한 분석을 위해서는 이에 대한 고려가 필요하다.

기상환경이 국제적으로 특정 작물 단수에 미치는 영향은 Roberts et al.(2012)의 방법을 바탕으로 다음과 같은 관계를 가정하여 5대 곡물의 단수를 추정하였다. 작물별 단수 추정은 동태패널모형(dynamic panel model)을 이용하여 추정하였다. 동태패널모형은 종속변수의 과거 값이 설명변수로 사용됨으로써 종속변수의 과거 값이 통제된 상태에서 변수들 사이의 상관관계와 인과관계를 분석할 수 있는 장점이 있다. 특히 곡물 단수의 경우 각국 정부의 식량정책이나 에너지 정책의 영향을 받으므로 전기의 값에 영향을 받는 자기상관(autocorrelation) 문제를 내재할 가능성이 있기 때문이다. 또한 개별 국가의 관측되지 않은 영향(unobservable effects)을 제거할 수 있으며, 변수들 간의 공선성(collinearity) 문제도 해결할 수 있는 장점이 있다(Marques and Fuinhas 2011).

기상변수로는 연평균 온도와 강수량을 반영하였다. 그리고 선행연구들처럼 연평균 온도와 강수량과 단수와의 비선형 관계를 반영하기 위하여 각각의 제곱항을 반영하였다. 또한 기술발전의 영향을 반영하기 위하여 시간 추세를 반영하였다. 한편, 단수 자료의 경우 패널 단위근(Panel Unit Root)이 존재하기 때문에 양변을 로그로 변환하여 분석하였다. 단위근이 존재하는 경우 허구적 회귀(spurious regression) 문제가 발생할 수 있기 때문이다.

$$Yield_{kct} = f(Yield_{kct-1}, Tech_{ct}, Tmp_{ct}, Tmp_{ct}^2, Pre_{ct}, Pre_{ct}^2, EWD_{cti}) \quad (\text{식 5-1})$$

- k : 품목, c : 국가(지역), t : 시간(연도)
- $Yield$: 단수, $Tech$: 기술변수(시간 추세), Tmp : 연평균기온, Pre : 연평균강수량
- EWD_{cti} : 이상기후 재해(터미변수, 기온, 강수량의 상·하위 2.5%=1, 그 외 = 0)

i 는 기온의 상·하위 2.5% 2개(TH, TL)와 강수량의 상·하위 2.5% 2개(PH, PL)로

EWD_{cti} 는 총 4개의 더미 변수로 구성되며 각각 이상고온, 냉해, 홍수, 가뭄으로 해석할 수 있다.

나. 분석대상 및 자료

분석 대상은 GEM-LOCS 모형에 포함된 5개 곡물(대두, 밀, 보리, 쌀, 옥수수)이며, 분석 대상 국가는 전 세계 총 144개 국가이다.⁵⁰⁾ 분석기간은 기후 자료가 구축된 1961~2018년까지이다.

분석의 일관성 및 편의성을 위해 국제통계를 활용하여 연도별, 국가별, 품목별 자료를 구성하였다. 품목별 단수는 FAO 자료(생산량, 수확면적 활용)를 활용하였으며, 기후요인 변수는 CRU_CY(Harris et al. 2020)와 기상청 기후정보포털⁵¹⁾ 자료를 활용하였다.⁵²⁾ 국가별 관측된 기후 자료는 CRU_CY를 활용하였으며, 연도별 평균 기온과 월평균 강수량 자료를 단수 추정에 사용하였다. 국가별로 섭씨 기준 평균 기온이 영하인 곳이 존재하며, 이러한 자료는 로그 변환 시 문제가 발생하기 때문에 화씨로 변경하여 사용하였다.⁵³⁾

RCP 시나리오별 기후 예측 자료는 기상청 기후정보포털 자료를 활용하였다. 기상청 기후정보포털 자료는 격자자료로 제공이 되어 국가별 매칭에 어려움이 있다.⁵⁴⁾ 각 국가별 예측 자료를 사용할 수 없기 때문에 이에 따라 시나리오별 전 세계 평균 온도와 강수량을 구한 후 변화율을 계산하여 이를 시나리오 분석에 반영하였

50) 시계열이 불안정한 국가는 분석에서 제외하였으며, 국가별 생산차이로 인하여 분석 국가는 품목별 (대두 49개국, 밀 80개국, 보리 61개국, 쌀 98개국, 옥수수 129개국)로 차이가 있음.

51) 기상청 기후정보포털(<http://www.climate.go.kr/home>, 검색일: 2020.10.7.).

52) 영국 이스트 앵글리아 대학교의 기후연구소(Climate Research Unit)는 장기 시계열 기후 관측 데이터(CRU_TS)인 평균, 최소, 최대 및 주간 기온, 강수량, 습도, 서리일수, 잠재적 증발량 등을 구축하고 있으며, 이 CRU_TS를 활용하여 국가별, 월별 시계열 데이터인 CRU_CY를 구축함.

53) 작물 단수의 경우 단위근이 존재하며, 로그 변환시 단위근이 사라짐.

54) 국가별 위도와 경도를 이용하여 기상청 기후정보포털의 격자자료에 매칭하여 분석하였으나, 통계적으로 유의하지 않음. 국가별 위치 정보는 국가의 중심점을 기준으로 하고 있어 특히 국가 면적이 큰 국가는 국가평균과 중심점의 편차가 클 뿐만 아니라 기상관측지점과 농산물 생산지 차이가 발생하기 때문임.

다. 한편, 폭염, 홍수, 가뭄 등의 이상기후는 국제재난 데이터베이스인 EM-DAT의 국가별 재난통보 데이터를 활용할 수도 있으나, 앞서 언급한 바와 같이 관측된 자료를 사용 시 예측에 어려움이 있다. 따라서 국가별로 관측된 기온과 강수량의 상·하위 2.5%를 이상기후로 간주하였다. 단수 추정을 위한 주요 변수의 기초통계량은 <표 5-1>과 같으며, 작물에 따라 재배 지역이 상이하하여 기온과 강수의 통계치도 차이가 있음을 확인할 수 있다. 평균값을 기준으로 옥수수, 쌀, 콩의 재배지역이 보리, 밀 재배지역보다 기온이 높고 강수량이 많은 편이다.

<표 5-1> 작물별 단수와 기후변수 기초통계량

단위: kg/10a, °F, mm

구 분		대두		밀		보리		쌀		옥수수	
		평균	표준 편차	평균	표준 편차	평균	표준 편차	평균	표준 편차	평균	표준 편차
수준	단수	145.4	72.9	235.0	172.6	225.9	158.2	305.2	179.7	270.9	290.4
	평균 기온	66.6 (19.2°C)	12.4	64.2 (17.8°C)	12.6	60.9 (16.1°C)	12.5	71.2 (21.8°C)	10.7	69.8 (21.0°C)	11.8
	강수량	99.7	55.7	74.8	53.1	71.7	53.8	110.5	65.9	107.5	68.7
로그	단수	4.8	0.5	5.2	0.7	5.2	0.8	5.5	0.6	5.2	0.8
	평균 기온	4.2	0.2	4.1	0.2	4.1	0.2	4.3	0.2	4.2	0.2
	강수량	4.4	0.8	4.0	1.0	3.9	1.0	4.5	0.8	4.4	0.9
관측치		2,842		4,640		3,538		5,684		7,482	
국가수		49		80		61		98		129	

자료: 저자 작성.

다. 단수 추정 결과

5개 품목에 대해 분석한 결과 단수의 전기 값은 현재 단수에 양(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 통계적으로도 유의한 것으로 나타났다. 쌀의 경우 추정된 계숫값이 0.5139로 다른 작물에 비하여 큰 것으로 나타나 전기 충격의 지속성(persistence)이 강한 것으로 분석되었다. 쌀은 주로 아시아 지역에서 주식으로 사용되는데, 특히 아시아 지역은 소득이 낮은 국가들이 많으며 쌀에 대한 정부 정책이 강하게 시행되고 있다(Timmer 2005). 따라서 이러한 현상이 반영된 것으로 해석된다. 기술변수는 모든 품목에서 단수와 양(+)의 관계가 있는 것으로 나타났으

며, 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 대두를 제외한 모든 품목에서 온도는 단수와 양(+)의 상관관계가 있는 것으로 나타났으나, 비선형관계가 존재하는 것으로 분석되었다. 강수량의 경우 대두, 보리, 옥수수에서 단수와 비선형관계가 존재하는 것으로 분석되었다. 전반적으로 강수량에 비해 온도가 작물 생산 단수에 더 민감한 것으로 분석되었으며, 이러한 결과는 선행연구와 일치한다. 또한 분석 대상과 기간이 달라 추정된 계숫값의 차이는 존재하나 단수 및 기상변수와의 방향성은 선행연구와 일치하는 것으로 나타났다.

이상기후의 경우 품목에 따라 통계적으로 유의한 변수는 차이가 있지만, 단수와 음(-)의 관계가 있는 것으로 분석되어 선행연구나 일반적인 현상과 일치하는 것으로 나타났다. 따라서 관측된 기상자료의 분포를 이용하는 방식도 이상기후의 영향을 반영할 수 있는 하나의 방법으로 유효한 것으로 판단된다.

〈표 5-2〉 세계 작물별 단수 추정 결과

품목	대두	밀	보리	쌀	옥수수
Y_{t-1}	0.2707*** (0.0274)	0.1883*** (0.0264)	0.0962*** (0.0294)	0.5139*** (0.0239)	0.1780*** (0.0349)
$Tech$	0.0094*** (0.0008)	0.0126*** (0.0008)	0.0118*** (0.0007)	0.0058*** (0.0003)	0.0140*** (0.0008)
Tmp	6.4486 (5.5958)	5.9639*** (1.9431)	9.6220** (4.674)	7.5748* (4.3221)	5.2840*** (1.7770)
Tmp^2	-0.9901 (0.6992)	-0.8676*** (0.2502)	-1.4100** (0.6040)	-0.8832* (0.5140)	-0.7000*** (0.2210)
Pre	0.4863*** (0.1883)	0.0757* (0.0408)	0.2110*** (0.0519)	0.06947 (0.0527)	0.2190** (0.0881)
Pre^2	-0.0481** (0.0219)	-0.0023 (0.0061)	-0.0147** (0.0070)	-0.0052 (0.0060)	-0.0166* (0.0095)
EWD_{TH}	0.0250 (0.0382)	-0.0007 (0.0077)	0.0038 (0.0191)	-0.0226** (0.0088)	0.0089 (0.0106)
EWD_{TL}	-0.1743** (0.0698)	0.0133 (0.0119)	-0.0006 (0.0430)	0.0051 (0.0116)	-0.0231* (0.0131)
EWD_{PH}	-0.0808 (0.0573)	-0.0132 (0.0106)	0.0244 (0.0346)	-0.0109 (0.0082)	0.0007 (0.0100)

(계속)

품목	대두	밀	보리	쌀	옥수수
EWD_{PL}	-0.0214 (0.0948)	-0.0179 (0.0177)	0.0129 (0.0097)	-0.0190 (0.0182)	-0.0830*** (0.0212)
$Const$	-25.8985** (11.0079)	-30.9120*** (4.1655)	-35.1100*** (9.5730)	-25.1947*** (9.1248)	-34.0400*** (3.9800)
Wald chi2	2,165.67	757.91	66,617.70	1,932.26	699.23
p-value	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Sargan Test	37.7747	58.8369	57.599	58.3379	58.3755
p-value	0.9156	0.2105	0.2443	0.2237	0.2227
관측치수	2,436	4,118	3,155	5,074	6,690
국가수	49	80	61	98	129

주: 괄호 안 숫자는 표준오차를 나타내며, *, **, ***는 각각 10%, 5%, 1% 수준에서 유의함을 나타냄.
자료: 저자 작성.

단수 추정결과를 RCP 시나리오에 반영하여 기후변화의 영향을 예측하기 전에 추정결과의 예측력 평가를 실시하였다. 예측력 평가를 위하여 2009년에서 2018년 자료를 이용하여 표본 내 예측 분석을 하였다. 예측력 평가는 RMSPE(Root Mean Square Percent Error), MAE(Mean Absolute Error), 테일의 불평등계수(Theil Inequality Coefficient: Theil I.C.) 값을 기준으로 하였으며, 보조 지표로 TPE(Turning Point Error)를 참조하였다. RMSPE와 MAE 그리고 Theil I. C.를 계산하는 방법은 아래와 같다.

$$\begin{aligned}
 - \text{RMSPE} &= \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \left(\frac{\hat{Y}_t - Y_t}{Y_t} \right)^2}, \quad \text{MAE} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T |\hat{Y}_t - Y_t| \\
 - \text{Theil Inequality Coefficient} &= \frac{\sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (\hat{Y}_t - Y_t)^2}}{\sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (\hat{Y}_t)^2} + \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (Y_t)^2}}
 \end{aligned}$$

한편, TPE는 실측치와 예측치의 크기를 비교하는 것이 아니라 방향을 비교하는 것이다. 예를 들어 t-1기에 비하여 t기의 실제값이 증가하였고 예측값도 방향이

이와 같다면, 실측치와 예측치가 동일한 방향으로 움직였기 때문에 TPE가 존재하지 않는다. 그러나 예측값의 변화 방향이 실제값의 변화 방향과 다르다면, 이때는 TPE가 존재한다. 따라서 TPE는 예측 범위에서 TPE가 발생하는 비중으로 간략히 계산할 수 있다.

예측력 분석 결과 대두, 밀, 쌀의 Theil I.C. 값은 각각 0.0508, 0.0528, 0.0548로 예측력이 비교적 높은 편이며, 보리의 경우도 Theil I.C. 값이 0.1 이하로 나타났다. 그러나 옥수수의 Theil I.C. 값은 0.2248로 예측력이 좋지 못한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 옥수수의 경우 GMO 재배가 많아 기상변수의 영향을 크게 받지 않는 것으로 예상된다. 밀과 보리는 TPE가 0.2로 비교적 낮게 분석된다.

〈표 5-3〉 예측력 평가(2009~2018년)

	대두	밀	보리	쌀	옥수수
RMPSE	10.6673	10.0939	14.4946	10.4364	36.7053
MAE	18.4630	30.5146	42.2819	40.3649	154.9614
Theil I.C.	0.0508	0.0528	0.0792	0.0548	0.2248
TPE	0.4000	0.2000	0.2000	0.4000	0.4000

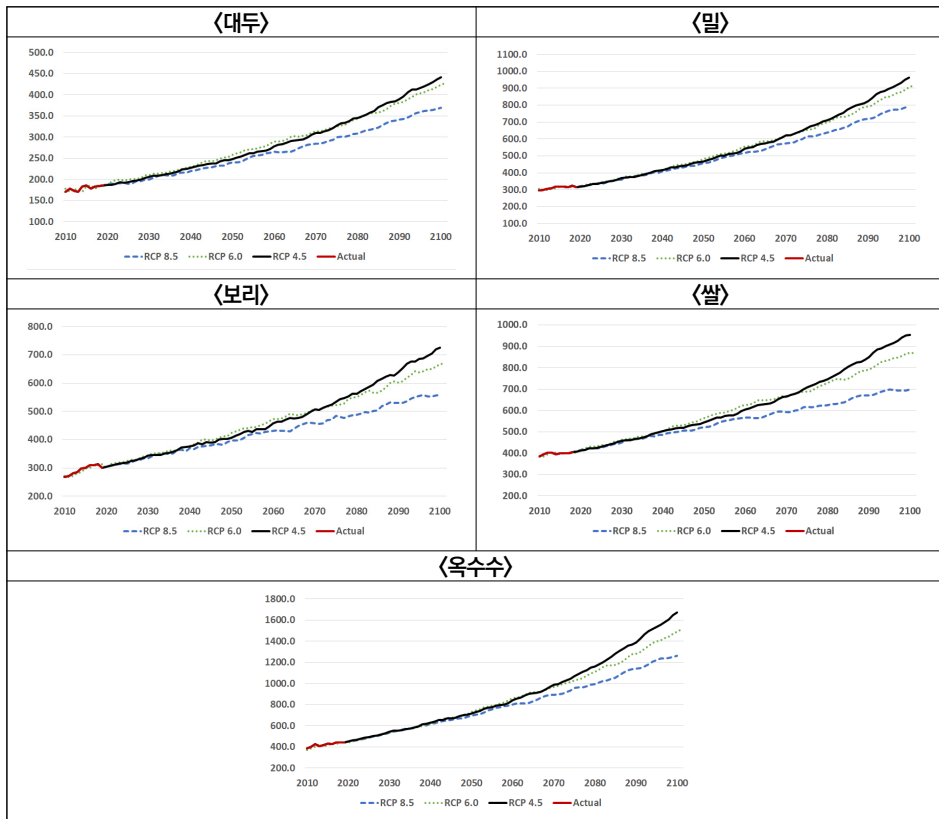
자료: 저자 작성.

작물별 단수 추정 결과값에 각 RCP 시나리오별로 기상변수의 변화율을 반영하여 각 품목별 단수를 예측하였다. 분석에서 고려한 RCP 시나리오는 8.5, 6.0, 4.5이다. 품목별로 RCP 시나리오별 예측결과는 아래 <그림 5-3>과 같다. 각 국가별 예측값이 아닌 지구 평균 온도와 강수량을 반영하였기 때문에 분석 결과의 한계점이 존재한다. 예를 들어 RCP 8.5 시나리오의 경우 기상변화가 가장 크게 나타나는데, 지구 전체 평균을 취할 경우 이상고온 현상과 냉해의 효과가 희석되어 잘 나타나지 않을 수 있기 때문이다. 또한 <그림 5-1>의 2100년까지 예측된 RCP 시나리오별 온도를 살펴보면, 특정 기간에는 RCP 4.5 시나리오의 온도가 RCP 6.0 시나리오보다 높게 나타나는 등 예측 자료의 불안정성도 존재한다. 본 분석의 목적은 기후변화가 국제무역과 국내농업에 미치는 영향에 대해 분석할 수 있는 방법을 모색하는 것이기 때문에 이후의 분석은 기후변화가 국제 곡물 교역과 국내 농업에

미치는 영향의 방향성에 보다 집중하는 것이 바람직하다.⁵⁵⁾

연도별로 차이가 존재하지만, 2100년을 기준으로 보면 기후변화 완화 정책이 가장 많이 실현된 RCP 4.5 시나리오(굵은 실선)의 경우가 모든 품목에서 단수가 높은 것으로 예측되었으며, 기후가 가장 많이 변화된 RCP 8.5 시나리오의 경우가 상대적인 단수 하락 폭이 가장 큰 것으로 나타났다.

〈그림 5-3〉 품목별·RCP 시나리오별 단수 예측



자료: 실제 자료는 FAOSTAT에서 얻은 자료이며, RCP 시나리오별 예측 자료는 저자 작성.

55) 2100년까지 단수를 예측한 결과 기후변화에 대응하여 대기 중 CO₂ 농도를 감축하는 RCP 4.5, 6.0 시나리오의 경우에는 단수가 기술진보 등의 영향으로 지속적으로 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 기후변화가 지속적으로 이루어지는 RCP 8.5 시나리오의 경우에는 대기 중 CO₂ 농도 증가에 따른 기상변화로 다른 RCP 시나리오에 비하여 단수가 감소하는 것으로 분석되었음. 특히 보리와 쌀의 단수에 대한 영향이 상대적으로 큰 것으로 나타났다.

〈표 5-4〉 기후변화 시나리오에 따른 주요 곡물 품목별 단위 변화율

단위: %

Scenario		2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
RCP 8.5	대두	1.29	0.93	0.96	0.72	0.83	-0.26	1.43	2.05	0.76	1.57	0.12	2.34
	밀	1.78	1.50	1.69	1.47	1.62	1.58	1.83	1.71	1.79	1.69	1.36	2.02
	보리	1.24	1.01	0.74	0.06	0.51	-1.46	0.66	2.89	0.07	1.55	-0.07	2.13
	쌀	1.17	1.24	1.19	1.03	0.87	-0.06	0.52	1.55	0.83	1.15	0.86	1.26
	옥수수	1.46	1.43	1.22	0.91	1.06	-0.13	1.31	2.64	0.99	1.73	0.44	2.28
RCP 6.0	대두	4.18	0.84	1.06	0.15	1.38	1.03	0.18	1.70	2.34	0.38	2.13	0.12
	밀	2.30	1.54	1.55	1.74	1.66	1.76	1.33	1.90	1.84	1.62	1.89	1.44
	보리	5.09	1.48	0.64	-0.95	1.34	0.62	-0.23	1.41	3.19	-0.14	2.03	0.14
	쌀	2.03	1.54	1.21	0.22	0.88	0.82	0.73	0.96	1.81	0.85	1.29	0.92
	옥수수	4.17	1.51	1.22	0.18	1.68	1.15	0.56	1.71	2.80	0.55	2.33	0.58
RCP 4.5	대두	1.00	0.91	1.36	1.56	0.30	1.01	1.21	1.05	1.33	1.44	1.91	1.06
	밀	1.72	1.77	1.83	1.64	1.54	1.58	1.74	1.60	1.67	1.86	1.91	1.60
	보리	0.63	0.15	1.22	2.09	-0.43	0.68	1.13	0.80	1.43	1.52	1.52	1.28
	쌀	0.70	0.57	0.91	1.36	0.66	0.93	1.00	1.09	1.19	1.27	1.18	1.12
	옥수수	1.12	1.03	1.64	1.98	0.28	1.29	1.36	1.44	1.50	1.76	1.90	1.46

자료: 저자 작성.

1.1.2. 생산성 충격을 반영한 국내 농업 영향 시뮬레이션(부분균형)

앞 절에서 추정된 작물별 단위, GEM-LOCS와 KREI-KASMO를 연계하여 기후변화로 인한 중단기(2021~2030년) 국내 무역과 생산변화를 RCP 시나리오별로 분석하였다. GEM-LOCS 모형과 KREI-KASMO 모형은 중단기 예측을 위한 모형이기 때문이다. 작물 단수는 기술진보와 기후변화에 따라 외생적으로 결정되는 것으로 가정하여 추정된 결과를 GEM-LOCS 모형에 반영하였다. 품목별 단위뿐만 아니라 재배면적 또한 고려해야 전체적인 생산량 변화 추정이 가능하다. 본 분석에서는 기후변화에 따른 작물 재배면적의 변화를 추정하였으나, GEM-LOCS나 KREI-KASMO 모형과 연계하기에 어려움이 있어 본문에서는 제외하였다(<부록 4> 참조). 따라서 본 분석에서 재배면적 변화는 GEM-LOCS 모형과 KREI-KASMO 모형 내의 함수에서 결정되도록 분석하였다.

GEM-LOCS 모형에서 재배면적 변화는 전기의 재배면적과 품목가격 등의 함수로 구성이 되며, 이때 품목가격은 생산량의 함수이다. 즉, 기후변화로 인한 단위 변화는 생산량에 영향을 미쳐 곡물가격에 영향을 미치고 이는 다시 재배면적에 영

향을 미치는 구조이다. 따라서 기후변화로 인한 영향은 $t+1$ 기부터 모형에 반영이 된다. KREI-KASMO 모형에서는 전기 재배면적과 해당 품목의 기대순수익, 생산 대체 품목의 기대순수익의 함수로 재배면적이 결정되도록 구성되어 있다.

마지막으로 GEM-LOCS 모형을 이용하여 예측한 국제 곡물가격을 KREI-KASMO의 수입수요함수에 반영하여 RCP 시나리오별 곡물 교역 변화와 국내 농산물 생산변화를 2030년까지 예측하였다.

가. 주요곡물 수입량 변화

<표 5-4>의 RCP 시나리오별 작물단수 변화를 GEM-LOCS 모형에 반영하였으며, 기후변화로 인한 곡물 품목별 생산성 변화를 통해 국제 곡물가격 변화를 추정 한 결과는 다음 <표 5-5>와 같다.

분석 결과는 RCP 6.0 시나리오의 경우 곡물 생산이 증가하여 국제 곡물가격이 가장 크게 하락하는 것으로 나타났다. 반면, RCP 4.5 시나리오에서는 대두, 보리와 같은 품목의 가격은 상승하는 것으로 나타났으며, 그 외 품목들의 경우 전반적인 가격 하락률이 상대적으로 낮은 것으로 분석되었다. 이는 우리가 예상하는 RCP 시나리오와 다른 결과이다. 이러한 결과가 나타난 이유는 GEM-LOCS와 KREI-KASMO를 이용하여 분석하는 기간에 예측된 온도와 밀접한 관계가 있다. 작물 단수가 온도의 영향을 크게 받기 때문이다<표 5-2>.

<그림 5-1>과 <그림 5-4>와 같이 2100년 기준 RCP 8.5 시나리오의 온도가 가장 크게 상승하지만, 분석기간인 2020~2030년 기간 RCP 4.5 시나리오의 온도가 가장 높고 RCP 6.0 시나리오의 온도가 가장 낮은 것으로 예측되어 있기 때문에 이러한 결과가 나타났다. 즉, 3가지 RCP 시나리오 중 기온이 가장 낮은 RCP 6.0 시나리오에서는 상대적 생산성이 가장 높아 곡물생산이 증가함에 따라 곡물가격 하락폭이 가장 큰 것으로 분석되었다. 이러한 분석 결과는 이후의 국제곡물 교역과 국내 생산의 영향에도 영향을 미치기 때문에 해석의 주의가 필요하다. 따라서 이후의 결과를 해석하는데 있어서 RCP 시나리오의 의미보다는 각 시나리오의 상대적 온도를 중심으로 해석하는 것이 옳다. 분석기간인 2020~2030년에는 RCP 4.5의 온도

가 가장 높은 것으로 나타났지만, 2100년에는 가장 낮게 나타났기 때문에 상대적 생산성은 가장 높게 분석될 것으로 예상되며, 이에 따라 국제가격도 가장 낮을 것으로 예상된다.

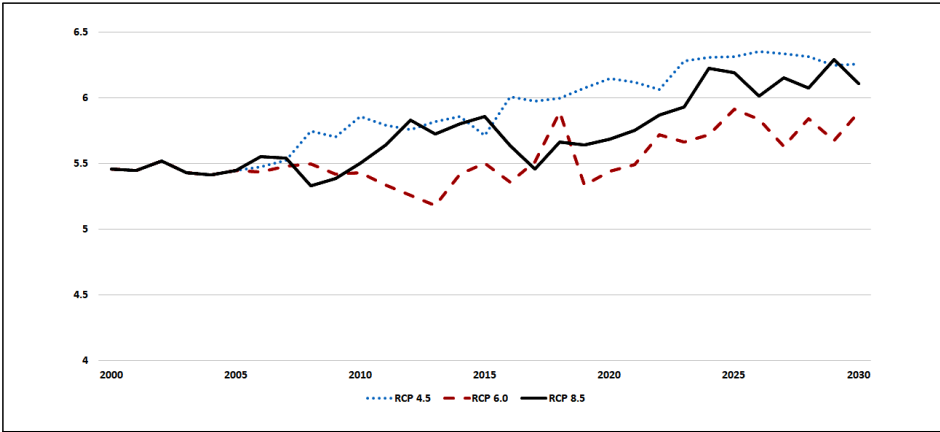
〈표 5-5〉 주요 곡물 품목별 국제가격 변화 전망

단위: %

Scenario		2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
RCP 8.5	대두	-2.37	-1.15	-1.59	2.47	-2.75	-3.82	-0.32	-2.17	2.57	-1.30
	밀	-4.55	-3.69	-4.05	-0.93	-4.76	-6.70	-3.24	-4.36	-0.69	-3.95
	보리	-3.30	-2.22	-2.46	1.45	-2.73	-5.71	-1.45	-2.69	1.34	-2.25
	쌀	-3.71	-2.69	-1.92	0.98	-1.10	-5.50	-3.03	-3.68	-2.57	-3.18
	옥수수	-3.92	-2.52	-3.01	2.13	-3.82	-7.37	-1.52	-3.79	1.37	-3.03
RCP 6.0	대두	-2.75	0.70	-3.93	-1.46	0.39	-3.55	-4.73	0.74	-4.17	-2.27
	밀	-4.44	-2.65	-5.85	-4.48	-2.18	-5.63	-7.29	-2.23	-5.89	-4.64
	보리	-3.38	-0.55	-4.44	-2.91	-0.48	-3.96	-6.43	-0.47	-4.32	-3.13
	쌀	-3.72	0.00	-1.95	-2.51	-2.13	-2.90	-6.35	-2.72	-3.92	-3.61
	옥수수	-4.09	0.03	-5.90	-3.28	-0.60	-5.21	-8.13	-0.26	-6.08	-4.06
RCP 4.5	대두	-3.02	-3.03	2.04	0.18	0.75	1.72	1.61	2.26	1.79	1.62
	밀	-5.41	-5.69	-0.84	-2.47	-2.21	-1.40	-1.14	-1.19	-1.02	-1.39
	보리	-3.98	-4.67	1.05	-0.40	-0.13	0.87	1.23	1.51	1.89	1.08
	쌀	-2.95	-4.21	-1.72	-2.14	-2.55	-3.03	-3.49	-3.75	-3.30	-3.22
	옥수수	-5.02	-5.60	1.91	-1.07	-0.64	0.31	0.53	0.72	0.80	0.34

자료: GEM-LOCS 분석 결과를 바탕으로 저자 작성.

〈그림 5-4〉 2000~2030년의 RCP 시나리오별 지구 평균 온도 변화

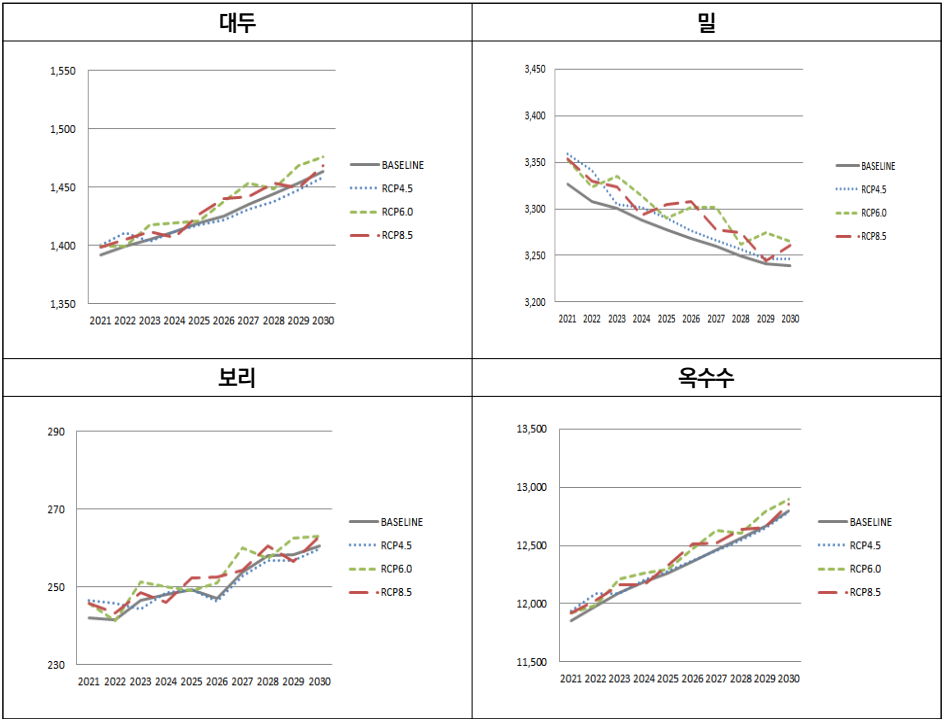


주: 격자자료를 평균하여 사용하였음.

자료: 기상청 기후정보포털(<http://www.climate.go.kr/home/>, 검색일: 2020. 10. 7.)을 활용하여 저자 작성.

<표 5-5>의 결과를 KREI-KASMO 모형에 반영하여, RCP 시나리오별로 국제곡물가격이 변화함에 따라 달라지는 해당 품목의 수입 변화를 다음 <표 5-6>과 <그림 5-5>와 같이 예측하였다. 우선 쌀의 경우 현재 WTO 관세화를 통해 지정된 40만 9천 톤의 수입물량을 제외하고는 수입되지 않는다고 가정하였다. 따라서 기후변화 시나리오에 따른 영향은 없다. 분석기간 중 상대적 온도가 가장 낮았던 RCP 6.0 시나리오의 경우 생산성 향상에 따른 국제 곡물가격 하락으로 국제곡물 수입이 베이스라인 대비 가장 크게 증가하는 것으로 예측되었으며, 상대적 온도가 가장 높았던 RCP 4.5 시나리오의 경우는 수입량 증가분이 가장 작은 것으로 예측되었다. 품목별로는 베이스라인 대비 옥수수 수입량이 가장 크게 변하였지만, 수입 비중을 기준으로 비교를 하면 보리와 밀의 수입 변화가 가장 큰 것으로 나타났다.

<그림 5-5> 시나리오별 주요 곡물 수입량 변화 전망



주: 쌀의 경우 현재 WTO 관세화를 통해 지정된 40만 9천 톤을 제외하고는 수입이 되지 않는다고 가정되어, 기후변화 시나리오 변화에도 수입량 변화 없음.

자료: KREI-KASMO를 활용한 분석 결과를 바탕으로 저자 작성.

〈표 5-6〉 시나리오별 주요 곡물 수입량 변화 전망

단위: 천 톤

구 분		2021	2025	2026	2027	2028	2029	2030	10년누적	연평균
Baseline	쌀	409	409	409	409	409	409	409	4,090	409
	밀	3,326	3,278	3,269	3,260	3,250	3,241	3,239	32,758	3,276
	보리	242	249	247	254	258	258	260	2,505	251
	콩	1,392	1,419	1,426	1,435	1,444	1,453	1,464	14,248	1,425
	옥수수	11,851	12,266	12,366	12,463	12,559	12,662	12,796	123,225	12,323
RCP 4.5	쌀	409	409	409	409	409	409	409	4,090	409
	밀	3,359	3,290	3,276	3,266	3,256	3,247	3,247	32,889	3,289
	보리	247	249	246	253	257	257	260	2,507	251
	콩	1,400	1,418	1,422	1,431	1,437	1,448	1,458	14,240	1,424
	옥수수	11,939	12,282	12,367	12,455	12,544	12,645	12,786	123,405	12,340
RCP 6.0	쌀	409	409	409	409	409	409	409	4,090	409
	밀	3,353	3,290	3,301	3,302	3,262	3,274	3,265	33,019	3,302
	보리	246	249	251	260	257	263	263	2,531	253
	콩	1,400	1,421	1,438	1,454	1,449	1,469	1,476	14,342	1,434
	옥수수	11,922	12,296	12,468	12,634	12,601	12,786	12,897	124,068	12,407
RCP 8.5	쌀	409	409	409	409	409	409	409	4,090	409
	밀	3,353	3,305	3,307	3,278	3,275	3,245	3,261	32,970	3,297
	보리	246	252	252	254	260	257	263	2,522	252
	콩	1,398	1,427	1,440	1,442	1,453	1,449	1,469	14,302	1,430
	옥수수	11,919	12,333	12,513	12,521	12,642	12,657	12,855	123,801	12,380

주: 쌀의 경우 현재 WTO 관세화를 통해 지정된 40만 9천 톤을 제외하고는 수입이 되지 않는다고 가정되어, 기후 변화 시나리오 변화에도 수입량 변화 없음.

자료: KREI-KASMO를 활용한 분석 결과를 바탕으로 저자 작성.

나. 농업 부문 영향분석 결과⁵⁶⁾

RCP 4.5 시나리오하에서 기후변화에 따른 국제 곡물가격의 변화로 예상되는 농업부문 영향은 10년 누적 1,785억 원, 연평균 178억 원 수준이다. 이는 우리나라 전체 농업생산액의 0.04% 수준⁵⁷⁾으로 예상된다. RCP 4.5 시나리오하에서 농업 부문에 나타난 영향을 부류별로 살펴보면 다음 <표 5-7>과 같다. 품목 부류별로 살펴보면 대두, 밀, 옥수수 국제가격 상승으로 수입량이 감소하는 시점부터 국내 생산이 증가하는 것으로 나타났으나, 분석기간 평균적으로 생산이 감소하는 것으로

56) KASMO 모형 내 전망치는 실제 데이터 값의 추세만을 반영한 것으로 기후변화에 따른 생산성 증대효과는 고려되지 않은 한계점이 있음. 현재 모형 구조 상 기후변화로 인한 영향을 반영하기 어려운 점이 있으며, 추후 연구에서 반영할 필요가 있음.

57) 2020년 전체 농업생산액은 50조 4,380억 원으로 전망됨(한국농촌경제연구원 2020).

로 분석되었다. 국제 곡물가격이 하락하여 국내 수입이 증가하는 기간에는 국내 곡물생산액 감소가 나타났으며(직접영향), 국제 곡물의 가격 하락으로 인한 사료 가격 인하로 수급변화 및 가격변화가 유발되면서 축산부문에 영향이 나타났다(간접영향). 이는 수입 곡물의 가격 하락으로 생산비용이 절감되면서 국내 축산물 생산이 증가하였고, 이는 곧 국내 축산물 가격 하락으로 이어져 국내생산액이 감소된 것으로 분석된다. 반면, 기온상승으로 인한 생산성 하락으로 인하여 국제곡물 가격이 증가하는 시점부터 수입량이 감소하면서 국내 생산은 증가하는 것으로 분석되었다.

〈표 5-7〉 RCP 4.5 시나리오하 농업부문 영향분석 결과

단위: 십억 원

구 분	2021	2025	2026	2027	2028	2029	2030	10년 누적	연평균
전체	-5.4	-7.8	-23.5	-10.9	8.5	13.2	16.8	-178.5	-17.8
곡물	-5.4	-3.1	-0.2	1.8	3.1	4.4	4.2	-14.9	-1.49
- 쌀	-3.4	-2.8	-1.6	-0.9	0.1	0.6	1.2	-17.6	-1.8
- 밀	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.0	-0.0	-0.0	-0.9	-0.1
- 보리	-0.1	-0.3	-0.2	0.0	0.3	0.4	0.5	-3.6	-0.4
- 콩	-1.5	0.2	1.7	2.6	2.6	3.1	2.3	8.5	0.9
- 옥수수	-0.2	-0.1	-0.0	0.1	0.2	0.2	0.2	-1.2	-0.1
축산	-0.0	-4.1	-22.7	-12.3	5.6	9.0	12.5	-159.0	-15.9
채소·과일	-0.0	-0.7	-0.5	-0.5	-0.2	-0.1	0.1	-4.6	-0.5
특용 및 기타	-0.0	-0.0	0.0	0.0	-0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.0

주: 특용 및 기타는 곡물, 축산, 채소·과일을 제외한 특용과 양잠 등을 의미함.

자료: KREI-KASMO를 활용한 분석 결과를 바탕으로 저자 작성.

분석기간 중 상대적 온도가 가장 낮았던 RCP 6.0 시나리오에서는 생산성 향상에 따른 국제 곡물가격의 하락으로 곡물수입이 가장 크게 증가하여 국내 생산에도 가장 큰 영향을 준 것으로 분석된다. RCP 6.0 시나리오에서 예상되는 농업부문 영향은 10년 누적 6,446억 원, 연평균 645억 원 수준이다. 이는 국내 농업생산액의 0.13% 수준으로 예상된다<표 5-8>. RCP 6.0 시나리오에서 농업부문에 나타난 영향을 품목 부류별로 살펴보면 곡물 5개 품목의 국제가격 하락으로 인한 수입 증가

로 국내 곡물생산액이 감소하였다. 또한 RCP 4.5 시나리오와 같이 국제곡물의 가격 하락으로 인한 사료가격 인하로 수급변화 및 가격변화가 유발되면서 축산부문에 영향이 나타났다.

〈표 5-8〉 RCP 6.0 시나리오하 농업부문 영향분석 결과

단위: 십억 원

구 분	2021	2025	2026	2027	2028	2029	2030	10년 누적	연평균
전체	-4.6	-85.5	-58.8	-65.1	-123.3	-106.6	-76.7	-644.6	-64.5
곡물	-4.6	-6.2	-8.2	-14.6	-10.7	-8.7	-13.3	-90.7	-9.1
- 쌀	-2.8	-3.7	-5.7	-5.3	-3.3	-6.9	-4.5	-42.7	-4.3
- 밀	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.1	-0.2	-0.2	-1.8	-0.2
- 보리	-0.1	-1.7	-1.2	-1.1	-1.8	-1.8	-1.2	-12.0	-1.2
- 콩	-1.4	-0.2	-0.9	-6.5	-3.8	0.1	-6.1	-26.7	-2.7
- 옥수수	-0.1	-0.5	-0.1	-1.2	-1.4	0.1	-1.1	-6.4	-0.6
축산	-0.0	-78.0	-49.3	-50.1	-111.8	-95.9	-62.8	-546.1	-54.6
채소·과일	-0.0	-1.2	-1.3	-0.4	-0.8	-2.0	-0.6	-7.7	-0.8
특용 및 기타	-0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.0

주: 특용 및 기타는 곡물, 축산, 채소·과일을 제외한 특용과 양잠 등을 의미함.

자료: KREI-KASMO를 활용한 분석 결과를 바탕으로 저자 작성.

RCP 8.5 시나리오에서 예상되는 국내 농업부문 영향은 10년 누적 4,986억 원, 연평균 499억 원 수준이다. RCP 8.5 시나리오 아래에서 예상되는 국내 농업부문 생산액 감소는 우리나라 전체 농업생산액의 0.10% 수준으로 예상된다<표 5-9>. 그러나 RCP 6.0 시나리오에 비해 그 영향은 크게 작아진 것을 알 수 있다. RCP 8.5 시나리오에서 예측된 분석기간 온도가 RCP 6.0 시나리오에 비해 높아 상대적 생산성이 낮았고 이로 인해 국제 곡물가격이 상대적으로 높아 곡물 수입량이 적었기 때문이다. 앞선 분석 결과와 마찬가지로 RCP 6.0 시나리오에서도 단수변화의 영향에 따른 국제 곡물가격 하락은 축산부문에 가장 큰 영향을 유발하는 것으로 분석되었다.

〈표 5-9〉 RCP 8.5 시나리오하 농업부문 영향분석 결과

단위: 십억 원

구 분	2021	2025	2026	2027	2028	2029	2030	10년 누적	연평균
전체	-4.4	-31.2	-29.3	-95.0	-95.7	-58.8	-50.5	-498.6	-49.9
곡물	-4.4	-3.8	-11.4	-9.4	-7.0	-4.7	-2.0	-61.3	-6.1
- 쌀	-2.8	-5.0	-3.9	-2.6	-4.7	-2.3	-4.7	-34.8	-3.5
- 밀	-0.1	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1	-1.5	-0.1
- 보리	-0.1	-0.7	-0.5	-1.4	-1.6	-1.0	-0.6	-9.3	-0.9
- 콩	-1.2	1.7	-5.7	-3.6	-0.3	-0.7	3.0	-10.9	-1.1
- 옥수수	-0.1	0.4	-0.9	-1.4	-0.2	-0.5	0.4	-4.0	-0.4
축산	-0.0	-26.2	-17.8	-85.1	-87.2	-53.2	-47.1	-430.0	-43.0
채소·과일	-0.0	-1.3	-0.1	-0.5	-1.5	-0.8	-1.4	-7.3	-0.7
특용 및 기타	-0.0	0.0	-0.0	-0.0	0.0	-0.0	0.0	-0.0	-0.0

주: 특용 및 기타는 곡물, 축산, 채소·과일을 제외한 특용과 양잠 등을 의미함.

자료: KREI-KASMO를 활용한 분석 결과를 바탕으로 저자 작성.

2. 일반균형 모형을 활용한 국내 농업 영향 시뮬레이션

2.1. GTAP을 활용한 기후변화의 생산성 효과 분석

2.1.1. 분석개요

본 장에서는 연산가능일반균형(CGE) 모형 중 대표 사례인 GTAP(Global Trade Analysis Project) 모형을 활용하여 기후변화의 영향을 분석한다. GTAP 모형은 연구자나 정책입안자들이 국제정책 이슈에 대해 수량적 계량 분석을 가능케 하는 공개된 모형으로 접근성이 용이하며, 분석목적에 따라 데이터베이스를 조정할 수 있다는 장점이 있다. 또한 GTAP 모형은 우리나라를 포함한 전 세계 국가들을 대상으로 분석할 수 있고, 농업을 포함한 전 산업과의 관계를 고려하여 분석할 수 있다는 장점도 있다.

GTAP 모형에는 표준(standard) 모형과 이 모형을 바탕으로 개정된 여러 가지

확장 모형이 존재한다. GTAP 데이터베이스는 대체로 3~4년 주기로 갱신되는 반면, GTAP 모형은 10년 이상의 장기간 동일한 버전을 활용하고 있다. 1993년 표준 GTAP 모형이 구축된 이후 2020년 10월 현재 표준모형의 버전은 7이며, 나머지 확장 모형들은 6.2 버전을 기반으로 하고 있다. 반면, 현재 GTAP 데이터베이스는 버전 10A이며 2004년, 2007년, 2011년 및 2014년 기준 데이터를 제공하고 있다.

본 장에서는 4장에서 언급한 것처럼 표준 모형이 CO₂ 배출량, 국경탄소세, 배출권거래제 등의 정책요소를 반영하지 못하는 한계점이 있어 대표적 온실가스(Greenhouse Gas: GHG)인 CO₂ 배출량이 내생적으로 결정되는 GTAP 에너지-환경부문 모형(GTAP-E 모형)을 활용하고자 한다.⁵⁸⁾

GTAP-E 모형은 최종재 생산, 이산화탄소 배출, 탄소국경세와 배출권거래제에서의 연료 간 대체성과 에너지 및 자본 간의 대체성을 보완한 모델로 GTAP의 이론적 구조를 확장한 모형이다(McDougall and Golub 2009). 본 장에서의 분석을 위해서는 GTAP-E의 최신모형인 GTAP-E 6.pre2 버전을 활용하였다. GTAP-E 데이터베이스는 버전 10A를 기준으로 활용하고, 해당 데이터베이스는 4개의 기준 연도(2004년, 2007년, 2011년, 2014년), 121개 국가와 20개 지역(141개 국가·지역), 65개의 산업부문에 대한 투입산출표를 포함하고 있다.

2.1.2. 대상 국가(지역)와 품목(부문) 세분화

국가와 지역 그리고 품목과 부문의 집계 정도가 분석 결과에 영향을 미칠 수 있지만 CGE의 이론적, 기술적 이유로 무조건 세분화하는 것이 정확한 결과를 가져오는 것은 아니다. 따라서 최대한 단순하면서도 주요 결과를 도출하는 집계 정도가 필요하다. 본 연구가 기후변화나 관련 정책이 국내 농업부문에 미치는 영향을

58) 표준 GTAP 모형에 농업생태지역(Agro-Ecological Zone: AEZ)을 결합한 GTAP 토지이용부문 모형인 GTAP-AEZ 모형은 토지이용변화 등의 요소를 측정할 수 있으나, 아직 GTAP 데이터베이스 버전 10A를 위한 모형이 미공개된 상태임. 토지이용변화 등의 요소를 포함한 분석은 향후 연구 과제로 제시함.

중심으로 살펴보는 것이 목적이기 때문에, 대부분의 기존 연구와 달리 아시아나 OECD에 포함되어 집계되는 우리나라를 세분화하였으며, 농업부문(분석대상 작물)을 가능한 세분화하는 데 중점을 두었다.

국가 또는 지역은 다음 4가지 기준, ① 세계 작물생산에서 차지하는 비중이 높은 국가와 지역, ② 우리나라와의 농산물 교역액에서 상대적으로 높은 비중을 차지하는 국가나 지역, ③ CO₂ 배출량이 상대적으로 많은 국가와 지역, ④ GTAP-E의 국가와 지역 집계 기준 등을 바탕으로 세분화하였다<표 5-10>.

〈표 5-10〉 지역 집계를 위한 상위국가 기준

단위: %, 백만 달러, 백만톤 CO₂eq

국가	세계 작물 생산 비중	국가	대한국 농산물 교역액	국가	CO ₂ 배출량
중국	21.2	미국	7,548	중국	7,997
미국	9.3	중국	3,750	미국	5,156
인도	9.0	호주	2,424	인도	1,912
브라질	4.8	일본	1,707	러시아	1,412
인도네시아	4.1	브라질	1,640	일본	1,034

주: 세계 작물 생산 비중은 4% 이상, 우리나라와의 농업 교역액(2014년 기준)은 10억 달러 이상, CO₂ 배출량(2014년 기준)은 1,000Mt CO₂eq 이상인 국가를 포함함.

자료: Costinot et al.(2016); McDougall and Golub(2009); KATI 농식품수출정보(<https://www.kati.net/index.do#>, 검색일: 2020. 10. 5.).

상위 기준에 따라 개별 국가와 지역 그리고 개별 국가 이외의 국가와 지역그룹으로 세분화된 대상 국가와 지역은 <표 5-11>과 같이 18개 지역으로 세분화하였다.⁵⁹⁾ 국가와 지역그룹은 10개 지역으로 오세아니아(호주, 뉴질랜드 포함), 동아시아(한국, 중국, 일본 제외), 동남아시아(인도네시아 제외), 남아시아(인도 제외), EU, 중동·북아프리카, 사하라 이남 아프리카, 북아메리카(미국 제외), 라틴아메리카(브라질 제외), 기타국가(ROW) 등이며 개별 국가 8개국은 한국, 중국, 일본, 인도네시아, 인도, 미국, 브라질, 러시아 등으로 세분화하였다.

59) 표준 GTAP 모형은 121개 국가(지역)와 65개 부문(산업)을 포함함.

〈표 5-11〉 국가(지역) 세분화(18개 지역)

번호	집계지역 코드	집계지역 설명	포함된 지역
1	Oceania	오세아니아	Australia; New Zealand; Rest of Oceania.
2	kor	한국	Korea.
3	chn	중국	China.
4	jpn	일본	Japan.
5	EastAsia	동아시아	Hong Kong; Mongolia; Taiwan; Rest of East Asia; Brunei Darussalam.
6	idn	인도네시아	Indonesia.
7	SEAsia	동남아시아	Cambodia; Lao People's Democratic Republ; Malaysia; Philippines; Singapore; Thailand; Viet Nam; Rest of Southeast Asia.
8	ind	인도	India.
9	SouthAsia	남아시아	Bangladesh; Nepal; Pakistan; Sri Lanka; Rest of South Asia.
10	usa	미국	United States of America.
11	NAmerica	북아메리카	Canada; Mexico; Rest of North America.
12	bra	브라질	Brazil.
13	LatinAmer	라틴아메리카	Argentina; Bolivia; Chile; Colombia; Ecuador; Paraguay; Peru; Uruguay; Venezuela; Rest of South America; Costa Rica; Guatemala; Honduras; Nicaragua; Panama; El Salvador; Rest of Central America; Dominican Republic; Jamaica; Puerto Rico; Trinidad and Tobago; Caribbean.
14	EU	EU	Austria; Belgium; Bulgaria; Croatia; Cyprus; Czech Republic; Denmark; Estonia; Finland; France; Germany; Greece; Hungary; Ireland; Italy; Latvia; Lithuania; Luxembourg; Malta; Netherlands; Poland; Portugal; Romania; Slovakia; Slovenia; Spain; Sweden; United Kingdom.
15	MENA	중동 ·북아프리카	Bahrain; Iran Islamic Republic of; Israel; Jordan; Kuwait; Oman; Qatar; Saudi Arabia; Turkey; United Arab Emirates; Rest of Western Asia; Egypt; Morocco; Tunisia; Rest of North Africa.
16	SSA	사하라이남 아프리카	Benin; Burkina Faso; Cameroon; Cote d'Ivoire; Ghana; Guinea; Nigeria; Senegal; Togo; Rest of Western Africa; Central Africa; South Central Africa; Ethiopia; Kenya; Madagascar; Malawi; Mauritius; Mozambique; Rwanda; Tanzania; Uganda; Zambia; Zimbabwe; Rest of Eastern Africa; Botswana; Namibia; South Africa; Rest of South African Customs .
17	rus	러시아	Russian Federation.
18	ROW	기타국가	Switzerland; Norway; Rest of EFTA; Albania; Belarus; Ukraine; Rest of Eastern Europe; Rest of Europe; Kazakhstan; Kyrgyzstan; Tajikistan; Rest of Former Soviet Union; Armenia; Azerbaijan; Georgia; Rest of the World.

주: 동아시아는 한국, 일본, 중국 제외, 동남아시아는 인도네시아 제외, 남아시아는 인도 제외, 북아메리카는 미국 제외, 라틴아메리카는 브라질 제외 각 지역의 국가들로 이루어져 있음.

자료: GTAP 자료(Aguiar et al. 2019)를 활용하여 저자 작성.

품목과 부문의 세분화는 가능한 작물 품목을 최대한 세분화하는 데 중점을 두어 집계하였다. 작물 이외 축산물, 임산물, 수산물은 기타 1차산물로 집계하고, 가공품은 식품으로 집계하였으며 나머지는 GTAP-E의 기본 부문 집계 기준을 따랐다. 이런 기준에 따라 다음과 같이 개별 부문과 부문 그룹을 17개로 집계하였다 <표 5-12>. 개별 작물 8개 품목은 쌀, 밀, 기타곡물, 채소과일(채소·과일·견과류), 유지작물, 설탕작물(사탕수수·사탕무), 섬유작물, 기타작물 등이며 부문 그룹 9개는 기타 1차산물, 식품, 석탄, 원유, 가스, 정제유 제품, 전기, 에너지집약산업, 기타 산업 등으로 세분화하였다.

이처럼 연구의 목적에 부합하도록 특정 요소를 기준으로 데이터베이스를 재조정했으나 이와 같은 요소는 시나리오 설정이나 분석 목적에 따라 다소 달라질 수 있다. 가령, 부문의 경우 CO₂ 배출량이나 에너지 관련 산업 분석이 연구의 목적이 아닌 경우 기타 산업 등으로 집계가 가능할 것이며, 국가와 지역의 경우 지리적 위치가 아닌 경제권역으로 집계를 하는 것도 가능할 것이다.

〈표 5-12〉 작물 및 부문 세분화 내역(17개 부문)

번호	집계부문 코드	집계부문 설명	포함된 부문
1	pdr	쌀	Paddy rice.
2	wht	밀	Wheat.
3	gro	기타곡물	Cereal grains nec.
4	v_f	채소과일	Vegetables, fruit, nuts.
5	osd	유지작물	Oil seeds.
6	c_b	설탕작물	Sugar cane, sugar beet.
7	pfb	섬유작물	Plant-based fibers.
8	ocr	기타작물	Crops nec.
9	Agr	기타1차산물	Bovine cattle, sheep and goats; Animal products nec; Raw milk; Wool, silk-worm cocoons; Forestry; Fishing.
10	Food	식품	Bovine meat products; Meat products nec; Vegetable oils and fats; Dairy products; Processed rice; Sugar; Food products nec; Beverages and tobacco products.
11	Coal	석탄	Coal.
12	Oil	원유	Oil.
13	Gas	가스	Gas; Gas manufacture, distribution.
14	Oil_pcts	정제유상품	Petroleum, coal products.

(계속)

번호	집계부문 코드	집계부문 설명	포함된 부문
15	Electricity	전기	Electricity.
16	En_Int_ind	전기집약산업	Minerals nec; Chemical products; Basic pharmaceutical products; Rubber and plastic products; Mineral products nec; Ferrous metals; Metals nec.
17	Oth_ind_ser	기타산업	Textiles; Wearing apparel; Leather products; Wood products; Paper products, publishing; Metal products; Computer, electronic and optic; Electrical equipment; Machinery and equipment nec; Motor vehicles and parts; Transport equipment nec; Manufactures nec; Water; Construction; Trade; Accommodation, Food and service; Transport nec; Water transport; Air transport; Warehousing and support activities; Communication; Financial services nec; Insurance; Real estate activities; Business services nec; Recreational and other service; Public Administration and defence; Education; Human health and social work activities; Dwellings.

자료: GTAP 자료(Aguiar et al. 2019)를 활용하여 저자 작성.

2.1.3. 기후변화 영향 시나리오 설정

일반균형 모형에서의 시나리오는 기후변화나 이상기후 등 기후요인과 정책변화 등의 외부충격이 발생하기 이전의 정상상태를 나타내는 기준(Baseline) 시나리오, 기후요인과 정책변화로 인해 외부충격이 발생한 이후의 변화된 상태를 나타내는 정책 시나리오로 구성될 수 있다.

가. 기준(baseline) 시나리오

기후변화 영향 시나리오에서 기준 시나리오는 기후변화로 인한 생산성 변화가 없는 정상상태의 평년 대비 2050년 전망을 의미한다. 거시경제변수에 대한 기준 시나리오 설정을 위해 IIASA(International Institute for Applied Systems Analysis)⁶⁰⁾,

60) International Institute for Applied Systems Analysis(<https://tntcat.iiasa.ac.at/SspDb/dsd?Action=htmlpage&page=about>: 2020. 6. 2.) 참조.

CEPII(Research and Expertise on the World Economy)⁶¹⁾, FAO-GAEZ(Global Agro-Ecological Zones)⁶²⁾에서 제공하는 2041년부터 2070년까지의 2050년대 실질 GDP, 인구, 경작가능토지⁶³⁾, 노동력, 물적자본 전망 등 5개 거시경제변수를 활용하였다.

특히, 기후변화 시나리오인 공통사회경제경로(Shared Socioeconomic Pathways: SSP) 가운데 기후변화의 완화와 적응 도전이 중간 수준인 SSP2 시나리오 기반 전망 자료를 활용하였다(Riahi et al. 2017). 거시경제변수의 기준시나리오 설정을 위한 전망자료의 출처와 전망자료는 <표 5-13>과 <표 5-14>와 같다.

〈표 5-13〉 시나리오 전망 자료 출처(SSP2 기준)

거시경제변수	출처
실질 GDP와 인구 전망	IIASA: SSP2 Database(Riahi et al. 2017)
노동력 및 물적자본 전망	CEPII: EconMap 버전 2.4(Fouré et al. 2013)
경작가능토지 전망	FAO-GAEZ: 버전 3.0(Fischer et al. 2012) IIASA-GAEZ: 버전 3.0(Fischer et al. 2012)

자료: 저자 작성.

〈표 5-14〉 베이스라인 시나리오를 위한 거시경제변수 변화율 전망

단위: %					
지역	실질 GDP	인구	노동력	물적자본	경작가능토지
오세아니아	139.84	48.35	52.76	178.03	-11.03
한국	122.11	-5.29	-2.31	242.59	-5.38
중국	294.18	-7.05	-22.09	637.66	3.22
일본	30.43	-13.93	-17.26	59.92	1.88
동아시아	104.44	2.43	15.46	214.12	137.34

61) CEPII(Research and Expertise on the World Economy)(http://www.cepii.fr/CEPII/en/bdd_modele/presentation.asp?id=11, 검색일: 2020. 6. 2.) 참조.

62) FAO-GAEZ(<http://www.fao.org/nr/gaez/programme/en/>, 검색일: 2020. 6. 2.)와 International Institute for Applied System Analysis(IIASA)(<http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/13290/>, 검색일: 2020. 6. 2.) 참조.

63) 전망기간 평균 작물별 경작이 적합한 토지(매우 적합, 적합, 대체로 적합, 약간 적합 토지의 합)를 경작가능토지로 간주함.

(계속)

지역	실질 GDP	인구	노동력	물적자본	경작가능토지
인도네시아	428.18	15.43	37.27	197.62	-14.28
동남아시아	286.53	22.94	31.33	316.51	-21.34
인도	480.47	34.27	52.71	460.82	-13.48
남아시아	451.79	47.99	65.20	287.31	-17.12
미국	89.18	25.59	18.53	90.89	-0.67
북아메리카	139.87	27.34	29.58	162.99	73.26
브라질	150.12	15.07	15.87	164.87	-35.20
라틴아메리카	207.74	24.33	41.50	184.00	-19.22
EU	77.67	5.92	-6.59	89.33	30.77
중동·북아프리카	244.21	45.81	46.74	210.71	-12.88
아프리카	562.64	89.77	137.46	428.07	-18.98
러시아	139.35	-4.21	-17.54	196.28	80.28
ROW	171.80	3.62	-1.70	186.59	19.75

주: 수치는 평년 대비 2050년의 변화율을 의미함.

자료: Riahi et al.(2017); Fouré et al.(2013); Fischer et al.(2012)을 활용하여 저자 작성.

나. 작물의 생산성 변화 시나리오

미래 기후변화 시나리오는 기후변화로 인한 작물 단수 또는 생산성 변화가 있는 상태를 의미한다. 국가와 지역으로 집계된 과거 기후에 따른 생산성과 미래 기후변화 시나리오에 따른 생산성을 사용하여 생산성 변화율을 도출하였다. 즉, 기준 시나리오에서 기후변화로 인한 생산성 충격(단수 변화)을 국가와 지역별, 작물별로 부여하였다.

미래 기후변화 시나리오에 따른 FAO-GAEZ의 작물별 생산성은 과거 30년 평균 평년 대비 2041년부터 2070년까지의 2050년대 평균 단수를 활용한다. FAO-GAEZ는 작물별 영국기상청 해들리 센터의 SRES(Special Report on Emissions Scenarios) 시나리오 가운데 A1FI 모형 시나리오(미래 기후 시나리오)의 전망을 활용하여 인위적인 온실가스 감축 노력이 없는 기준 시나리오(Business as Usual: BAU) 상태의 기후와 작물별 생산성 변화를 활용한다. 한편 IPCC의 4차 평가보고서(Assessment Report 4: AR4)의 SRES A1FI 시나리오는 급속한 경제성장, 낮은 인구증가, 새롭고 효율적인 기술의 빠른 도입, 세계통합 등의 특성을 가

진 화석연료를 집중적으로 활용하는 사회를 가정한다. 이 시나리오는 기준 시나리오로 여겨지는 IPCC AR5의 RCP 8.5 시나리오와 유사한 기온 전망을 제시한다 (Rogelj et al. 2012).⁶⁴⁾

GAEZ 데이터는 기후 정보, 토양 정보, 품목별 생산성 정보 등이 그리드 단위로 구성되어 있다. 이 데이터는 토양, 지형, 고도, 기후 등의 조건에 따른 작물별 수확량, 생산성 등을 예측하는데, 여기서 주목할 점은 현재 시점의 경작 여부에 관계없이 예측치를 제공한다는 점이다. 따라서 전망치와 현재 시점의 실제 수치 간 차이가 있을 수 있으며, 절대적인 생산성보다는 생산성 변화율을 시나리오에 반영하는 것이 보다 바람직할 것으로 판단된다.

기후변화로 인한 작물 전체의 생산성 변화율을 살펴보면 북아메리카와 러시아를 제외하면 대부분의 지역에서 기준 시나리오 대비 감소하는 것으로 전망된다. 그러나 작물별 생산성 변화는 지역별로 상이하며, 생산성이 증가한 작물과 지역도 존재한다<표 5-15>. 우리나라의 경우 기후변화로 인해 기준 시나리오 대비 쌀

64) IPCC AR4의 SRES 시나리오는 6개 시나리오(A1FI, A1T, A1B, B1, A2, B2)로 나뉘며, 현재의 기후정책 외의 추가 기후정책을 포함하지 않음. 미래 기후변화에 대한 평가에는 온실가스 배출량 전망이 폭넓게 사용되고 사회경제적, 인구통계적, 기술적 변화에 관한 기본 가정들이 최근의 기후변화 취약성과 영향 평가에 입력 자료로써 사용됨. A1 시나리오는 세계 경제의 매우 급속한 성장, 낮은 인구 증가, 새롭고 좀 더 효율적인 기술의 급속한 도입을 가정하며, A1 시나리오를 설명하는 기술변화 방향에 따라 화석 집약적(A1FI), 비화석 에너지 자원(A1T), 모든 자원 간의 균형(A1B)으로 나뉨. B1 시나리오는 지구 인구는 A1과 같지만 경제구조는 서비스 및 정보 경제 쪽으로 좀 더 급속히 변하는 수렴적 세계를 가정함. A2 시나리오는 인구증가율이 높고 경제발달은 느리며 기술변화도 느린 매우 이질적인 세계를 가정함. B2 시나리오는 인구와 경제 성장이 A1과 B1의 중간인 세계를 기술하며 경제적, 사회적, 환경적 지속가능성에 대한 지역적 해결책을 중시함. IPCC AR5의 RCP 시나리오는 사회별·경제유형별 온실가스 배출량을 설정 후 기후변화 시나리오를 산출했던 SRES와 달리 온실가스 농도값을 설정한 후 기후변화 시나리오를 산출하여 그 결과의 대책으로 사회·경제 분야별 온실가스 배출 저감 정책을 결정하는 것이 특징임. RCP 시나리오는 다음 4가지 시나리오로 구성됨. RCP2.6은 인간 활동에 의한 영향을 지구 스스로가 회복 가능한 경우(실현 불가), RCP4.5는 온실가스 저감정책이 상당히 실현되는 경우, RCP6.0은 온실가스 저감 정책이 어느 정도 실현되는 경우, RCP8.5는 저감 없이 현재 추세로 온실가스가 배출되는 경우(기준 시나리오)임(기후변화홍보포털(<https://www.gihoo.or.kr/portal/kr/biz/scenario.do>, 검색일: 2020. 10. 7.)과 기상청 기후정보포털-기후변화시나리오(http://www.climate.go.kr/home/CCS/contents/31_Introduce.php#, 검색일: 2020. 10. 7.)를 참고하여 요약 정리).

생산성(단수)이 증가할 것으로 예측되지만, 나머지 작물은 생산성이 감소할 것으로 전망된다. 일본의 경우 유지작물의 생산성 증가를 제외하면 나머지 작물의 생산성이 감소하며, 중국의 경우 옥수수를 포함하는 기타곡물, 설탕작물, 섬유작물의 생산성 증가가 예측된다. 브라질의 기타곡물의 생산성은 증가하는 반면, 나머지 작물의 생산성은 감소할 전망이다. 러시아와 북아메리카(캐나다, 멕시코)의 경우 기후변화로 인해 쌀을 제외한 대다수 작물의 생산성이 증가할 것으로 보이는 반면, 미국과 중동·북아프리카의 경우 모든 작물의 생산성이 감소할 전망이다.

〈표 5-15〉 기후변화 영향 시나리오를 위한 작물 생산성 변화율 전망

단위: %

지역	작물 전체	쌀	밀	기타 곡물	채소 과일	유지 작물	설탕 작물	섬유 작물	기타 작물
오세아니아	-2.48	-2.26	2.01	0.66	1.71	3.71	2.70	-3.99	-53.74
한국	-15.97	1.81	-7.32	-8.78	-10.69	-12.27	-30.62	-9.73	-59.62
중국	-3.53	-0.52	-2.80	6.90	-4.85	-1.27	10.69	3.46	-56.00
일본	-4.40	-0.26	-11.88	-0.06	-1.06	4.44	-0.05	-13.58	-58.57
동아시아	-10.32	-	-11.45	3.73	-25.45	-2.15	-6.07	-6.23	-55.44
인도네시아	-6.10	2.19	9.02	6.67	-3.91	0.91	-6.73	16.62	-61.75
동남아시아	-9.51	2.61	-17.47	4.79	-13.14	-0.87	-12.62	3.48	-57.62
인도	-1.11	7.52	-20.21	9.33	-5.06	-0.43	3.31	8.12	-48.48
남아시아	-6.85	-2.26	-0.77	3.22	-8.86	-0.03	-2.01	-7.01	-61.28
미국	-7.57	-9.73	-5.84	-3.77	-5.41	-6.49	-3.75	-10.40	-58.07
북아메리카	12.39	-13.12	34.20	25.26	6.46	18.47	11.71	18.61	-58.05
브라질	-14.46	-6.18	-0.73	3.36	-12.02	-12.87	-9.46	-5.16	-53.46
라틴아메리카	-8.32	-8.46	1.40	7.40	-7.72	-5.57	-8.33	7.87	-58.08
EU	-5.03	-10.87	1.79	5.53	1.13	2.13	-11.18	-5.51	-57.70
중동·북아프리카	-4.77	-30.04	-4.89	-1.83	-2.77	-5.91	-0.97	-11.79	-62.37
아프리카	-2.85	1.15	8.81	9.71	-2.75	4.16	-12.63	4.98	-45.13
러시아	10.24	-39.13	23.99	23.67	4.90	14.55	5.20	1.81	-57.48
ROW	-4.70	-28.96	0.26	6.51	-2.84	-4.18	-14.28	-18.67	-51.79

자료: Fischer et al.(2012)을 활용하여 저자 작성.

2.1.4. 기후변화의 생산성 충격으로 인한 국내 농업 영향 시뮬레이션

기준 시나리오는 거시경제변수와 투입요소 변화율을 외생적으로 반영하여 결정된 2050년대의 전망치이다. 기후변화에 따른 미래 기후시나리오의 전망치는 베이스라인 대비 변화율(%)로 해석할 수 있다. 먼저, 우리나라 농업부문에 미치는 영향을 살펴보기에 앞서 기후변화로 인한 생산성 충격(작물 단위변화)이 거시경제에 미치는 영향을 국가별·지역별로 살펴보았다. 이를 위해서 <표 5-15>에서 제시된 기후변화에 따른 작물생산성 변화를 전망치를 GTAP-E에 적용하였다.

기준 시나리오에서 기후변화로 인해 작물 생산성 변화 충격이 있는 경우, 시나리오(시나리오 Y)에 따른 전 세계 GDP 변화(후생 변화), 총수출입, 교역조건 등 거시경제에 미치는 영향은 <표 5-16>과 같다. 기후변화로 인해 작물의 생산성이 변화할 경우 대부분의 국가에서 GDP가 감소하는 것으로 나타났으며, 이는 기존 연구들의 결과와 일치한다. 이는 앞 절의 분석 결과처럼 전체 작물의 생산성이 일부 북아메리카(캐나다, 멕시코)와 러시아를 제외하고 대부분의 지역에서 감소하였기 때문인 것으로 판단된다. 작물의 생산성 변화로 GDP의 감소가 두드러지는 국가는 중국, 인도네시아, 동남아시아, 인도, 남아시아, 사하라 이남 아프리카 등인 반면, 작물의 전반적인 생산성 증가로 북아메리카와 러시아의 GDP는 기준 시나리오 대비 증가하는 것으로 나타났다. 기후변화의 효과가 작물의 생산성 변화와 관련되기 때문에 대체로 GDP에서 농업생산이 차지하는 비중이 높은 국가들에게서 GDP 변화가 크게 나타났다.

국가와 지역의 전체 품목 가운데 총수입과 총수출 전망을 살펴보면 무역의 균형을 위해 기후변화 효과가 대부분 수출입 간에 상반된 결과를 보이는 것으로 나타났다. 각 지역의 산업구조 등이 상이하여 작물 생산성 변화가 미치는 영향도 다양하게 나타나고 있다.

중국, 동남아시아, 인도, 남아시아, 아프리카 등을 제외하고 대부분 기후변화로 인해 총수입이 증가하고 총수출이 감소하는 경향을 보인다. 마찬가지로 수입단가 대비 수출단가로 나타내는 교역조건은 총수출과 반비례하는 것으로 분석되어 총

수출이 증가하는 경우 악화되는 것으로 나타났다. 우리나라의 경우 기후변화로 인해 베이스라인 대비 총수출이 증가하고 총수입이 감소하였음에도 불구하고 교역조건이 악화하는 것으로 나타났다.

〈표 5-16〉 거시경제 변화 전망(시나리오 Y)

단위: 십억 달러, %

지역	실질 GDP		총수입		총수출		교역조건
	베이스라인	기후변화 효과	베이스라인	기후변화 효과	베이스라인	기후변화 효과	기후변화 효과
오세아니아	2,492	0.2	523	10.7	500	-8.7	9.0
한국	1,598	-0.2	702	1.1	1,124	-0.6	-2.4
중국	18,470	-2.4	2,840	-6.3	10,773	20.9	-12.7
일본	3,565	-1.0	815	5.3	924	-7.6	1.8
동아시아	1,053	-1.3	592	2.9	881	-2.5	0.4
인도네시아	2,388	-1.8	420	1.9	395	-3.9	5.8
동남아시아	3,550	-2.4	2,194	-3.4	2,137	3.4	-4.7
인도	7,417	-6.3	1,531	-17.0	972	35.4	-15.2
남아시아	2,102	-6.5	463	-17.2	285	34.4	-25.4
미국	26,190	-0.1	5,631	16.8	1,084	-11.3	17.4
북아메리카	4,959	1.0	1,593	14.0	1,131	-6.2	10.1
브라질	4,613	-1.4	672	16.0	248	-25.0	45.2
라틴아메리카	5,505	-2.3	1,195	1.5	719	-6.3	10.4
EU	21,148	-1.5	7,741	5.9	6,170	-13.1	15.9
중동·북아프리카	9,560	-0.9	2,829	0.6	2,816	0.0	-3.4
아프리카	10,882	-1.9	1,804	-3.4	1,402	2.1	-3.3
러시아	3,217	0.3	651	8.6	804	0.7	-1.1
ROW	3,610	-1.5	1,250	2.6	1,077	-4.7	4.8

주: 베이스라인은 절대치이며, 기후변화 효과는 기준 시나리오(베이스라인) 대비 기후변화 효과로 인한 변화율임.

자료: 저자 작성.

다음으로 기후변화(시나리오 Y)가 국내 농식품 생산과 소비에 미치는 영향을 품목별로 살펴보았다<표 5-17>. 기준 시나리오는 생산성 변화가 없는 2050년대의 실질 생산액과 소비액의 전망치이다. 작물별로 살펴보면 기후변화로 인한 생산성 변화가 대부분의 작물 생산과 소비에 부정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 하지만 설탕작물과 차, 담배 등이 포함되는 기타작물의 생산에는 긍정적인 영

향을 미치는 것으로 나타났다. 생산의 경우 밀과 유지작물에 상대적으로 큰 영향을 미치며 소비의 경우 밀, 유지작물, 섬유작물, 기타작물에 상대적으로 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

〈표 5-17〉 농식품의 국내 생산과 소비 변화 전망

단위: 백만 달러, %

품목	생산		소비	
	베이스라인	기후변화 효과	베이스라인	기후변화 효과
쌀	22,656	-4.2	56	-1.1
밀	2,613	-16.8	99	-13.3
기타곡물	1,352	-9.9	44	-9.1
채소과일	6,205	-5.1	2,464	-4.7
유지작물	1,772	-12.8	219	-19.5
설탕작물	561	2.5	233	-1.1
섬유작물	1,277	-2.3	10	-18.3
기타작물	1,070	15	67	-14.9
기타1차산물	53,808	-3.4	6,809	-9.3
식품	135,941	-4.6	51,228	-10.2

주 1) 베이스라인은 절대치이며, 기후변화 효과는 기준 시나리오(베이스라인) 대비 기후변화 효과로 인한 변화율임.

2) GTAP 모형 내 생산과 소비의 정의가 상이하여 베이스라인 수치 간에 차이가 발생함. 가령, 쌀의 경우 생산은 소비자나 기업을 대상으로 한 원료용 쌀 생산을 의미하는 반면, 소비는 민간가구(private household)만을 대상으로 한 식용 쌀에 국한됨.

자료: 저자 작성.

기후변화로 인한 국내 농식품의 수출입 변화를 살펴보면 작물별로 그 영향이 다양하게 나타나고 있다<표 5-18>. 우리나라 농식품 수입의 경우 밀, 채소·과일, 유지작물, 설탕작물 등을 제외한 품목은 기후변화로 인해 수입이 감소하는 것으로 전망된다. 특히 쌀 수입은 큰 폭으로 감소하는 것으로 나타나는데 이는 기준 시나리오 수입액이 작아서 전체 농식품 수입에 미치는 영향은 크지 않을 것으로 판단된다. 반면에 설탕작물도 변화율이 매우 크게 나타났으나 수입액 자체가 미미한 수준이다. 농식품 수출의 경우 쌀, 기타작물, 식품 이외의 품목 수출은 기후변화로 인해 감소하는 것으로 나타났다. 수출액이 상대적으로 큰 채소·과일의 경우 기후변화 효과가 수입보다 크게 나타난 반면, 가공식품은 기후변화로 인해 수출

액이 증가하는 것으로 전망되었다.

소비 대비 수입 비중은 쌀을 제외하고 증가하는 것으로 나타났으며, 생산 대비 수출 비중은 대체로 감소하는 것으로 나타났다. 수출액과 수입액이 작은 쌀과 설탕작물을 제외하면, 전반적으로 기후변화로 인해 국내소비에서 외국산이 차지하는 비중은 높아지는 동시에 생산에서 수출이 차지하는 비중은 작아지면서 국내 농산물 생산자에게 부정적인 영향을 미칠 가능성이 있는 것으로 분석되었다.

〈표 5-18〉 국내 농식품의 수출입과 수입비중 및 수출비중 변화 전망

단위: 백만 달러, %

품목	수입		수입/소비	수출		수출/생산
	베이스라인	기후변화 효과	기후변화 효과	베이스라인	기후변화 효과	기후변화 효과
쌀	21.8	-48.8	-47.7	0.2	276.6	280.8
밀	2,591.3	8.9	21.7	0.5	-39.5	-22.8
기타곡물	17,046.6	-4.0	1.6	2.1	-20.4	-10.5
채소과일	6,072.0	0.8	1.8	991.3	-6.6	-1.5
유지작물	14,074.6	2.5	24.7	48.6	-57.7	-44.9
설탕작물	0.8	167.9	169.0	9.3	-85.8	-88.2
섬유작물	1,931.4	-1.4	16.7	35.1	-1.3	1.0
기타작물	3,417.6	-0.4	18.2	549.4	38.5	23.5
기타1차산물	8,179.0	-4.5	4.2	3,455.0	0.0	3.4
식품	32,962.0	-3.9	5.7	6,402.2	3.5	8.1

주: 베이스라인은 절대치이며, 기후변화 효과는 기준 시나리오(베이스라인) 대비 기후변화 효과로 인한 변화율임.

자료: 저자 작성.

기후변화로 인한 국내 생산자가격과 소비자가격이 받은 영향 또한 살펴보았다. 2050년대 기준 시나리오에 비해 전반적으로 생산자가격과 소비자가격은 비슷한 비율로 상승하는 수치를 나타냈다<표 5-19>. 생산자가격과 소비자가격의 경우 기후변화로 인한 설탕작물과 기타작물의 변화폭이 큰 편이며, 생산과 소비가 상대적으로 큰 채소·과일의 경우에도 가격 변화율이 높은 것으로 분석되었다. 또한, 앞서 살펴본 바와 같이 수입비중 상승과 수출비중 하락에 더불어 생산자가격과 소비자가격 변화율 비교 시 대체로 생산자가격 변화율이 보다 클 것으로 전망된다.

〈표 5-19〉 농식품의 국내 가격 변화 전망

단위: %

품목	생산자가격	소비자가격
쌀	14.3	14.3
밀	18.4	14.9
기타곡물	27.4	19.3
채소과일	41.1	38.3
유지작물	43.1	31.6
설탕작물	109.0	109.0
섬유작물	34.1	34.5
기타작물	523.7	495.5
기타1차산물	10.9	11.2
식품	15.1	14.9

주: 기후변화 효과는 기준 시나리오(베이스라인) 대비 기후변화 효과로 인한 변화율임.
자료: 저자 작성.

2.2. GTAP을 활용한 기후변화 정책 효과 분석

2.2.1. 기후변화 정책 시나리오 설정

본 절에서는 제2.1절에서 살펴본 기준 시나리오를 바탕으로 기후변화 대응조치 가운데 완화와 관련된 배출권거래제(Emissions Trading System: ETS)와 무역자유화 조치 등 정책 요인을 GTAP-E에 반영하여 기후변화의 영향을 살펴보았다. 먼저, 배출권거래제는 비용효과적이며 온실가스 전체 감축량을 명확하게 설정하는 것이 가능하다는 장점이 있다. 배출권거래는 상대적으로 국제거래시장의 합의 가능성이 높기 때문에 국가 간의 배출권거래 시장이 연계되어 확장되면 온실가스 감축과 농업 생산 또는 무역에 어떠한 영향을 미치는지를 분석할 수 있다. 현재 대부분의 ETS가 국가 단위나 지역 단위에서 거래되고 있으나, 본 연구에서는 EU의 ETS 경우와 캐나다 퀘벡-미국 캘리포니아 등과 같이 거래시장이 연계되는 경우를 가정한다. 추가적으로 국제무역의 확대가 기후변화 영향을 완화한다는 선행연구(Gouel and Laborde 2018)를 바탕으로 무역자유화의 시나리오로 추가 설정하

여 분석하고자 한다. 무역자유화 조치와 관련하여 비관세조치 등 무역제한조치의 완화 등을 적용할 수 있으나 현재 지속적으로 낮아지고 있는 관세율 하락에 초점을 맞추어 분석을 진행하고자 한다.

기후변화 정책 요인을 추가한 시나리오는 <표 5-20>과 같이 다섯 가지로 정리할 수 있다. 먼저, 기준(Baseline: B) 시나리오는 앞 절에서 설명한 2050년대 기준 시나리오와 동일하다. 다음으로 시나리오 Y는 기준 시나리오(B 시나리오)에서 기후변화로 인한 생산성 변화 충격이 있을 경우의 시나리오이며, 앞에서 설명한 바와 같이 기후변화로 인한 영향을 분석하는 데 활용한다. 시나리오 Y-E는 기후변화의 영향 아래에서 국제 배출권거래시장이 형성될 경우의 시나리오이다. 동 시나리오의 목적은 국제배출권시장이 형성됨에 따라 기후변화로 인한 농식품 산업에 어떤 영향을 미치는지 파악하는 것이다. 시나리오 Y-T는 기후변화의 영향 아래에서 무역자유화 조치가 시행되었을 경우의 시나리오이며, 동 시나리오는 관세율 하락으로 인한 무역자유화가 기후변화로 인한 농식품 산업의 변화에 어떠한 영향을 미치는지 분석하는 것이 목적이다. 마지막으로 시나리오 Y-E-T는 기후변화의 영향 아래에서 국제배출권시장 형성과 무역자유화 조치가 시행되었을 경우의 시나리오다. 동 시나리오의 목적은 관세율 하락에 다른 무역자유화가 동시에 이루어질 때 기후변화로 인해 농식품 산업이 어떤 영향을 미쳤는지 파악하기 위함이다.

<표 5-20> 기후변화 완화 시나리오 설정

시나리오	설명	생산성 변화	국제배출권시장	무역자유화
기준(B)	2050년대 기후변화 충격이 없는 전망	-	-	-
Y	B + 생산성 변화	○	-	-
Y-E	생산성 변화 + 국제배출권시장	○	○	-
Y-T	생산성 변화 + 무역자유화	○	-	○
Y-E-T	생산성 변화 + 국제배출권시장 + 무역자유화	○	○	○

자료: 저자 작성.

2.2.2. 기후변화 정책 시나리오별 국내 농업 영향 시뮬레이션 결과

기후변화 정책 요인인 국제배출권거래제와 무역자유화 조치 등 정책 시나리오 결과는 다음과 같다. 정책 시나리오 분석에서는 먼저, 기후변화 영향(시나리오 Y) 아래에서의 기준 시나리오(B) 대비 변화를 먼저 살펴보고, 다음으로 정책 시나리오 아래에서의 시나리오 Y 대비 변화를 정책효과로 간주하여 그 차이를 분석하였다. 시나리오 Y에 대한 결과는 이미 앞 절에서 제시되었으나 다른 시나리오와의 비교를 위해 함께 제시하였다.

가. 거시경제효과

시나리오별로 생산성 변화와 정책 도입이 전 세계의 거시경제에 미치는 영향을 비교해 보았다. 먼저, 주요 국가의 실질 GDP 변화를 살펴보면, 앞에서 살펴본 바와 같이 기후변화로 인해 러시아를 제외한 모든 국가들의 기준 시나리오 대비 GDP가 감소하는 것으로 나타났으며 특히 중국, 일본, 인도, 브라질, EU 등에서 감소율이 큰 것으로 나타났다<그림 5-6>.

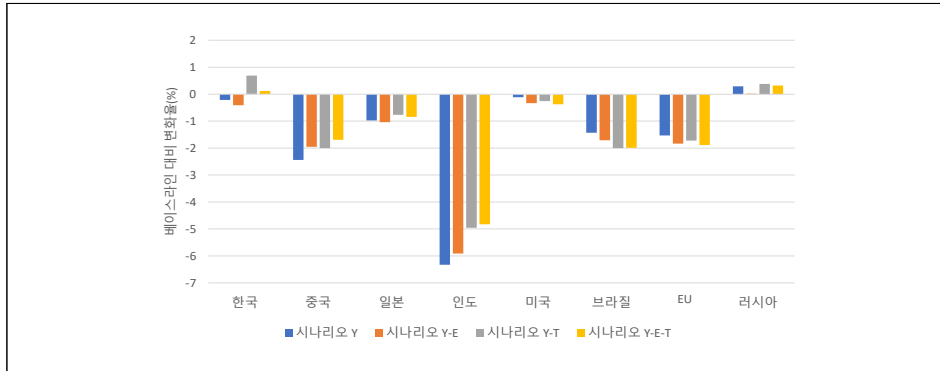
국제배출권거래제가 도입(시나리오 Y-E)될 경우, 시나리오 Y에 비해 중국과 인도의 GDP 감소가 완화되는 반면에 우리나라, 일본, 미국, 브라질, EU의 경우 GDP 감소가 심화되는 것으로 분석되었다. 이는 국제배출권거래제의 시행으로 인해 배출권 가격이 하락하면서 교역조건이 악화된 국가들의 경우 GDP 감소가 다른 국가들에 비해 보다 심화되는 것으로 판단된다.

무역자유화 조치(시나리오 Y-T)는 작물 생산성 충격으로 나타나는 기후변화의 영향(시나리오 Y)으로 인한 GDP 감소를 완화하거나 증가폭을 보다 확대하는 효과가 있는 것으로 나타났다. 특히 우리나라의 경우 무역자유화의 효과가 기후변화로 인한 GDP의 감소분을 크게 상쇄하여 기준 시나리오 대비 증가하는 것으로 분석된 반면 미국, 브라질, EU의 경우 오히려 무역자유화로 인해 GDP 감소가 보다 악화되는 것으로 분석되었다.

국제배출권거래제와 무역자유화를 함께 적용한 시나리오 Y-E-T에서는 시나리

오 Y-E와 Y의 관계에서처럼 시나리오 Y-T와 비교하여 유사한 변화 양상을 보이고 있다. 예를 들어 시나리오 Y-E가 시나리오 Y에 비해 GDP가 감소한 경우, 시나리오 Y-E-T에서도 Y-T와 비교하여 GDP가 감소하는 것으로 나타났다. 하지만 시나리오 Y와 Y-E의 관계에 비해서 그 변화폭은 상대적으로 작은 것으로 나타났다.

〈그림 5-6〉 시나리오별 주요 국가의 실질 GDP 변화 전망



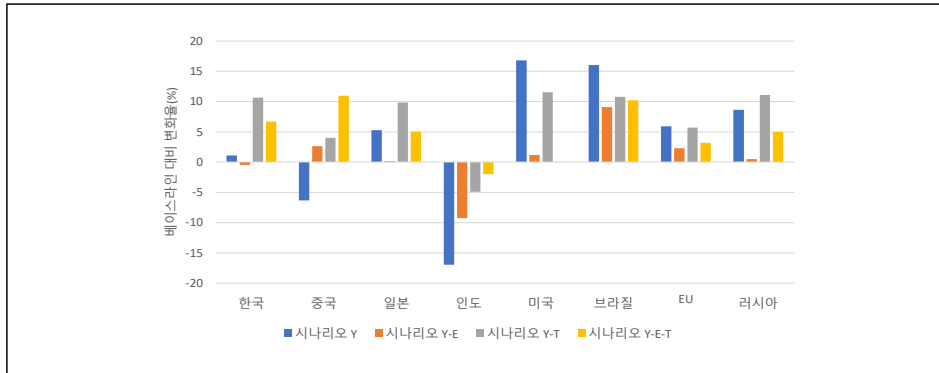
자료: 저자 작성.

기후변화 영향에 따른 시나리오별 주요 국가의 총수입에 대한 국제배출권거래제 도입(시나리오 Y-E)의 영향은 국가별로 상이하게 나타난다. 우리나라, 일본, 미국, 브라질, EU, 러시아 등과 같이 기후변화로 인해 수입이 증가하는 국가들의 경우 국제배출권 거래시장 도입이 수입을 상대적으로 크게 감소시키는 반면 중국, 인도와 같이 수입이 감소하는 국가들은 국제배출권 거래제 도입으로 수입이 증가하는 경향을 보이는 것으로 나타났다<그림 5-7>.

무역자유화(시나리오 Y-T)가 총수입에 미치는 영향 또한 국가별로 상이하지만, 대체로 기준 시나리오에 비해 더욱 증가하는 것으로 분석되었다. 하지만 기후변화 영향(시나리오 Y) 아래에서도 미국, 브라질, EU를 제외한 대부분의 국가에서 총수입이 증가하는 것으로 나타났다.

국제배출권시장 도입과 무역자유화를 함께 적용한 시나리오(Y-E-T)에서는 앞의 결과와 같은 경향을 보이고 있다. 즉, Y와 Y-E의 관계와 Y-T와 Y-E-T의 관계는 유사하지만 4가지 시나리오 간 일방적인 경향을 찾기 쉽지 않다.

〈그림 5-7〉 시나리오별 주요 국가의 총수입 변화 전망



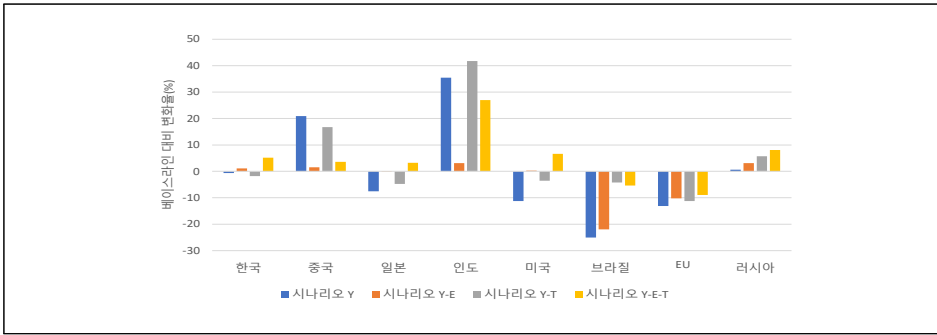
자료: 저자 작성.

기후변화 시나리오별 주요 국가의 총수출에 미치는 국제배출권거래시장 도입(시나리오 Y-E)의 영향 또한 국가별로 상이하다. 우리나라, 일본, 미국, 브라질, EU 등과 같이 기후변화로 인해 수출이 감소하는 국가들은 해당시장 도입이 수출을 상대적으로 더욱 증가시킨다. 반면 중국, 인도와 같이 수출이 크게 증가하는 국가들은 해당시장 도입이 수출을 크게 감소시키는 경향을 보이고 있다. 러시아는 예외적으로 수출이 증가함에도 불구하고 국제배출권거래제 시행으로 총수출이 증가하는 것으로 분석되었다<그림 5-8>.

무역자유화(시나리오 Y-T)가 총수출에 미치는 영향 또한 국가별로 상이하게 나타난다. 대체로 기준 시나리오에 비해 수출이 감소하지만 중국, 인도, 러시아 등의 수출은 반대로 증가하는 경향을 보이고 있다. 하지만 기후변화 영향(시나리오 Y) 아래에서 무역자유화 조치의 도입으로 우리나라와 중국 이외의 국가들은 수출 감소폭이 완화되거나 증가폭이 보다 확대되는 것으로 분석되었다.

국제배출권거래제 도입과 무역자유화를 함께 적용한 시나리오(Y-E-T)에서는 앞의 결과와 유사한 경향을 보인다. 즉, Y와 Y-E의 관계와 Y-T와 Y-E-T의 관계는 유사하지만 4개의 시나리오 간 일방적인 경향을 보이지 않는 것으로 나타났다.

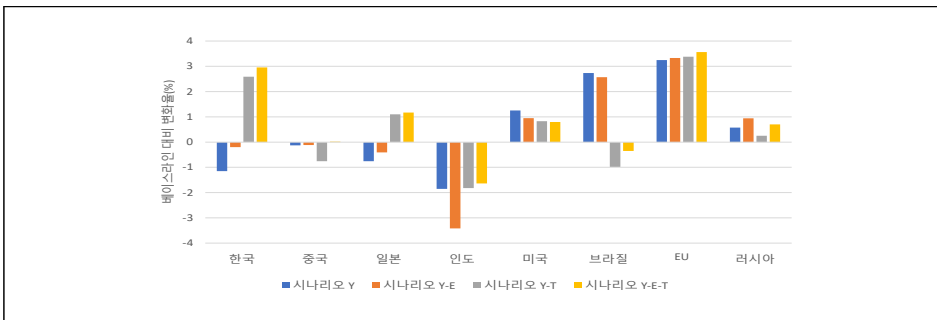
〈그림 5-8〉 시나리오별 주요 국가의 총수출 변화 전망



자료: 저자 작성.

시나리오별로 주요 국가의 CO₂ 배출량 변화를 살펴본 결과, 기후변화로 인한 생산성 감소(시나리오 Y)로 우리나라, 중국, 일본, 인도 등의 배출량은 감소하고 미국, 브라질, EU, 러시아 등의 배출량은 증가하는 것으로 나타났다<그림 5-9>. 정책 시나리오별로 살펴보면 국제배출권거래시장 도입(시나리오 Y-E)은 기후변화 영향(시나리오 Y) 아래에서 우리나라, 일본, EU, 러시아 등의 배출량을 증가시키며 인도, 미국, 브라질 등의 배출량을 감소시키는 효과를 보이는 것으로 나타났다. 무역자유화(시나리오 Y-T)는 우리나라, 일본, 인도, EU 등의 배출량을 증가시키며 중국, 브라질, 러시아 등의 배출량은 감소시키는 것으로 나타났다. 시나리오 Y-E-T의 경우 인도, 브라질을 제외하고 여타 국가들에 대한 영향은 앞의 분석과 유사한 것으로 나타났다.

〈그림 5-9〉 시나리오별 주요 국가의 CO₂ 배출량 변화 전망

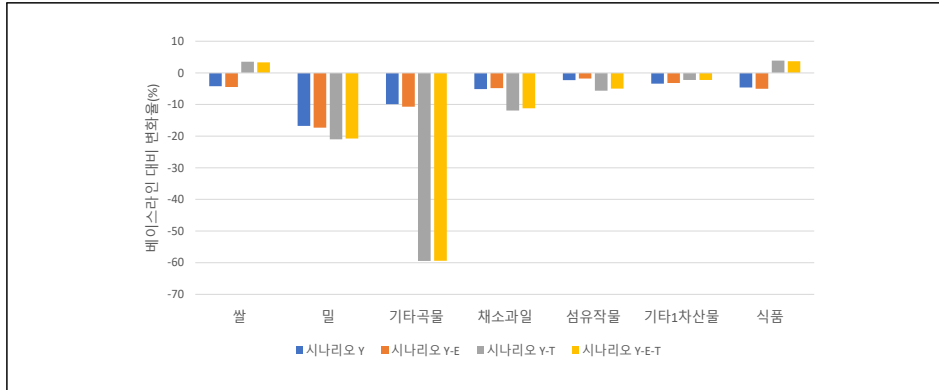


자료: 저자 작성.

나. 국내 농업 영향 전망

우리나라 주요 품목별, 부문별 생산 및 수출입과 생산자가격에 대한 정책 시나리오별 영향분석 결과는 <그림 5-10> ~ <그림 5-15>와 같다. 먼저, 시나리오별로 국내 주요 농식품에 미치는 영향을 살펴보면 다음과 같다. 농식품 생산량은 대체로 기후변화 영향(시나리오 Y)으로 인해 감소하는 경향을 보이고 있다<그림 5-10>. 국제배출권거래시장 도입(시나리오 Y-E)은 쌀, 밀, 기타곡물, 식품과 같은 품목의 생산 감소를 심화시키지만, 채소·과일, 섬유작물, 기타1차산물 등의 생산 감소를 완화시키는 경향을 보이고 있다. 무역자유화(시나리오 Y-T) 조치의 도입으로 쌀, 기타 1차산물, 식품 이외의 농식품의 생산 감소가 심화될 것으로 보이는 가운데 기타곡물의 생산 감소가 클 것으로 전망된다. 국제 배출권 거래와 무역자유화 동시 시나리오(Y-E-T)에서는 생산량 증감이 시나리오 Y-T에 비해 다소 완화되는 것으로 나타났다.

<그림 5-10> 시나리오별 국내 주요 농식품의 생산량 변화 전망

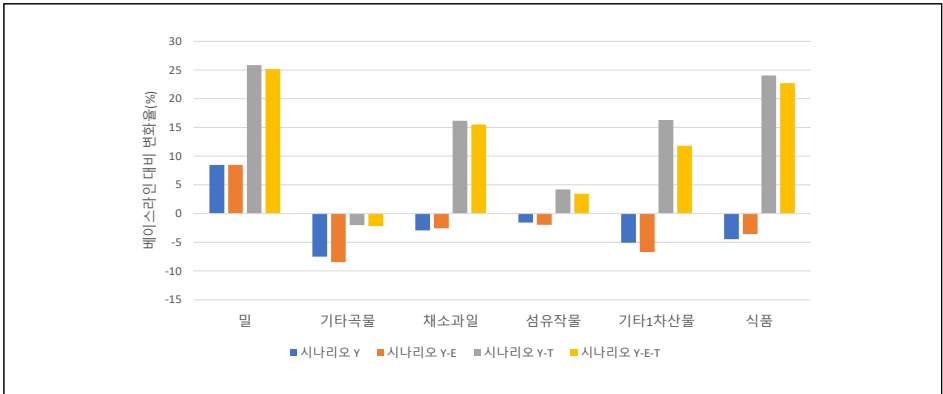


자료: 저자 작성.

농식품 수입량에 대한 시나리오별 영향의 경우, 밀 이외의 여타 품목들은 대체로 기후변화 영향(시나리오 Y)으로 인해 감소하는 경향을 보이고 있다<그림 5-11>. 국제배출권거래시장 도입(시나리오 Y-E)은 기타곡물, 섬유작물, 기타1차산물 등과 같은 품목의 수입 감소를 심화시키지만 채소·과일, 식품 등의 수입 감소

를 완화시키는 경향을 보인다. 무역자유화(시나리오 Y-T)는 대부분의 농식품 수입을 크게 증가시키며, 특히 밀과 식품의 수입증가가 두드러지는 것으로 나타났다. 국제배출권거래제와 무역자유화 조치를 동시 고려한 시나리오 Y-E-T에서는 수입량 증감이 기타곡물을 제외하고 시나리오 Y-T에 비해 다소 완화되는 것으로 나타났다.

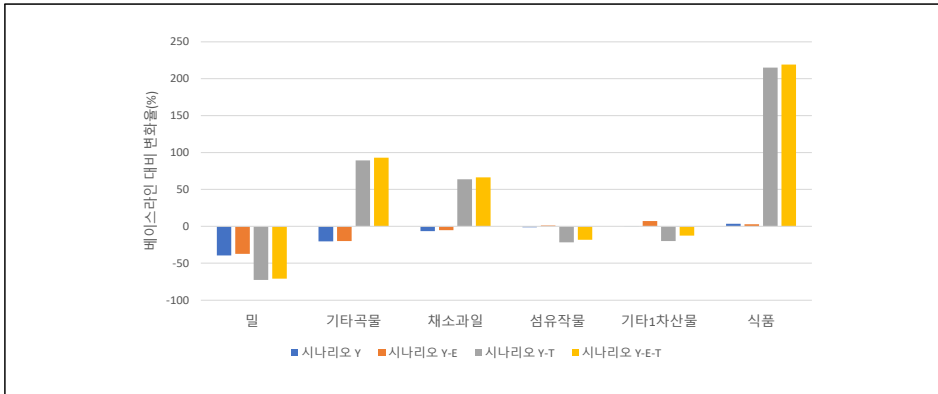
〈그림 5-11〉 시나리오별 국내 주요 농식품의 수입량 변화 전망



자료: 저자 작성.

농식품 수출량의 경우 식품 이외의 품목들은 대체로 기후변화 영향(시나리오 Y)으로 인해 감소하는 것으로 분석되었다<그림 5-12>. 국제배출권거래시장 도입(시나리오 Y-E)은 식품 이외의 농식품 수출을 다소 증대시키는 경향을 보이고 있다. 무역자유화(시나리오 Y-T)는 밀, 섬유작물, 기타 1차산물 등의 수출을 감소시키는 반면 기타곡물, 채소과일, 식품 등의 수출을 크게 증가시키는 것으로 분석되었다. 국제배출권거래제와 무역자유화 동시 시나리오(Y-E-T)에서는 수출량이 시나리오 Y-T에 비해 대체로 증가하는 것으로 나타났다.

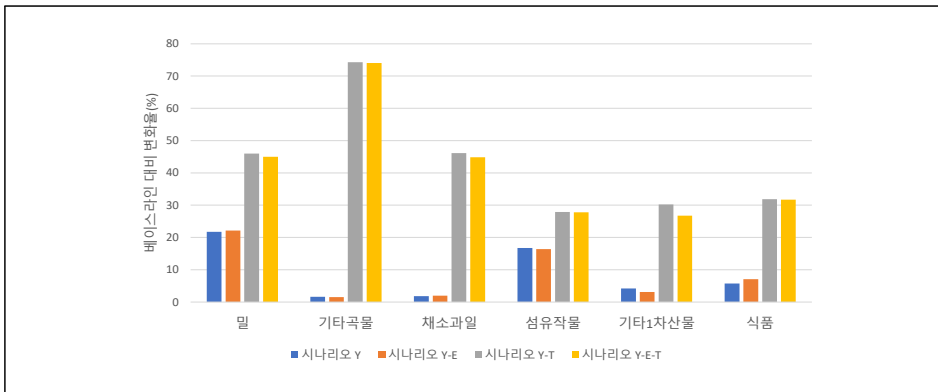
〈그림 5-12〉 시나리오별 국내 주요 농식품의 수출량 변화 전망



자료: 저자 작성.

농식품 소비 대비 수입 비중은 기후변화 영향(시나리오 Y)으로 인해 증가하는 경향을 보이고 있다. 국제배출권거래시장 도입(시나리오 Y-E)의 영향은 미미한 반면, 무역자유화(시나리오 Y-T)는 소비 대비 수입산 비중을 크게 증가시키는 것으로 나타났다. 국제배출권거래제와 무역자유화 동시 시나리오(Y-E-T)에서는 해당 비중이 시나리오 Y-T에 비해 대체로 완화하는 것으로 나타났다<그림 5-13>.

〈그림 5-13〉 시나리오별 국내 주요 농식품의 소비 대비 수입 비중 변화 전망

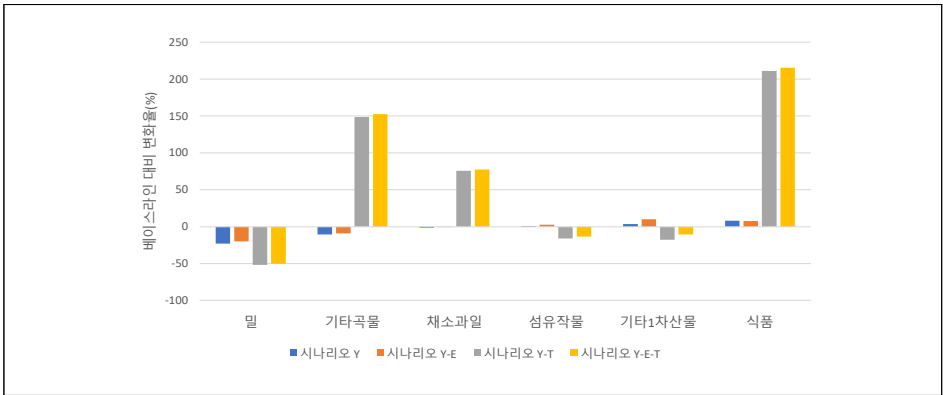


자료: 저자 작성.

농식품 생산 대비 수출 비중의 경우 생산성 충격으로 나타나는 기후변화 영향(시나리오 Y)으로 인해 밀, 기타곡물, 채소·과일 등은 감소, 수산물, 기타 1차산

물, 식품 등은 다소 증가하는 경향을 보이고 있다. 국제배출권거래시장 도입(시나리오 Y-E)은 식품을 제외하고 비중이 소폭 증가하는 것으로 분석되었다. 무역자유화(시나리오 Y-T)는 생산 대비 수출 비중을 크게 증감시키는 것으로 나타났다. 국제배출권거래제와 무역자유화 동시 시나리오(Y-E-T)에서는 수출 비중이 시나리오 Y-T에 비해 대체로 증가하는 것으로 나타났다<그림 5-14>.

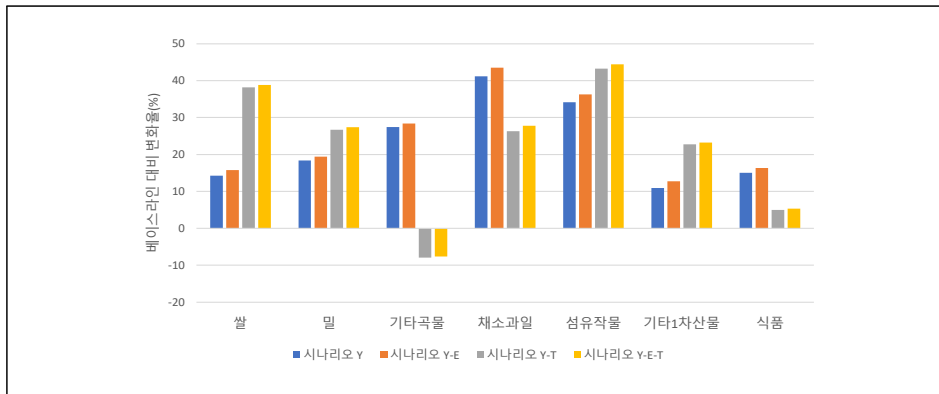
〈그림 5-14〉 시나리오별 국내 주요 농식품의 생산 대비 수출 비중 변화 전망



자료: 저자 작성.

농식품 생산자가격은 대체로 기후변화 영향(시나리오 Y)으로 인해 크게 증가하는 경향을 보이고 있다. 국제배출권거래시장 도입(시나리오 Y-E)은 가격 상승을 다소 심화시키는 것으로 나타났다. 한편 무역자유화(시나리오 Y-T)는 쌀, 밀, 섬유작물, 기타1차산물 등의 가격 상승을 더욱 심화시키지만 기타곡물, 채소·과일, 식품 등의 가격 상승을 크게 완화하는 것으로 나타났다. 국제 배출권 거래와 무역자유화 동시 시나리오(Y-E-T)에서는 생산자가격이 시나리오 Y-T에 비해 다소 증가하는 것으로 분석되었다<그림 5-15>.

〈그림 5-15〉 시나리오별 국내 주요 농식품의 생산자가격 변화 전망



자료: 저자 작성.

이상의 일반균형 접근 방식에서는 기후변화 영향 시나리오로써 작물의 생산성 변화를 고려하였으며, 정책 시나리오로는 국제배출권거래시장 도입과 무역자유화를 고려하였다. 기후변화 정책 시나리오에 따라 지역별, 산업별로 상이한 결과를 나타내므로 정책 목적에 따라 어떠한 대안에 좀 더 주의를 기울여야 할지 판단이 필요할 것이다. 기후변화로 인한 주요 국가의 경제 전반, 생산, 수출입, 교역조건 등의 변화를 파악한 결과 대체로 온실가스 배출의 많은 부분을 차지하는 중국과 인도의 변화가 크게 나타났다. 대부분 국가에서 생산이 감소하나 일부 러시아, 북아메리카 등은 기후변화로 인해 생산이 증가하는 것으로 전망된다. 또한 대부분의 국내 농식품 생산이 감소하고, 소비 대비 수입이 차지하는 비중이 상승하며, 생산 대비 수출이 감소할 것으로 전망되다. 한편 무역자유화나 배출권거래시장 도입이 모든 지역이나 부문에서 기후변화 완화나 적응에 긍정적인 영향을 미치는 것이 아닌 것으로 나타났다. 따라서 지역 및 부문에 맞는 기후변화 관련 정책 설정이 필요할 것으로 판단된다.

2.3. 중력모형을 활용한 기후변화의 국내 수입 영향 분석⁶⁵⁾

본 절에서는 기후변화로 인한 지역적 온난화 등의 영향으로 작물 전환이 일어날 가능성이 있는 품목인 열대과일, 온대과일, 감귤류를 중심으로 기후변화가 우리나라 수입에 미치는 영향을 중력모형을 이용하여 분석하였다. 기후변화 효과 분석을 위한 중력모형 접근 방식은 앞에서 설명한 부분균형이나 일반균형 모형들과 달리 기후나 이상기후 등의 기후요인 변수들이 국가별 품목별 무역에 미치는 직접적인 영향을 축약방정식으로 구축할 수 있다는 장점이 있다. 반면, 시장균형 모형들이 기후변화의 간접효과를 주로 분석하는 동시에 기후변화가 운송비 등에 영향을 미치는 직접효과에 대해 분석할 수 있지만, 생산변화를 구조적으로 파악할 수 없다는 한계점이 있다. 기후 및 이상기후가 분석대상 품목의 생산과 교역에 미치는 영향에 대한 분석 방법 수립과 분석 결과는 향후 국내 농식품 분야 기후변화 대응과 관련 지원 정책의 기초자료로 활용 가능할 것으로 판단된다.

2.3.1. 분석개요

중력모형 분석 목적은 기후변화, 이상기후 등 기후요인으로 인한 열대과일(바나나, 파인애플, 망고 등), 감귤류, 온대과일(포도, 멜론, 사과, 배, 살구 및 체리, 복숭아 등)의 교역변화 분석에 활용할 수 있는 분석방법과 모형을 제시하는 데 있다. 이를 위해서 중력모형과 국제 품목수급모형 등을 고려하여 분석대상 품목의 교역 분석에 적절한 모형과 분석방법을 제안하고자 한다. 본 분석에서 활용하는 기후요인 변수의 정의 및 출처와 연구대상 및 범위는 <표 5-21>과 <표 5-22>와 같다.

65) 중력모형을 통한 모형구축은 기후변화가 농업과 농산물 무역에 미치는 다양한 경로상의 변수들을 생각하고 일반균형의 논리구조를 유지하고 있으면서 효율적인 자료의 활용으로 기후변화에 다른 농업과 농산물 무역의 변화를 전망할 수 있다는 장점이 있어 일반균형 접근에 포함시킴.

〈표 5-21〉 기후요인 변수의 정의 및 출처

변수명		정의	출처
기후 변화	기온(TMP)	국가별 연도별 평균기온	CRU_CY
	강수량(PRE)	국가별 연도별 평균 강수량	CRU_CY
	일교차(DTR)	국가별 연도별 평균 일교차	CRU_CY
	습도(WET)	국가별 연도별 평균 습도	CRU_CY
이상 기후	평년대비 기온차 (CD_TMP)	국가별 연도별 평균기온과 1961~1990년 평년기온의 차이 (NASA와 CRU의 Anomaly index 산정방식 준용)	CRU_CY 자료를 이용하여 직접계산
	평년대비 강수변화율 (CR_PRE)	국가별 연도별 평균기온과 1961~1990년 평년강수량 변화율 (Percentage change from the normal, CRU)	CRU_CY 자료를 이용하여 직접계산
자연 재해 피해 비용	가뭄(Drought)	국가별 연도별 가뭄으로 인한 피해액	EM-DAT
	극한기온 (Ext-tmp)	국가별, 연도별 한파와 폭염, 동결과 서리 등으로 인한 피해액	
	홍수(Flood)	국가별 연도별 홍수로 인한 피해액	
	폭풍우(Storm)	국가별 연도별 대류 폭풍, 열대성 폭풍, 열외폭풍을 포함한 피해액	

주: 자연재해 피해비용은 국제 재난데이터베이스(The International Disaster Database: EM-DAT)(<https://www.emdat.be/>, 검색일: 2020. 11. 3.)에서 추출한 자료를 활용함. EM-DAT는 전 세계에서 발생하고 있는 재난과 관련된 자료를 제공함. 이 중에서 농산물 생산이나 무역에 영향을 미칠 것으로 추정되는 가뭄, 이상기온, 홍수, 폭풍우 등 4가지 변수의 피해비용을 추출함.

자료: 저자 작성.

〈표 5-22〉 중력모형 연구대상 및 범위

대상 및 범위	설명
분석 대상품목	열대과일: HS 0803, 0804, 0810.60 감귤류: HS 0805 온대과일: HS 0806, 0807, 0808 0809, 0810 단, 0810.60제외
시간범위	1996~2018년
공간범위	열대과일 수출 주요 상위 20개, 감귤류 상위 15개국, 온대과일 상위 20개국
교역실적 범위	수출국(출발지, Origin)에서 우리나라(도착지, Destination)로의 수입(물량, 금액)

주: 우리나라는 분석 대상품목의 주요 수출국이 아니기 때문에 주요 수출국에서 우리나라로 들어오는 수입실적에 초점을 맞춤.

자료: 저자 작성.

중력모형 설정을 위해서 수출국(출발지, Origin(o국))에서 수입국(도착지, Destination(d국))인 우리나라로 수입되는 과일의 흐름이 수출국의 경제지표와 수입국의 경제적 상황, 환율, 관세, 비관세 장벽, 국가 간의 협약, 기후변화 및 이상 기후요소 등에 의해 결정되는 것으로 상정하였다.

$$\begin{aligned} \ln(Y_{ot}) = & c_0 + \beta_1 \ln(EXC_t) + \beta_2 \ln(PGDP_{ot}) + \beta_3 \ln(PGDP_{dt}) + \beta_4 \ln(TA_{dt}) + \beta_5 \ln(SPS_{dt}) \\ & + \beta_6 \ln(TBT_{dt}) + \beta_7 \ln(FTA_{dt}) + \beta_8 \ln(D_{odt}) + \delta_1 OECD_o + \delta_2 APEC_o + \gamma_1 Climate_{odt} \\ & + \gamma_2 Extreme_{odt} + \gamma_3 \ln(Disaster_{odt}) + \epsilon_{ot} \end{aligned} \quad (\text{식 5-2})$$

여기서

c_0 : 상수항, Y_{ot} : t년도 출발지(o국)에서 도착지(d국, 한국)로의 과일 수입량(액)
 EXC_t : 연도별 원/달러 환율, $PGDP_{ot}$: t년도 출발지 o국의 일 인당 GDP
 $PGDP_{dt}$: t년도 도착지 d국의 일 인당 GDP, TA_{dt} : t년도 d국의 품목별 평균 관세율
 SPS_{dt} : t년도 d국의 위생 및 식물위생 조치, TBT_{dt} : t년도 d국의 무역기술장벽
 FTA_{dt} : t년도 o국과 d국간 자유무역협정 체결을 나타내는 더미변수
 D_{odt} : o국과 d국간의 거리를 연도별 유가지수로 나눈 유가거리
 $OECD_d$: d국의 OECD 가입여부 더미변수, $APEC_d$: d국의 APEC 가입여부 더미변수
 $Climate_{odt}$: 국가별 기후변화 변수; 연평균기온(TMP)과 연평균 강수량(PRE)로 구성
 $Extreme_{odt}$: 국가별 이상기후 변수; 평년대비 기온차(CH_TMP)와 평년대비 강수
 변화율(CR_PRE)로 구성
 $Disaster_{odt}$: 국가별 재해 변수; 가뭄, 극한기온, 홍수, 폭풍우 피해액으로 구성
 β, δ, γ : 각 설명변수의 계수(연속변수일 경우 변수에 대한 수출액의 탄력성을 의미)
 ϵ_{ot} : 오차항

기후요인 변수와 여러 분석기법의 조합을 통한 실증분석 모형의 구성과 중력모형 기본변수의 정의와 출처는 각각 <표 5-23>과 <표 5-24>와 같다. 최종 추정모형의 설명은 총 32개 조합(수입량과 수입액 4개 조합과 8개 모형) 가운데 과일 수입량을 중심으로 설명하며, 품목별 8개 추정 모형 중에서 ‘0’의 교역량을 포함한 모형(모형1~6) 중에서 선택하도록 한다. 패널모형의 경우 고정효과와 확률효과 모형 중에서 선택하는 과정이 필요하지만, 고정효과 모형의 경우 시간불변 변수가 제외되기 때문에 두 가지 모형을 모두 제공한다. 또한 모형 추정은 고정효과 모형을 중심으로 하되 확률효과, PPML, 특히 엄격한 가정을 요구하는 토빗모형의 분석 결

과 등은 비교를 위해서 <부록 3>에 제시하였다. 주요 추정결과를 설명하기 위한 최종 모형 선택 기준은 ‘0’의 교역량이 포함되어 있는 중력모형의 설명력을 비교한 Kareem et al.(2016)의 사례를 참조하여 AIC와 BIC를 기준으로 평가하였다.

〈표 5-23〉 중력모형 추정방법

구분		기후변수 조합			
		수출국 기후변수만 고려		수출국-수입국 기후변수 고려	
		수입량	수입액	수입량	수입액
모형1	패널(공간)토빗모형-확률효과	변수와 모형 조합에 따라 총 32개 모형으로 구성 단, 공간계량모형은 열대과일 수입모형에만 적용함			
모형2	패널(공간)포아송모형-고정효과				
모형3	패널(공간)포아송모형-확률효과				
모형4	패널(공간)PPML모형				
모형5	패널(공간)음이항모형-고정효과				
모형6	패널(공간)음이항모형-확률효과				
모형7	패널(공간)중력모형-고정효과				
모형8	패널(공간)중력모형-확률효과				

주: 분석방법에 대한 자세한 설명은 <부록 2> 참조.
자료: 저자 작성.

〈표 5-24〉 중력모형 기본변수 정의와 출처

변수명	변수 정의	출처
Y	연도별, 국가별, 과일 수입량 및 수입액	Global Atlas trade
GDP	수출 대상국의 국내총생산(\$)	World bank Indicator(WDI)
POP	수출 대상국의 총인구(명)	
D	국가간 최단거리 또는 유가지수를 이용한 유가거리	AXSmarine, U.S. EIA
TA	연도별, 국가별, 품목별 관세율(%)	관세법령정보포털3.0
SPS	연도별, 국가별 위생 및 식품위생조치 횟수	WTO I-TIP Goods
TBT	연도별, 국가별 무역기술장벽 횟수	WTO I-TIP Goods
환율	연도별 원/달러 환율	한국은행 경제통계시스템
FTA	FTA 발효 연도별 더미	관세법령정보포털3.0
OECD	OECD 가입국 여부 더미	OECD
APEC	APEC 가입국 여부 더미	APEC
Production	연도별, 국가별 과일 생산량	FAO

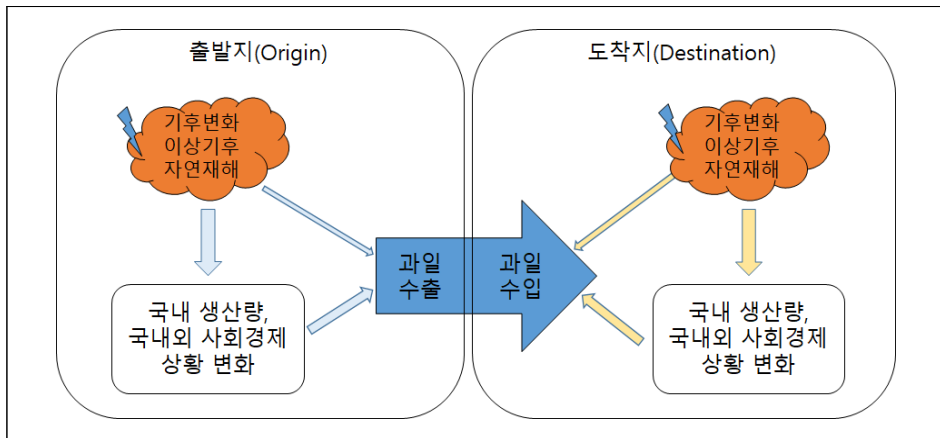
주: 출처는 참고문헌 참조.
자료: 저자 작성.

2.3.2. 기후요인과 과일 무역 관계 설정

기후변화에 따른 평균 기온이나 강수량의 변화 이상기후, 자연재해 등 기후요인이 국가별 생산성의 차이를 유발하여, 무역의 흐름에 영향을 미칠 수 있다 (Osberghaus 2019). 수출국(출발지)에서의 기후요인은 직접적으로 과일의 수출에 영향을 미치기도 하지만, 이보다 해당 국가의 과일 생산과 사회경제적 상황에 영향을 미쳐서 간접적으로 과일수출에 영향을 미칠 가능성이 높다.

과일을 수입하는 수입국(도착지)에서도 기후요인의 영향으로 직접적인 수입실적의 변화가 일어날 수도 있고, 국내 생산이나 소비자 선호의 변화나 사회경제적 상황에 간접적으로 영향을 미쳐서 과일 수입의 흐름을 변화시킬 수 있다. 따라서 과일 무역의 흐름에 대한 기후요인 영향의 패턴을 <그림 5-16>과 같이 설정하고 실증모형 구축에 활용하였다.

<그림 5-16> 기후변화 및 이상기후가 열대과일 교역에 미치는 경로



자료: 저자 작성.

2.3.3. 기후요인 영향분석 결과 요약

기후요인 변수가 열대과일, 감귤류, 그리고 온대과일 수입에 미치는 영향에 대한 유의성과 방향을 요약하면 <표 5-25>와 같다. 분석방법론과 품목별 자세한 분석 결과는 <부록 2>와 <부록 3>에 제시하였다. 품목별로 보면 수출국(출발지)의 기온상승은 우리나라의 열대과일, 감귤류 수입에 부정적인 영향을 미치는 반면, 온대과일의 수입에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 출발지의 강수량 증가는 대체로 우리나라의 과일 수입에 부정적인 영향을 미치는 반면, 일교차는 온대과일 수입에만 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다.

수출국의 이상기후 강도가 높아질수록 대체로 우리나라 과일 수입에 부정적인 영향을 미치며, 도착지의 이상기후는 과일 수입에 유의한 영향을 미치지 않는 것으로 분석되었다. 자연재해 피해비용 중에서 출발지의 가뭄은 우리나라의 열대과일 수입에만 부정적 영향을 미치는 것으로 분석되었고, 나머지의 경우 자연재해는 열대과일과 감귤류 수입에 유의한 영향을 미치지 않는 것으로 분석되었다.

우리나라의 수입에 영향을 미치는 자연재해의 경우, 홍수와 폭풍우는 열대과일 수입에 부정적 영향을 미치지만, 감귤류의 수입에는 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 과일 수입에 미치는 자연재해의 영향은 발생 시기나 장소가 일치하지 않을 경우 그 영향이 미미할 가능성이 높으며, 국가별 편차가 크기 때문에 통계적 유의성이 재해변수와 수입실적의 인과관계를 담보하지 못할 수도 있다는 점을 인지할 필요가 있다. 이는 국가의 작물별 재배지역의 정밀한 기후변수에 대한 접근이 어려워 국가별 평균자료에 의존하여 추정한 결과이기 때문이다.

〈표 5-25〉 주요 기후변수의 유의성과 부호 요약

구분		열대과일		감귤류		온대과일	
		출발지	도착지	출발지	도착지	출발지	도착지
기후변화	기온(TMP)	(-) ^{***}	(+) ^{***}	(-) ^{**}		(+) [*]	
	강수량(PRE)	(-) [*]		(-) [*]	(+) [*]	(-) ^{**}	
	일교차(DTR)					(+) [*]	
이상기후	평년대비 기온차(CD_TMP)	(-) ^{***}		(-) [*]		(-) ^{**}	
	평년대비 강수변화율(CR_PRE)			(-) [*]			
자연재해 피해비용	가뭄(Drought)	(-) [*]					
	극한기온(Ext-tmp)						
	홍수(Flood)		(-) ^{**}	(+) ^{***}			
	폭풍우(Storm)		(-) ^{***}		(+) [*]		

주: ^{***} p<0.01, ^{**} p<0.05, ^{*} p<0.1.

자료: 저자 작성.

2.3.4. 기후변화 시나리오별 열대과일 수입전망

기후변화 시나리오별 열대과일 수입전망을 위한 모형은 AIC와 BIC 값이 가장 낮은 패널토빗 확률효과 모형을 기준으로 추정하였다. 열대과일 수입전망을 위한 주요 설명변수 전망치 산정을 위해 먼저 기후변화(기온과 강수량 변화) 전망치는 RCP 4.5, 6.0, 8.5를 기준으로 한 지구 평균(global average) 기후변화 시나리오 자료를 활용하였으며, 열대과일 주요 수입국(출발국)별 기후변화 전망치는 RCP 시나리오별로 지구 전체의 연도별 기후변화율(annual climate change rate)을 기준으로 산정하였다. 기후변화의 기준치(base)는 최근 3년 평균 기온과 강수량이 2030년까지 유지된다고 가정한 것이며, 이상기후 변수는 앞에서 구한 연도별, 국가별 기후변화 전망치와 평년 기온 및 강수량과의 차이를 이용하여 산정하였다. 자연재해 변수의 경우 직전 3년을 기준으로 이동평균치를 사용하였다. 주요 설명변수인 수입국별 GDP, 인구, 열대과일 생산량 전망치는 연평균 증가율을 고려하여 산정하였으며 그밖에 환율, 관세, 비관세장벽 등은 직전 3년의 이동평균치를 사용하였고, 터미변수는 가장 최근 연도 값을 따라 설정하였다.

열대과일 수입전망을 실시한 결과, 열대과일 출발국의 기후변화만을 고려할 경우, 우리나라의 열대과일 수입전망은 기온이 올라갈수록 수입량이 감소하기 때문

에 출발국의 기온상승은 우리나라의 열대과일 수입에 부정적인 영향을 미치는 것으로 분석되었다<표 5-26>. 따라서 RCP 8.5 시나리오가 RCP 4.5에 비해 기온 상승률이 더 높기 때문에 RCP 8.5에서 우리나라의 열대과일 수입실적이 가장 낮게 전망된 것으로 판단된다. RCP 6.0 시나리오의 경우, 장기적인(2050년) 추세에서는 RCP 4.5보다 높고 RCP 8.5보다 낮은 기온을 가지지만, 현재 분석대상 기간인 2030년까지는 RCP 6.0 시나리오의 전망치가 기준 시나리오 대비 가장 낮아 분석 결과 해석에 유의할 필요가 있다.

〈표 5-26〉 시나리오별 열대과일 수입전망(출발국 기후요소만 고려할 경우)

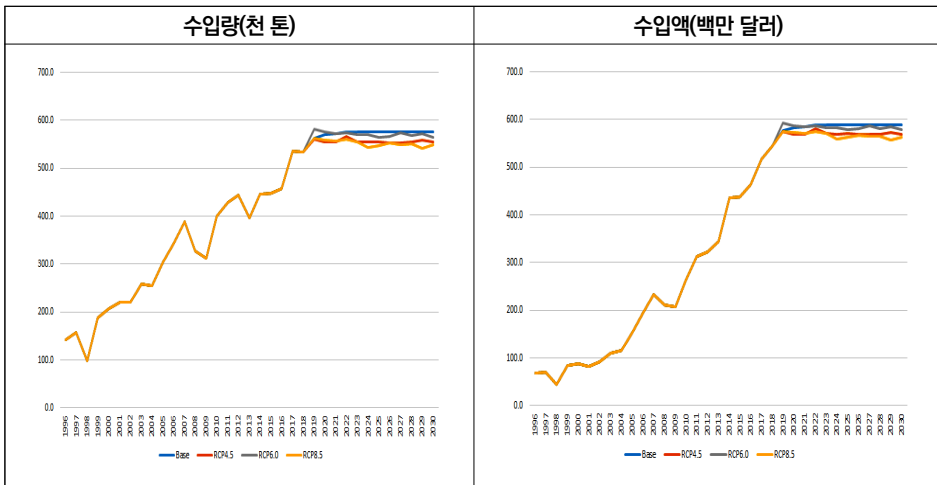
연도	수입량 (천 톤)				수입액 (백만 달러)			
	Base	RCP 4.5	RCP 6.0	RCP 8.5	Base	RCP 4.5	RCP 6.0	RCP 8.5
1996	142.9	142.9	142.9	142.9	67.5	67.5	67.5	67.5
1997	156.6	156.6	156.6	156.6	70.9	70.9	70.9	70.9
1998	98.0	98.0	98.0	98.0	45.1	45.1	45.1	45.1
1999	187.9	187.9	187.9	187.9	83.8	83.8	83.8	83.8
2000	207.3	207.3	207.3	207.3	88.6	88.6	88.6	88.6
2001	221.1	221.1	221.1	221.1	83.0	83.0	83.0	83.0
2002	220.4	220.4	220.4	220.4	93.0	93.0	93.0	93.0
2003	259.3	259.3	259.3	259.3	110.8	110.8	110.8	110.8
2004	255.3	255.3	255.3	255.3	115.6	115.6	115.6	115.6
2005	304.5	304.5	304.5	304.5	154.7	154.7	154.7	154.7
2006	342.3	342.3	342.3	342.3	194.5	194.5	194.5	194.5
2007	388.8	388.8	388.8	388.8	234.2	234.2	234.2	234.2
2008	328.0	328.0	328.0	328.0	210.9	210.9	210.9	210.9
2009	313.0	313.0	313.0	313.0	208.0	208.0	208.0	208.0
2010	400.5	400.5	400.5	400.5	264.0	264.0	264.0	264.0
2011	428.5	428.5	428.5	428.5	312.7	312.7	312.7	312.7
2012	444.6	444.6	444.6	444.6	322.4	322.4	322.4	322.4
2013	396.5	396.5	396.5	396.5	343.8	343.8	343.8	343.8
2014	446.3	446.3	446.3	446.3	436.1	436.1	436.1	436.1
2015	447.6	447.6	447.6	447.6	438.5	438.5	438.5	438.5
2016	457.2	457.2	457.2	457.2	463.0	463.0	463.0	463.0
2017	536.9	536.9	536.9	536.9	517.8	517.8	517.8	517.8
2018	534.7	534.7	534.7	534.7	545.2	545.2	545.2	545.2
2019	562.3	560.1	581.9	562.0	576.3	574.3	593.7	576.0
2020	569.8	554.8	575.3	559.1	582.3	568.9	587.1	572.7

(계속)

연도	수입량 (천 톤)				수입액 (백만 달러)			
	Base	RCP 4.5	RCP 6.0	RCP 8.5	Base	RCP 4.5	RCP 6.0	RCP 8.5
2021	572.6	554.1	572.5	556.4	584.9	568.4	584.8	570.5
2022	576.7	566.1	573.7	560.8	589.5	580.1	586.9	575.4
2023	576.4	555.6	571.0	555.4	588.9	570.3	584.1	570.2
2024	575.6	555.1	569.8	543.2	588.2	570.0	583.0	559.3
2025	575.6	555.9	565.5	547.0	588.3	570.8	579.3	562.9
2026	576.2	553.4	567.4	552.9	588.8	568.5	580.9	568.1
2027	576.3	553.1	574.4	548.9	588.9	568.2	587.2	564.5
2028	576.5	555.2	568.0	550.5	589.1	570.1	581.5	565.9
2029	576.3	558.0	573.1	541.2	588.9	572.6	586.0	557.6
2030	576.3	554.9	565.3	548.6	588.9	569.8	579.1	564.2

자료: 분석 결과를 바탕으로 저자 작성.

〈그림 5-17〉 시나리오별 열대과일 수입전망(출발국 기후요소만 고려할 경우)



자료: 분석 결과를 바탕으로 저자 작성.

열대과일 수출국(출발국)과 우리나라(도착국)의 기후변화를 모두 고려할 경우, 우리나라의 열대과일 수입전망은 수출국 기후변화 요소만 고려했을 경우와 반대 결과가 나타났다<표 5-27>. 그 이유는 출발국의 기온이 상승하면 열대과일 수입 실적은 감소하는 반면, 우리나라의 기온이 상승하면 열대과일 수입실적이 증가하기 때문이다. 또한 우리나라 기온상승으로 인한 열대과일 수입 증가 정도가 출발

국의 기온상승으로 인한 열대과일 수입 감소 정도보다 더 크기 때문에, 즉 국내 수입수요가 더 크게 작용을 하여 기온이 상승할수록 전체적인 수입실적이 증가하는 것으로 전망되었다.

따라서 RCP 8.5 시나리오가 RCP 4.5에 비해 기온 상승률이 더 높기 때문에 RCP 8.5에서 우리나라의 열대과일 수입실적이 가장 높을 것으로 전망되었다.

〈표 5-27〉 시나리오별 열대과일 수입전망(출발국과 도착국 기후요소를 모두 고려할 경우)

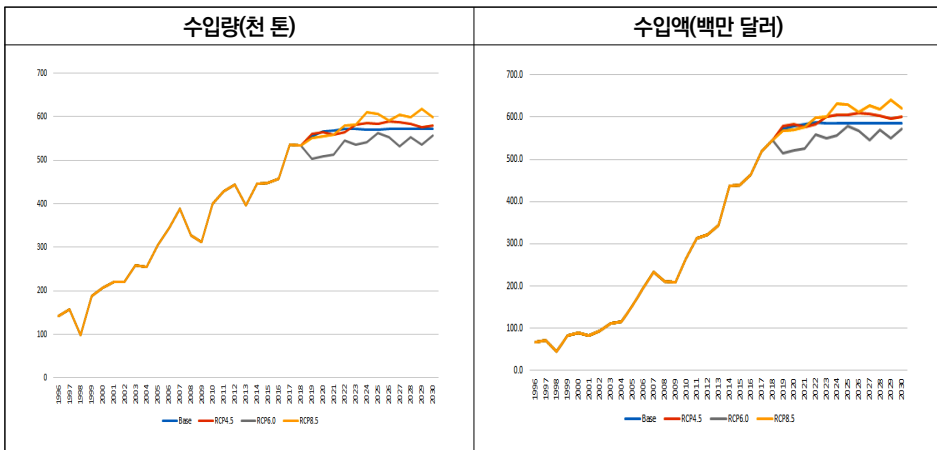
연도	수입량(천 톤)				수입액(백만 달러)			
	Base	RCP 4.5	RCP 6.0	RCP 8.5	Base	RCP 4.5	RCP 6.0	RCP 8.5
1996	142.9	142.9	142.9	142.9	67.5	67.5	67.5	67.5
1997	156.6	156.6	156.6	156.6	70.9	70.9	70.9	70.9
1998	98.0	98.0	98.0	98.0	45.1	45.1	45.1	45.1
1999	187.9	187.9	187.9	187.9	83.8	83.8	83.8	83.8
2000	207.3	207.3	207.3	207.3	88.6	88.6	88.6	88.6
2001	221.1	221.1	221.1	221.1	83.0	83.0	83.0	83.0
2002	220.4	220.4	220.4	220.4	93.0	93.0	93.0	93.0
2003	259.3	259.3	259.3	259.3	110.8	110.8	110.8	110.8
2004	255.3	255.3	255.3	255.3	115.6	115.6	115.6	115.6
2005	304.5	304.5	304.5	304.5	154.7	154.7	154.7	154.7
2006	342.3	342.3	342.3	342.3	194.5	194.5	194.5	194.5
2007	388.8	388.8	388.8	388.8	234.2	234.2	234.2	234.2
2008	328.0	328.0	328.0	328.0	210.9	210.9	210.9	210.9
2009	313.0	313.0	313.0	313.0	208.0	208.0	208.0	208.0
2010	400.5	400.5	400.5	400.5	264.0	264.0	264.0	264.0
2011	428.5	428.5	428.5	428.5	312.7	312.7	312.7	312.7
2012	444.6	444.6	444.6	444.6	322.4	322.4	322.4	322.4
2013	396.5	396.5	396.5	396.5	343.8	343.8	343.8	343.8
2014	446.3	446.3	446.3	446.3	436.1	436.1	436.1	436.1
2015	447.6	447.6	447.6	447.6	438.5	438.5	438.5	438.5
2016	457.2	457.2	457.2	457.2	463.0	463.0	463.0	463.0
2017	536.9	536.9	536.9	536.9	517.8	517.8	517.8	517.8
2018	534.7	534.7	534.7	534.7	545.2	545.2	545.2	545.2
2019	554.9	561.7	502.9	551.8	571.9	579.6	514.1	568.6
2020	565.6	565.0	510.0	555.0	579.6	582.6	520.9	570.9
2021	568.3	559.1	513.2	558.0	582.5	577.4	525.0	575.8
2022	571.4	564.5	544.6	579.0	586.5	582.4	559.0	598.1
2023	572.0	581.0	536.1	581.2	586.4	600.9	549.2	601.1

(계속)

연도	수입량(천 톤)				수입액(백만 달러)			
	Base	RCP 4.5	RCP 6.0	RCP 8.5	Base	RCP 4.5	RCP 6.0	RCP 8.5
2024	570.7	585.0	542.4	609.9	585.4	604.9	556.1	632.7
2025	570.3	583.5	561.8	607.6	585.2	604.4	578.0	630.5
2026	571.4	588.8	552.5	591.2	586.0	609.5	568.2	611.7
2027	571.5	587.7	533.0	604.4	586.1	607.9	546.4	626.8
2028	571.7	583.3	552.6	598.2	586.3	604.0	568.7	619.1
2029	571.5	576.5	536.0	617.9	586.1	596.9	550.4	641.2
2030	571.6	580.8	556.5	599.3	586.2	599.7	573.0	621.1

자료: 분석 결과를 바탕으로 저자 작성.

〈그림 5-18〉 시나리오별 열대과일 수입전망(출발국과 도착국 기후요소를 모두 고려할 경우)



자료: 분석 결과를 바탕으로 저자 작성.

중력모형을 이용한 기후변화 시나리오별 열대과일 수입전망의 한계는 다음과 같다. 먼저, 주요 설명변수의 전망치를 산정하는 데 어려움이 있어, 1인당 GDP와 생산량을 제외한 대다수 변수의 전망치를 최근 3년간의 이동평균이나 전년도 자료를 사용함에 따라 열대과일 전망치가 기존 수입실적 증가 흐름에 비해 다소 과소평가될 우려가 있다. 열대과일 수입 전망치는 대부분 기후변화 시나리오별 차이로 인한 것으로 볼 수 있음을 의미한다. 추정모형에는 도착국(한국) 기후요소의 포함 여부에 따라 기후변화 시나리오별 전망치 결과가 상반되게 도출되었는데, 전망치 결과 보고 및 해석 시 전제 조건을 잘 명시해줄 필요가 있다.

제6장

요약 및 향후과제

요약 및 향후과제

1. 요약

본과제인 ‘기후변화를 반영한 농식품 교역 무역 개발 연구’는 우리나라 농업부문을 대상으로 한 기후변화와 무역을 연계한 모형을 개발하는데 필요한 과제를 제시하는 사전 기초연구이다. 이를 위해서 먼저, 기후변화가 농업부문 생산과 무역에 미치는 효과를 이론적으로 고찰하고, 선행연구들이 활용하는 교역 모형에 기후변화가 어떻게 반영되어 있는지를 검토하였다. 이를 토대로 모형의 접근 가능성과 운용 현실성을 감안하여 우리나라 농업부문에 적용할 수 있는 기존 분석모형을 활용하고 기후변화를 반영하여 세계 기후 시나리오별 국내 농업에 미치는 영향을 분석하였다. 분석 결과와 모형 활용 과정에서 제기된 분석모형의 장단점을 파악하고 이를 바탕으로 기후변화와 무역을 연계한 모형을 개발하는데 필요한 과제를 도출하였다.

기후변화는 농업부문뿐만 아니라 비농업부문에도 직접적인 영향을 미치고 이러한 영향은 다양한 경로를 통해 간접적으로 농업 생산과 무역에 영향을 미친다. 특히, 국제무역에 미치는 기후변화의 영향은 국가별·지역별·품목별로 다양하게 나타나기 때문에 기후변화가 농업부문에 미치는 영향을 분석하는 것은 실증적인 영

역이라고 할 수 있다. 더욱이 국내에서 기후변화 대응에 따른 농식품 산업 전반의 생산구조 변화와 무역의 영향을 연계하여 내생적으로 분석하는 연구는 미미한 실정이다. 또한 기존 농식품 무역 관련 연구는 국가와 산업간 상호작용을 파악하는데 한계가 있으며 구체적인 농업부문의 변화를 제한적으로 반영하고 있다.

기후변화를 반영한 기존 농식품 교역 모형들은 기후변화가 파급되는 각 경로를 반영하여 기존 교역 모형에 기후변수를 추가하거나 기후변화를 포함한 새로운 농식품 교역 모형을 재설계하는 방식으로 구축되고 있다. 구체적으로 기존 교역 모형에 기후변화를 반영하는 방식은 다음 2단계를 거치고 있다. 먼저, 농업부문 교역 모형에 기후변화를 반영하는 1단계는 기후 또는 기상변수가 농업부문과 여타 거시경제 등의 다양한 실물변수에 미치는 영향을 분석하는 것이다. 즉, 이 단계에서는 강수량, 기온, 일조량, 이상기상 발생 건수 등 기상 상태를 대표하는 기후요인 변수가 실물변수에 미치는 영향을 분석하게 된다. 그리고 일반적인 교역 모형이 변수를 파라미터로 연결하는 함수형태를 기반으로 구축되는 만큼 기후요인 변수와 농식품 수급 및 농업자원, 거시경제, 무역 비용 변수 등의 관계를 설명하는 함수형태를 설정하고 이에 필요한 파라미터(가령 탄성치)가 추정되고 있다. 특히, 기후요인 변수가 농산물 생산에 미치는 영향은 작물생육 모형을 통해 파악될 수 있는 만큼 작물생육 모형을 모듈로 추가하는 방식으로 모형을 추가할 수 있을 것이다. 본 연구에서는 작물단수 모형을 모듈로 활용하여 작물단수의 변화를 기후변화로 인한 생산성 충격으로써 모형에 반영하였지만, 작물생육 모형을 활용한 분석은 향후 연구과제로 남겨두고자 한다. 기후변화를 반영한 농업부문 교역 모형 구축을 위한 2단계는 1단계에서 설정된 기후요인 변수와 실물부문의 연결고리를 포함하여 교역 모형을 구축하는 단계이다. 2단계에서 활용되는 교역 모형은 1단계와 마찬가지로 기존의 농업부문 교역 모형이나 새롭게 구축된 모형을 활용할 수 있지만, 모형을 재구축하는 경우에도 기존의 교역 모형 구성방법과 동일한 논리를 따를 수 있다.

현재 기후변화를 반영하여 국제무역을 분석할 수 있는 다양한 모형이 개발·운용되고 있지만, 이들 모형들은 전 세계 또는 특정 국가를 대상으로 개발된 모형으

로 우리나라 농업부문에 초점을 맞춰 기후변화와 무역의 관계를 규명하는데 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 모형의 접근 가능성과 운용 현실성을 감안하여 이미 구축된 우리나라 농업과 농산물 무역을 분석할 수 있는 모형을 선정하여 분석체계를 구축하였다. 농업부문 기후변화를 반영한 교역 모형 기본 분석체계는 크게 부분균형 접근과 중력모형을 포함한 일반균형 접근으로 구분하였다. 우리나라 농업부문을 중심으로 기후변화-무역을 연계한 모형 개발의 필요성을 제시하고 기초적인 수준에서 기후변화를 반영하여 분석할 수 있는 분석틀을 제시한다는 점에서 이 연구의 차별성과 의미가 있다. 다음 절에서는 각각의 분석모형 설계 및 데이터베이스 구축과 모형 추정 과정에서 도출된 장점뿐만 아니라 한계점, 그리고 주요 개선사항을 제시하였다.

2. 부분균형 접근 방식 개선 방안

표준적인 복수 지역 부분균형 모형은 국내 가격을 결정하는 일정한 탄력성 공급 및 수요 방정식을 각 지역에 포함하는 경제 구조로 구성된다. 부분균형 모형의 표준 모델은 본질적으로 농산물 간의 공급과 수요 상호 관계를 분석하는데 초점이 맞추어져 있다. 공급 및 수요 방정식은 자체 및 교차 가격의 함수로 구성되어 있으며, 농산물 그룹 간의 상호 작용은 고려되는 반면 요인 시장과 나머지 경제의 영향은 외생적으로 취급된다. 이에 따라 공급 및 수요 함수는 인구, 가계 소득 및 기술 변화와 같은 외생변수를 포함하고 있다. 즉, 부분균형 모형의 경우 가격과 수량 외의 요인들은 외생적으로 반영되어야 하며, 이에 기후변화 요인도 외생변수로 반영되어야 한다. 부분균형 접근에서 파악된 한계점은 다음과 같다.

① 본 분석에서는 기후변화에 따른 단수변화를 외생적으로 KREI GEM-LOCS 모형에 반영하였으나, 모형의 구조상 기후변화에 따른 재배면적 변화는 KREI GEM-LOCS와 KREI-KASMO에 반영하지 못한 한계점이 존재한다. 또한

KREI-KASMO 모형의 경우 기후변화가 국내 작물 단수에 미치는 영향을 반영하지 못한 한계점도 존재한다. 이러한 부분은 향후 모형을 개선하는 과정에서 반영되어야 할 부분이다.

② 부분균형 모형의 경우 기본적으로 정태분석의 틀을 가지고 있다. KREI GEM-LOCS와 KREI-KASMO는 이러한 한계점을 개선하여 동태적 영향을 반영한 모형이기는 하나, 중단기 예측을 위한 모형으로 장기적인 기후변화의 영향을 반영하기에는 한계점이 존재한다. 따라서 이들 모형은 기후변화에 따른 농업 부문의 중단기적인 영향을 계측하는 용도로 사용하고, 장기적인 영향은 일반균형 모형을 이용하여 분석하는 것이 바람직하다.

③ KREI GEM-LOCS와 KREI-KASMO 모형에서 각 재화의 국제 가격은 국내 가격 사이를 연결하는 일련의 방정식을 통해 국내 가격에 반영된다. 모형 내 각 부문은 국내 및 국제적으로 완벽하게 대체 가능한 하나의 동일재를 생산하는 것으로 가정하고 있다. 따라서 기후변화에 따른 교역의 영향이 과대 혹은 과소 추정될 가능성이 존재한다.

④ 분석 자료에 대한 한계점도 존재한다. 부분균형 모형에서 기후변화의 반영은 공급 부문의 단수 추정에 이상기상 발생 빈도 등의 기후변화 관련 외생변수를 적용하는 방식으로 이루어지고 있다. 이를 위해서는 기후변화에 관한 외생변수가 분석 대상 지역과 분야에 명확히 할당되어야 한다(최병옥 외 2020; 임영아 2020). 왜냐하면 개별 품목의 특성에 따라 재배 국가가 다르고 기후요인 변수에 대한 반응이 다를 수 있기 때문이다. 본 분석은 글로벌 곡물 단수를 추정함에 따라 이를 모두 반영하기는 어려운 점이 있었다. 모형 추정과 예측을 위해 사용된 자료들은 이를 반영하기에 한계점이 존재하기 때문이다. 우선 같은 품목 내에서도 다양한 품종이 재배되고 있을 뿐만 아니라 품종에 따라 재배 시기가 상이하다. 또한 같은 품종이라도 국가별로 지리적 위치가 다르기 때문에 작물의 생장시기에도 차이가 발생한다. 이에 반해 통계자료는 이러한 요인들이 고려되지 않은 연도별 자료가 제공되기 때문에 이런 한계점이 존재할 수밖에 없다. 또한 국토가 넓은 국가는 기상 관측 센터와 작물 생산 지역이 다를 수 있어 기상변수가 단수에 미치는 영향을 정

확하게 추정하는데 어려움이 존재하며, 개도국의 경우 이런 문제점이 더욱 심각한 것으로 알려져 있다. 따라서 국내뿐만 아니라 국제적으로도 기상관측통계와 농업생산통계가 연계되어 기후변화분석에 활용될 수 있도록 관련 기관과 국가들 간의 협력이 필요하다.

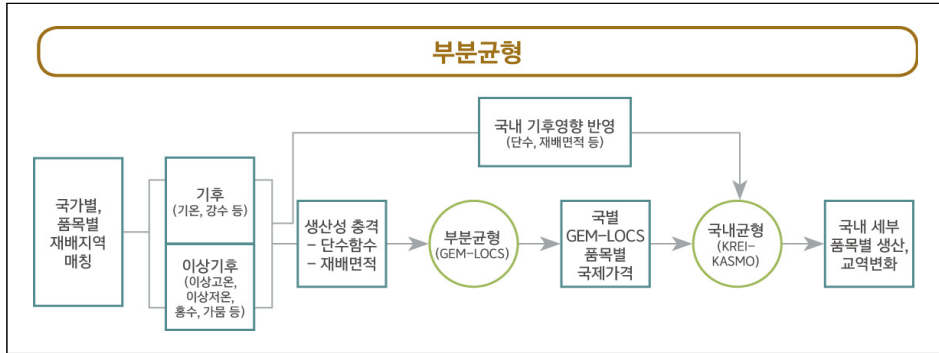
⑤ RCP 시나리오에 따른 기상 예측 자료를 사용함에 있어서도 문제가 발생하였다. 우선 예측 자료는 위도와 경도에 따른 격자 자료가 제공되고 이를 각 국가별로 분류하여 기후 자료를 가공하는데 어려움이 존재한다. 차선의 방안으로 각 국가 중심점의 위도와 경도를 사용하여 해당 지점의 온도와 강수량 자료를 사용하는 경우에도 단수 추정과 예측에 어려움이 발생하였다.⁶⁶⁾ 이에 따라 본 분석에서는 위도와 경도별로 예측된 자료를 전 세계 평균 온도와 강수량의 변화율을 관측 자료에 연결하여 예측에 사용하였다. 그러나 이러한 방법도 국가의 위치에 따라 기후변화의 영향이 다르게 나타날 수 있음에도 불구하고 모든 국가가 동일한 영향을 받는 것으로 가정하였기 때문에 기후변화의 영향이 잘 나타나지 않는 문제점이 발생하였다. 또한 RCP 시나리오별 기상예측자료가 2005년 이후를 예측한 것이기 때문에 현재 상황을 잘 반영하기도 어려움이 존재하였다. 따라서 보다 정밀한 분석을 위해서는 기상학계와의 협력도 필요할 것으로 보인다.

⑥ 단수 예측 결과값은 KREI GEM-LOCS와 KREI-KASMO에 반영되어 국제 곡물가격과 국내교역량 그리고 국내 영향을 예측하는데 사용되기 때문에 단수 예측력을 높이는 것이 중요하다. 본 분석에서는 선행연구에서 주로 사용하는 기상 변수와 기상변수의 제공향을 반영한 패널 모형을 이용하여 단수를 예측하였다. 그러나 동일한 모형과 방법을 이용하여 5개 곡물에 대해서 분석을 하여, 각 품목의 특성을 잘 반영하기에는 어려움이 존재하였다. 특히 옥수수의 경우 예측력이 매우 낮은 것으로 분석되었다. 따라서 추후 모형의 예측력을 높이고, 기후변화로 인한 국내영향의 정합성을 제고하기 위하여 생태모형을 포함한 다양한 단수 예측

66) 예를 들어 아프가니스탄의 경우에는 국가 평균 온도와 국가 중심점의 평균 온도의 차이가 10도 이상 차이가 났으며, 한국의 경우 1980년에 기록적인 냉해가 발생하였음에도 불구하고 중심점의 기온은 전년도에 비해 기온이 상승한 것으로 관측되었음.

모형을 도입하여 예측력을 비교 분석할 필요가 있다. 이상의 결과를 토대로 부분균형 접근 방식의 개선 방안을 <그림 6-1>과 같이 도식화하였다.

<그림 6-1> 부분균형 접근 방식 개선 방안



주: 사각형은 변수나 결과를 의미하고, 원형은 프로세스나 함수를 의미함.

자료: 저자 작성.

3. 일반균형 접근 방식 개선 방안

일반균형 접근 방식은 경제주체들의 상호 의존성을 고려하여 산업, 상품, 생산 요소 등 경제 내 모든 부문이 모형에 포함되며, 일반균형 이론에 따라 모든 부문의 시장에서 동시에 균형이 달성된다. 본 연구에서처럼 기후변화의 영향으로 국가별 거시경제 변화, 산업별 생산과 무역의 변화 등을 동시에 파악할 수 있는 장점이 있다. 반면, 기후변화로 인한 세계 농업 전반과 연관 산업에 미치는 영향을 산업단위로 분석할 수 있지만, 국내 주요 세부 품목에 미치는 개별 영향에 대한 분석은 어려운 실정이다. 일반균형 모형은 기후변화에 따른 농업부문 중장기 전망에 적합한 모형으로 농산물 가격과 생산량 외에도 토지이용과 같은 투입요소가 내생적으로 결정되는 구조를 반영할 수 있어 이를 활용하여 기후변화가 농업부문에 미치는 요인을 분석할 수 있을 것이다.

일반균형 모형은 연산가능일반균형(CGE) 모형 가운데 대표적인 GTAP-E 최

신 모형을 활용하였으며, 2050년 베이스라인 시나리오를 구축하기 위해 여러 거시경제변수와 작물 생산성 변화 전망치를 활용하였다. 기후변화 영향 시나리오는 작물 단수의 변화를 통한 생산성 충격을 고려하였으며, 정책 시나리오로는 국제 배출권거래시장 도입과 무역자유화를 고려하였다. 본 연구는 다양한 모형과 시나리오를 가지고 세계 거시경제 변화 및 국내 농식품 부문에 미치는 영향을 분석했으며, 분석과정에서 파악된 한계점과 향후 연구 과제는 다음과 같다.

① 현재 GTAP-E 모형은 비CO₂ 온실가스를 포함하고 있지 않아 향후 연구에서는 모형을 수정하여 농업 부문에 매우 중요한 비CO₂ 온실가스를 포함시켜야 할 것이다. ② 기후변화는 단기적으로 생산량(단수)에 영향을 미치지만, 중장기적으로는 생산자의 토지사용 의사결정에도 영향을 미칠 수 있다(권오상 외 2016). 이런 의사결정 과정을 분석하기 위해서는 생산 여건 변화가 야기하는 투입 요소인 토지 선택에 대한 변화를 반영할 수 있어야 한다. 그러나 본 연구는 토지이용변화를 모형에 명시적으로 반영하지 못했다. 따라서 향후 업데이트 될 GTAP-AEZ 모형과 데이터베이스를 활용하여 토지이용변화를 명시적으로 반영해야 할 것이다.

③ 온실가스 감축에 대한 향후 국가별 국가결정기여(Nationally Determined Contribution: NDC) 이행상황에 따른 시나리오 분석이 가능할 것으로 판단된다. 가령, 주요 국가들이 NDC 감축 계획을 이행하였을 경우 2050년까지의 최대 허용 CO₂ 배출량을 도출하는 방식으로 실험이 가능할 것으로 판단된다. 감축기간이나 감축방식 등에 대한 합의가 미뤄지고 있는 상태이지만, 합의 시 시뮬레이션 결과를 이용하여 향후 협상에 활용할 여지가 있을 것이다. ④ 기후변화가 축산물이나 노동자의 생산성에 미치는 영향에 대한 추가적인 분석이 요구된다. 두 부문 모두 대기온도 등 환경 변화로 인한 스트레스로 인해 생산성이 감소할 것으로 예상되므로 GTAP 모형을 활용한 분석이 가능할 것으로 판단된다.

마지막으로 중력모형을 통한 모형구축은 기후변화가 농업과 농산물 무역에 미치는 다양한 경로상의 변수들을 생략하고 일반균형의 논리구조를 유지하고 있으면서 효율적인 자료의 활용으로 기후변화에 따른 농업과 농산물 무역의 변화를 전망할 수 있다는 장점이 있어 일반균형 접근에 포함시켰다. 중력모형 접근 방식은

기후나 이상기후가 직접적으로 교역에 미치는 영향에 대해 축약형 방정식으로 나타낼 수 있다는 장점이 있다. 가령, 시장균형모형들이 기후변화의 간접효과를 주로 측정하는 동시에 기후변화가 운송비 등에 미치는 직접효과에 대해 분석도 가능하다. 하지만 생산구조 변화를 파악할 수 없다는 한계가 있는 것으로 파악되었다. 본 분석에서는 우리나라의 열대과일, 온대과일, 감귤류 수입 중력모형을 구축하여 기후요인 변수로써 기후변화, 이상기후, 자연재해 피해비용을 분석에 반영하여 세계 기후시나리오별 중단기 과일수입을 전망했다. 분석과정에서 제시된 보완사항과 향후 과제는 다음과 같다.

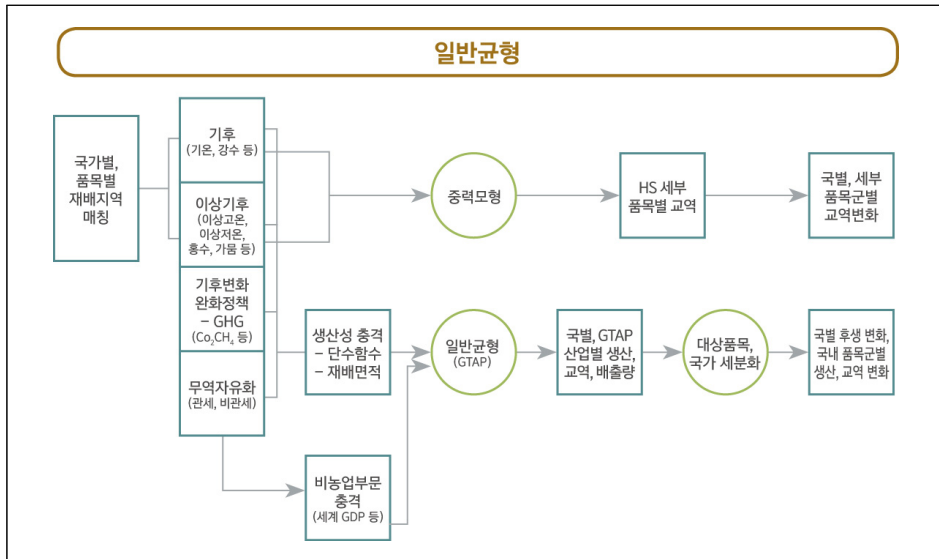
① 기후변화, 이상기후 및 자연재해 자료의 정확도 확보가 필요하다. 현재 기후변화나 이상기후 자료는 국가별 월평균 자료를 사용한다. 이 경우 국토가 넓은 경위도에 걸쳐있는 국가의 경우 실제 과일 주산지의 기후요인을 제대로 반영하지 못할 가능성이 크다. 보다 정교한 분석을 위해서는 지리정보시스템(Geographic Information System: GIS) 소프트웨어를 이용하여 그리드 단위의 고해상도(high-resolution) 시계열 자료를 확보하여, 실제 국가별, 품목별 주산지의 정밀한 기후요인 정보를 확보하는 것이 무엇보다 중요할 것으로 판단된다. 특히, EM-DAT의 국가별, 연도별 자연재해 자료는 자연재해로 인한 선진국의 피해보고 건수가 개도국에 비해 상대적으로 높고, 동일한 재해수준에서 선진국의 피해액이 개도국에 비해 상당히 큰 것으로 나타났다. 또한 실제 재해피해가 과일 주산지에는 거의 발생하지 않는 것으로 분석된다. 따라서 실제 주산지의 보다 정밀한 자연재해 피해규모를 파악할 수 있다면 정확한 결과를 도출할 수 있을 것이다.

② 구조화된(structured) 수입수요방정식의 구축이 필요하다. 기후요인과 무역의 관계를 연구한 해외 연구사례를 살펴보면, 기후요인이 농산물 무역에 직접적인 영향을 미치는 사례도 있지만, 제5장 <그림 5-16>과 같이 해당 국가의 기후요인이 농산물의 생산이나 기타 사회경제적 특성에 영향을 미쳐서 결과적으로 무역에 영향을 미치는 것으로 보는 것이 합리적인 것으로 판단된다. 본 분석에서도 기후요인 → 생산 → 무역의 경로를 규명하기 위해 2단계 분석기법을 시도하였으나, 유의미한 분석 결과를 얻지 못했다. 그 이유는 국가별, 연도별 기후요인 자료의 정

확성 문제나 일부 국가의 품목별 생산 자료의 결측치 문제 등이 복합적으로 나타난 결과로 판단된다. 정교한 자료를 확보한다는 전제하에 각 경로별 영향력을 추정할 수 있는 보다 구조화된 수입수요모형을 구축할 필요가 있다.

③ 세부 품목별 수입수요 모형 구축이 필요할 것으로 판단된다. 본 분석은 분석 대상 품목그룹을 열대과일, 감귤류, 온대과일로 구분하여 수입수요함수를 도출하였는데, 향후 과일 품목을 세분화하여, 바나나, 파인애플 등 세부 품목별 수입수요함수를 구축할 필요가 있다. 물론 이 경우에도 품목별 또는 국가별로 기후요인과 기타 변인에 대한 정확한 자료 수집이 전제가 되어야 할 것이다. 이상의 결과를 토대로 중력모형을 포함한 일반균형 접근 방식의 개선 방안을 <그림 6-2>와 같이 도식화하였다.

<그림 6-2> 일반균형 접근 방식 개선 방안



주: 사각형은 변수나 결과를 의미하고, 원형은 프로세스나 함수를 의미함.
자료: 저자 작성.

GTAP 10 데이터베이스 지역 및 부문 구성

○ GTAP 10 데이터베이스 지역(141개)

Number	Code	Description
1	AUS	Australia
2	NZL	New Zealand
3	XOC	Rest of Oceania
4	CHN	China
5	HKG	Hong Kong, Special Administrative Region of China
6	JPN	Japan
7	KOR	Korea, Republic of
8	MNG	Mongolia
9	TWN	Taiwan
10	XEA	Rest of East Asia
11	BRN	Brunei Darussalam
12	KHM	Cambodia
13	IDN	Indonesia
14	LAO	Lao PDR
15	MYS	Malaysia
16	PHL	Philippines
17	SGP	Singapore
18	THA	Thailand
19	VNM	Viet Nam
20	XSE	Rest of Southeast Asia
21	BGD	Bangladesh
22	IND	India
23	NPL	Nepal
24	PAK	Pakistan
25	LKA	Sri Lanka
26	XSA	Rest of South Asia
27	CAN	Canada
28	USA	United States of America
29	MEX	Mexico
30	XNA	Rest of North America

(계속)

Number	Code	Description
31	ARG	Argentina
32	BOL	Bolivia
33	BRA	Brazil
34	CHL	Chile
35	COL	Colombia
36	ECU	Ecuador
37	PRY	Paraguay
38	PER	Peru
39	URY	Uruguay
40	VEN	Venezuela (Bolivarian Republic of)
41	XSM	Rest of South America
42	CRI	Costa Rica
43	GTM	Guatemala
44	HND	Honduras
45	NIC	Nicaragua
46	PAN	Panama
47	SLV	El Salvador
48	XCA	Rest of Central America
49	DOM	Dominican Republic
50	JAM	Jamaica
51	PRI	Puerto Rico
52	TTO	Trinidad and Tobago
53	XCB	Rest of Caribbean
54	AUT	Austria
55	BEL	Belgium
56	BGR	Bulgaria
57	HRV	Croatia
58	CYP	Cyprus
59	CZE	Czech Republic
60	DNK	Denmark
61	EST	Estonia
62	FIN	Finland
63	FRA	France
64	DEU	Germany
65	GRC	Greece
66	HUN	Hungary
67	IRL	Ireland
68	ITA	Italy
69	LVA	Latvia
70	LTU	Lithuania
71	LUX	Luxembourg
72	MLT	Malta

(계속)

Number	Code	Description
73	NLD	Netherlands
74	POL	Poland
75	PRT	Portugal
76	ROU	Romania
77	SVK	Slovakia
78	SVN	Slovenia
79	ESP	Spain
80	SWE	Sweden
81	GBR	United Kingdom
82	CHE	Switzerland
83	NOR	Norway
84	XEF	Rest of European Free Trade Association
85	ALB	Albania
86	BLR	Belarus
87	RUS	Russian Federation
88	UKR	Ukraine
89	XEE	Rest of Eastern Europe
90	XER	Rest of Europe
91	KAZ	Kazakhstan
92	KGZ	Kyrgyzstan
93	TJK	Tajikistan
94	XSU	Rest of Former Soviet Union
95	ARM	Armenia
96	AZE	Azerbaijan
97	GEO	Georgia
98	BHR	Bahrain
99	IRN	Iran, Islamic Republic of
100	ISR	Israel
101	JOR	Jordan
102	KWT	Kuwait
103	OMN	Oman
104	QAT	Qatar
105	SAU	Saudi Arabia
106	TUR	Turkey
107	ARE	United Arab Emirates
108	XWS	Rest of Western Asia
109	EGY	Egypt
110	MAR	Morocco
111	TUN	Tunisia
112	XNF	Rest of North Africa
113	BEN	Benin
114	BFA	Burkina Faso

(계속)

Number	Code	Description
115	CMR	Cameroon
116	CIV	Côte d'Ivoire
117	GHA	Ghana
118	GIN	Guinea
119	NGA	Nigeria
120	SEN	Senegal
121	TGO	Togo
122	XWF	Rest of Western Africa
123	XCF	Rest of Central Africa
124	XAC	South Central Africa
125	ETH	Ethiopia
126	KEN	Kenya
127	MDG	Madagascar
128	MWI	Malawi
129	MUS	Mauritius
130	MOZ	Mozambique
131	RWA	Rwanda
132	TZA	Tanzania, United Republic of
133	UGA	Uganda
134	ZMB	Zambia
135	ZWE	Zimbabwe
136	XEC	Rest of Eastern Africa
137	BWA	Botswana
138	NAM	Namibia
139	ZAF	South Africa
140	XSC	Rest of South African Customs Union
141	XTW	Rest of the World

자료: GTAP Data Bases(Regions)(<https://www.gtap.agecon.purdue.edu/databases/regions.aspx?version=10.211>, 검색일: 2020. 2. 10.).

○ GTAP 10 데이터베이스 부문(농식품 20개 / 전체 65개)

Number	Code	Description (Detailed Sector Breakdown)
1	pdr	Paddy rice
2	wht	Wheat
3	gro	Cereal grains nec
4	v_f	Vegetables, fruit, nuts
5	osd	Oil seeds
6	c_b	Sugar cane, sugar beet
7	pfb	Plant-based fibers
8	ocr	Crops nec
9	ctl	Bovine cattle, sheep and goats, horses
10	oap	Animal products nec
11	rmk	Raw milk
12	wol	Wool, silk-worm cocoons
13	frs	Forestry
14	fsh	Fishing
15	coa	Coal
16	oil	Oil
17	gas	Gas
18	oxt	Other Extraction (formerly omn Minerals nec)
19	cmt	Bovine meat products
20	omt	Meat products nec
21	vol	Vegetable oils and fats
22	mil	Dairy products
23	pcr	Processed rice
24	sgr	Sugar
25	ofd	Food products nec
26	b_t	Beverages and tobacco products
27	tex	Textiles
28	wap	Wearing apparel
29	lea	Leather products
30	lum	Wood products
31	ppp	Paper products, publishing
32	p_c	Petroleum, coal products
33	chm	Chemical products
34	bph	Basic pharmaceutical products
35	rpp	Rubber and plastic products
36	nmm	Mineral products nec
37	i_s	Ferrous metals
38	nfm	Metals nec
39	fmp	Metal products
40	ele	Computer, electronic and optical products
41	eeq	Electrical equipment

(계속)

Number	Code	Description (Detailed Sector Breakdown)
42	ome	Machinery and equipment nec
43	mvh	Motor vehicles and parts
44	otn	Transport equipment nec
45	omf	Manufactures nec
46	ely	Electricity
47	gdt	Gas manufacture, distribution
48	wtr	Water
49	cns	Construction
50	trd	Trade
51	afs	Accommodation, Food and service activities
52	otp	Transport nec
53	wtp	Water transport
54	atp	Air transport
55	whs	Warehousing and support activities
56	cmn	Communication
57	ofi	Financial services nec
58	ins	Insurance (formerly isr)
59	rsa	Real estate activities
60	obs	Business services nec
61	ros	Recreational and other services
62	osg	Public Administration and defense
63	edu	Education
64	hht	Human health and social work activities
65	dwe	Dwellings

주: 굵게 표시된 부분은 농업 및 식품가공(Agriculture and food processing) 부문임.

자료: GTAP Data Base(Sectors)(https://www.gtap.agecon.purdue.edu/databases/v10/v10_sectors.aspx, 검색일: 2020. 2. 10.).

중력모형 추정방식⁶⁷⁾

1. 중력모형의 이론적 배경

본 연구는 기후변화나 이상기후가 우리나라의 열대(아열대) 과일의 수입에 미치는 영향을 분석하기 위해 중력모형을 이용한 수입수요 모형을 구축하였다. 열대과일 교역 모형의 이론적 기반이 되는 중력모형은 무역이론에서 여러 국가 간의 쌍무교역패턴을 분석하고 요인을 파악하는 데 주로 활용되어 왔다. 양이석 외(2017)에 따르면 Tinbergen(1962)과 Poyhonen(1963)의 연구에서처럼 양국 간의 교역 흐름은 뉴턴의 물리학의 중력법칙을 적용한 다음 식 (1)과 같은 중력모형의 기초모형으로 표현될 수 있다.

$$Y_{od} = A \frac{X_o \times X_d}{D_{od}}, o \neq d \quad (1)$$

즉, 국가 간 교역실적은 해당 국가들의 경제규모와 비례하고, 국가 간 거리에는 반비례함을 의미한다. 위의 식 (1)에서 o 는 출발지(Origin), d 는 도착지(destination)를 의미하며, Y_{od} 는 국가 간의 교역량, X_o 와 X_d 는 각각 출발지와 도착지(목적지)의 경제규모(예: 국내총생산, 일 인당 총생산, 인구 등), D_{od} 는 국가 간의 물리적 거리, A 는 중력상수를 의미한다. 식 (1)은 일반적으로 실증분석에서

67) 경상대학교 김태영교수의 위탁원고 '기후변화가 열대과일 교역에 미치는 영향 분석' 결과를 정리함.

양변에 자연로그를 취하여 식 (2)와 같이 로그-로그 함수형태로 변환되어 선형회귀모형으로 추정한다.

$$\ln Y_{od} = \alpha + \beta_1 \ln X_o + \beta_2 \ln X_d + \gamma_3 \ln D_{od}, o \neq d \quad (2)$$

여기서 α 는 상수, β, γ 는 각각 국가별 경제규모 및 물리적 거리에 대한 계수로써 탄력성을 의미한다. 이러한 중력식은 주요변수에 대한 교역량의 탄력성을 살펴보는 데 유용하며, 더불어 교역에 영향을 주는 다양한 요인변수를 신축적으로 활용할 수 있는 장점이 있다.

전통적인 중력모형은 다자간 교역을 기본으로 하기 때문에, 전체 무역 참가국이 n 개 국가라면 동일한 시점에서의 중력모형의 총관측치 수는 $n(n-1)$ 개가 된다. 따라서 만약 시간별-국가별 자료를 활용한 패널모형을 구축하기 위해서는 출발지와 도착지의 모든 영향요인에 대한 자료를 수집해야 하는 부담이 있다. 그래서 연구대상이나 목적에 따라 전통적인 중력모형을 완화하여 [단일 출발지 - 여러 도착지]로 구성된 수출실적 기준 중력모형이나 [여러 출발지 - 단일 도착지]로 구성된 수입실적 기준 중력모형을 구축한 연구사례도 존재한다.

2. 분석모형 구축⁶⁸⁾

2.1. 패널중력모형

본 연구는 1996년부터 2018년까지 주요 수입국으로부터 한국으로의 과일 수입 실적을 분석 대상으로 하기 때문에 [여러 출발지 - 단일 도착지]형태의 수입실적 기준 패널중력모형을 구축한다.

68) 양이석 외(2017)의 내용을 바탕으로 요약 정리함.

패널중력모형의 기본형태는 다음 식 (3)과 같다.

$$\ln Y_{odt} = \alpha + \beta_1 \ln X_{ot} + \beta_2 \ln X_{dt} + \gamma_3 \ln D_{odt} + v_o + \epsilon_{odt}, o \neq d \quad (3)$$

여기서 o 는 한국의 주요 과일 수입국, d 는 한국(도착지), t 는 연도(1996~2018년)를 나타낸다. 또한 도착지(d)가 1(한국)이기 때문에 동일 시점에서의 관측치 수는 수입국(o)의 수와 일치한다. v_o 는 관찰되지 않은 수입국의 내재적 속성으로서, 이러한 속성이 관측된 외생변수와 서로 독립이나 아니냐에 따라 확률효과(Random effect)와 고정효과(Fixed effect) 모형으로 나뉜다. 끝으로 ϵ_{odt} 는 확률오차항을 나타낸다.

2.2. 패널공간중력모형

일반적인 패널중력모형은 교역 상대국 간의 물리적 거리로 인한 교역실적의 변화를 고려하고는 있지만, 기본적으로 두 국가 간의 무역흐름이 다른 국가 간의 무역흐름과 서로 독립이라는 선형회귀모형의 기본 가정을 따르고 있기 때문에 국가 간 교역실적의 공간적 파급효과(Spatial spillover effect)나 공간적 종속성(Spatial dependency)을 고려하지 못하는 한계가 있다. 한석호 외(2018)에 의하면, 국가 간 무역은 주변국과 상호 의존하고 있는 경향이 있기 때문에, 특정 국가 간의 교역량이 변하게 되면 주변의 다른 국가의 교역량도 같이 변할 수 있으며, 이를 국가 간 무역의 공간적 종속성으로 정의하였다. 또한 Anselin(1988), Griffith(2007), LeSage and Pace(2008)는 만약 국가 간 무역의 공간종속성이 존재함에도 불구하고 이를 모형에 고려하지 않을 경우 추정량의 편의나 비효율성 문제가 발생할 수 있다고 하였으며, 이를 해결하기 위한 방법으로 공간계량모형을 이용하였다. 일반적인 공간계량모형은 종속변수의 공간종속성을 반영한 공간시차모형(spatial lag model: SLM), 오차항의 공간종속성을 반영한 공간오차모형(spatial error

model: SEM), 그리고 이들 두 모형의 조합으로 이뤄진 일반공간모형(general spatial model: GSM) 등으로 구분된다(Anselin 1988; LeSage and Pace 2009). 이러한 공간계량모형을 패널중력모형에 접목시키면 다음 식 (4)~(6)의 패널공간중력모형을 구축할 수 있다.

공간시차모형(Spatial lag model, or Spatial Auto-Regressive model: SAR):

$$\ln Y_{odt} = \alpha + \rho W \ln Y_{odt} + \beta_1 \ln X_{ot} + \beta_2 \ln X_{dt} + \gamma_3 \ln D_{odt} + v_o + \epsilon_{odt}, o \neq d \quad (4)$$

공간오차모형(Spatial Error Model: SEM):

$$\begin{aligned} \ln Y_{odt} &= \alpha + \beta_1 \ln X_{ot} + \beta_2 \ln X_{dt} + \gamma_3 \ln D_{odt} + v_o + u_{odt}, o \neq d \\ u_{odt} &= \lambda W u_{odt} + \epsilon_{odt} \end{aligned} \quad (5)$$

일반공간모형(General spatial model, or Spatial Autoregressive with Spatially Autocorrelated Errors Model: SAC):

$$\begin{aligned} \ln Y_{odt} &= \alpha + \rho W \ln Y_{odt} + \beta_1 \ln X_{ot} + \beta_2 \ln X_{dt} + \gamma_3 \ln D_{odt} + v_o + u_{odt}, o \neq d \\ u_{odt} &= \lambda W u_{odt} + \epsilon_{odt} \end{aligned} \quad (6)$$

여기서 W 는 공간가중행렬(Spatial weight matrix)로서 교역 국가 간의 공간종속성 구조를 정의하는 역할을 하며, 주로 국가 간의 종속성의 크기는 거리에 반비례한다는 가정의 역거리행렬(Inverse distance matrix)이나, 국가 간 인접성을 정의하는 인접성 행렬(Contiguity matrix)을 사용한다. 또한 WY 는 국가 간 교역량의 공간시차종속변수(spatial lag dependent variable), Wu 는 공간오차변수(spatial lag error term)를 의미하며, ρ 와 λ 는 각각 WY 와 Wu 의 추정치로서 공간종속성의 크기와 방향을 나타내는 역할을 한다. 만약 다자간 무역흐름

(Multilateral trade flow)을 기반으로 공간중력모형을 구축한다면, 공간가중행렬은 출발지 기준(Origin-based) 공간가중행렬($W_o = I_N \otimes W$), 도착지 기준(Destination-based) 공간가중행렬($W_d = W \otimes I_N$), 출발지-도착지 기준 공간가중행렬($W_w = W_o \cdot W_d = (I_N \otimes W)(W \otimes I_N) = W \otimes W$)로 구축할 수 있다(양이석 외 2017).

2.3. 교역량이 존재하지 않는 경우(zero trade value) 분석모형 설정

본 연구에서 사용되는 한국의 주요 과일 수입실적 자료는 일부 국가의 경우 일정기간 동안 수입실적이 0인 경우도 관측된다. Eaton and Tamura(1994)에 의하면 대부분의 중력모형 문헌에서 0값의 교역량이 관측되는 경우 종속 변수의 모든 0을 1로 대체한 후 로그를 취하는데, 이 경우에도 결국 0값이 관측된다. 따라서 단순한 선형회귀모형을 기반으로 한 중력모형의 추정량은 불편성과 일치성을 담보하기 어렵다. 본 연구에서도 이런 문제가 발생할 우려가 있어, 교역량 0값이 포함된 경우의 중력모형 구축 방법에 대해 살펴보기로 한다.

무역흐름에 0값이 다수 포함된 경우의 분석 방법은 다수 선행연구에서 제시되고 있다. 대표적으로 Eaton and Kotum(2002), 김한호 외(2009)의 경우 토빗(Tobit) 모형을 사용하였다. 또한 Santos Silva and Tenreiro(2006, 2011)은 포아송(Poisson) 모형과 수정된 포아송(Modified Poisson) 모형을 사용하였으며, 특히 Poisson Psuedo Maximum Likelihood (PPML) 방법을 사용하여 값이 0인 거래흐름과 로그 변환 시 일치성 문제를 해결하였다. 한편 Burger et al.(2009)의 경우 포아송 계열의 모형에서 발생할 수 있는 과다 분산 문제의 해결을 위해 음이항(Negative binomial) 계열의 모형을 제시하였다.

가. 패널토빗모형

일반적인 패널토빗 모형은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} D_{it} &= \max(0, X_{it}\beta + \alpha + \mu_i + \varepsilon_{it}) \\ \varepsilon_{it}|X_i &\sim N(0, \sigma_\varepsilon^2), \mu_i \sim N(0, \sigma_\mu^2) \\ E(\mu_i\mu_j) &= 0, E(\mu_i\varepsilon) = 0, E(\varepsilon_{it}\varepsilon_{ij}) = 0 \quad \forall i \neq j. \end{aligned} \quad (7)$$

이를 응용한 패널토빗 중력모형은 다음과 같이 설정하였다.

$$\ln Y_{odt} = \max(0, \alpha + \beta_1 \ln X_{ot} + \beta_2 \ln X_{dt} + \gamma_3 \ln D_{odt} + v_o + \epsilon_{odt}, o \neq d) \quad (8)$$

통상적인 패널모형은 고정효과와 확률효과 모형으로 구분할 수 있으나, Wooldridge(2010)에 의하면, 토빗모형의 경우 부수적인 매개변수의 문제 (incidental parameter problem)가 발생하여 고정효과 모형의 추정량은 일치추정량이 되지 않는 문제가 있기 때문에 확률효과 모형으로 구축하며, 최대우도법 (maximum likelihood estimator: MLE)을 이용하여 추정한다.

나. 패널포아송 모형

패널 포아송 모형은 주로 가산형 자료의 분석에 이용되지만 Santos Silva and Tenreiro(2006, 2011)에 의하면, 0값이 포함된 중력모형에서 기존의 선형회귀추정량에 비해 좀 더 나은 일치추정량을 구할 수 있다고 하였다. 패널 포아송 모형에서는 관측치 i 가 특정 사건이 발생하게 되는 횟수를 아래 식 (9)와 같이 정의할 수 있다.

$$\begin{aligned} Pr(Y_{i,t} = y_{i,t} | x_{i,t}) &= \frac{e^{-\lambda_{i,t}} \lambda_{i,t}^{y_{i,t}}}{y_{i,t}!} \\ \text{where, } y &= 0, 1, 2, \dots \quad (i = 1, \dots, N ; t = 1, \dots, T) \end{aligned} \quad (9)$$

위의 식 (9)를 이용하여 출발지(o)에서 도착지(d)로 향하는 중력모형 구축을 위

한 패널 포아송 분포는 다음과 같이 정의하였으며, 식 (10)을 로그변환하여 추정한다.

$$Pr(Y_{odt} = y_{odt} | X_{odt}) = \frac{e^{-\lambda_{odt}} \lambda_{odt}^{y_{odt}}}{y_{odt}!} \quad (10)$$

여기서 X_{odt} 는 중력모형 구축에 포함되는 모든 설명변수 벡터의 집합이다.

다. 패널 음이항모형

Wooldridge(2013)에 의하면 패널 포아송 모형은 강인성(Robustness)을 보유하고 있어 일치추정량을 추정하기 용이하다는 장점이 있지만, 다음과 같이 조건부 평균과 조건부 분산이 같다는 강한 제약을 전제로 하고 있다.

$$Var(y_{it} | x_{it}) = \sigma^2 E(y_{it} | x_{it}) = \lambda_{it} = e^{\mu_i + x'_{it}\beta}$$

만약 표준오차(σ^2)가 1보다 크면, 조건부 평균보다 조건부 분산이 큰 과대산포(Overdispersion) 문제가 발생하고, 표준오차가 1보다 작으면 조건부 평균보다 조건부 분산이 작은 과소산포(Underdispersion) 문제가 발생한다.

패널 음이항(Negative binomial) 모형은 이러한 패널 포아송 모형의 강한 제약 조건을 완화시키고 이분산 가정을 수용하여 과대산포 문제를 보완하였다. 출발지(o)에서 도착지(d)로 향하는 중력모형 구축을 위한 패널 음이항 분포는 다음 식 (11)과 같이 정의한다.

$$Pr(y_{od,1}, \dots, y_{od,T} | X_{odt}) = \frac{\prod_{t=1}^T \gamma_{ot}^{y_{odt}}}{\prod_{t=1}^T y_{odt}!} \cdot \frac{\Gamma\left(\theta + \sum_{t=1}^T y_{odt}\right)}{\Gamma(\theta) \left(\sum_{t=1}^T \gamma_{ot}\right)^{\sum_{t=1}^T y_{odt}}} \cdot q_o^\theta (1 - q_o)^{\sum_{t=1}^T y_{odt}} \quad (11)$$

기후변화의 과일 수입 중력모형 추정결과⁶⁹⁾

1. 열대과일

〈부표 3-1〉 열대과일 수입모형 추정결과(출발지 기후, 수입량 기준)

변수	패널토빗	패널포아송			패널음이항		일반패널	
		고정효과	확률효과	PPML	고정효과	확률효과	고정효과	확률효과
W*ln(Y) 공간중속	-0.130 (0.159)	-0.032*** (0.011)	-0.031*** (0.011)	0.016 (0.039)	-0.041 (0.029)	-0.025 (0.030)	-0.024 (0.111)	0.009 (0.110)
ln(EXCH) 환율	15.162*** (4.570)	1.489*** (0.317)	1.418*** (0.315)	1.032* (0.562)	1.808*** (0.587)	1.773*** (0.637)	9.248*** (3.273)	9.485*** (3.157)
ln(PGDP)_o 일인당GDP	-0.010 (0.986)	-0.268*** (0.098)	-0.162 (0.099)	0.078 (0.156)	0.228* (0.132)	0.182 (0.116)	-1.127 (0.929)	0.687 (0.480)
ln(PGDP)_d 일인당GDP	19.563*** (4.730)	2.293*** (0.384)	2.181*** (0.376)	1.349 (0.849)	3.267*** (0.653)	3.054*** (0.646)	11.448*** (3.900)	11.220*** (2.885)
ln(Prod)_o 열대과일생산	1.208* (0.664)	0.728*** (0.081)	0.501*** (0.092)	0.076 (0.105)	0.225*** (0.074)	0.168** (0.076)	3.077*** (0.805)	0.633* (0.330)
ln(Tariff)_d 평균관세	-8.101 (8.784)	0.000 (0.681)	-0.159 (0.663)	-0.817 (1.128)	1.559 (1.180)	1.091 (1.140)	-11.405 (7.712)	-11.448** (5.590)
ln(SPS)_d 위생조치	-1.337* (0.742)	-0.165*** (0.050)	-0.152*** (0.050)	-0.058 (0.053)	-0.080 (0.102)	-0.092 (0.112)	-0.959* (0.492)	-0.705 (0.526)
ln(TBT)_d 기술장벽	0.367 (0.937)	0.089 (0.060)	0.089 (0.060)	0.101 (0.098)	0.010 (0.122)	0.028 (0.133)	0.049 (0.638)	-0.016 (0.688)
FTA_od FTA더미	-2.063 (1.450)	-0.047 (0.084)	-0.090 (0.084)	-0.170 (0.174)	-0.202 (0.156)	-0.242 (0.168)	-0.549 (1.070)	-1.260 (1.120)

69) 경상대학교 김태영 교수의 분석 결과를 정리함.

(계속)

변수	패널토빗	패널포아송			패널음이항		일반패널	
		고정효과	확률효과	PPML	고정효과	확률효과	고정효과	확률효과
OECD_o OECD여부	0.549 (3.333)		0.724 (0.816)	-0.179 (0.243)	0.034 (0.344)	-0.052 (0.303)		-1.185 (1.303)
APEC_o APEC여부	2.526 (2.723)		0.492 (0.618)	0.232 (0.300)	0.377 (0.297)	0.451* (0.266)		1.431 (1.139)
TMP_o 평균기온	-0.674** (0.274)	-0.138** (0.062)	-0.127** (0.049)	-0.067*** (0.023)	-0.237*** (0.033)	-0.182*** (0.031)	-0.588 (0.702)	-0.460*** (0.112)
ln(Prec)_o 강수량	-2.211 (2.243)	-0.488 (1.120)	-1.210*** (0.344)	-0.097 (0.323)	-0.472* (0.262)	-0.341 (0.244)	-4.851 (10.248)	-0.810 (1.083)
DTR_o 일교차	-0.421 (0.756)	0.101 (0.083)	0.054 (0.079)	-0.034 (0.143)	-0.160 (0.101)	-0.093 (0.095)	0.170 (0.833)	-0.360 (0.405)
CD_TMP_o 평년기온차	-7.722*** (2.499)	-0.803*** (0.181)	-0.775*** (0.176)	-0.959*** (0.352)	-1.119*** (0.351)	-1.107*** (0.368)	-4.718** (1.878)	-5.444*** (1.724)
CR_Prec_o 강수변화율	0.048 (0.031)	0.007 (0.011)	0.014*** (0.004)	0.006 (0.005)	0.002 (0.004)	0.001 (0.004)	0.077 (0.106)	0.039** (0.020)
ln(Drought)_o 가뭄	-0.095* (0.056)	-0.009* (0.005)	-0.009* (0.005)	-0.008* (0.005)	-0.011* (0.006)	-0.013* (0.007)	-0.032 (0.054)	-0.036 (0.058)
ln(ExtTMP)_o 극한기온	0.101 (0.145)	0.003 (0.009)	0.005 (0.009)	0.009 (0.011)	0.009 (0.013)	0.010 (0.015)	0.039 (0.103)	0.062 (0.111)
ln(Flood)_o 홍수	-0.044 (0.060)	-0.003 (0.004)	-0.003 (0.004)	-0.009 (0.011)	-0.001 (0.007)	-0.002 (0.008)	-0.029 (0.041)	-0.058 (0.043)
ln(Storm)_o 폭풍우	-0.049 (0.077)	-0.001 (0.005)	-0.002 (0.005)	-0.001 (0.013)	0.005 (0.010)	0.002 (0.010)	-0.007 (0.053)	-0.017 (0.051)
ln(Dist)_od 유가거리	-3.524** (1.797)	-0.446*** (0.158)	-0.430*** (0.153)	-0.268 (0.291)	-0.933*** (0.247)	-0.772*** (0.230)	-1.820 (1.706)	-2.244** (0.956)
AIC	2162.5	2976.5	3263.6	-	2237.3	2498.6	2837.7	2553.9
BIC	2257.5	3050.9	3354.5	-	2324.1	2593.6	2932.7	2632.4

주 1) PPML=Pseudo Poisson Maximum Likelihood, 변수명 뒤에 'o'는 origin(출발지), 'd'는 destination(도착지)을 의미함.

2) *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$

자료: 저자 작성.

〈부표 3-2〉 열대과일 수입모형 추정결과(출발지 기후, 수입액 기준)

변수	패널토빗	패널포아송			패널음이항		일반패널	
		고정효과	확률효과	PPML	고정효과	확률효과	고정효과	확률효과
W*ln(Y) 공간종속	-0.142 (0.155)	-0.034*** (0.011)	-0.033*** (0.011)	0.018 (0.037)	-0.029 (0.029)	-0.009 (0.030)	-0.031 (0.109)	0.001 (0.107)
ln(EXCH) 환율	15.767*** (4.418)	1.577*** (0.312)	1.515*** (0.311)	1.079* (0.551)	1.895*** (0.587)	1.855*** (0.647)	10.033*** (3.195)	10.499*** (3.091)
ln(PGDP)_o 일인당GDP	0.198 (0.944)	-0.233** (0.096)	-0.129 (0.097)	0.098 (0.146)	0.160 (0.130)	0.129 (0.111)	-1.115 (0.911)	0.829* (0.461)
ln(PGDP)_d 일인당GDP	20.096*** (4.561)	2.361*** (0.377)	2.252*** (0.370)	1.398* (0.797)	3.291*** (0.653)	3.027*** (0.644)	12.218*** (3.809)	12.462*** (2.826)
ln(Prod)_o 열대과일생산	1.272** (0.634)	0.736*** (0.079)	0.522*** (0.091)	0.083 (0.097)	0.263*** (0.073)	0.177** (0.077)	3.069*** (0.784)	0.675** (0.318)
ln(Tariff)_d 평균관세	-6.776 (8.380)	0.230 (0.661)	0.078 (0.644)	-0.531 (0.980)	2.013* (1.134)	1.521 (1.098)	-10.792 (7.494)	-9.621* (5.401)
ln(PSPS)_d 위생조치	-1.454** (0.718)	-0.175*** (0.050)	-0.163*** (0.050)	-0.062 (0.050)	-0.091 (0.101)	-0.103 (0.113)	-1.087** (0.481)	-0.816 (0.514)
ln(TBT)_d 기술장벽	0.495 (0.901)	0.085 (0.058)	0.084 (0.058)	0.089 (0.089)	0.019 (0.119)	0.040 (0.130)	0.057 (0.621)	-0.029 (0.672)
FTA_od FTA더미	-2.116 (1.397)	-0.066 (0.081)	-0.105 (0.081)	-0.175 (0.170)	-0.166 (0.151)	-0.216 (0.164)	-0.514 (1.042)	-1.199 (1.093)
OECD_o OECD여부	0.640 (3.147)		0.729 (0.803)	-0.146 (0.229)	0.211 (0.342)	0.094 (0.292)		-1.012 (1.244)
APEC_o APEC여부	2.661 (2.577)		0.568 (0.615)	0.267 (0.279)	0.386 (0.298)	0.461* (0.258)		1.553 (1.091)
TMP_o 연평균기온	-0.714*** (0.259)	-0.153** (0.060)	-0.137*** (0.048)	-0.071*** (0.021)	-0.231*** (0.033)	-0.166*** (0.031)	-0.768 (0.683)	-0.515*** (0.107)
ln(Prec)_o 연평균강수량	-2.404 (2.136)	-0.992 (1.084)	-1.278*** (0.343)	-0.126 (0.295)	-0.599** (0.259)	-0.388 (0.241)	-7.590 (9.981)	-0.917 (1.040)
DTR_o 연평균일교차	-0.447 (0.722)	0.112 (0.081)	0.058 (0.078)	-0.035 (0.130)	-0.195* (0.101)	-0.103 (0.094)	0.321 (0.811)	-0.350 (0.390)
CD_TMP_o 평년기온차	-7.045*** (2.390)	-0.701*** (0.177)	-0.686*** (0.172)	-0.882*** (0.329)	-1.018*** (0.342)	-0.982*** (0.360)	-4.116** (1.824)	-5.189*** (1.674)
CR_Prec_o 강수변화율	0.045 (0.030)	0.012 (0.011)	0.014*** (0.004)	0.005 (0.004)	0.002 (0.004)	0.001 (0.004)	0.102 (0.103)	0.036* (0.019)
ln(Drought)_o 가뭄	-0.108* (0.064)	-0.010** (0.005)	-0.010** (0.005)	-0.008* (0.005)	-0.012* (0.007)	-0.014* (0.008)	-0.043 (0.053)	-0.045 (0.056)
ln(ExtTMP)_o 극한기온	0.090 (0.139)	0.003 (0.008)	0.004 (0.008)	0.008 (0.010)	0.006 (0.013)	0.007 (0.016)	0.028 (0.101)	0.053 (0.108)

(계속)

변수	패널토빗	패널포아송			패널음이항		일반패널	
		고정효과	확률효과	PPML	고정효과	확률효과	고정효과	확률효과
ln(Flood)_o 홍수	-0.052 (0.058)	-0.004 (0.004)	-0.003 (0.004)	-0.007 (0.010)	-0.000 (0.007)	-0.002 (0.007)	-0.039 (0.040)	-0.064 (0.041)
ln(Storm)_o 폭풍우	-0.031 (0.074)	-0.001 (0.005)	-0.001 (0.005)	-0.002 (0.012)	0.005 (0.009)	0.002 (0.009)	-0.001 (0.051)	-0.012 (0.049)
ln(Dist)_od 유가거리	-3.487** (1.715)	-0.431*** (0.154)	-0.417*** (0.149)	-0.271 (0.267)	-0.903*** (0.240)	-0.715*** (0.220)	-1.714 (1.662)	-2.451*** (0.921)
AIC	2162.3	2955.7	3244.5	-	2274.2	2534.2	2807.2	2529.4
BIC	2257.3	3030.1	3335.4	-	2361.0	2629.3	2902.3	2607.9

주 1) PPML=Pseudo Poisson Maximum Likelihood, 변수명 뒤에 'o'는 origin(출발지), 'd'는 destination(도착지)을 의미함.

2) *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

자료: 저자 작성.

〈부표 3-3〉 열대과일 수입모형 추정결과(출발지-도착지 기후, 수입량 기준)

변수	패널토빗	패널포아송			패널음이항		일반패널	
		고정효과	확률효과	PPML	고정효과	확률효과	고정효과	확률효과
W*ln(Y) 공간종속	-0.263 (0.165)	-0.048*** (0.011)	-0.046*** (0.011)	0.013 (0.041)	-0.057* (0.031)	-0.040 (0.031)	-0.144 (0.115)	-0.077 (0.115)
ln(EXCH) 환율	18.204*** (5.355)	1.943*** (0.379)	1.859*** (0.377)	1.472** (0.589)	2.562*** (0.710)	2.497*** (0.767)	11.228*** (3.862)	11.141*** (3.744)
ln(PGDP)_o 일인당GDP	-0.328 (1.018)	-0.349*** (0.100)	-0.244** (0.101)	0.082 (0.158)	0.237* (0.134)	0.186 (0.119)	-1.785* (0.949)	0.584 (0.485)
ln(PGDP)_d 일인당GDP	21.009*** (4.921)	2.643*** (0.406)	2.502*** (0.399)	1.409* (0.817)	3.492*** (0.677)	3.259*** (0.670)	13.872*** (4.181)	11.790*** (2.981)
ln(Prod)_o 열대과일생산	1.198* (0.692)	0.771*** (0.081)	0.561*** (0.091)	0.077 (0.106)	0.235*** (0.075)	0.172** (0.077)	3.417*** (0.803)	0.574* (0.333)
ln(Tariff)_d 평균관세	-7.386 (9.668)	0.510 (0.739)	0.247 (0.717)	-0.767 (1.162)	1.593 (1.223)	1.197 (1.190)	-8.513 (8.730)	-12.279** (6.226)
ln(SPS)_d 위생조치	-1.225 (0.870)	-0.196*** (0.060)	-0.181*** (0.060)	-0.154*** (0.048)	-0.185 (0.118)	-0.215* (0.131)	-0.661 (0.567)	-0.535 (0.615)
ln(TBT)_d 기술장벽	0.131 (1.066)	0.083 (0.071)	0.079 (0.071)	0.033 (0.117)	-0.077 (0.143)	-0.040 (0.156)	0.010 (0.734)	-0.250 (0.794)
FTA_od FTA더미	-2.237 (1.433)	-0.074 (0.085)	-0.112 (0.085)	-0.196 (0.183)	-0.240 (0.157)	-0.290* (0.169)	-0.589 (1.061)	-1.377 (1.117)
OECD_o OECD여부	1.184 (3.464)		1.055 (0.931)	-0.175 (0.244)	0.087 (0.351)	0.014 (0.312)		-0.985 (1.317)

(계속)

변수	패널토빗	패널포아송			패널음이항		일반패널	
		고정효과	확률효과	PPML	고정효과	확률효과	고정효과	확률효과
APEC_o APEC여부	1.990 (2.815)		0.378 (0.698)	0.220 (0.309)	0.303 (0.303)	0.390 (0.272)		1.166 (1.157)
TMP_o 연평균기온	-0.667** (0.283)	-0.135** (0.063)	-0.138*** (0.053)	-0.067*** (0.023)	-0.233*** (0.034)	-0.177*** (0.032)	-0.699 (0.705)	-0.443*** (0.113)
ln(Prec)_o 연평균강수량	-1.951 (2.325)	-0.543 (1.143)	-1.387*** (0.350)	-0.091 (0.332)	-0.470* (0.262)	-0.327 (0.248)	-7.181 (10.287)	-0.541 (1.099)
DTR_o 연평균일교차	-0.274 (0.767)	0.093 (0.084)	0.064 (0.080)	-0.033 (0.145)	-0.153 (0.104)	-0.084 (0.098)	0.209 (0.828)	-0.276 (0.411)
CD_TMP_o 평년기온차	-11.372*** (3.029)	-1.325*** (0.214)	-1.263*** (0.210)	-1.499*** (0.404)	-1.772*** (0.394)	-1.773*** (0.418)	-7.371*** (2.234)	-7.800*** (2.127)
CR_Prec_o 강수변화율	0.040 (0.032)	0.007 (0.012)	0.016*** (0.004)	0.007 (0.005)	0.003 (0.004)	0.002 (0.004)	0.094 (0.107)	0.033 (0.020)
ln(Drought)_o 가뭄	-0.075 (0.082)	-0.007 (0.005)	-0.007 (0.005)	-0.004 (0.009)	-0.005 (0.009)	-0.007 (0.010)	-0.021 (0.054)	-0.025 (0.058)
ln(ExtTMP)_o 극한기온	0.084 (0.144)	-0.000 (0.009)	0.002 (0.009)	0.008 (0.012)	0.007 (0.013)	0.008 (0.015)	0.028 (0.103)	0.058 (0.110)
ln(Flood)_o 홍수	-0.047 (0.060)	-0.004 (0.004)	-0.004 (0.004)	-0.011 (0.012)	-0.003 (0.007)	-0.004 (0.008)	-0.030 (0.041)	-0.063 (0.043)
ln(Storm)_o 폭풍우	-0.056 (0.077)	-0.000 (0.006)	-0.001 (0.006)	-0.002 (0.012)	0.006 (0.010)	0.001 (0.010)	-0.008 (0.053)	-0.021 (0.051)
TMP_d 연평균기온	2.029* (1.150)	0.297*** (0.079)	0.279*** (0.079)	0.330*** (0.105)	0.298* (0.154)	0.332** (0.169)	1.562** (0.775)	1.266 (0.824)
ln(Prec)_d 연평균강수량	11.723 (12.072)	0.872 (0.803)	0.973 (0.793)	1.437 (0.888)	2.109 (1.585)	1.919 (1.736)	7.247 (8.338)	9.912 (8.994)
CR_Prec_d 강수변화율	-0.108 (0.117)	-0.009 (0.008)	-0.009 (0.008)	-0.015 (0.009)	-0.021 (0.016)	-0.019 (0.017)	-0.062 (0.080)	-0.089 (0.086)
ln(Flood)_d 홍수	-0.075 (0.090)	-0.010* (0.006)	-0.010* (0.006)	-0.018** (0.008)	-0.024** (0.012)	-0.023* (0.013)	-0.021 (0.062)	-0.046 (0.067)
ln(Storm)_d 폭풍우	-0.125** (0.062)	-0.013*** (0.004)	-0.012*** (0.004)	-0.001 (0.007)	-0.006 (0.008)	-0.006 (0.009)	-0.112*** (0.043)	-0.077 (0.047)
ln(Dist)_od 유가거리	-4.415** (1.884)	-0.614*** (0.166)	-0.581*** (0.162)	-0.299 (0.297)	-1.042*** (0.253)	-0.876*** (0.237)	-2.994 (1.832)	-2.628*** (0.990)
AIC	2163.7	2958.9	3249.3	-	2237.7	2499.4	2839.6	2550.5
BIC	2279.4	3053.9	3360.9	-	2345.1	2615.1	2955.3	2649.6

주 1) PPML=Pseudo Poisson Maximum Likelihood, 변수명 뒤에 'o'는 origin(출발지), 'd'는 destination (도착지)을 의미함.

2) *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$

자료: 저자 작성.

〈부표 3-4〉 열대과일 수입모형 추정결과(출발지-도착지 기후, 수입액 기준)

변수	패널토빗	패널포아송			패널음이항		일반패널	
		고정효과	확률효과	PPML	고정효과	확률효과	고정효과	확률효과
W*ln(Y) 공간중속	-0.314* (0.162)	-0.053*** (0.012)	-0.051*** (0.012)	0.014 (0.039)	-0.052 (0.032)	-0.029 (0.032)	-0.182 (0.114)	-0.109 (0.114)
ln(EXCH) 환율	18.111*** (5.143)	2.017*** (0.370)	1.939*** (0.368)	1.484*** (0.561)	2.550*** (0.707)	2.430*** (0.770)	12.030*** (3.755)	12.038*** (3.650)
ln(PGDP)_o 일인당GDP	-0.190 (0.982)	-0.308*** (0.098)	-0.207** (0.099)	0.101 (0.148)	0.154 (0.132)	0.120 (0.114)	-1.830** (0.923)	0.694 (0.466)
ln(PGDP)_d 일인당GDP	22.125*** (4.759)	2.775*** (0.399)	2.635*** (0.392)	1.459* (0.773)	3.591*** (0.685)	3.261*** (0.674)	15.492*** (4.082)	13.464*** (2.926)
ln(Prod)_o 열대과일생산	1.267* (0.670)	0.782*** (0.080)	0.583*** (0.089)	0.082 (0.097)	0.272*** (0.074)	0.177** (0.078)	3.452*** (0.779)	0.599* (0.321)
ln(Tariff)_d 평균관세	-4.032 (9.227)	0.878 (0.716)	0.626 (0.696)	-0.436 (1.018)	2.235* (1.183)	1.800 (1.154)	-5.955 (8.435)	-9.160 (6.002)
ln(PS)_d 위생조치	-1.191 (0.837)	-0.194*** (0.060)	-0.181*** (0.059)	-0.148*** (0.048)	-0.178 (0.117)	-0.208 (0.132)	-0.699 (0.550)	-0.573 (0.599)
ln(TBT)_d 기술장벽	0.522 (1.023)	0.091 (0.069)	0.087 (0.069)	0.034 (0.106)	-0.027 (0.141)	0.023 (0.157)	0.132 (0.712)	-0.150 (0.773)
FTA_od FTA더미	-2.283* (1.375)	-0.093 (0.082)	-0.128 (0.081)	-0.199 (0.179)	-0.196 (0.154)	-0.255 (0.166)	-0.547 (1.029)	-1.308 (1.087)
OECD_o OECD여부	1.473 (3.318)		1.137 (0.931)	-0.138 (0.229)	0.289 (0.351)	0.187 (0.302)		-0.734 (1.259)
APEC_o APEC여부	1.991 (2.696)		0.444 (0.697)	0.253 (0.288)	0.294 (0.305)	0.385 (0.265)		1.200 (1.109)
TMP_o 연평균기온	-0.697** (0.271)	-0.141** (0.061)	-0.140*** (0.051)	-0.071*** (0.021)	-0.220*** (0.035)	-0.158*** (0.032)	-0.844 (0.684)	-0.491*** (0.109)
ln(Prec)_o 연평균강수량	-2.110 (2.240)	-1.004 (1.104)	-1.447*** (0.347)	-0.117 (0.304)	-0.593** (0.262)	-0.365 (0.245)	-9.782 (9.977)	-0.574 (1.057)
DTR_o 연평균일교차	-0.281 (0.735)	0.102 (0.082)	0.068 (0.078)	-0.033 (0.132)	-0.183* (0.105)	-0.090 (0.097)	0.335 (0.802)	-0.243 (0.396)
CD_TMP_o 평년기온차	-10.009*** (2.882)	-1.186*** (0.209)	-1.132*** (0.205)	-1.371*** (0.377)	-1.626*** (0.385)	-1.592*** (0.411)	-6.454*** (2.158)	-7.118*** (2.057)
CR_Prec_o 강수변화율	0.034 (0.031)	0.011 (0.011)	0.015*** (0.004)	0.006 (0.004)	0.002 (0.004)	0.001 (0.004)	0.116 (0.104)	0.028 (0.019)
ln(Drought)_o 가뭄	-0.091 (0.079)	-0.008 (0.005)	-0.008* (0.005)	-0.005 (0.009)	-0.008 (0.009)	-0.010 (0.010)	-0.035 (0.053)	-0.035 (0.056)
ln(ExtTMP)_o 극한기온	0.068 (0.138)	-0.001 (0.008)	0.001 (0.008)	0.007 (0.011)	0.003 (0.013)	0.004 (0.016)	0.015 (0.099)	0.048 (0.107)

(계속)

변수	패널도넛	패널포아송			패널음이항		일반패널	
		고정효과	확률효과	PPML	고정효과	확률효과	고정효과	확률효과
ln(Flood)_o 홍수	-0.055 (0.057)	-0.005 (0.004)	-0.004 (0.004)	-0.009 (0.011)	-0.002 (0.007)	-0.004 (0.007)	-0.041 (0.040)	-0.069* (0.041)
ln(Storm)_o 폭풍우	-0.040 (0.074)	-0.001 (0.005)	-0.001 (0.005)	-0.003 (0.012)	0.006 (0.009)	0.001 (0.010)	-0.005 (0.051)	-0.019 (0.050)
TMP_d 연평균기온	2.096* (1.105)	0.287*** (0.077)	0.268*** (0.077)	0.309*** (0.102)	0.316** (0.153)	0.351** (0.170)	1.603** (0.752)	1.284 (0.802)
ln(Prec)_d 연평균강수량	7.622 (11.560)	0.794 (0.783)	0.854 (0.773)	1.304 (0.817)	1.478 (1.558)	1.207 (1.735)	5.810 (8.083)	8.419 (8.750)
CR_Prec_d 강수변화율	-0.071 (0.112)	-0.008 (0.008)	-0.008 (0.008)	-0.013 (0.008)	-0.015 (0.016)	-0.013 (0.018)	-0.050 (0.077)	-0.077 (0.084)
ln(Flood)_d 홍수	-0.020 (0.087)	-0.006 (0.006)	-0.006 (0.006)	-0.015** (0.008)	-0.018* (0.011)	-0.017* (0.010)	0.015 (0.060)	-0.014 (0.065)
ln(Storm)_d 폭풍우	-0.151** (0.060)	-0.014*** (0.004)	-0.014*** (0.004)	-0.011* (0.006)	-0.009* (0.005)	-0.010* (0.005)	-0.130*** (0.042)	-0.093** (0.046)
ln(Dist)_od 유가거리	-4.565** (1.805)	-0.622*** (0.162)	-0.591*** (0.158)	-0.304 (0.274)	-1.035*** (0.249)	-0.834*** (0.230)	-3.165* (1.779)	-2.946*** (0.955)
AIC	2162.0	2937.9	3230.2	-	2274.8	2534.7	2808.8	2523.2
BIC	2277.7	3032.9	3341.7	-	2382.2	2650.4	2924.5	2622.4

주 1) PPML=Pseudo Poisson Maximum Likelihood, 변수명 뒤에 'o'는 origin(출발지), 'd'는 destination (도착지)을 의미함.

2) *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$

자료: 저자 작성.

2. 감귤류

〈부표 3-5〉 감귤류 수입모형 추정결과(출발지 기후, 수입량 기준)

변수	패널토빗	패널포아송			패널음이항		일반패널	
		고정효과	확률효과	PPML	고정효과	확률효과	고정효과	확률효과
ln(EXCH) 환율	17.927** (7.406)	1.161*** (0.377)	1.297*** (0.377)	1.490 (0.917)	1.844* (0.963)	1.852* (0.991)	8.737** (3.508)	7.588* (4.251)
ln(PGDP)_o 일인당GDP	6.025*** (1.918)	0.734*** (0.133)	0.750*** (0.125)	0.056 (0.148)	-0.277 (0.246)	-0.213 (0.254)	3.496*** (0.980)	0.177 (0.523)
ln(PGDP)_d 일인당GDP	18.087*** (5.206)	1.316*** (0.260)	1.361*** (0.258)	0.470 (0.435)	1.231** (0.616)	1.117* (0.638)	10.458*** (2.563)	3.482 (2.525)
ln(Prod)_o 열대과일생산	-1.791 (1.699)	0.276 (0.199)	0.117 (0.161)	-0.360*** (0.060)	0.014 (0.151)	-0.099 (0.150)	0.109 (1.465)	-2.395*** (0.279)
ln(Tariff)_d 평균관세	-15.801 (10.537)	-0.264 (0.504)	-0.318 (0.499)	-0.800 (0.816)	0.028 (1.182)	0.060 (1.202)	-4.224 (5.199)	-5.287 (5.664)
ln(PS)_d 위생조치	0.578 (1.378)	0.109 (0.073)	0.099 (0.072)	-0.152 (0.167)	-0.064 (0.184)	-0.067 (0.190)	0.465 (0.613)	-0.685 (0.739)
ln(TBT)_d 기술장벽	-2.536 (1.638)	-0.153* (0.083)	-0.174** (0.082)	-0.186 (0.180)	-0.187 (0.203)	-0.185 (0.208)	-1.085 (0.785)	-1.550 (0.988)
FTA_od FTA더미	-3.250 (2.018)	-0.473*** (0.106)	-0.455*** (0.104)	-0.050 (0.158)	-0.129 (0.213)	-0.106 (0.222)	-2.757*** (0.906)	0.491 (0.965)
OECD_o OECD여부	-11.906 (8.246)		-0.231 (1.211)	0.307 (0.323)	2.917*** (0.708)	2.442*** (0.760)		2.263* (1.237)
APEC_o APEC여부	1.011 (7.398)		1.659 (1.205)	-0.277* (0.158)	0.383 (0.396)	0.294 (0.383)		-2.666*** (0.861)
TMP_o 연평균기온	-0.480 (0.427)	-0.146* (0.079)	0.066 (0.069)	-0.054*** (0.013)	-0.061** (0.025)	-0.067*** (0.025)	0.804 (0.709)	-0.290*** (0.055)
ln(Prec)_o 연평균강수량	10.359 (8.235)	-2.155* (1.251)	0.088 (0.936)	-0.417* (0.237)	-3.449*** (0.566)	-3.032*** (0.600)	-7.874 (11.628)	-4.412*** (1.134)
DTR_o 연평균일교차	2.370 (1.530)	0.411*** (0.129)	0.293** (0.118)	0.213*** (0.061)	1.006*** (0.143)	0.895*** (0.162)	2.639** (1.151)	1.371*** (0.239)
CD_TMP_o 평년기온차	-5.405 (4.671)	-0.624*** (0.237)	-0.574** (0.234)	0.384 (0.454)	0.475 (0.575)	0.561 (0.590)	-6.308*** (2.223)	0.366 (2.370)
CR_Prec_o 강수변화율	-0.200** (0.097)	0.017 (0.015)	-0.009 (0.011)	-0.024*** (0.009)	-0.049*** (0.010)	-0.047*** (0.010)	0.061 (0.132)	-0.128*** (0.031)
ln(Drought)_o 가뭄	-0.028 (0.119)	-0.009 (0.005)	-0.007 (0.005)	0.011 (0.012)	-0.011 (0.012)	-0.007 (0.013)	-0.008 (0.059)	0.176** (0.070)

(계속)

변수	패널토빗	패널포아송			패널음이항		일반패널	
		고정효과	확률효과	PPML	고정효과	확률효과	고정효과	확률효과
ln(ExtTMP)_o 극한기온	-0.123 (0.165)	-0.001 (0.007)	-0.002 (0.007)	0.003 (0.017)	0.001 (0.018)	0.000 (0.019)	-0.081 (0.085)	0.036 (0.105)
ln(Flood)_o 홍수	0.185* (0.101)	0.013** (0.005)	0.013*** (0.005)	0.042*** (0.011)	0.036*** (0.012)	0.039*** (0.012)	0.057 (0.048)	0.276*** (0.054)
ln(Storm)_o 폭풍우	0.015 (0.125)	0.000 (0.007)	-0.001 (0.007)	0.052*** (0.011)	0.010 (0.014)	0.013 (0.014)	0.018 (0.058)	0.310*** (0.057)
ln(Dist)_od 유가거리	-7.212*** (2.405)	-0.612*** (0.117)	-0.620*** (0.115)	0.419*** (0.134)	0.182 (0.239)	0.282 (0.249)	-4.661*** (1.097)	2.040*** (0.606)
AIC	1175.6	1811.7	1991.0	-	1178.9	1359.5	1991.8	1820.8
BIC	1262.4	1878.3	2074.1	-	1256.6	1446.3	2078.6	1892.5

주 1) PPML=Pseudo Poisson Maximum Likelihood, 변수명 뒤에 'o'는 origin(출발지), 'd'는 destination(도착지)을 의미함.

2) *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

자료: 저자 작성.

〈부표 3-6〉 감귤류 수입모형 추정결과(출발지 기후, 수입액 기준)

변수	패널토빗	패널포아송			패널음이항		일반패널	
		고정효과	확률효과	PPML	고정효과	확률효과	고정효과	확률효과
ln(EXCH) 환율	14.043* (7.279)	1.049*** (0.349)	1.119*** (0.343)	1.148 (0.817)	1.642 (1.040)	1.680 (1.085)	7.494* (4.012)	6.265 (4.693)
ln(PGDP)_o 일인당GDP	3.637* (1.887)	0.486*** (0.116)	0.464*** (0.106)	-0.167 (0.122)	0.235 (0.210)	-0.040 (0.218)	2.250** (1.121)	-0.781 (0.577)
ln(PGDP)_d 일인당GDP	13.191*** (5.066)	1.033*** (0.233)	1.042*** (0.227)	0.543 (0.385)	0.543 (0.579)	0.680 (0.581)	10.138*** (2.931)	3.416 (2.788)
ln(Prod)_o 열대과일생산	-0.248 (1.379)	0.216 (0.165)	0.126 (0.111)	-0.214*** (0.051)	-0.176* (0.107)	-0.230** (0.095)	0.638 (1.675)	-1.357*** (0.308)
ln(Tariff)_d 평균관세	-21.285** (10.163)	-1.095** (0.441)	-1.087** (0.434)	-1.309 (0.846)	-0.546 (1.221)	-1.235 (1.289)	-13.983** (5.945)	-15.338** (6.253)
ln(SPS)_d 위생조치	1.139 (1.351)	0.145** (0.066)	0.139** (0.066)	-0.015 (0.146)	0.088 (0.191)	0.046 (0.202)	0.677 (0.701)	-0.319 (0.816)
ln(TBT)_d 기술장벽	-1.013 (1.619)	-0.035 (0.074)	-0.041 (0.074)	-0.125 (0.156)	-0.012 (0.212)	-0.054 (0.220)	-0.440 (0.898)	-0.876 (1.091)
FTA_od FTA더미	0.281 (1.882)	-0.089 (0.082)	-0.075 (0.080)	0.246** (0.121)	0.224 (0.201)	0.397** (0.202)	-0.862 (1.036)	2.767*** (1.066)
OECD_o OECD여부	-4.513 (6.632)		-0.325 (0.605)	0.766*** (0.270)	0.347 (0.548)	0.863** (0.376)		4.513*** (1.365)

(계속)

변수	패널토빗	패널포아송			패널음이항		일반패널	
		고정효과	확률효과	PPML	고정효과	확률효과	고정효과	확률효과
APEC_o	-3.982		-0.154	-0.690***	-1.178***	-0.718***		-5.297***
APEC여부	(5.548)		(0.539)	(0.125)	(0.346)	(0.233)		(0.950)
TMP_o	-0.005	0.117*	0.023	-0.012	0.015	0.004	1.392*	-0.067
연평균기온	(0.329)	(0.070)	(0.034)	(0.009)	(0.022)	(0.020)	(0.810)	(0.061)
ln(Prec)_o	3.229	0.373	0.370	-0.307	-0.803*	-0.677**	-3.335	-0.708
연평균강수량	(6.645)	(0.911)	(0.479)	(0.218)	(0.437)	(0.344)	(13.298)	(1.252)
DTR_o	1.060	0.101	0.089	0.100**	0.048	0.055	2.159	0.727***
연평균일교차	(1.268)	(0.110)	(0.081)	(0.045)	(0.093)	(0.077)	(1.316)	(0.263)
CD_TMP_o	-4.373	-0.542**	-0.446**	0.269	0.206	0.174	-5.024**	1.353
평년기온차	(4.624)	(0.214)	(0.209)	(0.352)	(0.573)	(0.557)	(2.542)	(2.616)
CR_Prec_o	-0.093	-0.006	-0.007	-0.006	0.001	-0.005	0.024	-0.070**
강수변화율	(0.080)	(0.011)	(0.006)	(0.005)	(0.008)	(0.008)	(0.151)	(0.034)
ln(Drought)_o	-0.043	-0.013**	-0.012**	0.006	0.011	0.015	-0.068	0.107
가뭄	(0.120)	(0.005)	(0.005)	(0.009)	(0.014)	(0.015)	(0.067)	(0.077)
ln(ExtTMP)_o	-0.144	-0.007	-0.007	0.005	-0.010	-0.003	-0.074	0.036
극한기온	(0.172)	(0.007)	(0.007)	(0.015)	(0.021)	(0.022)	(0.097)	(0.116)
ln(Flood)_o	-0.016	-0.005	-0.005	0.023***	0.011	0.022	-0.019	0.196***
홍수	(0.101)	(0.005)	(0.005)	(0.008)	(0.013)	(0.014)	(0.054)	(0.060)
ln(Storm)_o	-0.052	-0.012**	-0.012**	0.028***	0.011	0.028*	-0.055	0.214***
폭풍우	(0.122)	(0.006)	(0.006)	(0.009)	(0.015)	(0.016)	(0.067)	(0.063)
ln(Dist)_od	-5.488**	-0.511***	-0.487***	0.269**	0.353	0.353**	-5.011***	1.125*
유가거리	(2.332)	(0.103)	(0.101)	(0.105)	(0.223)	(0.172)	(1.255)	(0.669)
AIC	1179.9	1806.8	1987.5	-	1186.0	1366.9	2000.2	1820.9
BIC	1285.6	1891.9	2089.4	-	1282.2	1472.6	2105.9	1911.4

주 1) PPML=Pseudo Poisson Maximum Likelihood, 변수명 뒤에 'o'는 origin(출발지), 'd'는 destination(도착지)을 의미함.

2) *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

자료: 저자 작성.

〈부표 3-7〉 감귤류 수입모형 추정결과(출발지-도착지 기후, 수입량 기준)

변수	패널토빗	패널포아송			패널음이항		일반패널	
		고정효과	확률효과	PPML	고정효과	확률효과	고정효과	확률효과
ln(EXCH) 환율	27.099*** (9.109)	1.925*** (0.467)	2.022*** (0.467)	1.311 (1.138)	2.239* (1.156)	2.196* (1.185)	14.125*** (4.258)	7.205 (5.194)
ln(PGDP)_o 일인당GDP	6.834*** (1.959)	0.797*** (0.133)	0.801*** (0.125)	0.058 (0.146)	-0.288 (0.244)	-0.225 (0.250)	4.102*** (0.998)	0.216 (0.529)
ln(PGDP)_d 일인당GDP	22.277*** (5.559)	1.695*** (0.284)	1.722*** (0.283)	0.540 (0.500)	1.620** (0.678)	1.488** (0.696)	12.507*** (2.688)	3.776 (2.706)
ln(Prod)_o 열대과일생산	-1.833 (1.765)	0.227 (0.201)	0.087 (0.163)	-0.359*** (0.060)	0.009 (0.146)	-0.091 (0.143)	-0.018 (1.457)	-2.389*** (0.281)
ln(Tariff)_d 평균관세	-19.540* (10.543)	-0.437 (0.505)	-0.484 (0.500)	-0.770 (0.804)	0.011 (1.193)	0.025 (1.208)	-6.632 (5.251)	-5.707 (5.784)
ln(PS)_d 위생조치	-0.552 (1.591)	0.039 (0.089)	0.028 (0.088)	-0.182 (0.232)	-0.077 (0.236)	-0.079 (0.245)	-0.222 (0.707)	-1.009 (0.883)
ln(TBT)_d 기술장벽	-4.167** (1.869)	-0.283*** (0.095)	-0.295*** (0.094)	-0.184 (0.205)	-0.317 (0.226)	-0.307 (0.232)	-2.073** (0.900)	-1.592 (1.144)
FTA_od FTA더미	-2.998 (2.009)	-0.479*** (0.108)	-0.457*** (0.105)	-0.068 (0.159)	-0.146 (0.220)	-0.123 (0.226)	-2.658*** (0.905)	0.511 (0.990)
OECD_o OECD여부	-14.334 (8.724)		-0.395 (1.259)	0.306 (0.322)	2.950*** (0.707)	2.515*** (0.744)		2.162* (1.253)
APEC_o APEC여부	1.791 (7.900)		1.800 (1.257)	-0.271* (0.159)	0.509 (0.407)	0.410 (0.392)		-2.602*** (0.869)
TMP_o 연평균기온	-0.450 (0.451)	0.145* (0.081)	0.071 (0.072)	-0.054*** (0.013)	-0.058** (0.026)	-0.064** (0.025)	0.869 (0.712)	-0.290*** (0.055)
ln(Prec)_o 연평균강수량	9.761 (8.625)	-2.614** (1.261)	-0.139 (0.990)	0.377 (0.246)	3.385*** (0.580)	2.996*** (0.603)	-12.427 (11.777)	4.252*** (1.160)
DTR_o 연평균일교차	2.422 (1.579)	0.427*** (0.131)	0.294** (0.120)	0.206*** (0.062)	1.021*** (0.146)	0.913*** (0.160)	3.085*** (1.159)	1.348*** (0.243)
CD_TMP_o 평년기온차	-8.807 (5.759)	-0.773*** (0.291)	-0.722** (0.290)	0.182 (0.627)	0.340 (0.707)	0.434 (0.728)	-8.167*** (2.670)	-0.666 (2.994)
CR_Prec_o 강수변화율	-0.180* (0.101)	0.024 (0.015)	-0.005 (0.012)	-0.023*** (0.009)	-0.046*** (0.010)	-0.044*** (0.010)	0.119 (0.134)	-0.125*** (0.032)
ln(Drought)_o 가뭄	-0.016 (0.118)	-0.008 (0.006)	-0.006 (0.006)	0.011 (0.012)	-0.012 (0.013)	-0.009 (0.013)	-0.008 (0.059)	0.179** (0.071)
ln(ExtTMP)_o 극한기온	-0.103 (0.164)	0.002 (0.008)	0.002 (0.008)	0.003 (0.016)	0.003 (0.018)	0.002 (0.019)	-0.072 (0.085)	0.034 (0.106)
ln(Flood)_o 홍수	0.151 (0.101)	0.010* (0.005)	0.011** (0.005)	0.040*** (0.011)	0.032*** (0.012)	0.035*** (0.013)	0.041 (0.048)	0.265*** (0.056)

(계속)

변수	패널토빗	패널포아송			패널음이항		일반패널	
		고정효과	확률효과	PPML	고정효과	확률효과	고정효과	확률효과
ln(Storm)_o 폭풍우	-0.013 (0.125)	-0.002 (0.007)	-0.002 (0.007)	0.054*** (0.011)	0.011 (0.014)	0.013 (0.014)	0.003 (0.058)	0.313*** (0.058)
TMP_d 연평균기온	-1.063 (2.017)	-0.171 (0.106)	-0.161 (0.105)	0.187 (0.250)	0.022 (0.256)	0.032 (0.261)	-0.611 (0.954)	0.645 (1.194)
ln(Prec)_d 연평균강수량	25.574 (20.943)	2.245** (1.054)	2.056** (1.044)	-0.759 (2.191)	1.354 (2.527)	1.032 (2.588)	15.844 (10.252)	-2.375 (12.633)
CR_Prec_d 강수변화율	-0.255 (0.204)	-0.023 (0.020)	-0.021 (0.020)	0.008 (0.022)	-0.014 (0.025)	-0.011 (0.026)	-0.163 (0.099)	0.019 (0.122)
ln(Flood)_d 홍수	-0.232 (0.160)	-0.014 (0.009)	-0.014 (0.009)	0.003 (0.019)	0.005 (0.020)	0.005 (0.021)	-0.145* (0.075)	-0.024 (0.093)
ln(Storm)_d 폭풍우	0.168 (0.109)	0.013** (0.006)	0.012** (0.006)	0.007 (0.012)	0.018 (0.014)	0.018 (0.014)	0.101* (0.053)	0.058 (0.067)
ln(Dist)_od 유가거리	-8.773*** (2.548)	-0.739*** (0.125)	-0.737*** (0.123)	0.435*** (0.134)	0.188 (0.248)	0.286 (0.255)	-5.565*** (1.166)	2.048*** (0.624)
AIC	1175.6	1811.7	1991.0	-	1178.9	1359.5	1991.8	1820.8
BIC	1262.4	1878.3	2074.1	-	1256.6	1446.3	2078.6	1892.5

주 1) PPML=Pseudo Poisson Maximum Likelihood, 변수명 뒤에 'o'는 origin(출발지), 'd'는 destination(도착지)을 의미함.

2) *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

자료: 저자 작성.

〈부표 3-8〉 감귤류 수입모형 추정결과(출발지-도착지 기후, 수입액 기준)

변수	패널토빗	패널포아송			패널음이항		일반패널	
		고정효과	확률효과	PPML	고정효과	확률효과	고정효과	확률효과
ln(EXCH) 환율	20.699** (8.862)	1.522*** (0.423)	1.588*** (0.419)	1.331 (1.021)	1.950 (1.240)	1.966 (1.286)	12.760*** (4.857)	6.715 (5.729)
ln(PGDP)_o 일인당GDP	4.488** (1.940)	0.557*** (0.116)	0.531*** (0.107)	-0.154 (0.120)	0.281 (0.211)	0.007 (0.217)	2.989*** (1.139)	-0.725 (0.583)
ln(PGDP)_d 일인당GDP	16.124*** (5.374)	1.294*** (0.251)	1.309*** (0.247)	0.684 (0.438)	0.702 (0.622)	0.834 (0.632)	12.064*** (3.067)	3.882 (2.984)
ln(Prod)_o 열대과일생산	-0.219 (1.440)	0.228 (0.167)	0.140 (0.115)	-0.214*** (0.051)	-0.185* (0.107)	-0.225** (0.092)	0.573 (1.662)	-1.353*** (0.310)
ln(Tariff)_d 평균관세	-25.005** (10.173)	-1.390*** (0.447)	-1.383*** (0.440)	-1.502* (0.865)	-0.808 (1.243)	-1.463 (1.303)	-17.247*** (5.990)	-16.578*** (6.379)
ln(SPS)_d 위생조치	0.286 (1.578)	0.100 (0.081)	0.091 (0.081)	-0.040 (0.204)	0.036 (0.249)	-0.006 (0.261)	0.049 (0.807)	-0.588 (0.974)

(계속)

변수	패널도비	패널포아송			패널음이항		일반패널	
		고정효과	확률효과	PPML	고정효과	확률효과	고정효과	확률효과
ln(TBT)_d 기술장벽	-2.007 (1.847)	-0.106 (0.086)	-0.114 (0.086)	-0.167 (0.181)	-0.058 (0.247)	-0.118 (0.256)	-1.279 (1.027)	-0.913 (1.262)
FTA_od FTA더미	0.305 (1.868)	-0.086 (0.083)	-0.071 (0.081)	0.250** (0.126)	0.228 (0.205)	0.404** (0.205)	-0.789 (1.033)	2.806** (1.092)
OECD_o OECD여부	-6.692 (7.002)		-0.418 (0.633)	0.732*** (0.269)	0.199 (0.562)	0.773* (0.395)		4.397*** (1.382)
APEC_o APEC여부	-3.500 (5.912)		-0.082 (0.573)	-0.681*** (0.122)	-1.128*** (0.359)	-0.680*** (0.244)		-5.261*** (0.959)
TMP_o 연평균기온	0.024 (0.348)	0.153** (0.071)	0.033 (0.037)	-0.011 (0.009)	0.018 (0.022)	0.007 (0.020)	1.632** (0.812)	-0.065 (0.061)
ln(Prec)_o 연평균강수량	4.032 (6.970)	0.451 (0.927)	0.424 (0.499)	-0.299 (0.228)	-0.846* (0.445)	-0.715** (0.356)	-5.491 (13.434)	-0.604 (1.279)
DTR_o 연평균일교차	1.227 (1.321)	0.096 (0.111)	0.089 (0.083)	0.102** (0.046)	0.048 (0.092)	0.051 (0.076)	2.702** (1.322)	0.746*** (0.268)
CD_TMP_o 평년기온차	-3.864 (5.565)	-0.325 (0.260)	-0.251 (0.257)	0.383 (0.513)	0.354 (0.706)	0.263 (0.726)	-4.521 (3.046)	2.598 (3.302)
CR_Prec_o 강수변화율	-0.094 (0.083)	-0.006 (0.011)	-0.007 (0.006)	-0.006 (0.005)	0.003 (0.008)	-0.004 (0.008)	0.059 (0.153)	-0.070** (0.035)
ln(Drought)_o 가뭄	-0.045 (0.118)	-0.014*** (0.005)	-0.012** (0.005)	0.005 (0.009)	0.011 (0.015)	0.014 (0.015)	-0.082 (0.067)	0.101 (0.078)
ln(ExtTMP)_o 극한기온	-0.119 (0.170)	-0.001 (0.007)	-0.002 (0.007)	0.007 (0.015)	-0.007 (0.022)	-0.001 (0.023)	-0.053 (0.097)	0.047 (0.117)
ln(Flood)_o 홍수	-0.040 (0.101)	-0.007 (0.005)	-0.007 (0.005)	0.021** (0.009)	0.008 (0.013)	0.019 (0.014)	-0.032 (0.055)	0.189*** (0.062)
ln(Storm)_o 폭풍우	-0.064 (0.121)	-0.012* (0.006)	-0.012* (0.006)	0.028*** (0.009)	0.011 (0.015)	0.028* (0.016)	-0.068 (0.067)	0.219*** (0.064)
TMP_d 연평균기온	-2.782 (1.981)	-0.356*** (0.096)	-0.324*** (0.095)	-0.134 (0.212)	-0.202 (0.280)	-0.135 (0.297)	-2.158** (1.088)	-1.017 (1.317)
ln(Prec)_d 연평균강수량	12.387 (20.600)	0.983 (0.955)	0.965 (0.945)	0.287 (1.943)	-0.129 (2.619)	0.139 (2.792)	11.157 (11.694)	-3.602 (13.934)
CR_Prec_d 강수변화율	-0.136 (0.200)	-0.012 (0.009)	-0.011 (0.009)	-0.003 (0.020)	0.000 (0.026)	-0.002 (0.028)	-0.125 (0.113)	0.027 (0.135)
ln(Flood)_d 홍수	-0.137 (0.157)	-0.005 (0.008)	-0.005 (0.008)	-0.001 (0.017)	-0.004 (0.020)	-0.006 (0.022)	-0.098 (0.085)	0.002 (0.102)
ln(Storm)_d 폭풍우	0.140 (0.107)	0.013*** (0.005)	0.013*** (0.005)	0.009 (0.011)	0.014 (0.014)	0.013 (0.015)	0.101* (0.060)	0.053 (0.073)

(계속)

변수	패널토빗	패널포아송			패널음이항		일반패널	
		고정효과	확률효과	PPML	고정효과	확률효과	고정효과	확률효과
ln(Dist)_od 유가거리	-6.677*** (2.460)	-0.593*** (0.108)	-0.568*** (0.106)	0.265** (0.106)	0.330 (0.226)	0.348** (0.176)	-5.865*** (1.331)	1.156* (0.689)
AIC	1436.1	2341.8	2525.5	-	1500.5	1670.7	2064.1	1905.7
BIC	1541.7	2428.6	2627.5	-	1598.6	1776.4	2169.7	1996.2

주 1) PPML=Pseudo Poisson Maximum Likelihood, 변수명 뒤에 'o'는 origin(출발지), 'd'는 destination(도착지)을 의미함.

2) *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$

자료: 저자 작성.

3. 온대과일

〈부표 3-9〉 온대과일 수입모형 추정결과(출발지 기후, 수입량 기준)

변수	패널토빗	패널포아송			패널음이항		일반패널	
		고정효과	확률효과	PPML	고정효과	확률효과	고정효과	확률효과
ln(EXCH) 환율	3.377 (3.471)	0.336 (0.270)	0.262 (0.266)	0.582 (0.485)	0.528 (0.462)	0.772 (0.511)	3.095 (2.636)	2.223 (2.591)
ln(PGDP)_o 일인당GDP	-0.916 (0.909)	-0.253*** (0.084)	-0.200** (0.080)	-0.029 (0.046)	-0.159 (0.111)	-0.200** (0.098)	-1.215 (0.806)	-0.841 (0.724)
ln(PGDP)_d 일인당GDP	4.256 (2.588)	0.461** (0.202)	0.396** (0.198)	0.478* (0.246)	1.184*** (0.321)	1.200*** (0.339)	4.393** (2.056)	3.428* (1.992)
ln(Prod)_o 열대과일생산	3.098*** (0.867)	0.622*** (0.088)	0.564*** (0.083)	0.105*** (0.028)	0.476*** (0.145)	0.407*** (0.106)	3.333*** (0.731)	2.673*** (0.611)
ln(Tariff)_d 평균관세	-10.809 (8.176)	-0.802 (0.566)	-0.882 (0.561)	-1.749** (0.726)	-0.225 (0.933)	-0.903 (1.004)	-9.447 (6.308)	-9.769 (6.293)
ln(SPS)_d 위생조치	-0.500 (0.602)	-0.052 (0.048)	-0.057 (0.047)	-0.051 (0.091)	-0.041 (0.086)	-0.070 (0.093)	-0.289 (0.446)	-0.357 (0.444)
ln(TBT)_d 기술장벽	-0.388 (0.774)	-0.026 (0.059)	-0.024 (0.059)	-0.070 (0.107)	0.050 (0.104)	0.031 (0.114)	-0.352 (0.577)	-0.345 (0.577)
FTA_od FTA더미	2.403** (1.050)	0.268*** (0.074)	0.249*** (0.074)	0.226** (0.108)	0.072 (0.126)	0.145 (0.137)	1.757** (0.807)	1.789** (0.807)
OECD_o OECD여부	2.420 (3.841)		-0.124 (0.449)	0.211* (0.127)	3.943*** (0.777)	2.007*** (0.532)		2.550 (3.951)

(계속)

변수	패널토빗	패널포아송			패널음이항		일반패널	
		고정효과	확률효과	PPML	고정효과	확률효과	고정효과	확률효과
APEC_o APEC여부	6.217* (3.302)		1.005** (0.441)	0.368*** (0.074)	3.727*** (0.578)	1.964*** (0.475)		4.311 (3.583)
TMP_o 연평균기온	0.145 (0.241)	0.014 (0.049)	0.004 (0.028)	-0.014** (0.007)	0.159*** (0.047)	0.057* (0.029)	0.151 (0.463)	0.162 (0.240)
ln(Prec)_o 연평균강수량	-1.891 (3.092)	1.400 (1.438)	-0.138 (0.336)	0.077 (0.096)	-1.790*** (0.539)	-0.753** (0.346)	15.318 (13.958)	-1.443 (3.069)
DTR_o 연평균일교차	-0.627 (0.766)	-0.315*** (0.089)	-0.165** (0.075)	0.092*** (0.026)	0.269*** (0.074)	0.143** (0.070)	-2.035*** (0.745)	-0.909 (0.587)
CD_TMP_o 평년기온차	-0.237 (2.053)	-0.028 (0.171)	0.017 (0.165)	-0.432** (0.212)	-0.776*** (0.272)	-0.679** (0.293)	-1.004 (1.621)	-0.344 (1.540)
CR_Prec_o 강수변화율	0.005 (0.035)	-0.020 (0.015)	-0.002 (0.004)	0.001 (0.003)	0.023*** (0.007)	0.010* (0.005)	-0.182 (0.142)	0.001 (0.033)
ln(Drought)_o 가뭄	-0.013 (0.066)	-0.000 (0.005)	-0.001 (0.005)	0.002 (0.007)	-0.002 (0.008)	-0.003 (0.008)	0.019 (0.051)	0.009 (0.050)
ln(ExtTMP)_o 극한기온	0.024 (0.085)	0.003 (0.006)	0.002 (0.006)	-0.000 (0.010)	0.006 (0.009)	0.005 (0.010)	0.037 (0.065)	0.029 (0.065)
ln(Flood)_o 홍수	0.021 (0.046)	0.006 (0.004)	0.006 (0.004)	-0.006 (0.006)	0.006 (0.006)	0.004 (0.007)	0.018 (0.034)	0.016 (0.034)
ln(Storm)_o 폭풍우	0.057 (0.057)	0.011** (0.005)	0.010** (0.005)	-0.001 (0.007)	0.011 (0.008)	0.007 (0.009)	0.063 (0.043)	0.054 (0.043)
ln(Dist)_od 유가거리	0.028 (0.954)	0.008 (0.078)	0.019 (0.076)	0.022 (0.070)	-0.344*** (0.119)	-0.262** (0.125)	-0.728 (0.779)	-0.317 (0.742)
AIC	2255.6	2759.1	3018.3	-	2332.2	2605.3	2831.7	2468.3
BIC	2350.6	2833.4	3109.1	-	2418.9	2700.2	2926.7	2546.8

주 1) PPML=Pseudo Poisson Maximum Likelihood, 변수명 뒤에 'o'는 origin(출발지), 'd'는 destination(도착지)을 의미함.

2) *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$

자료: 저자 작성.

〈부표 3-10〉 온대과일 수입모형 추정결과(출발지 기후, 수입액 기준)

변수	패널토빗	패널포아송			패널음이항		일반패널	
		고정효과	확률효과	PPML	고정효과	확률효과	고정효과	확률효과
ln(EXCH) 환율	4.208 (3.576)	0.412 (0.258)	0.331 (0.255)	0.619 (0.464)	0.491 (0.390)	0.797* (0.479)	4.030 (2.726)	3.056 (2.678)
ln(PGDP)_o 일인당GDP	-0.731 (0.921)	-0.229*** (0.081)	-0.169** (0.077)	0.005 (0.043)	-0.007 (0.101)	-0.169* (0.095)	-1.185 (0.833)	-0.727 (0.739)
ln(PGDP)_d 일인당GDP	5.151* (2.655)	0.531*** (0.193)	0.460** (0.189)	0.525** (0.231)	0.935*** (0.280)	1.170*** (0.318)	5.325** (2.127)	4.284** (2.054)

(계속)

변수	패널토빗	패널포아송			패널음이항		일반패널	
		고정효과	확률효과	PPML	고정효과	확률효과	고정효과	확률효과
ln(Prod)_o 열대과일생산	2.831*** (0.859)	0.558*** (0.083)	0.496*** (0.078)	0.090*** (0.026)	0.064 (0.141)	0.356*** (0.104)	3.196*** (0.756)	2.468*** (0.620)
ln(Tariff)_d 평균관세	-11.016 (8.436)	-0.745 (0.542)	-0.814 (0.537)	-1.609** (0.668)	-0.155 (0.831)	-0.660 (0.962)	-9.786 (6.524)	-10.123 (6.509)
ln(SPS)_d 위생조치	-0.698 (0.621)	-0.071 (0.045)	-0.075* (0.045)	-0.064 (0.086)	0.002 (0.071)	-0.052 (0.087)	-0.467 (0.461)	-0.537 (0.459)
ln(TBT)_d 기술장벽	-0.206 (0.798)	-0.008 (0.056)	-0.005 (0.056)	-0.047 (0.099)	0.018 (0.087)	0.055 (0.106)	-0.234 (0.597)	-0.236 (0.597)
FTA_od FTA더미	2.425** (1.083)	0.248*** (0.071)	0.230*** (0.070)	0.223** (0.098)	0.001 (0.110)	0.100 (0.129)	1.863** (0.834)	1.891** (0.834)
OECD_o OECD여부	2.797 (3.781)		-0.068 (0.412)	0.201* (0.122)	4.669*** (0.737)	2.177*** (0.545)		2.916 (3.875)
APEC_o APEC여부	6.597** (3.219)		0.965** (0.400)	0.381*** (0.068)	5.363*** (0.726)	2.297*** (0.504)		4.708 (3.480)
TMP_o 연평균기온	0.123 (0.236)	0.000 (0.046)	0.002 (0.026)	-0.012* (0.006)	0.077* (0.046)	0.053* (0.029)	0.040 (0.479)	0.140 (0.237)
ln(Prec)_o 연평균강수량	-2.217 (3.040)	1.066 (1.375)	-0.181 (0.312)	0.025 (0.091)	-3.053*** (0.528)	-1.043*** (0.366)	13.903 (14.437)	-1.762 (3.023)
DTR_o 연평균일교차	-0.530 (0.760)	-0.294*** (0.085)	-0.150** (0.071)	0.083*** (0.025)	0.244*** (0.071)	0.136* (0.069)	-2.076*** (0.771)	-0.836 (0.592)
CD_TMP_o 평년기온차	-0.591 (2.108)	-0.045 (0.164)	-0.011 (0.157)	-0.470** (0.200)	-0.469** (0.239)	-0.635** (0.274)	-1.195 (1.676)	-0.609 (1.588)
CR_Prec_o 강수변화율	0.010 (0.035)	-0.016 (0.014)	-0.002 (0.003)	0.001 (0.003)	0.035*** (0.006)	0.013*** (0.005)	-0.168 (0.147)	0.005 (0.033)
ln(Drought)_o 가뭄	-0.020 (0.068)	-0.001 (0.004)	-0.002 (0.004)	0.001 (0.007)	-0.000 (0.007)	-0.002 (0.008)	0.013 (0.052)	0.002 (0.052)
ln(ExtTMP)_o 극한기온	0.016 (0.088)	0.002 (0.006)	0.002 (0.006)	-0.001 (0.009)	0.004 (0.008)	0.004 (0.010)	0.032 (0.067)	0.023 (0.067)
ln(Flood)_o 홍수	0.021 (0.047)	0.005 (0.003)	0.005 (0.003)	-0.005 (0.005)	0.009* (0.005)	0.006 (0.006)	0.014 (0.036)	0.012 (0.036)
ln(Storm)_o 폭풍우	0.057 (0.058)	0.009** (0.005)	0.009* (0.005)	-0.000 (0.006)	0.007 (0.007)	0.007 (0.008)	0.060 (0.045)	0.052 (0.044)
ln(Dist)_od 유거거리	-0.067 (0.975)	0.008 (0.075)	0.018 (0.073)	0.005 (0.066)	-0.231** (0.106)	-0.251** (0.117)	-0.812 (0.806)	-0.392 (0.764)
AIC	2289.4	2840.3	3100.4	-	2384.3	2663.9	2842.9	2499.3
BIC	2384.3	2914.6	3191.2	-	2471.0	2758.8	2937.9	2577.7

주 1) PPML=Pseudo Poisson Maximum Likelihood, 변수명 뒤에 'o'는 origin(출발지), 'd'는 destination(도착지)을 의미함.

2) *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

자료: 저자 작성.

〈부표 3-11〉 온대과일 수입모형 추정결과(출발지-도착지 기후, 수입량 기준)

변수	패널토빗	패널포아송			패널음이항		일반패널	
		고정효과	확률효과	PPML	고정효과	확률효과	고정효과	확률효과
ln(EXCH) 환율	4.117 (4.123)	0.219 (0.322)	0.167 (0.319)	0.783 (0.603)	0.632 (0.556)	0.896 (0.620)	2.781 (3.136)	2.011 (3.104)
ln(PGDP)_o 일인당GDP	-0.686 (0.922)	-0.229*** (0.087)	-0.176** (0.082)	-0.019 (0.046)	-0.168 (0.116)	-0.202** (0.100)	-0.973 (0.847)	-0.624 (0.753)
ln(PGDP)_d 일인당GDP	4.798* (2.665)	0.475** (0.210)	0.426** (0.207)	0.608** (0.291)	1.259*** (0.337)	1.269*** (0.358)	4.559** (2.117)	3.724* (2.058)
ln(Prod)_o 열대과일생산	3.020*** (0.863)	0.619*** (0.089)	0.559*** (0.084)	0.108*** (0.029)	0.495*** (0.154)	0.412*** (0.110)	3.258*** (0.738)	2.600*** (0.615)
ln(Tariff)_d 평균관세	-13.651 (8.481)	-0.981* (0.583)	-1.081* (0.578)	-1.912*** (0.728)	-0.180 (0.950)	-0.805 (1.032)	-11.690* (6.593)	-12.211* (6.579)
ln(SPS)_d 위생조치	-0.530 (0.716)	-0.024 (0.057)	-0.031 (0.057)	-0.131 (0.113)	-0.058 (0.100)	-0.097 (0.111)	-0.226 (0.529)	-0.329 (0.528)
ln(TBT)_d 기술장벽	-0.722 (0.895)	-0.033 (0.068)	-0.038 (0.068)	-0.138 (0.125)	0.017 (0.122)	-0.005 (0.134)	-0.476 (0.672)	-0.527 (0.672)
FTA_od FTA더미	2.301** (1.056)	0.272*** (0.075)	0.252*** (0.075)	0.206* (0.109)	0.076 (0.126)	0.151 (0.137)	1.672** (0.817)	1.675** (0.816)
OECD_o OECD여부	2.049 (3.841)		-0.183 (0.450)	0.189 (0.128)	3.833*** (0.813)	1.951*** (0.521)		2.025 (3.970)
APEC_o APEC여부	6.010* (3.288)		0.990** (0.440)	0.368*** (0.075)	3.675*** (0.586)	1.933*** (0.466)		4.126 (3.587)
TMP_o 연평균기온	0.138 (0.240)	0.009 (0.050)	0.002 (0.028)	-0.014** (0.007)	0.150*** (0.049)	0.052* (0.028)	0.102 (0.471)	0.148 (0.241)
ln(Prec)_o 연평균강수량	-1.868 (3.077)	1.401 (1.444)	-0.124 (0.335)	0.062 (0.096)	-1.718*** (0.565)	-0.733** (0.337)	15.374 (14.078)	-1.381 (3.072)
DTR_o 연평균일교차	-0.583 (0.764)	-0.304*** (0.090)	-0.157** (0.076)	0.084*** (0.027)	0.267*** (0.075)	0.138* (0.070)	-1.996*** (0.752)	-0.871 (0.590)
CD_TMP_o 평년기온차	-0.119 (2.432)	0.090 (0.204)	0.131 (0.199)	-0.664** (0.279)	-0.993*** (0.337)	-0.952*** (0.367)	-0.611 (1.898)	-0.040 (1.836)
CR_Prec_o 강수변화율	0.006 (0.035)	-0.020 (0.015)	-0.002 (0.004)	0.001 (0.003)	0.022*** (0.007)	0.009* (0.005)	-0.182 (0.143)	0.001 (0.033)
ln(Drought)_o 가뭄	-0.010 (0.066)	-0.000 (0.005)	-0.002 (0.005)	0.002 (0.007)	-0.002 (0.008)	-0.002 (0.008)	0.022 (0.051)	0.011 (0.051)
ln(ExtTMP)_o 극한기온	0.023 (0.085)	0.004 (0.006)	0.003 (0.006)	-0.001 (0.010)	0.005 (0.009)	0.003 (0.010)	0.033 (0.066)	0.026 (0.066)
ln(Flood)_o 홍수	0.020 (0.046)	0.006* (0.004)	0.006* (0.004)	-0.007 (0.006)	0.008 (0.006)	0.005 (0.007)	0.018 (0.035)	0.015 (0.035)

(계속)

변수	패널토빗	패널포아송			패널음이항		일반패널	
		고정효과	확률효과	PPML	고정효과	확률효과	고정효과	확률효과
ln(Storm)_o 폭풍우	0.061 (0.057)	0.012** (0.005)	0.011** (0.005)	-0.001 (0.007)	0.012 (0.008)	0.008 (0.009)	0.068 (0.043)	0.059 (0.043)
TMP_d 연평균기온	-0.526 (0.945)	-0.087 (0.074)	-0.086 (0.074)	0.135 (0.140)	0.111 (0.132)	0.154 (0.145)	-0.454 (0.712)	-0.375 (0.706)
ln(Prec)_d 연평균강수량	4.952 (9.888)	-0.128 (0.765)	-0.006 (0.762)	0.688 (1.408)	0.449 (1.335)	0.414 (1.468)	1.223 (7.504)	2.091 (7.476)
CR_Prec_d 강수변화율	-0.040 (0.096)	0.003 (0.007)	0.002 (0.007)	-0.007 (0.014)	-0.003 (0.013)	-0.003 (0.015)	-0.002 (0.072)	-0.012 (0.072)
ln(Flood)_d 홍수	-0.013 (0.072)	0.002 (0.006)	0.003 (0.006)	-0.008 (0.010)	-0.006 (0.010)	-0.007 (0.011)	0.003 (0.055)	0.009 (0.055)
ln(Storm)_d 폭풍우	0.031 (0.052)	0.001 (0.004)	0.001 (0.004)	0.011 (0.007)	0.001 (0.007)	0.002 (0.008)	0.019 (0.039)	0.027 (0.039)
ln(Dist)_od 유가거리	-0.098 (0.997)	0.003 (0.083)	0.015 (0.081)	0.026 (0.072)	-0.361*** (0.124)	-0.270** (0.130)	-0.773 (0.826)	-0.333 (0.783)
AIC	2263.8	2763.7	3022.7	-	2340.0	2612.8	2837.3	2475.6
BIC	2379.4	2858.7	3134.2	-	2447.4	2728.4	2952.9	2574.7

주 1) PPML=Pseudo Poisson Maximum Likelihood, 변수명 뒤에 'o'는 origin(출발지), 'd'는 destination(도착지)을 의미함.

2) *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

자료: 저자 작성.

〈부표 3-12〉 온대과일 수입모형 추정결과(출발지-도착지 기후, 수입액 기준)

변수	패널토빗	패널포아송			패널음이항		일반패널	
		고정효과	확률효과	PPML	고정효과	확률효과	고정효과	확률효과
ln(EXCH) 환율	5.149 (4.249)	0.347 (0.308)	0.289 (0.305)	0.867 (0.575)	0.722 (0.524)	0.988* (0.582)	3.941 (3.246)	3.113 (3.211)
ln(PGDP)_o 일인당GDP	-0.515 (0.933)	-0.209** (0.083)	-0.148* (0.078)	0.015 (0.043)	-0.128 (0.112)	-0.166* (0.098)	-0.976 (0.877)	-0.533 (0.769)
ln(PGDP)_d 일인당GDP	5.780** (2.735)	0.552*** (0.201)	0.496** (0.198)	0.651** (0.274)	1.199*** (0.315)	1.240*** (0.335)	5.570** (2.191)	4.666** (2.123)
ln(Prod)_o 열대과일생산	2.749*** (0.854)	0.555*** (0.083)	0.491*** (0.079)	0.092*** (0.026)	0.398*** (0.150)	0.356*** (0.107)	3.129*** (0.764)	2.397*** (0.625)
ln(Tariff)_d 평균관세	-13.818 (8.756)	-0.893 (0.558)	-0.982* (0.552)	-1.757*** (0.665)	-0.086 (0.915)	-0.568 (0.991)	-11.809* (6.823)	-12.404* (6.809)
ln(SPS)_d 위생조치	-0.712 (0.738)	-0.045 (0.055)	-0.050 (0.055)	-0.143 (0.106)	-0.046 (0.095)	-0.082 (0.105)	-0.369 (0.547)	-0.480 (0.546)

(계속)

변수	패널도비	패널포아송			패널음이항		일반패널	
		고정효과	확률효과	PPML	고정효과	확률효과	고정효과	확률효과
ln(TBT)_d 기술장벽	-0.594 (0.923)	-0.020 (0.065)	-0.025 (0.065)	-0.122 (0.118)	0.018 (0.114)	0.013 (0.124)	-0.404 (0.695)	-0.469 (0.695)
FTA_od FTA더미	2.318** (1.090)	0.251*** (0.071)	0.232*** (0.071)	0.206** (0.099)	0.040 (0.120)	0.107 (0.130)	1.783** (0.845)	1.781** (0.845)
OECD_o OECD여부	2.476 (3.775)		-0.116 (0.412)	0.181 (0.123)	3.859*** (0.754)	2.132*** (0.537)		2.490 (3.895)
APEC_o APEC여부	6.395** (3.199)		0.951** (0.399)	0.381*** (0.069)	3.950*** (0.606)	2.258*** (0.497)		4.541 (3.484)
TMP_o 연평균기온	0.116 (0.235)	-0.005 (0.047)	0.000 (0.026)	-0.012** (0.006)	0.128*** (0.045)	0.047 (0.029)	-0.010 (0.487)	0.128 (0.237)
ln(Prec)_o 연평균강수량	-2.182 (3.019)	1.052 (1.381)	-0.167 (0.311)	0.009 (0.091)	-2.007*** (0.547)	-1.018*** (0.358)	13.667 (14.571)	-1.703 (3.026)
DTR_o 연평균일교차	-0.477 (0.756)	-0.284*** (0.085)	-0.143** (0.071)	0.076*** (0.026)	0.244*** (0.072)	0.133* (0.070)	-2.028*** (0.778)	-0.792 (0.596)
CD_TMP_o 평년기온차	-0.509 (2.500)	0.050 (0.195)	0.081 (0.190)	-0.703*** (0.261)	-0.897*** (0.319)	-0.908*** (0.345)	-0.860 (1.965)	-0.350 (1.896)
CR_Prec_o 강수변화율	0.011 (0.035)	-0.016 (0.014)	-0.002 (0.003)	0.002 (0.003)	0.025*** (0.007)	0.013*** (0.005)	-0.165 (0.148)	0.005 (0.033)
ln(Drought)_o 가뭄	-0.018 (0.068)	-0.001 (0.004)	-0.002 (0.004)	0.002 (0.007)	-0.002 (0.007)	-0.002 (0.008)	0.017 (0.053)	0.005 (0.053)
ln(ExtTMP)_o 극한기온	0.017 (0.088)	0.003 (0.006)	0.003 (0.006)	-0.002 (0.009)	0.004 (0.009)	0.002 (0.010)	0.030 (0.068)	0.023 (0.068)
ln(Flood)_o 홍수	0.020 (0.048)	0.006* (0.004)	0.006* (0.004)	-0.006 (0.005)	0.008 (0.006)	0.007 (0.006)	0.015 (0.036)	0.011 (0.036)
ln(Storm)_o 폭풍우	0.060 (0.058)	0.010** (0.005)	0.009** (0.005)	-0.000 (0.006)	0.010 (0.008)	0.007 (0.008)	0.065 (0.045)	0.056 (0.045)
TMP_d 연평균기온	-0.484 (0.975)	-0.075 (0.071)	-0.076 (0.071)	0.134 (0.132)	0.104 (0.124)	0.138 (0.136)	-0.404 (0.737)	-0.346 (0.731)
ln(Prec)_d 연평균강수량	6.350 (10.202)	0.084 (0.732)	0.200 (0.729)	0.910 (1.331)	0.634 (1.247)	0.670 (1.365)	2.772 (7.767)	3.678 (7.737)
CR_Prec_d 강수변화율	-0.055 (0.099)	0.001 (0.007)	-0.001 (0.007)	-0.009 (0.013)	-0.005 (0.012)	-0.005 (0.014)	-0.017 (0.075)	-0.028 (0.075)
ln(Flood)_d 홍수	-0.009 (0.074)	0.002 (0.005)	0.002 (0.005)	-0.009 (0.009)	-0.007 (0.010)	-0.008 (0.010)	0.006 (0.057)	0.011 (0.056)

(계속)

변수	패널토빗	패널포아송			패널음이항		일반패널	
		고정효과	확률효과	PPML	고정효과	확률효과	고정효과	확률효과
ln(Storm)_d	0.029	0.000	0.001	0.010	0.001	0.001	0.013	0.022
폭풍우	(0.053)	(0.004)	(0.004)	(0.007)	(0.006)	(0.007)	(0.041)	(0.041)
AIC	2297.7	2846.3	3106.2	-	2391.8	2671.3	2848.4	2507.1
BIC	2413.3	2941.3	3217.7		2499.2	2786.9	2964.0	2606.2

주 1) PPML=Pseudo Poisson Maximum Likelihood, 변수명 뒤에 ‘o’는 origin(출발지), ‘d’는 destination (도착지)을 의미함.

2) *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

자료: 저자 작성.

기후 및 이상기후가 농작물의 생산에 미치는 영향 분석⁷⁰⁾

1. 세계 작물별 생산 추정

가. 자료

- 분석의 일관성 및 편의성을 위해 세부적인 자료를 활용하여 국가 단위, 연도 단위 자료를 구성하였다.
 - 국가, 품목, 단위 변수는 FAO 기준을 따르며, 기후(날씨) 관련 변수는 CRU_CY(Harris et al. 2020) 혹은 World Bank의 기후변화지식포털(World Bank 2018) 기준을 따르도록 하였다.
- 품목별 단위 자료는 다음과 같이 구축되었다.
 - FAO STAT의 자료 중 생산-작물(Production-Crops)에서 수확면적(Area harvested), 생산(Production), 단위(Yield) 자료를 활용하였으며, 생산, 수확면적, 단위의 단위는 각각 톤(tonnes), 헥타르(ha), 헥토그램/헥타르(hg/ha)이다.
- 국가별 과거 기후 자료는 다음과 같이 구축되었다.
 - 월별로 제공되는 국가별 자료인 CRU_CY를 활용하여 연도별 월평균최저

70) 제주대학교 조성주 교수의 분석 결과를 정리함.

기온(tmn), 월평균최고기온(tmx), 월평균기온(tmp), 연도별 강수량(천 mm)(pre) 등을 추출하고 FAO의 국가와 매칭하였다.

- 단수 추정을 위한 주요 변수의 기초통계량은 <부표 4-1>과 같으며, 작물에 따라 지역이 상이하여 기온과 강수의 통계치도 차이가 있음을 확인할 수 있다.
- 평균값을 기준으로 옥수수, 쌀, 콩의 재배지역이 보리, 밀 재배지역보다 기온이 높고 강수량이 많은 편이다.

〈부표 4-1〉 작물별 단수와 기후변수 기초통계량

단위: hg/ha, ℃, 천 mm

	옥수수		보리		밀		쌀		콩	
	평균	표준 편차	평균	표준 편차	평균	표준 편차	평균	표준 편차	평균	표준 편차
log단수	9.91	0.87	9.81	0.75	9.87	0.72	10.15	0.61	9.40	0.63
최저기온	14.90	7.27	9.28	7.10	10.93	7.31	15.77	6.63	12.95	7.70
최고기온	25.63	7.42	20.22	8.25	22.13	8.46	26.80	6.54	23.86	7.88
평균기온	20.24	7.24	14.73	7.60	16.51	7.81	21.26	6.49	18.38	7.72
강수량	1.20	0.81	0.81	0.59	0.84	0.60	1.31	0.81	1.22	0.71
관측치	8153		4827		5975		6178		4117	
국가수	161		104		122		116		101	

자료: 저자 작성.

- 국가는 작물별 주요 국가를 포함하며, 주요 작물은 GEM-LOCS 및 GTAP 기준 생산액이 큰 품목을 중심으로 선정하였다.
- 분석 품목은 옥수수, 보리, 밀, 쌀, 콩 등이며 국가는 각 작물의 주요 생산 국가 또는 지역을 중심으로 구성하였다.
- 기후 관련 변수는 기후 관련 연구에서 널리 쓰이는 CRU_TS 기반의 국가별 데이터인 CRU_CY를 활용하였다.
- 국가별로 작물의 생장기간이 상이하여 Sacks et al.(2010)의 작물 달력(crop calendar)을 활용하여 생장기간 기후 변수를 구성하며 폭염, 홍수, 가뭄 등의

이상기후는 (1) 기후관련 변수로부터 계산된 데이터 또는 (2) EM-DAT의 국가별 재난통보 데이터를 활용하였다.

- (유형 1) 평균기온, 최고기온, 최저기온, 일별기온범위, 서리일빈도, 온난일빈도, 표준강수지표(SPI), 강수강도 등 관측치와 계산된 값을 사용하는 방법
- (유형 2) 가뭄, 홍수, 이상고온(extreme heat), 이상저온(extreme cold) 등 자연재해 통보 빈도를 사용하는 방법

나. 분석방법

- Roberts et al.(2012)의 방법을 따라, 기온, 강수, 최고기온 등이 작물의 단수에 미치는 영향을 추정하였다.
 - Roberts et al.(2012)의 연구 및 기존 선행연구는 일반적으로 생장기온일수(growing degree days: GDD)를 활용하나, 본 연구는 국가당 품목별 생장기간이 크게 상이하고 전 세계 일별 데이터 구축에 어려움이 있어 월별 데이터를 이용한 생장기간기온을 활용하였다.
 - 일정 기온 이상은 작물의 생장에 악영향을 미치므로, 최고기온이 미치는 작물의 단수에 미치는 영향 또한 살펴보았다.
-
- 이상기후로 인한 세계 규모의 작물 생산변화를 추정하기 위해 Vogel et al.(2019)이나 Lesk et al.(2016)의 방법을 따라 이상기후재해(Extreme Weather Disaster: EWD)를 구축하여 활용하였다.
 - Vogel et al.(2019)은 이상기후(유형 1: 관측치와 계산치)가 농작물 단수에 미치는 영향을 기계학습의 일종인 random forest 방법을 사용하여 설명력의 정도로 분석하였다.
 - Lesk et al.(2016)은 이상기후(유형 2: 재난통보)가 농작물 단수에 미치는 영향을 통계적 방법인 superposed epoch analysis 방법을 사용하여 설명력의 정도로 분석하였다.

- 두 가지 방법은 이상기후가 작물 단수나 생산에 미치는 영향에 대해 기존 문헌과 비교가 불가능하다는 한계를 가진다.
- 그러나 본 연구에서는 더 다양한 작물이나 축산물에 대한 영향 또한 고려하므로 기존의 문헌과 비교 가능한 통계적 방법을 적용하였다고 볼 수 있다.

○ 기상환경이 국제적으로 특정 작물 단수에 미치는 영향은 Roberts et al.(2012)의 방법을 바탕으로 다음과 같은 관계를 가정하여 추정하였다.

$$y_{kct} = f(tmp_{ct}, tmp_{ct}^2, pre_{ct}, pre_{ct}^2, tmx, \gamma_c, \delta_t, EWD_{ct})$$

- k : 품목, c : 국가(지역), t : 시간(연도)
- y : 단수, tmp : 연평균기온, tmx : 연평균최고기온, pcp : 연간강수량
- γ_c : 국가 더미, δ_t : 시간 더미
- EWD_{ct} : 이상기후재해

○ 기상환경이 국가별 재배면적에 미치는 영향을 분석하기 위해 Miao et al.(2015)을 따라 다음과 같은 관계를 가정하여 추정하였다.

$$a_{kct} = f(p_{kct}, pf_{kct}, popd_{ct}, trend_t, tmp_{ct}, pcp_{ct}, tsd_{ct}, psd_{ct})$$

- k : 품목, c : 국가(지역), t : 시간(연도)
- a : 재배면적, $trend$: 시간추세(기술), $popd$: 인구밀도
- tmp, tsd : 연평균기온 및 표준편차, pcp, psd : 연간강수량 및 표준편차
- 소득과 기후는 1~3년 전 평균치가 당해연도 재배면적할당에 영향을 준다고 가정하였다.

○ 따라서 기상환경이 국가별 생산에 미치는 영향은 다음과 같은 관계로 추정된다.

$$\Delta q_{kct} = \Delta y_{kct} \cdot \Delta a_{kct}$$

다. 추정결과

- 세계 작물별 단수 추정은 선형모형으로 추정하였으며, 연도와 국가의 시간 불변효과를 모두 고려하였다. 또한, 평균기온과 강수의 제곱항을 사용하여 작물단수와와의 비선형관계를 고려하였다.
- 옥수수, 밀, 쌀, 콩 등의 작물에서 평균기온은 대체로 단수에 양(+)의 효과를 가지며 옥수수, 보리, 콩 등의 작물에서 강수량은 단수에 양(+)의 효과를 가지는 것으로 분석되었다.
- 다만 최고기온은 옥수수, 밀, 쌀 등의 작물에서 음(-)의 효과를 가지는 것으로 나타났는데 이는 이상고온이 작물 단수에 부정적 영향을 준다는 선행연구들의 결과와 일치한다(Lobell et al. 2011, 2012, 2013; Moriondo et al. 2011).

〈부표 4-2〉 세계 작물별 단수 추정 결과

품목	옥수수	보리	밀	쌀	콩
기온	0.254*** (0.086)	0.022 (0.079)	0.133* (0.066)	0.278*** (0.089)	0.194* (0.112)
기온 ²	-0.002 (0.001)	0.001 (0.001)	0.000 (0.001)	-0.001 (0.002)	-0.004 (0.002)
강수	0.281*** (0.096)	0.324* (0.165)	0.168 (0.134)	0.058 (0.085)	0.345** (0.150)
강수 ²	-0.061*** (0.021)	-0.089** (0.041)	-0.058* (0.032)	-0.019 (0.020)	-0.082** (0.031)
최고기온	-0.190*** (0.070)	-0.055 (0.072)	-0.139** (0.057)	-0.199*** (0.054)	-0.064 (0.073)
상수항	10.321*** (0.676)	10.190*** (0.488)	10.658*** (0.439)	9.991*** (0.648)	8.598*** (0.793)
Adjusted R2	0.833	0.846	0.829	0.782	0.747
RMSE	0.356	0.292	0.297	0.287	0.318
관측치수	8153	4827	5975	6178	4117
국가수	161	104	122	116	101
연도 고정효과	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
국가 고정효과	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

주 1) 국가별, 작물별 생장기간과 이상기후를 고려하지 않았으며, 확정된 결과치가 아님.

2) 괄호 안 숫자는 군집강건표준오차를 나타내며, *, **, ***는 각각 10%, 5%, 1% 수준에서 유의함을 나타냄.
자료: 저자 작성.

2. 국내 작물재배할당 추정

가. 분석자료

- 국내 작물의 재배면적 추정을 위해 기후 자료, 재배면적 및 농가수입 자료는 각각 기상청 및 통계청, 농촌진흥청에서 수집하였다.
- 시도별 과거 기후 자료는 기상청의 관측소 단위 자료를 상대적 위치와 밀도를 고려하는 티센다각형법(Thiessen polygon method)으로 보강하여 구축하였다.
 - 기간에 따라 관측소의 개수가 변화하므로 시점에 따른 편의를 방지하기 위해 분석 기간에 공통으로 존재하는 관측소의 자료만을 활용하였다.
- 재배면적과 소득 자료는 작물에 따라 조사기관이 통계청과 농촌진흥청으로 이원화되어 있다. 따라서 자료의 기간 및 품목에 따라 통계청의 ‘농축산물 생산비조사’와 농촌진흥청의 ‘농축산물소득자료집’의 자료를 최대한 이용하여 시도별 재배면적과 농가소득을 구축하였다.
 - 소득자료가 존재하지 않는 품목은 기타품목의 재배면적에 포함되었고, 시설 작물에 속하는 품목은 자료의 기간이 짧고 직접적인 기후의 영향이 적으므로 기타 품목에 포함되었다.
- GDP디플레이터, 인구밀도, 관개면적비율 등의 자료는 통계청의 각 항목에서 수집하였다.
 - 소득은 GDP디플레이터를 이용하여 실질화하고, 인구밀도는 시도별 인구에서 면적을 나누어 계산하였다. 관개면적비율은 수리상태별 면적의 시도별 자료를 활용하였다.
- 국내 작물 재배면적할당 분석을 위한 변수는 품목군별 면적비율과 소득, 기후

자료, 사회경제적 변수 등을 포함한다.⁷¹⁾

- 평균 기준으로 기초통계량을 살펴보면 재배면적은 미곡이 대부분을 차지하고 채소, 기타, 과실이 그다음으로 큰 부분을 차지하고 있다.
- 면적당 소득은 평균적으로 과실, 채소, 서류, 잡곡, 특용 순으로 높다.

〈부표 4-3〉 국내 작물 재배면적할당 분석 기초통계량

단위: 비율, 백만 원/10ha, ℃, 천 mm

변수	평균	표준편차	최솟값	최댓값
면적비율-과실	0.10	0.12	0.01	0.45
면적비율-두류	0.06	0.03	0.02	0.13
면적비율-맥류	0.02	0.03	0.00	0.12
면적비율-미곡	0.50	0.20	0.00	0.74
면적비율-서류	0.03	0.02	0.01	0.11
면적비율-잡곡	0.01	0.02	0.00	0.08
면적비율-채소	0.13	0.06	0.06	0.30
면적비율-특용	0.02	0.01	0.01	0.04
면적비율-기타	0.12	0.05	0.04	0.31
소득-과실	2.72	0.55	0.82	3.55
소득-두류	0.52	0.08	0.39	0.64
소득-맥류	0.21	0.04	0.13	0.31
소득-미곡	0.65	0.14	0.47	0.96
소득-서류	1.03	0.16	0.69	1.39
소득-잡곡	0.87	0.07	0.76	0.99
소득-채소	1.42	0.26	0.98	2.20
소득-특용	0.74	0.06	0.60	0.83
평균기온	12.97	1.38	11.26	16.88
강수량(천 mm)	1.46	0.19	0.94	1.91
log(전체재배면적)	11.93	0.53	10.81	12.90
log(인구밀도)	5.44	0.66	4.48	7.12
log(관개면적비율)	4.30	0.33	2.72	4.55
관측치	153			
지역수	9			
연도수	17			

주 1) 면적비율은 0에서 1 사이의 값을 가진.

2) 소득(백만 원/10ha), 평균기온(℃), 강수량(천 mm)은 과거 3년 평균값을 사용함.

3) 전체재배면적(ha), 인구밀도(명/㎢), 관개면적비율(%)은 1기 전의 로그값을 사용함.

4) 각 품목군별 시설작물 등의 품목이 포함된 것이 아니므로 해석에 주의가 필요함.

자료: 저자 작성.

71) 시설작물이나 소득자료가 없는 품목들이 품목군에 포함되어 있지 않은 분석 표본의 통계량이므로 실제 국가 전체의 재배면적이나 소득 통계와 일치하지 않을 수 있음.

나. 분석방법

- 기후가 국내 작물의 지역별 재배면적할당에 미치는 영향을 분석하기 위해 Cho and McCarl(2017)을 따라 다음과 같은 관계를 가정하여 비선형으로 추정하였다.

$$E(s_{kct}|\mathbf{x}) = \exp(\text{inc}_{kt}, \gamma_c, \text{trend}_t, \text{ta}_{kct}, \text{popden}_{ct}, \text{irri}_{ct}, \text{tmp}_{ct}, \text{tmp}_{ct}^2, \text{pcp}_{ct}, \text{pcp}_{ct}^2)$$

$$- s_{kct} \in [0, 1], \sum_k s_{kct} = 1$$

- k : 품목군, c : 도(지역), t : 시간(연도)

- s : 재배면적할당비율, γ_c : 지역 더미, trend : 시간추세(기술), popden : 인구밀도

- tmp : 연평균기온, pcp : 연간강수량

- ta : 총재배면적, irri : 관개면적비율

- 농가는 작물별 소득에 따라 재배작물을 선택한다고 가정하였다. 하지만 현재의 실현된 재배할당면적과 재배작물 선택 간 시차가 발생하므로 소득이나 기후는 과거 3년 평균값을 활용하였다.

- 지역 더미로 지역별 시간불변 요소를 제어하고 시간추세로 기술발전 요소를 반영하였다.

- 총재배면적은 규모의 효과를 고려하기 위해 포함되었으며, 인구밀도는 지역별 사회경제적 특성을 반영하기 위해 포함되었다.

- 기후의 영향은 논밭의 관개 정도에 따라 변화할 수 있으므로 관개면적비율도 포함하였다.

다. 추정결과

- 국내 작물면적할당은 유사최우추정법(quasi-maximum likelihood estimation)으로 추정하였으며, 지역의 시간불변효과와 기술발전 요소를 고려하였다. 또한, 평균기온과 강수의 제곱항을 사용하여 작물선택과의 비선형관계를 고려하였다.

○ 국내 작물별 기후가 재배면적할당에 미치는 영향의 추정결과(평균한계효과)는 다음과 같다<부표 4-4>.

- 비선형모형의 추정치는 해석이 어려우므로, 평균한계효과를 표기하였다. 기온과 강수의 제공항은 추정에 사용되었으나, 기본항과 제공항의 관계가 반영되어 평균한계효과에서는 기본항의 결과만 제시되었다.

○ 순 수입은 통계적으로 유의하지 않은 과실과 미곡을 제외하고 해당 작물의 재배 선택 비율을 증가시키는 것으로 나타났다.

○ 평균기온은 두류, 맥류, 서류, 특용, 기타 등 품목군의 할당비율과 양(+의 관계, 잡곡, 채소 등 품목군의 할당비율과 음(-)의 관계에 있는 것으로 나타났다.

○ 강수량은 대체로 재배면적의 할당비율과 통계적으로 유의한 관계를 나타내지 않았으나, 두류와는 양(+의 관계, 채소와는 음(-)의 관계를 나타냈다.

〈부표 4-4〉 국내 작물재배할당 평균한계효과 결과

품목군	과실	두류	맥류	미곡	서류	잡곡	채소	특용	기타
inc과실	0.000 (0.004)	-0.012*** (0.004)	-0.006*** (0.002)	0.006 (0.006)	0.000 (0.003)	0.001 (0.001)	-0.011*** (0.003)	0.002 (0.002)	0.019*** (0.004)
inc두류	0.036* (0.019)	0.055* (0.030)	0.041*** (0.012)	0.005 (0.028)	-0.006 (0.007)	0.004 (0.004)	-0.133*** (0.039)	-0.010* (0.006)	0.013 (0.019)
inc맥류	-0.001 (0.025)	-0.006 (0.031)	0.090** (0.038)	-0.008 (0.031)	-0.034*** (0.010)	-0.010* (0.006)	0.030 (0.066)	0.003 (0.013)	-0.064 (0.081)
inc미곡	0.051** (0.021)	-0.023 (0.020)	-0.035 (0.026)	-0.061 (0.043)	0.016 (0.010)	0.007 (0.006)	-0.143* (0.078)	0.014 (0.011)	0.173*** (0.063)
inc서류	-0.051** (0.020)	0.017 (0.022)	-0.031*** (0.003)	-0.017 (0.021)	0.031*** (0.011)	-0.017*** (0.003)	0.071** (0.034)	0.007 (0.007)	-0.011 (0.009)
inc잡곡	0.044 (0.027)	-0.054*** (0.017)	0.025*** (0.005)	-0.050*** (0.013)	0.002 (0.007)	0.019*** (0.003)	0.055 (0.038)	-0.005 (0.007)	-0.036* (0.022)
inc채소	0.015*** (0.005)	-0.006 (0.007)	0.002 (0.005)	-0.033*** (0.010)	0.006 (0.005)	-0.001 (0.002)	0.021** (0.009)	-0.002 (0.002)	-0.003 (0.007)

(계속)

품목군	과실	두류	맥류	미곡	서류	잡곡	채소	특용	기타
inc특용	-0.025 (0.020)	-0.009 (0.009)	0.014 (0.013)	0.049*** (0.017)	-0.034*** (0.006)	-0.007*** (0.002)	0.030 (0.033)	0.011** (0.004)	-0.030* (0.018)
tmp	0.000 (0.006)	0.014*** (0.003)	0.011*** (0.003)	0.003 (0.006)	0.007*** (0.002)	-0.005*** (0.001)	-0.057*** (0.008)	0.004*** (0.002)	0.021*** (0.007)
pcp	-0.003 (0.003)	0.017*** (0.003)	0.002 (0.004)	0.006 (0.008)	-0.000 (0.003)	-0.000 (0.002)	-0.029*** (0.009)	0.004 (0.002)	0.004 (0.007)
ln(ta)	0.008 (0.032)	-0.001 (0.029)	-0.008 (0.016)	0.002 (0.081)	-0.025 (0.022)	-0.023** (0.011)	0.081** (0.037)	-0.017 (0.022)	-0.016 (0.042)
ln(popd)	0.097 (0.060)	-0.004 (0.048)	0.104* (0.059)	0.026 (0.092)	0.046 (0.032)	0.021** (0.011)	-0.405*** (0.109)	-0.023 (0.025)	0.136 (0.090)
ln(irri)	-0.001 (0.004)	-0.009** (0.004)	-0.004 (0.003)	-0.024 (0.026)	-0.003 (0.003)	0.008*** (0.003)	0.021** (0.009)	0.003 (0.002)	0.009 (0.007)
관측치수	153	153	153	153	153	153	153	153	153

주 1) 확정된 결과치가 아님.

2) 괄호 안 숫자는 델타표준오차를 나타내며, *, **, ***는 각각 10%, 5%, 1% 수준에서 유의함을 나타냄.

3) 품목은 과실(감귤, 단감, 배, 복숭아, 사과, 포도), 두류(콩), 맥류(겉보리, 맥주보리, 쌀보리), 미곡(논벼), 서류(가을감자, 고구마, 봄감자), 잡곡(옥수수), 채소(고랭지무, 노지가을무, 노지봄무, 당근, 고랭지배추, 노지가을배추, 노지봄배추, 고추, 대파, 마늘, 양파, 쪽파), 특용(참깨) 등 품목군을 포함하였고, 지역은 9개 지역(경기, 강원, 충북, 충남, 전북, 전남, 경북, 경남, 제주)을 포함하였음.

자료: 저자 작성.

- 권오상·강혜정·정학균·김창길. 2016. “PMP 최적화 모형을 이용한 기후변화 대응 작물전환 분석.” 『농촌경제』 39(2): 1-27.
- 권오상·이한빈. 2013. “기후변화에 따른 글로벌 농업생산성 변화의 경제적 효과 분석.” 『농촌경제』 36(3): 1-32.
- 기상청. 2019. 『기후변화 2014 종합보고서: 기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC) 제5차 평가보고서』. 기상청.
- 김창길·정학균. 2010. “미국 생산의 기상영향 분석.” 『농업정책연구』 37(4): 621-642.
- 김창길·정학균·한석호·김정승·문동현. 2012. 『기후변화가 식량공급에 미치는 영향분석과 대응방안』. 농촌경제연구원.
- 김창길·정학균·이상민·김종진·문동현·이문수·김한용·고종한·이우균·김문일·정명생·김봉태·김정선·정진욱·이영섭·박주현. 2014. 『농림수산물 기후변화 영향 분석 및 영향평가 모델』. 한국농촌경제연구원.
- 김창길·정학균·임영아·문동현. 2015. 『농업부문 기후변화 경제적 영향분석 모형 개발을 위한 기초연구』. 한국농촌경제연구원.
- 김한호·권오상·남대희. 2009. “중력모형을 이용한 한국 과실류의 교역형태 분석.” 『농촌경제』 32(3): 47-70. 한국농촌경제연구원.
- 대외경제정책연구원. 2010. 『기후변화 대응의 경제적 영향 및 시사점 최종보고서』.
- 박경원·권오상. 2011. “동태 실증수리계획법(PMP)을 이용한 기후변화의 경제적 효과 분석: 쌀 생산성 변화를 중심으로.” 『농업경제연구』 52(2): 51-76.
- 서홍석·순병민·김충현·김문희. 2019. 『농업부문 전망모형 KREI-KASMO 2019 운용·개발연구』. 한국농촌경제연구원.
- 양이석·안경애·김태영. 2017. “패널공간 중력모형을 이용한 우리나라 수산물 수출의 결정요인 분석.” 『유통경영학회지』 20(5): 13-22. 한국유통경영학회.
- 임영아. 2020. “농업부문의 기후변화 대응: 현황과 과제.” 『농정연구』 73. 농정연구센터.
- 조경엽·송원근. 2009. 『FTA의 경제적 효과 분석을 위한 KERI-CGE 모형 개발 연구

- 한·EU FTA 분석을 중심으로』. 한국경제연구원.
- 최병욱·최선우·임효빈. 2020. “기상환경 변화가 배추·무 단수와 가격 변동성에 미치는 영향 분석.” 『농촌경제』 43(1): 21-47.
- 한국농촌경제연구원. 2020. 『농업전망 2020』. 자료집.
- 한석호·김명환·승준호·반현정·김태우·신성철. 2011. 『농업부문 전망모형 KREI-KASMO 2011 운용·개발 연구』. 한국농촌경제연구원.
- 한석호·정민국·남경수·정호연·이수환. 2015. 『기 체결 FTA 사후영향평가모형 개발을 위한 기초연구』. 한국농촌경제연구원.
- 한석호·안경애·김태영. 2018. “농축산물 수출결정 요인의 공간파급효과 분석.” 『유통경영학회지』 21(3): 115-125.
- 황재희·김현중·이성우. 2012. “특화작목과 기후변화 간 영향 분석을 통한 지역농업 활성화 전략 연구-과수를 중심으로-.” 『농촌계획』 18(3): 149-164.
- Adams, D.M., R.J. Alig, J.M. Callaway, B.A. McCarl, and S.M. Winnett. 1996. “The forest and agricultural sector optimization model (FASOM): model structure and policy applications.” No. PNW-RP-495, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station.
- Aguiar, A., M. Chepeliev, E.L. Corong, R. McDougall, and D. van der Mensbrugghe. 2019. “The GTAP Data Base: Version 10.” *Journal of Global Economic Analysis* 4(1): 1-27.
- Anselin, L. 1988. “Spatial Econometrics: Methods and Models.” Kluwer, Dordrech.
- Marques, A. C. and J. A. Fuinhas. 2011. “Drivers promoting renewable energy: A dynamic panel approach.” Volume 15, Issue 3, Pages 1601-1608, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- Baldos, U. L. C. and T. W. Hertel. 2015. “The role of international trade in managing food security risks from climate change.” *Food Security* 7(2): 275-290.
- Blandford, D., I. Gaasland and E. Vårdal. 2015. “Trade Liberalization versus Climate Change Policy for Reducing Greenhouse Gas Emissions in Agriculture: Some Insights from Norway.” *Applied Economic Perspectives and Policy* 37(3): 418-436.
- Burfisher, M. E. 2017. *Introduction to Computable General Equilibrium Models*.

- Cambridge University Press.
- Burger M., F. G. van Oort and G. M. Linders. 2009. “On the Specification of the Gravity Model of Trade: Zeros, Excess Zeros and zero-Inflated Estimation.” *Spatial Economic Analysis* 4(2): 167-190.
- Burniaux, J. M. and T. P. Truong. 2002. GTAP-E: An Energy-Environmental Version of the GTAP Model. GTAP Technical Paper No.16.
- Chen, Y. H. H., S. Paltsev, J. M. Reilly, J. F. Morris, and M. H. Babiker. 2015. “The MIT EPPA6 Model: Economic Growth, Energy Use, and Food Consumption.” MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change.
- Cho, S. and B. McCarl. 2017. “Climate change influences on crop mix shifts in the United States.” *Scientific Reports*.
- Corong, E. L., T. W. Hertel, R. McDougall, M. E. Tsigas, and D. van der Mensbrugghe. 2017. “The Standard GTAP Model, Version 7.” *Journal of Global Economic Analysis* 2(1): 1-119.
- Costinot, A., D. Donaldson and C. Smith. 2016. “Evolving Comparative Advantage and the Impact of Climate Change in Agricultural Markets: Evidence from 1.7 Million Fields around the World.” *Journal of Political Economy* 124(1): 205-248.
- Dellink, R. 2013. “The OECD ENV-Linkages modelling framework.” OECD 보도자료.
- Dellink, R., H. Hwang, E. Lanzi and J. Chateau. 2017. “International trade consequences of climate change.” OECD Trade and Environment Working Papers. 2017/01, OECD Publishing, Paris.
- Dissanayake, S. 2018. Addressing climate change cause and effects on agriculture, land use, and energy: case studies on South Asian economies. PhD Thesis. The University of Queensland.
- Eaton, J. and A. Tamura. 1994. “Bilateralism and regionalism in Japanese and U.S. trade and direct foreign investment patterns.” In: *Journal of The Japanese and International Economies*. Vol. 8, No. 4. pp. 478-510.
- Eaton, J. and S. S. Kotum. 2002. “Technology, Geography, and Trade.” *Econometrica*(70): 1741-1779.
- Fischer, G., F. O. Nachtergaele, S. Prieler, E. Teixeira, G. Tóth, H. Van Velthuisen, L.

- Verelst and D. Wiberg. 2012. "Global agro-ecological zones (GAEZ v3.0)-model documentation." International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA) and Food and Agriculture Organisation of the United Nations (FAO) Report, IIASA, Laxenburg, Austria and FAO, Rome, Italy.
- Fouré, J., A. Bénassy-Quéré and L. Fontagné. 2013. "Modelling the world economy at the 2050 horizon." *Economics of Transition and Institutional Change* 21(4): 617-654.
- Frankel, J. A. 1997. *Regional Trading Blocs: In the World Economic System*. Institute for International Economics.
- Fujimori, S., T. Iizumi, T. Hasegawa, J. Takakura, K. Takahashi, and Y. Hijioka. 2018. "Macroeconomic Impacts of Climate Change Driven by Changes in Crop Yields." *Sustainability* 10(10): 3673.
- Golub, A., B. Henderson, T. Hertel, S. Rose, M. Avetisyan, and B. Sohngen. 2010. "Effects of GHG Mitigation Policies on Livestock Sectors." No. 62, Global Trade Analysis Project (GTAP).
- Gouel, C. and D. Laborde. 2018. "The Crucial Role of International Trade in Adaptation to Climate Change." No. 25221, National Bureau of Economic Research.
- Griffith, D. 2007. "Spatial Structure and Spatial Interaction: 25 years later." *The Review of Regional Studies* 37(1): 28-38.
- Harris, I., T. J. Osborn, P. Jones and D. Lister. 2020 Version 4 of the CRU TS Monthly High-Resolution Gridded Multivariate Climate Dataset. Scientific Data. <<https://doi.org/10.1038/s41597-020-0453-3>>. 검색일: 2020. 10. 12.
- Heininen, L., H. Exner-Pirot and J. Plouffe. 2015. Artic Yearbook 2015, Northern Research Forum, Akureyri, Iceland.
- Hertel, T., A. Powell, G. Frisvold, M. Gehlhar, D. Gray, K. Hanslow, K. Huff, E. Ianchovichina, B. Kuhn, D.K. Lanclos, D. MacLaren, W. Martin, B. McDonald, R. McDougall, K. Pearson, C. Perroni, P. Swaminathan, M. Tsigas, R. Tyers, R. Wigle, Y. Yang, K. Yanagishima, and L.M. Young. 1997. *Global Trade Analysis: Modeling and Applications*. University of Cambridge.
- Hertel, T. W. 2018. "Climate change, agricultural trade and global food security."

- Background paper for The State of Agricultural Commodity Markets (SOCO) 2018 Food and Agriculture Organization (FAO).
- International Maritime Organization(IMO). 2008. Prevention of Air Pollution from Ships: Updated 2000 Study on Greenhouse Gas Emissions from Ships, Phase 1 Report. MEPC 58/INF.6.
- IPCC. 2014. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects, Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Field, C.B. et al. (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Jacobs, H. 2016. “Climate change and Canada in 2030: A computable general equilibrium analysis.” In Presented at the 19th Annual Conference on Global Economic Analysis, Washington DC, USA.
- Kavallari, A., P. Conforti, and Dominique van der Mensbrugghe. 2016. “The Global Agriculture Perspectives System (GAPS) Version 1.0.” No. 16-06, FAO.
- Kareem, F. O., I. Martinez-Zarzoso and B. Brümmer. 2016. “Fitting the Gravity Model when Zero Trade Flows are Frequent: a Comparison of Estimation Techniques using Africa's Trade Data.” GlobalFood Discussion Papers 230588, Georg-August-Universitaet Goettingen, GlobalFood, Department of Agricultural Economics and Rural Development.
- LeSage, J. P. and R. K. Pace. 2008. “Spatial Econometric Modeling of Origin-Destination Flows.” *Journal of Regional Science* 48(5): 941-967.
- LeSage, J. P. and R. K. Pace. 2009. Introduction to Spatial Econometrics. Chapman & Hall/CRC.
- Lesk, C., P. Rowhani, and N. Ramankutty. 2016. “Influence of extreme weather disasters on global crop production.” *Nature* 529(7584): 84-87.
- Liu, J., T. W. Hertel, F. Taheripour, T. Zhu and C. Ringlerb. 2014. “International Trade Buffers the Impact of Future Irrigation Shortfalls.” *Global Environmental Change*, Vol. 29, pp. 22-31.
- Lobell, D. B., A. Sibley, and J. Ivan Ortiz-Monasterio. 2012. “Extreme heat effects on

- wheat senescence in India.” *Nature Climate Change* 2(3): 186-189.
- Lobell, D. B., M. Bänziger, C. Magorokosho, and B. Vivek. 2011. “Nonlinear heat effects on African maize as evidenced by historical yield trials.” *Nature Climate Change* 1(1): 42-45.
- Lobell, D., G. Hammer, G. McLean, C. Messina, M. Roberts, and W. Schlenker. 2013. “The critical role of extreme heat for maize production in the United States.” *Nature Climate Change* 3: 497-501.
- Löfgren, H., R. L. Harris, and S. Robinson. 2002. “A standard computable general equilibrium (CGE) model in GAMS.” International Food Policy Research Institute (IFPRI).
- Lotze-Campen, H., C. Müller, A. Bondeau, S. Rost, A. Popp, and W. Lucht. 2008. “Global food demand, productivity growth, and the scarcity of land and water resources: a spatially explicit mathematical programming approach.” *Agricultural Economics* 39(3): 325-338.
- Maddocks, Hassell and Hyder. 2010. *Climate Change and the Transport Sector: Are we travelling in the right direction?*. Maddocks Australia.
- Mattoo, A., A. Subramanian, D. Van der Mensbrugghe, and J. He. 2009. “Reconciling Climate Change and Trade Policy.” Peterson Institute for International Economics.
- McDougall, R. and A. Golub. 2009. “GTAP-E: A Revised Energy-Environmental Version of the GTAP Model.” No. 15, Global Trade Analysis Project (GTAP). Available at: <https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/res_display.asp?RecordID=2959>. 검색일: 2020. 10. 8.
- Miao, R., M. Khanna, and H. Huang. 2016. “Responsiveness of Crop Yield and Acreage to Prices and Climate.” *American Journal of Agricultural Economics* 98(1): 191-211.
- Moriondo, M., C. Giannakopoulos, and M. Bindi. 2011. “Climate change impact assessment: the role of climate extremes in crop yield simulation.” *Climatic Change* 104(3): 679-701.
- Munchener Ruckversicherungs-Gesellschaft Geo Risks Research. 2015. “NatCatSERVICE -Loss event world wide 1980-2014.” Munich Re.

- Nelson, G., A. Palazzo, C. Ringler, T. Sulser, and M. Batka. 2009. "The Role of International Trade in Climate Change Adaptation." International Centre for Trade and Sustainable Development.
- Nicola, C., L. Youngaha, S. B Timothy, I. Shahnla, M. Daniel, D.R Richard, K. Chang-Gil and W. D Keith. 2016. Climate change, agriculture, and adaptation in the Republic of Korea to 2050: An integrated assessment. Intl Food Policy Res Inst.
- Nyong, A. 2008. Climate Change Impacts in the Developing World: Implications for Sustainable Development: chapter forthcoming in Development in the Balance: How Will the World's Poor Cope with Climate Change?, Brookings Institution Press, Washington, DC.
- OECD. 2008. "Biofuel Support Policies: An Economic Assessment." OECD Publishing. Paris.
- OECD. 2015. The Economic Consequences of Climate Change. Paris: OECD publishing. Paris.
- Osberghaus, Daniel. 2019. "The effects of natural disasters and weather variations on international trade: A review of the empirical literature." ZEW Discussion Papers 19-002, ZEW - Leibniz Centre for European Economic Research.
- Oktaviani, R., S. Amaliah, C. Ringler, M. W. Rosegrant, and T. B. Sulser. 2011. "The Impact of Global Climate Change on the Indonesian Economy." No. 01148, International Food Policy Research Institute (IFPRI).
- Pant, H. 2007. Global trade and environment model. Canberra, Australia: Department of Agriculture: Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics and Sciences.
- Porter, J. R., L. Xie, A. J. Challinor, K. Cochrane, S. M. Howden, M. M. Iqbal, D.B.Lobell, M. I. Travasso, N. Chhetri, K. Garrett, J. Ingram, L. Lipper, N. McCarthy, J. McGrath, D. Smith, P. Thomson, J. Watson and L. Ziska 2017. "Food Security and Food Production Systems." In Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and

- New York, NY, USA: Cambridge University Press, pp. 485-533.
- Poyhonen, P. 1963. "A Tentative Model for the Volume of Trade between Countries." *Weltwirtschaftliches Archiv*, vol. 90, pp. 93-100.
- Riahi, K., D. P. van Vuuren, E. Kriegler, J. Edmonds, B. C. O'Neill, S. Fujimori, N. Bauer, K. Calvin, R. Dellink, O. Fricko, W. Lutz, A. Popp, J. C. Cuaresma, S. Kc, M. Leimbach, L. Jiang, T. Kram, S. Rao, J. Emmerling, K. Ebi, T. Hasegawa, P. Havlik, F. Humpenöder, L. A. Da Silva, S. Smith, E. Stehfest, V. Bosetti, J. Eom, D. Gernaat, T. Masui, J. Rogelj, J. Strefler, L. Drouet, V. Krey, G. Luderer, M. Harmsen, K. Takahashi, L. Baumstark, J. C. Doelman, M. Kainuma, Z. Klimont, G. Marangoni, H. Lotze-Campen, M. Obersteiner, A. Tabeau, and M. Tavoni. 2017. "The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview." *Global Environmental Change* 42: 153-168.
- Roberts, M. J., W. Schlenker, and J. Eyer. 2012. "Agronomic Weather Measures in Econometric Models of Crop Yield with Implications for Climate Change." *American Journal of Agricultural Economics* 95(2): 236-243.
- Robinson, S., D. Mason-D'Croz, T. Sulser, S. Islam, R. Robertson, T. Zhu, A. Gueneau, G. Pitois, and M. W. Rosegrant. 2015. "The International Model for Policy Analysis of Agricultural Commodities and Trade (IMPACT): Model Description for Version 3." IFPRI Discussion Paper 1483. Washington, D.C.: International Food Policy Research Institute (IFPRI).
- Rogelj, J., M. Meinshausen and R. Knutti. 2012. "Global warming under old and new scenarios using IPCC climate sensitivity range estimates." *Nature Climate Change* 2(4): 248-253.
- Sacks, W. J., D. Deryng, J. A. Foley and N. Ramankutty. 2010. "Crop planting dates: an analysis of global patterns: Global crop planting dates." *Global Ecology and Biogeography* 19: 607-620.
- Sands, R., C. Jones, and E. P. Marshall. 2014. "Global Drivers of Agricultural Demand and Supply." Economic Research Report No. ERR-174, Economic Research Service, United States Department of Agriculture.

- Santos Silva, J., S. Tenreyro. 2006. "The Log of Gravity." *The Review of Economics and Statistics*. vol. 88, pp. 641-658.
- Santos Silva, J., S. Tenreyro. 2011. "Poisson: Some Convergence Issues." *The Stata Journal*. vol. 11, pp. 207- 212.
- Scott, B. and M. Daniel. 2012. The Korea Rural Economic Institute World Grains Econometric Model Including Livestock, Oilseeds, Cotton and Sugar(KREI World GEM-LOCS).
- Tamiotti, R., T. Robert, K. Vesile, O. Anne, S. Benjamin, A. Hussein. 2009. Trade and Climate Change. A Report by the United Nations Environment Programme and the World Trade Organization. WTO and UNEP.
- Tekce, M. and D. Pinar. 2016. "The Impacts of Climate Change on Agricultural Trade in the MENA Region." *Research in World Economy*. Vol. 7, No. 2.
- Timmer, C. P. 2005. "Food Security and Economic Growth: an Asian perspective." *Asian-Pacific Economic Literature* 19(1): 1-17.
- Tinbergen, J. 1962. "Shaping the World Economy; Suggestions for an International Economic Policy." Books (Jan Tinbergen). Twentieth Century Fund, New York.
- Masui, T., S. Fujimori, T. Hasegawa, N. Hanasaki, Y. Shin, K. Takahashi, Y. Hijioka, M. Kainuma. 2012. "Application of AIM (Asia-Pacific Integrated Model) toward new socio-economic scenario development integrating climate change mitigation, impact and adaptation." The 5th IAMC Annual Meeting, <https://www.iamconsortium.org/wp-content/uploads/2020/03/IAMC2012_Masui_Application-of-AIM-toward-new-socioeconomic-scenario-development.pdf>. 검색일: 2020. 10. 29.
- United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD). 2007. UNCTAD Transport Newsletter 38.
- Valin, H., P. Havlik, N. Forsell, S. Frank, A. Mosnier, D. Peters, C. Hamelinck, and M. Spöttl. 2013. "Description of the GLOBIOM (IIASA) model and comparison with the MIRAGE-BioF (IFPRI) model." IIASA, Ecofys and E4tech.
- Van der Mensbrugghe, D. 2008. The Environmental Impact and Sustainability Applied General Equilibrium (ENVISAGE) Model. The World Bank.

- Van Tongeren, F. and H. Van Meijl. 1999. Review of applied models of international trade in agriculture and related resource and environmental modelling. Agricultural Economics Research Institute (LEI).
- Verma, M., T. Hertel and N. Diffenbaugh. 2014. "Market-oriented ethanol and corn-trade policies can reduce climate-induced US corn price volatility." *Environmental Research Letters* 9(6): 064028.
- Vogel, E., M. G. Donat, L. V. Alexander, M. Meinshausen, D. K. Ray, D. Karoly, N. Meinshausen and K. Frieler. 2019. "The effects of climate extremes on global agricultural yields." *Environmental Research Letters* 14(5): 054010.
- Williams, G. W., C. Oral Jr. and S. H. Lee. 2014. The Return to Soybean Checkoff Investments. A Report to the Audit and Evaluation Committee, United Soybean Board, St. Louis Missouri, AFCERC.
- Wise, M. and K. Calvin. 2011. "GCAM 3.0 Agriculture and Land Use: Technical Description of Modeling Approach." Pacific Northwest National Laboratory.
- Woltjer, G. B., M. Kuiper, A. Kavallari, H. van Meijl, J. Powell, M. Rutten, L. Shutes and A. Tabeau. 2014. "The MAGNET model: Module description." LEI Wageningen UR.
- Wooldridge, J. M. 2010. "Econometric analysis of cross section and panel data:2nd edition." MIT Press.
- Wooldridge, J. M. 2013. "Introductory econometrics : a modern approach 5th edition."
- World Bank. 2008. Development and Climate Change. A Strategic Framework for the World Bank Group Consultation Draft, August 2008.
- World Bank. 2018. Metadata of the climate change knowledge portal.
- World Trade Online. 2020. Analysts: Climate Change will Come to the WTO one way or another. Inside U.S. Trade's World Trade Online(2020. 10. 8.)
- WTO. 2008. "Revised Draft Modalities for Agriculture." Committee on Agriculture Special Session. TN/AG/W/4/Rev.4
- WTO. 2009. Trade and Climate Change. World Trade Organization and United Nations Environment Programme.
- Xie, W., J. Huang, J. Wang, Q. Cui, R. Robertson and K. Chen. 2018. "Climate change impacts on China's agriculture: The responses from market and trade." *China Economic Review*.

<사이트>

- 관세법령정보포털 3.0. <<https://unipass.customs.go.kr>>. 검색일: 2020. 10. 5.
- 국립기상과학원. <http://www.nims.go.kr/?sub_num=866>. 검색일: 2020. 5. 26.
- 국제 재난데이터베이스(The International Disaster Database: EM-DAT). <<https://www.emdat.be/>>. 검색일: 2020. 11. 3.
- 국토환경정보센터. <<http://www.neins.go.kr/etr/climatechange/doc06a.asp>>. 검색일: 2020. 11. 3.
- 기상청 기후정보포털. <<http://www.climate.go.kr/home/>>. 검색일: 2020. 10. 7.
- 기상청 기후정보포털-기후변화시나리오. <http://www.climate.go.kr/home/CCS/contents/31_Introduce.php#>. 검색일: 2020. 10. 7.
- 기후변화홍보포털. <<https://www.gihoo.or.kr/portal/kr/biz/scenario.do>>. 검색일: 2020. 10. 7.
- 한국은행 경제통계시스템. <<http://ecos.bok.or.kr>> 검색일: 2020. 10. 5.
- APEC. <<http://www.apec.org/>>. 검색일: 2020. 10. 5.
- AXSMarine. <<http://www.axsmarine.com/distance>>. 검색일: 2020. 10. 5.
- CEPII(Research and Expertise on the World Economy). <http://www.cepii.fr/CEPII/en/bdd_modele/presentation.asp?id=11>. 검색일: 2020. 6. 2.
- CRU_CY. <<http://crudata.uea.ac.uk>>. 검색일: 2020. 10. 5.
- FAO(Fisheries and Aquaculture Department). <<http://www.fao.org/fishery/statistics/en>>. 검색일: 2020. 10. 5.
- FAO-GAEZ. <<http://www.fao.org/nr/gaez/programme/en/>>. 검색일: 2020. 6. 2.
- FAO FAOSTAT. <<http://faostat.fao.org/site/351/default.aspx>>. 검색일: 2020. 6. 20.
- GTAP Data Base(Sectors). <https://www.gtap.agecon.purdue.edu/databases/v10/v10_sectors.aspx>. 검색일: 2020. 2. 10.
- GTAP Data Bases(Regions). <<https://www.gtap.agecon.purdue.edu/databases/regions.aspx?version=10.211>>. 검색일: 2020. 2. 10.
- Global Atlas Trade. <<https://ihsmarkit.com/index.html>>. 검색일: 2020. 6. 20.
- International Institute for Applied Systems Analysis. <<https://tntcat.iiasa.ac.at/SspDb/dsd?Action=htmlpage&page=about>>. 검색일: 2020. 6. 2.
- International Institute for Applied System Analysis(IIASA). <<http://pure.iiasa.ac.at/id/>>

eprint/13290/>. 검색일: 2020. 6. 2.

KATI 농식품수출정보. <<http://www.kati.net/index.do>>. 검색일: 2020. 10. 5.

OECD. <<https://www.oecd.org>>. 검색일: 2020. 10. 5.

USDA Foreign Agricultural Service(FAS). <<http://www.fas.usda.gov/psdonline/psdHome.aspx>>. 검색일: 2020. 6. 20.

U.S. Energy Information Administration(EIA). <<http://www.eia.gov>>. 검색일: 2020. 10. 5.

World Bank Indicators. <<http://data.worldbank.org/indicator>>. 검색일: 2020. 10. 12.

WTO DATA. <<http://data.wto.org/>>. 검색일: 2020. 10. 12.

WTO I-TIP Goods. <<http://i-tip.wto.org/goods>>. 검색일: 2020. 10. 5.

KREI

www.krei.re.kr

기후변화를 반영한 농식품 교역 모형 개발 연구

A Study on the Development of Agri-food Trade Model
Reflecting Climate Change



한국농촌경제연구원

전라남도 나주시 빛가람로 601
T. 1833-5500 F. 061) 820-2211

