

기후변화에 따른 글로벌 농업생산성 변화의 경제적 효과 분석*

권오상** 이한빈***

Keywords

기후변화(climate change), 농업생산손실(agricultural production loss), 글로벌 CGE모형(global CGE model)

Abstract

This study analyzes the economic impacts of crop productivity change that will be caused by global climate change. It is also investigated whether liberalizing crop trade will exacerbate or offset the losses from climate change. Applying the PEP-w-1 global CGE model using the GTAP 8 DB shows that most of the welfare effects are generated by the change in crop productivity, and trade liberalization plays very limited role as far as the change in world GDP is concerned. However, it is also found that trade liberalization affects welfare in several regions where their protection rates are high. Moreover, crop production and self-sufficiency in each region are substantially affected by trade liberalization even if welfare in the region is affected very little because of product substitution.

차례

- | | |
|---------------|------------|
| 1. 서론 | 4. 시뮬레이션 |
| 2. 시나리오의 설정 | 5. 요약 및 결론 |
| 3. 글로벌 CGE 모형 | |

* 본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ008962)의 지원에 의해 이루어진 것임.

** 제1저자, 서울대학교 농경제사회학부 농업·자원경제학전공 교수 겸 농업생명과학연구원 겸 무연연구원

*** 서울대학교 대학원 농업·자원경제학전공

1. 서론

몇 가지 과학적 불확실성에도 불구하고 현재 진행되고 있는 기후변화는 인류의 생산 활동으로 인한 온실가스 배출량 증가가 주요인이 되어 발생하고 있다는 것에 대한 합의가 점차 이루어지고 있으며, 그로 인해 발생할 종합적인 경제적 효과에 대한 분석들도 수차례 이루어진 바가 있다. 기후변화로 인한 경제적 비용과 다양한 대응책별 효과를 종합적으로 분석한 연구는 이미 IPCC(2007), Stern(2007), OECD(2009), Nordhaus(2008) 등에 의해 시도된 바가 있는데, 이들 연구들은 모두 기후변화가 지구 전역의 기온을 상승시키고 강수량에도 변화를 주는 등 장기적인 기후변수의 변화를 초래할 것으로 예측한다. 기후변화는 아울러 다양한 국가에 있어 이상 고온 혹은 저온, 가뭄과 홍수 등 기상변수의 불안정성을 증대시켜 그로 인한 피해도 늘릴 것으로 예측된다.

장기적인 기온상승이나 기상변수의 불안정성 증대는 질병의 증가 및 해안지역을 중심으로 발생하는 자연재해 등의 피해를 유발할 것으로 보이지만, 무엇보다도 작황부진에 따른 농업 부문의 피해가 우려된다. 기후변화가 농업에 미치는 영향은 작목별 및 지역별로 대단히 상이할 것으로 예측되고 있으므로, 기후변화는 전 세계 농산물 총생산량 변화는 물론이고, 지역과 품목별로 차등화된 영향을 초래하여 전 세계 농산물의 생산과 소비구조를 바꾸고, 국가별 부의 분배에도 영향을 미칠 것으로 예측된다. 따라서 기후변화의 영향 파악을 위해서는 기후변화가 농업에 미치는 총 영향뿐 아니라 국가 간 생산 및 소비구조의 분배까지도 분석할 필요가 있다.

기후변화가 농업생산성에 미치는 영향의 경제적 효과 분석은 국내에서도 시행된 바가 있다. 기후변화의 영향을 분석하는 가장 일반적인 분석기법은 국가경제 전체에 미치는 효과를 분석할 수 있는 응용일반균형(Computable General Equilibrium: CGE)모형인데, 한국에서 진행된 연구로는 기후변화의 국가 경제 전체에 대한 연구인 환경부(2011), 한국환경정책·평가연구원(2009) 등의 연구와, 특히 농업 부문을 세분화한 권오상 등(2012), 권오상, 이한빈(2012)의 연구가 있다. 아울러 국내의 경우 CGE 모형은 아니지만 농업 부문만을 더 세분화하여 분석할 수 있는 부문모형(sector model)을 활용한 박경원, 권오상(2011)의 연구가 있다. 국내에서 행해진 이들 연구들은 모두 단일 국가 모형으로서, 다른 지역은 기후변화의 영향을 받지 않는 상태에서 한국만 기후변화의 영향을 받는다는 가정을 하고 있다. 그러나 현실은 한국은 물론 세계 모든 국가 혹은 지역이 기후변화의 영향을 받고, 또한 농업생산성도 변할 것이기 때문에 한국만의 효과를 별도로 분리해서 살펴보는 것은 매우 큰 한계를 가진 분석이라 할 수 있다. 예를

들면 한국의 농업생산성이 기후변화로 인해 하락하더라도 여타 국가의 하락정도가 더 크다면 한국의 농업생산은 오히려 늘어날 수가 있는 반면, 전 세계적인 농산물 가격 상승으로 총 피해액은 상대적으로 더 커질 수가 있다.

해외에서는 전 세계 모든 국가 혹은 지역을 포함하는 글로벌 CGE 모형을 이용해 기후변화에 따른 농업생산성 변화의 경제적 효과를 분석한 연구들이 있다. 여기에는 Tsigas et al.(1997), Bosello and Zhang(2005), Calzadilla et al.(2010, 2011), Palatnik et al.(2011), Palatnik and Roson(2008), Willenbockel(2011), Hertel et al.(2010) 등이 해당된다. 이와 같은 해외연구들이 있음에도 불구하고 본고는 아래와 같은 차별성을 가진다.

첫째, 본고는 사용하는 자료와 분석모형에 있어서 기존 연구와 차별화를 시도한다. 잘 알려진 글로벌 CGE 모형으로는 GLOBE(McDonald and Thierfelder 2007), GTAP(Hertel 1997), GLOBE(Willenbockel 2011), Linkages(OECD 2009) 등이 있고, 이 모형들이 기후변화효과 분석에도 사용되었는데, Willenbockel(2011)은 GLOBE을, Hertel et al.(2010)은 GTAP을, 그리고 OECD(2009)는 Linkages를 사용하였다. 이 모형들은 Linkages처럼 모형의 구체적인 내용이 공개가 되지 않거나, GTAP처럼 공개될 경우에도 모형의 수정이 사실상 불가능하여 연구목적에 맞게 모형을 신축적으로 변형하는 것이 불가능한 문제가 있다. 최근 Lemelin et al.(2012)은 국제기구의 지원을 받아 개발한 후 수년간 검토를 거친 PEP(Partnership for Economic Policy)모형을 공개한 바 있으며, 이 모형은 표준적인 글로벌 CGE의 장점을 가지면서도 다양한 연구목적에 맞게 변형될 수가 있으므로 본고는 그 유용성에 주목하여 이 모형을 수정·활용하고자 한다. 또한 기존 글로벌 모형들은 모두 2000년 혹은 2004년을 기준 연도로 하는 GTAP 6 DB 혹은 GTAP 7 DB를 자료로 활용하도록 개발되었고, PEP 역시 GTAP 7 DB를 사용하도록 개발되었는데, 본고는 PEP 모형으로서는 최초로 2007년을 기준 연도로 하는 GTAP 8 DB를 이용한 분석을 시도한다. 저자들이 파악하기에는 본고는 PEP 글로벌 모형이 기후변화의 효과를 분석한 첫 번째 사례라 할 수 있다.

둘째, 본고는 기후변화와 함께 미래의 전 세계 농업에 있어 주요한 변인 중 하나인 농산물 개방화의 영향을 함께 고려하고자 한다. 기후변화의 영향이 지역별 품목별로 다르므로 세계 농업생산의 양상을 바꿀 것이고, 또한 농산물의 무역자유화가 함께 나타날 경우 농업생산 및 분배에 있어 세계 각국에 추가적인 영향을 미칠 것이다. 무역자유화는 기후변화와 함께 앞으로 발생할 중요한 농업 관련 여건변화이기 때문에 이를 시나리오에 반영하는 절차가 필요할 것이다. 본고는 따라서 예상되는 기후변화 시나리오하에서 농산물 시장의 개방과 자유화가 다수의 국가에 있어 기후변화의 영향에 어떤 추가적인 변화를 유발할 수 있는지를 확인하고자 한다.

셋째, 기존의 글로벌 CGE 모형을 이용한 분석들은 모두 분석대상 품목과 국가들을 그룹화(aggregation)하는 절차를 밟는데, 본고는 아시아, 특히 한국 농업의 관심도를 충분히 반영할 수 있도록 한다. 기존의 모든 글로벌 연구는 한국을 동아시아그룹에 포함시키거나, 일본이나 대만과 같은 특정 국가와 묶어서 분석에 반영하였기 때문에 전 세계적인 기후변화 영향하에서 한국의 농업과 경제가 어떤 영향을 받을지는 제대로 분석되지 못하였다. 본 연구는 한국을 독립된 국가로 분류하여 글로벌 효과 분석에 덧붙여 한국 경제에 미칠 구체적인 영향까지 도출할 수 있는 분석을 시도한다. 본고는 특히 한국의 경우 국내 학자들에 의해 수행된 보다 정교한 생산성 변화 예측치를 활용토록 하여 이 점에서도 기존의 해외 연구들과 차별성을 꾀한다.

이상과 같은 차별성을 가지는 본고는 기후변화 효과의 몇 가지 시나리오하에서 전 세계 농업생산이 국가별·지역별로 어떻게 달라지는지를 분석하여 제시함으로써 향후 발생할 기후변화의 경제적 영향을 예측하는 데 필요한 자료를 제공하고자 한다. 특히 본고는 해외 연구들과는 달리 한국 및 한국이 관심을 가지는 주요 아시아 교역국들을 독립된 국가·지역으로 분류하여 분석함으로써 기후변화가 전 세계의 농업생산성에 미치는 영향을 감안하면서도 한국이 얻게 될 주요 변화를 예측해볼 수 있도록 하고자 한다.

본고의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 먼저 세계 각국의 학자들이 진행해온 기후변화가 주요 지역과 품목의 농업생산성에 미치는 영향에 관한 분석 결과를 Hertel et al.(2010)의 연구와 국내 관련 연구 결과 등을 활용하여 재정리한다. 이에 기초하여 본고의 시뮬레이션 연도인 2030년의 각 국가 혹은 지역의 주요 작물 생산성 변화에 관한 시나리오를 설정한다. 제3장에서는 분석에 사용할 CGE 모형을 설명한다. 제4장은 분석결과를 정리하여 보여주며, 제5장은 논문을 요약하고 결론을 내린다.

2. 시나리오의 설정

기후변화가 농업생산에 미치는 장기적인 영향에 대한 예측치는 몇 가지 변수에 대한 가정에 따라 달라진다. 첫째, 기후변화 특히 기온상승 자체가 어느 정도나 빨리 진행될 것인지에 대한 가정이 영향을 미친다. 둘째, 작물이 기온상승에 대해 어느 정도나 민감하게 반응하고 열 피해를 당하게 되는지에 대한 가정 역시 결과에 영향을 미친다. 셋째, 대기 중 CO₂ 농도의 비료화(fertilization) 정도가 어느 정도이며, 따라서 생산에 어느 정도나 도움이 되는지에 대한 가정 역시 중요하다(Hertel et al. 2010).

기후변화가 초래할 향후 농업생산성의 변화에 대한 기존 연구들은 크게 Schlenker and Roberts(2008)와 Lobell and Field(2007)가 각각 미국 및 세계 전체의 실제 기후자료와 주요 농작물 생산성 자료 사이의 관계를 계량분석한 것처럼 실제 관측되는 기후자료와 생산성 자료를 분석하는 방법과, Ainsworth et al.(2008), Alcamo et al.(2007), Nelson et al.(2010), Matthews et al.(1995), Rosenzweig and Iglesias(1994)처럼 작물 시뮬레이션 기법을 이용한 분석으로 나눌 수 있는데, 분석 결과를 이용해 미래에 대한 예측치를 제시할 때 위에서 언급한 세 가지 요소들에 대해 나름대로의 가정을 도입하고 있다.

본고가 활용하는 Hertel et al.(2010)의 논문은 그동안 전 세계를 대상으로 진행된 12편의 실제 추정법 혹은 시뮬레이션 분석법의 예측치를 다양하게 검토한 후, 쌀, 밀, 잡곡, 유지작물, 면화, 기타 작물 등 여섯 가지 작물에 있어서, 가장 발생가능성이 높은 생산성(most likely) 시나리오와 기온상승 속도가 빠르지 않고 작물의 기온변화에 대한 민감도도 높지 않으며, CO₂의 비료화 효과가 크다는 것을 가정하는 높은 생산성(high-productivity) 시나리오, 그리고 반대로 기온상승 속도가 빠르고 작물의 민감도가 높으며, CO₂의 비료화 효과도 적은 낮은 생산성(low-productivity) 시나리오를 정리하여 보여주었다. 이들은 특히 자신들이 제시하는 발생가능성이 높은 시나리오와 실제 기후자료 및 경작자료를 이용한 분석 결과 사이에 높은 일관성이 나타남을 보여주었다.

Hertel et al.(2010)의 생산성 변화 효과는 특정 국가나 품목 관련 자료가 없는 경우 유사한 지역이나 품목의 자료를 원용하고, 기후변화에 대한 적응은 고려하지 않는 순수한 생산성 변화 효과만을 나타낸다는 한계 등을 가지고 있지만, 현재로서는 가장 최근의 연구성과까지 잘 반영한 것으로 판단된다. 또한 경제적 효과 분석에 사용할 GTAP DB를 만들어내는 연구진이 수행한 연구로, 생산성 변화 추정에 있어 경제자료와의 일관성 측면도 고려하였다는 장점도 있다. 따라서 본고에서는 이들의 연구 결과를 시나리오로 채택하였다. 구체적으로는 실제 기후자료 및 경작자료와의 높은 일관성을 보인 ‘발생 가능성이 높은’ 시나리오를 기본 시나리오로 하고, 추가적으로 ‘낮은 생산성’ 시나리오도 함께 살펴봄으로써 기후변화가 급격하게 진행될 경우를 비교·분석하고자 한다.

한편 해외에서 주로 진행된 연구성과를 반영하는 Hertel et al.(2010)의 시나리오는 한국에 관해서는 지나치게 낙관적인 내용을 담고 있어 국내 관련 연구성과와 일치하지 않는다는 문제가 있다. Hertel et al.(2010)의 시나리오에는 한국과 대만이 함께 묶여 있는데, 전 품목에 있어 이들 두 나라는 기후변화로 인해 모두 단수가 늘어나, 기후변화의 최대 수혜국에 해당되는 것으로 되어 있다. 국내에서는 특히 쌀에 대한 연구가 상당

수 진행되었는데, 권오상, 김창길(2008)의 실제 기후변수와 작황변수를 사용한 연구의 경우 기온상승이 어느 기간 동안 쌀 생산성을 높이고 이후 하락시킬 것으로 예상하였지만, 한국환경정책·평가연구원(2011)에서는 ORYZA2000 시뮬레이션 모형을 이용할 때 기후변화 때문에 지속적으로 쌀 생산성이 하락할 것으로 예측한 바가 있고, 이는 다수의 작물시뮬레이션 연구에서도 공통으로 발견되는 바이다. 이런 점을 감안하여, 본고는 Hertel et al.(2010)의 ‘낮은 생산성’ 시나리오에서 생산성이 높아지는 것으로 되어 있는 한국의 쌀 생산성 변화율을 한국환경정책·평가연구원(2011)이 시뮬레이션 분석을 통해 제시하는 A1B 기후변화 시나리오하에서 지속적으로 감소하는 생산성 변화율로 대체하기로 한다.

본고는 생산성 변화가 발생하는 시점을 2030년으로 가정한다. 이 역시 Hertel et al.(2010) 및 Willenbockel(2011)의 글로벌 CGE 분석에서 가정한 것과 같다. 생산성 변화 발생 시점을 예를 들어 2050년 이후로 가정할 수도 있지만, 이 경우 이용할 수 있는 생산성 관련 실증분석 사례가 많이 줄어들게 되고, 또한 시뮬레이션 기간이 늘어날수록 경제성장이나 자본축적에 대한 가정 때문에 발생하는 오류의 가능성도 커지는 문제가 있다.¹

기후변화의 생산성 변화 효과는 또한 적용되는 국가에 따라 다를 것이므로 국가 혹은 지역 구분도 필요하다. GTAP 8 DB에서는 전 세계가 129개 국가·지역으로 분류되고 있지만, 이렇게 세분된 국가에 대해서는 시뮬레이션이 불가능하기 때문에 본고는 <표 1>에 나타난 바와 같이 15개 국가 및 지역으로 분류하였다. 또한 품목의 경우는 상대적으로 생산금액이 적고 특히 한국을 포함한 많은 아시아 국가에서는 생산이 되지 않는 면화를 기타 곡물에 포함시켜 쌀, 밀, 잡곡, 유지작물, 기타 곡물 등 다섯 가지 품목에 대해 기후변화가 영향을 미치는 것으로 가정한다. 농업 외 부문까지 포함하면 각 국가·지역 경제는 15개 부문으로 구성되도록 한다.²

<표 1>에서 시나리오A는 Hertel et al.(2010)이 가장 발생 가능성이 높은 시나리오라

¹ 따라서 본고는 작물모형연구들이 행한 결과를 참조하여 기후변화가 농업생산성에 미치는 물리적 영향을 평가하고, 이를 본고가 사용할 경제분석모형인 CGE 모형에 생산성 변화 충격으로 반영하는 2단계 분석법을 따른다. 본고가 검토한 선행연구들도 이와 같은 시도를 하고 있다. 다만 Nordhaus(2008, 2013)의 DICE 혹은 RICE 모형에는 기후변수자체가 포함되어 있고, 경제행위의 결과가 기후에 미치는 환류효과까지 분석할 수 있다. 그러나 DICE/RICE 모형은 CGE 모형이 아닌 최적화모형으로서, 경제전체를 하나의 생산 부문으로밖에 표현할 수 없어 농업생산성 변화 효과 분석을 위해 사용될 수는 없다.

² 열다섯 가지 부문은 다음과 같다. 쌀, 밀, 잡곡, 과채류, 유지작물, 기타작물, 축산, 낙농, 임산물, 에너지, 식품가공, 경공업, 중화학공업, 서비스업.

고 분류한 것이지만 대체로 기후변화의 긍정적인 효과가 많이 발생하는 경우이다. 동남아시아를 포함하는 기타 아시아, 북미, 라틴아메리카, 아프리카 등에서 모든 작물의 생산성이 하락하지만, 쌀을 기준으로 하면 한국 등 동아시아, 오세아니아, 유럽 등지에서는 생산성이 높아지고, 밀과 유지작물의 경우에도 인도, 기타 아시아, 아프리카 등지에서만 생산성 하락이 발생한다. 기타 작물의 경우에도 유사한데 예외적으로 중국에서 음(-)의 생산성 변화 효과가 나타난다. 옥수수가 포함된 잡곡의 경우 일본이나 한국을 제외하고는 세계 전역에서 생산성 하락이 발생하고, 낙관적인 시나리오에서도 그 하락 폭이 큰데, 이는 옥수수로 대표되는 C4계 작물이 CO₂의 비료화 효과에 대해 둔감하고, 온대지방과 열대지방 모두에 있어 열에 매우 민감한 특성을 반영하는 것이다. Hertel et al.(2010, 7)은 그와 같은 특성이 Long et al.(2006), Ainsworth et al.(2008), Schlenker and Lobell(2010), Schlenker and Roberts(2008)가 발견한 내용과도 일치함을 언급하고 있다.

시나리오B는 Hertel et al.(2010)이 낮은 생산성 시나리오로 분류한 것에 국내 연구 결과를 반영한 것으로, 시나리오A에 비해 보다 비관적이다. 이 시나리오에서는 한국과 일본의 콩류 등을 제외하고는 모든 지역에서 모든 작목의 생산성이 하락하며, 그 폭도 시나리오A에 비하면 훨씬 크다. 역시 잡곡의 생산성 하락이 특히 클 것으로 예측한다.

표 1. 기후변화가 농업생산성에 미치는 영향 (%)

국가·지역	쌀		밀		잡곡		유지작물		기타작물	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
오세아니아	7	-5	7	-5	-5	-17	2	-10	7	-3
중국	0	-12	2	-10	-10	-22	0	-12	-1	-10
홍콩/대만/싱가포르	3	-2	4	-2	1	-6	0	-2	9	-2
일본	9	-5	4	-3	0	-7	9	2	6	-1
한국	12	-5.4	12	-3	5	-7	12	2	12	-1
인도	-5	-15	-3	-10	-10	-17	-3	-10	-3	-10
기타 아시아	-3	-10	-3	-10	-10	-17	-3	-10	-3	-10
기타 북미	-3	-10	7	-5	-10	-17	12	-10	0	-19
미국	-3	-10	2	-10	-15	-32	2	-10	0	-12
라틴 아메리카	-3	-10	-3	-10	-10	-17	-3	-10	0	-10
서유럽	7	-5	7	-5	-5	-17	7	-5	15	-5
기타 유럽	7	-5	7	-5	-5	-17	7	-5	7	-5
러시아	7	-5	7	-5	-5	-17	7	-5	7	-5
서남아시아	2	-5	2	-5	-5	-12	2	-5	2	-5
아프리카/기타 국가	-3	-15	-3	-15	-10	-22	-3	-15	-3	-15

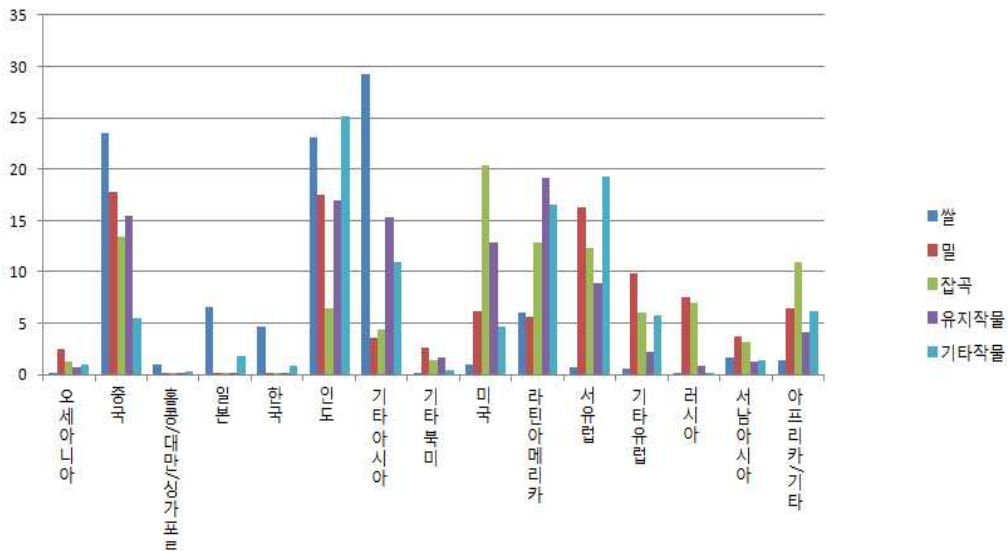
주: A는 긍정적 생산성 변화 시나리오, B는 부정적 생산성 변화 시나리오.

자료: Hertel et al(2010), 한국환경정책·평가연구원(2011), 재가공.

국가 혹은 지역으로 보면 기후변화에 있어서, 오세아니아, 홍콩/대만/싱가포르, 일본, 한국, 서유럽, 기타 유럽, 러시아, 서남아시아 등에서 상대적으로 작은 영향을 받는 반면, 중국, 인도, 기타 아시아, 기타 북미, 미국, 라틴아메리카, 아프리카/기타국가 등에서 상대적으로 큰 영향을 받는다. 주목할 점은 상대적으로 큰 영향을 받는 국가 혹은 지역이 세계 농업생산의 핵심 지역에 해당한다는 것이다.

<그림 1>은 쌀, 밀, 잡곡, 유지작물, 기타 작물 등에 있어서 각국의 생산 비중을 보여 준다. 자료는 2007년을 기준으로 하는 GTAP 8 DB를 이용하였다. 중국, 인도, 기타 아시아, 미국, 라틴아메리카, 서유럽 등에서 세계 농업생산의 상당 부분이 생산되고 있는데, 위 국가 또는 지역은 바로 기후변화에 상대적으로 취약한 것으로 간주된 지역이다.

그림 1. 품목별 세계총생산에서 각국의 생산 비중 (%)



자료: Center for Global Trade Analysis, GTAP 8 DB, 재가공.

본고는 2030년에 발생할 효과를 분석할 것이기 때문에 그 기간 동안 발생할 경제성장 및 인구변동에 대한 가정이 필요하다. 그에 대한 가정은 BAU, 즉, 기후변화가 없다는 전제하에서 얻어지게 되는데, 경제성장률의 경우 OECD(2012)의 *Economic Outlook* (Vol 2012, Issue 1)에서, 그리고 인구성장률의 경우 UN(2011)의 *World Population Prospects: The 2010 Revision*에서 획득하였다. 각 국가·지역에 대해 적용된 전망치는 <표 2>와 같다. <표 2>의 성장률은 2010~2030년 사이의 연평균 성장률로서, 다수 국가가 포함된 지역의 경우 국가별 성장률의 평균치이다.

표 2. GDP와 인구의 연평균 성장률 전망 (%)

국가·지역	GDP 성장률	인구 성장률
오세아니아	3.0	1.1
중국	7.0	0.25
홍콩/대만/싱가포르	2.7	0.7
일본	1.1	-0.4
한국	2.7	0.06
인도	6.8	1.0
기타 아시아	5.3	1.1
기타 북미	2.1	0.7
미국	2.3	0.8
라틴 아메리카	3.3	0.9
서유럽	2.0	0.0
기타 유럽	4.5	0.0
러시아	3.0	-0.4
서남아시아	2.8	2.0
아프리카/기타국가	3.0	2.0

자료: OECD(2012), UN(2011), 재가공.

3. 글로벌 CGE 모형

본고가 사용하는 CGE 모형은 다지역을 고려할 수 있는 글로벌 모형으로서, Lemelin et al.(2012)이 개발한 PEP-w-1을 수정·보완한 것이다.³ 이 모형은 2004년을 기준 연도로 하는 GTAP 7 DB를 사용하도록 개발되었지만 본고는 2007년을 기준으로 하는 GTAP 8 DB를 반영토록 모형을 수정하였다. GTAP 8 DB는 역시 글로벌 모형인 GTAP의 기본 CGE 모형(Hertel 1997)에 필요한 자료만 제공하는데, 이 모형과 본고의 모형 사이에는 차이가 있기 때문에 추가로 필요한 탄력성과 파라미터가 있다. GTAP 모형과는 달리 PEP-w-1은 사회계정행렬(Social Accounting Matrix: SAM)을 구축하여 사용한다는 점에 있어 표준적인 CGE 모형에 보다 가깝고⁴, SAM의 항등식이나 국민소득계정(GDP) 구축 시 다른 어떤 글로벌 CGE 모형보다도 1993년의 UN 국민소득계정

³ PEP 모형은 분석 지역 및 시점에 따라 단일지역 정태·동태모형, 다지역 정태·동태모형 등 크게 네 가지 모형이 개발되어 있으며, PEP-w-1은 다지역 정태모형에 해당한다.

⁴ 기존에 개발된 CGE 모형 중 가장 표준적인 것으로 인정받는 것이 IFPRI(International Food Policy Research Institute) 모형(Lofgren et al. 2002)인데, Traore(2012)는 PEP 모형과 IFPRI 모형을 비교·설명하고 있다.

체제(SNA93)와 일관성을 유지한다는 장점이 있다(Decaluwe et al. 2012).

본 연구에서는 PEP-w-1을 기초로 하여 모형을 구성하되, 연구목적에 부합되도록 지역 및 산업 구분에 있어 각각 아시아지역과 농업 부문을 보다 세분화하였고, 또한 시나리오의 설정을 위하여 관련 방정식을 일부 수정하였다.⁵

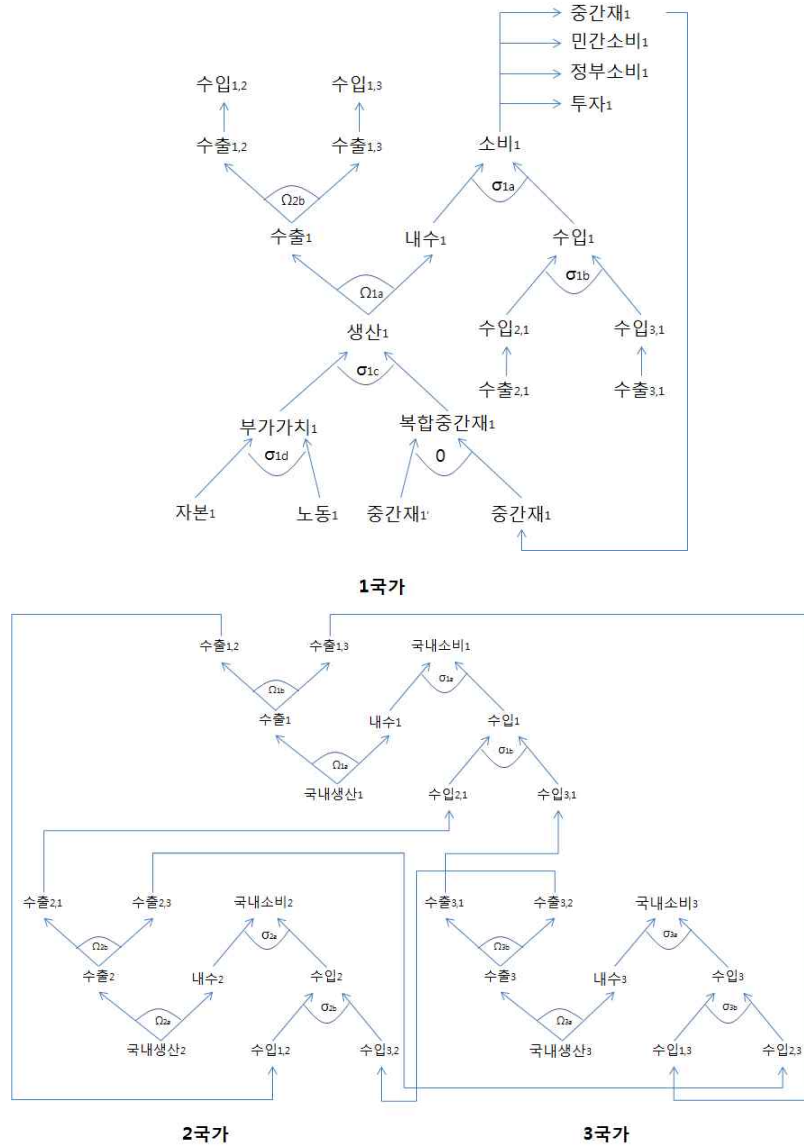
3.1. 개별 국가·지역 및 글로벌 경제 모형 구조

모형은 크게 생산, 소득과 저축, 국내수요, 무역 등에서의 부문별 방정식과 가격결정 방정식, 시장균형방정식 등으로 구성되며, 세 개의 국가가 있다고 가정할 경우 <그림 2>에서 생산, 국내수요, 무역 등을 중심으로 모형의 전반적인 구조를 확인할 수 있다. 그림에서 ‘생산’, ‘소비’, ‘수입’, ‘수출’ 등은 해당 과정에서의 양적변수를 표기하며, 변수들의 하첨자 중 숫자는 국가를, 알파벳은 파라미터를 구별한다. 수량변수들은 생산 또는 유통과정에서 결합 또는 분배되는데, 결합 시에는 CES 함수 또는 레온티에프함수를, 분배 시에는 CET 함수를 따른다고 가정한다. σ , Ω 는 각각 CES 함수와 CET 함수에서 양적변수들 간의 대체탄력성을 의미한다. <그림 2>의 첫 번째 구조도는 하나의 상품에 대하여 생산부터 최종소비까지의 흐름을 보여준다. 중간재와 부가가치가 모여 국내생산이 이루어지고, 생산된 상품은 국외의 각국으로 수출되거나, 국내소비에 이용된다. 국내소비는 국내에서 생산된 상품뿐만 아니라 국외 각국으로부터 수입된 상품을 대상으로 하며, 해당 상품은 최종소비 및 투자 이외에도 일부는 국내생산에 필요한 중간재로 이용된다.

한편 모든 지역은 동일한 경제 구조를 따르며, 각 지역의 경제는 무역 부문 방정식에서 상품의 지역 간 수출 및 수입 변수를 매개로 하여 연결된다. 다만, 수입국은 국제운송서비스에 대한 요금을 포함하여 대금을 지불하므로, 수출액과 수입액의 차이를 보정하기 위한 변수가 추가로 고려될 필요가 있다. 본 모형에서는 서비스업 부문에서 국제운송서비스를 제공하고, 수입 시 국가별 상품별 수입량에 비례하여 국제운송서비스를 구입한다고 가정한다. <그림 2>의 두 번째 그림은 세 개의 지역이 있을 때 지역 간 경제의 연결 관계를 도식한 것이다. 각 국가에서 생산된 상품의 일부가 무역을 통하여 다른 국가들의 소비에 이용되는 과정을 확인할 수 있다.

⁵ 지역 및 산업 부문의 구체적인 분류는 각각 <표 1>, <표 3>에 제시되어 있고, 모형 내 방정식 수정에 대한 구체적인 설명은 다음 절에서 제시하였다.

그림 2. 개별 지역 및 글로벌 경제모형 구조도 (위: 개별 지역, 아래: 글로벌)



주: 1) 첨자 중 숫자는 국가를, 알파벳은 파라미터를 구별함.

주: 2) 수입, 수출의 첨자는 출발지, 도착지 순으로 표기함.

소비자와 생산자 등의 각 경제주체들은 <그림 2>의 수량변수들을 효용극대화 혹은 이윤극대화를 위해 선택하며, 이들의 행위는 각 단계에서의 시장균형을 통해 서로 연결된다. 또한 각 상품의 가격은 그러한 균형조건을 통해 도출된다. 아래에서는 주요 경제주체들의 행동이 모형에 반영되는 방식과 시장균형을 도출하는 방식이 간략히 설명된다.⁶

3.2. 생산 부문

본원적 투입요소는 숙련노동, 비숙련노동, 자본, 토지, 천연자원 등 다섯 가지이며, 이중 처음 두 투입요소가 CES(Constant Elasticity of Substitution)결합하여 복합노동을 만들고, 나중 세 투입요소 역시 CES결합하여 복합자본을 만든다. 복합자본과 복합노동이 다시 CES결합하여 부가가치재를 만들고, 이 부가가치재가 중간투입재와 Leontief결합하여 최종 산출물을 생산한다.

복합재들이 만들어질 때 이윤극대화(혹은 비용최소화) 조건이 활용되며, 세부 투입요소의 수요함수가 도출된다.

3.3. 소득과 저축

경제주체는 가계와 정부로 구분되는데, 정부는 조세를 걷어 지출하며, 가계는 모든 종류의 자본과 모든 종류의 노동으로부터 소득을 얻어 소비지출을 한다. 가계 및 정부의 저축은 소득에서 지출을 빼준 것이다. 자본소득은 자본 대출가격으로 평가한 자본수입에서 감가상각을 빼준 것이다. 소득에서 직접세를 빼준 것이 가처분소득이고, 소비에 사용된다.

가계의 저축은 가처분소득의 절편을 포함하는 선형함수인데, 이렇게 함으로써 저축이 음(-)인 경우도 허용이 된다. 경제가 성장할 경우 저축함수의 절편은 그 값이 고정될 경우 무의미해질 수가 있기 때문에 자본축적률이나 경제성장률을 반영하여 시간이 지

⁶ 모형을 구성하는 주요 방정식들에 대한 보다 자세한 설명은 Lemelin et al.(2012)을 참조하길 바란다. <http://www.pep-net.org/programs/mpia/pep-standard-cge-models/pep-w-1-multi-region-single-period-world-model/>.

나면서 변할 수 있도록 한다.

정부소득은 가계의 소득세, 관세와 생산물세, 기타 생산세로부터 얻어지는데, 1993년 UN의 국민계정체계(SNA93)에 따라 관세와 생산물세는 소비세, 수입세와 관세, 수출세 등의 간접세로 구성되고, 기타 생산세는 투입요소인 노동과 자본에 대한 세금, 생산세 등으로 구성된다.

가계의 소득세는 저축함수처럼 가계 총소득의 선형함수이되 절편이 시간이 지나면서 변할 수 있도록 한다. 기업의 소득은 자본소득과 이전수입으로 구성된다.

투입요소에 대한 세금(노동소득세, 자본세)과 생산행위 자체에 대한 세금은 구분되며, 투입요소에 대한 세금은 산업과 투입요소 종류별로 세율이 다를 수 있다. 아울러 정부수입에서 지출을 빼준 것이 정부 저축이 된다.

상품에 대한 세금은 세 가지인데, 비수입품에 대해 부과되는 세금, 수입품에 대해 부과되는 세금, 그리고 수출품에 대해 부과되는 세금이다. GTAP DB에서는 국제운송마진은 별도로 집계되는데, 수입품에 대한 세금은 이 마진을 포함한 금액에 대해 적용된다.

각 국가 혹은 지역에 있어 외국(ROW)은 해당 국가나 지역의 (국제운송마진을 포함하는) 수입품 대금을 가져가며, 그 대금과 외국이 해당 국가나 지역에서 지출한 것과의 차이가 바로 외국의 저축(해당 국가나 지역 국제수지의 음(-)의 값)이 된다. 외국이 국내 시장에 지출하는 것은 국제운송마진을 포함하는 해당 국가의 수출대금이다. GTAP DB에는 각 상품의 국가 간 쌍방거래에서 나오는 마진자료와 각 국가가 생산한 마진 서비스자료가 다 나오지만, 각 마진의 생산자와 쌍방간 거래실적을 서로 연결하지는 않는다. 따라서 각 쌍방거래와 관련된 마진서비스 수요는 모두 합하고, 그 총량이 완전 경쟁시장을 통해 각 마진 공급자에게 배분되도록 한다.

3.4. 국내 수요

국내에서 생산되었든 수입되었든 재화와 서비스에 대한 국내 수요는 소비 수요, 투자 수요, 공공 수요, 중간재 수요로 구성된다. 가계의 소비 수요는 CDE(Constant Difference Elasticity) 함수를 이용해 설정하는 GTAP과는 달리 표준적인 CGE 모형들에서 사용하는 LES(Linear Expenditure System) 효용함수에 의해 결정된다고 가정한다. 모형의 식별을 위해서는 수요의 소득탄력성 계수와 소비지출액 한계효용의 지출탄력성(expenditure elasticity of the marginal utility of demand), 즉, Frisch파라미터 값을 반영한다.

투자 수요는 총고정자본형성을 의미한다. 각 국가·지역에 있어 고정자본형성은 저축-투자균형식에 의해 내생적으로 결정된다. 형성된 고정자본은 고정비율에 따라 부문별로 배분된다.

정부의 재화와 서비스에 대한 수요는 실질 정부지출액에 정부지출 가격지수를 곱한 것으로 정의된다.

3.5. 생산자 공급과 국제무역

각 국가·지역에서 각 부문의 생산자는 최종재를 생산하고, 이를 총 판매수입을 극대화하는 방식으로 수출하거나 국내 시장에 공급하며, 수송 부문의 경우 국제운송마진 서비스로 공급하기도 한다. 최종재는 판매처별로 불완전 대체되며, CET(Constant Elasticity of Transformation) 함수에 의해 그 대체정도가 결정된다. CET 함수는 GTAP 모형에서는 사용되지 않으므로 그 탄력성이 별도로 제공되어야 한다.

그리고 수출되는 수량은 다시 여러 수입국에 배분되는데, 각 수입국으로 팔려나가는 수출재들은 역시 불완전 대체되며, 그 대체 정도는 CET 함수에 의해 결정된다. 각 수입국에 배정되는 수출량은 역시 CET함수 제약하에서 수출판매액을 극대화하도록 결정한다. 즉, 생산자의 공급행위는 일종의 계층(nested) CET 함수에 의해 결정되는데, 최상층에서는 최종재가 수출, 국내시장, 국제운송마진의 세 부문으로 배분되고, 그 하위 계층에서는 수출품이 각 수입국에 배분된다.

해외로부터의 수입은 수출행위와 대칭을 이루도록 한다. 국내산은 수입품과 불완전 대체되며, 각 수입선으로부터 들어오는 수입품들도 서로 불완전 대체한다. 불완전 대체 정도는 CES 함수에 의해 결정되며, 이 함수의 제약하에서 지출비용을 최소화하는 의사결정이 이루어진다.

3.6. 가격결정

가격이나 가격지수들은 위에서의 경제행위를 분석하기 위해 설정된 함수형태에 의해 영향을 받아 결정된다. 복합재와 같은 통합재의 가격은 수지균형(zero-profit)조건에 의해 개별 품목가격의 가중평균이 되며, 이때 가중치는 복합재나 통합재의 가치가 개별 구성품목의 가치합과 일치하도록 결정된다. 즉, 특정 구성품목의 가중치는 해당 품

목의 가치(혹은 수량)와 통합재의 가치(혹은 수량) 비율이다. 가중치는 따라서 가격에 따라 달라지겠지만 Leontief결합하여 사용되는 중간재의 경우에는 가중치가 가격에 대해 불변이다.

각 상품이나 투입요소의 판매자 가격과 구매자 가격은 정부가 부과하는 조세만큼 차이를 가지게 된다. 기초가격(basic price)은 단위당 생산비에(자본과 노동투입에 대한 세금은 이미 단위 생산비에 포함되었으므로 제외하고) 생산세를 더한 것이다.

수출업자는 제품을 국내시장에서 판매하기도 하고 수출하기도 하는데, 총 생산물의 기초가격은 따라서 국내시장과 해외시장에서 얻는 가격의 가중합이다. 특정 지역에서 또 다른 지역으로 수출되는 상품의 국제가격은 그 생산자가 수취하는 가격에 수출세를 더한 것이다.

PEP-w-1은 각 국가·지역별 GDP 디플레이터, 세계 GDP 디플레이터, 소비자물가지수, 투자재물가지수, 공공부문 지출가격지수 등의 다섯 가지 물가지수를 계산한다. 환율은 실물변수에는 영향을 미치지 않는다(numeraire).

3.7. 시장균형과 GDP

상품, 서비스, 투입요소 모두가 수요와 공급이 일치하도록 하는 균형조건을 충족해야 한다.

국내총생산은 여러 가격을 기준으로 구할 수 있는데, 기초가격(basic prices) GDP는 투입요소에 대한 보수에 노동과 자본세를 제외한 여타 생산세를 합한 금액이고, 시장가격(market prices) GDP는 기초가격 GDP에 상품세와 수입세를 더한 것이다. 모형 전체의 가격은 각 국가·지역에서의 GDP 디플레이터 대비 상대가격으로 표시된다.

3.8. 파라미터

GTAP 8 DB는 각종 경제자료뿐 아니라 GTAP 모형(Hertel 1997)을 가동하는 데 필요한 파라미터들도 공급하며, 이들 파라미터는 각종 선행연구들을 감안하여 도출한 일종의 세계 평균 파라미터들이기 때문에 본고 역시 그대로 사용하기로 한다. 그러나 본고의 모형과 GTAP 모형의 차이로 인해 추가 파라미터가 필요한데, 그것은 LES 효용함수를 식별하는 데 필요한 수요의 소득탄력성($=\eta$)과 Frisch파라미터, 각 수입국으로

수출품을 배분하는 데 필요한 CET 탄력성($=\sigma_{X2}$), 최종재를 국내시장과 수출시장에 배분하는 데 필요한 CET 탄력성($=\sigma_{X1}$), 자본, 토지, 천연자원을 묶어 자본복합재로 만드는 과정에서 필요한 CES 탄력성($=\sigma_K$), 숙련노동과 비숙련노동을 묶어 복합노동을 만드는 과정에서 필요한 CES 탄력성($=\sigma_L$) 등이다.

Frisch파라미터의 경우 폭넓은 문헌조사를 한 Annabi et al.(2006)의 연구를 참조하여 2를 선택하였다. 소득탄력성 η 는 국가별로도 다를 수 있지만 그 차이를 파악하기 어렵기 때문에 한국에서 연구된 탄력성과 일치한다고 가정한다. 따라서 특히 농산물이 세분된 수요함수를 다루므로 권오상 등(2012)과 김명환 등(2008)이 제안하는 탄력성을 사용하였다. 자세한 수치는 <표 3>에 정리되어 있다.

CET 탄력성 σ_{X1} 은 권오상 등(2012), 그리고 이 연구가 참조한 Annabi et al.(2006)의 선행연구 조사와 Arndt et al.(2002)의 추정 결과를 활용하였고, 그 결과 역시 <표 3>에 정리되어 있다. 수출품이 각 수입국으로 배분되는 탄력성 σ_{X2} 는 알려져 있지 않은데, 비교적 탄력적으로 배분될 수 있도록 2를 배정하였다. 마지막으로 σ_K 와 σ_L 은 PEP-w-1의 제안을 따라 모두 0.3이 되도록 하여 자본유형별, 그리고 노동유형별로 제한된 대체가 이루어지도록 하였다.

표 3. 분석에 사용된 소득탄력성 및 CET 탄력성

번호	부문 분류	소득탄력성(η)	CET탄력성(σ_{X1})
1	쌀	0.32	0.72
2	밀	0.02	0.72
3	잡곡	0.02	0.72
4	과채류	0.40	2.20
5	유지작물	0.16	0.72
6	기타 작물	0.16	0.72
7	축산	0.51	0.72
8	낙농	0.56	0.72
9	임산물	0.35	0.72
10	수산물	0.49	0.72
11	에너지	1.17	2.20
12	식품가공	0.40	0.33
13	경공업	1.38	2.20
14	중화학공업	1.17	0.33
15	서비스업	1.20	2.84

자료: 권오상 등(2012), 김명환 등(2008), Annabi et al.(2006), Arndt et al.(2002) 참조.

4. 시뮬레이션

본 연구에서는 기후변화의 영향과 무역자유화의 영향을 동시에 고려하여 다음 <표 4>와 같이 총 네 가지의 시나리오를 설정한다. 먼저 기후변화의 영향은 농산물 생산성 변화 수준에 따라 2개의 시나리오로 구분한다. 시나리오A는 상대적으로 긍정적인 생산성 변화를 가정하는 것이고, 시나리오B는 상대적으로 부정적인 생산성 변화를 가정하는 것으로, 각각 앞에서 제시한 <표 1>에서의 시나리오A, B를 적용한다. 시나리오A는 다시 농산물에 대한 무역자유화 적용 여부에 따라 시나리오A-NTL, A-TL로 나뉜다. 시나리오A-NTL은 무역자유화가 적용되지 않은 경우이고, 시나리오A-TL은 무역자유화가 적용된 경우이다. 시나리오B 역시 동일한 과정에 따라 시나리오B-NTL, 시나리오B-TL로 나뉜다.

표 4. 후변화 및 무역자유화를 고려한 네 가지 시나리오

구 분	무역장벽 현상 유지 (관세율 미조정)	무역장벽 완화 (관세율 조정)
긍정적 생산성 변화 (<표 1>의 A)	시나리오 A-NTL	시나리오 A-TL
부정적 생산성 변화 (<표 1>의 B)	시나리오 B-NTL	시나리오 B-TL

구체적으로 무역자유화의 영향은, <표 1>에서 고려하고 있는 다섯 가지 농산물에 있어 최근의 DDA 협상 결과인 농업분야 4차 의장 수정안에서 제시된 관세감축률을 적용하는 것으로 한다(<표 5>)⁷. 다만 한국의 경우 가장 중요한 농작물인 쌀은 관세를 통해 보호되는 것이 아니라 최소시장접근(Minimum Market Access: MMA)이라는 수량제한 정책을 통해 보호되고 있기 때문에 수입이 실제로는 제한됨에도 불구하고 관세율은 5% 정도로 매우 낮아서 관세율을 추가로 낮추어도 수입량이 별로 늘어나지 않는 문제가 발생한다. 반면 한국과 유사하게 쌀에 대한 높은 무역장벽 정책을 실시하고 있는 일본의 경우 주요 쌀 도입국가들에 대하여 수량제한 정책 대신 500%에 육박하는 관세

⁷ DDA 농업분야 4차 의장 수정안에서는 관세 이외 민감품목/특별품목 지정 등 기타 사안을 포함하고 있으나, 시나리오의 경우의 수를 줄이기 위하여 본 연구에서는 일반 농산물에 대한 관세감축률만 고려하였다.

를 부과하고 있어, 관세율을 낮추면 상당한 정도의 수입량 변화가 발생하게 된다. 본고는 한국의 쌀 수입구조의 특수성을 반영하기 위해 한국의 경우 다른 지역과는 달리 무역자유화의 수단으로 수입량 자체를 변화시키는 방법을 택하였다. 즉, 수입량이 정책에 의해 외생적으로 결정되고, 이 경우 모형의 내생변수의 수가 줄어들기 때문에 대신 수입가격이 내생적으로 결정되도록 모형을 변경하였다. 무역자유화에 따른 수입량 변화 목표치는 무역자유화 도입 전 수입량의 33% 증가로 정하였다. 이 수치는 시뮬레이션 결과 관세율을 낮추는 일본에서 수입량이 늘어나는 효과를 감안하여 도입한 수치이다.

표 5. 농산물 관세감축률 시나리오 (%)

구간	선진국		개도국(선진국의 2/3)	
	구간경계	감축률	구간경계	감축률
1	0~20	50	0~30	33.3
2	20~50	57	30~80	38.0
3	50~75	64	80~130	42.7
4	75 초과	70	130 초과	46.7

자료: 『DDA 농업분야 세부원칙 4차 의장 수정안(WTO, 2008)』.

시나리오의 결과는 기후변화 및 무역자유화가 없는 상황을 기준으로 평가된다. 시나리오의 적용 시점으로 2030년을 가정하고 있으므로, 시나리오의 적용 전 상황 역시 현재의 경제상황이 유지되는 것이 아니라 변화된 세계경제 여건이 모형에 반영되어야 한다. 기후변화가 없다는 BAU가정하에서의 2030년 세계경제균형은 <표 2>에서의 각 국가·지역별 GDP 성장률을 반영하여 구하며, 구체적인 반영 과정은 다음과 같다. 우선 <표 2>에서의 경제성장률로부터 도출된 2030년 세계 각국의 GDP를 계산한다. 다음으로 각 국가·지역이 <표 2>에서 제시된 연평균 성장률을 달성하기 위해서 모형 내 주요 외생변수와 파라미터들의 성장률이 균형성장률과 일치하도록 조정하며, 여기에는 자본 등 본원적 투입요소는 물론, LES 효용함수의 기초소비량, 노동공급량, 공공투자, 가계의 소비함수와 소득세 함수에 있어서의 절편, 실질 정부지출액 등이 포함된다. 단, 경제가 균형성장(balanced growth)함을 가정하고 외생변수들을 갱신한다.

마지막으로 모형의 GDP 변수를 앞서 계산한 2030년의 GDP 값으로 외생화한 후 식 (1)의 생산 부문 방정식에서 경제성장의 효과를 반영할 파라미터로 A_z^{VA} 를 추가하고 해당 값을 모형 내에서 계산한다.

$$(1) \quad VA_{j,z} = A_z^{VA} B_{j,z}^{VA} \left[\beta_{j,z}^{VA} LDC_{j,z}^{-\rho_{j,z}^{VA}} + (1 - \beta_{j,z}^{VA}) KDC_{j,z}^{-\rho_{j,z}^{VA}} \right]^{-\frac{1}{\rho_{j,z}^{VA}}}$$

$$\begin{aligned} \text{단, } LDC_{j,z} &= z\text{국가 혹은 지역에서의 } j\text{산업의 복합노동} \\ KDC_{j,z} &= z\text{국가 혹은 지역에서의 } j\text{산업의 복합자본} \\ VA_{j,z} &= z\text{국가 혹은 지역에서의 } j\text{산업의 부가가치} \end{aligned}$$

식 (1)은 경제의 총생산함수로서 파라미터 A_z^{VA} 는 총요소생산성(total factor productivity)를 나타내는 파라미터이다. 식 (1)에서처럼 내생적으로 도출된 A_z^{VA} 들은 모형의 해가 BAU하에서는 OECD가 예측하는 경제성장을 및 UN이 예측하는 인구성장과 완전 일치하도록 한다. 따라서 기후변화로 인한 생산성 변화의 효과를 분석할 때에는 이 파라미터들이 고정된 외생변수인 것으로 취급하고, 생산성 변화 및 무역자유화 시나리오를 반영하는 일반균형을 다시 구하여 그 경제적 효과를 도출한다.

기후변화와 무역자유화의 효과는 각국의 기초가격 기준 GDP 변화율, 국내 소비자가격지수 변화율, 국내 농산물 생산량 변화율, 농산물 수입량 변화율, 그리고 국내 농산물 소비자가격 변화율 등을 통해 차례로 확인해보기로 한다.

우선 세계 및 각국의 GDP 변화율을 살펴보면 다음과 같다. 2030년 기후변화가 없을 때에 비해 기후변화가 발생하되, 농업생산성에 낙관적인 영향을 미칠 것이라 가정하는 시나리오A하에서는 농산물 무역자유화조치가 없을 때와 있을 때 세계 총 GDP가 각각 0.0132%와 0.0138%, 그리고 보다 비관적인 시나리오B하에서는 각각 0.1216%와 0.1222%가 감소한다. 위 변화율을 금액으로 환산하면 순서대로 연간 120.7억 달러, 125.6억 달러, 1,109.0억 달러, 그리고 1,114.0억 달러에 달한다. GDP는 기초가격, 최종 소비자가격, 생산자가격 등 어느 가격으로 평가하느냐에 따라 달라지고, 가격 자체가 절대가격이라기보다는 GDP 디플레이터 대비 상대가격이기 때문에 이들 네 가지 수치를 직접 비교하기는 어렵다. 그러나 이런 한계점을 감안하더라도 세계 총 GDP는 기후변화의 생산성 변화효과에 대하여 상당한 영향을 받지만, 추가적인 무역자유화로부터는 크게 영향을 받지 않음을 알 수 있다. GDP 변화로 측정되는 무역자유화의 전체 영향이 크지 않은 것은 농업생산액이 전 세계 경제에서 차지하는 비중이 크지 않다는 점도 반영하고 있다.

국가·지역별 GDP 변화 정도는 <그림 3>과 <표 6>에서 확인할 수 있다. <그림 3>의 그래프는 기후변화 및 무역자유화가 반영되지 않은 즉, BAU 시나리오 하에서의 2030년 GDP대비 시나리오 발생 시의 GDP 변화율을 보여주는데, 그 피해 혹은 이득의 국가·지역별 분포가 불균등하게 나타난다. 특히 기후변화의 영향을 크게 받을 것으로 예상되는 인도와 (기타 혹은) 동남아시아 국가들의 GDP 감소율이 높고, 라틴아메리카, 아프리카·기타 국가 등에서도 영향이 상대적으로 크게 나타난다.

기후변화 영향을 기준으로 보면, 시나리오A(즉, 시나리오A-NTL 및 A-TL)에서는 인도와 기타 아시아를 제외한 대부분의 지역에서 0.1% 이내의 GDP 변화율이 나타난다. 그런데 기후변화의 영향에도 불구하고 한국, 일본, 홍콩/대만/싱가포르 등의 아시아 국가와, 오세아니아, 서유럽 및 기타 유럽의 경우 소폭이지만 GDP가 상승하는 것으로 나타나는데, 이는 기후변화로 생산성이 소폭 증가하거나 다른 국가·지역들에 비해 상대적으로 감소 정도가 작기 때문으로 해석된다. 반면 시나리오B(즉, 시나리오B-NTL, B-TL)에서는 시나리오A에 비해 상대적으로 큰 변화가 나타나며, 그 방향에 있어서는 홍콩/대만/싱가포르를 제외한 전 지역에서 피해가 발생하는 것으로 예측된다. 국가·지역별로 보면 인도, 기타 아시아, 라틴아메리카, 아프리카/기타 국가 등이 크게 영향을 받는 것으로 나타나는데, 특히 인도의 경우 258억 달러에 달하는 피해가 발생할 것으로 분석된다. 한편 한국의 경우에는 시나리오A에서는 연간 이득이 12.5억 달러였던 것이 시나리오B에서는 연간 손실이 7.7억 달러로 바뀐다.

무역자유화 시나리오를 기준으로 보면, 개별 국가·지역에 있어서 무역자유화가 추가로 가져다주는 GDP 변화의 영향은 0.05% 이내로 대단히 작다는 것을 확인할 수 있다. 즉, 전 세계의 GDP뿐 아니라 개별 국가·지역의 GDP 역시 기후변화의 생산성 변화 효과에 의해서는 큰 영향을 받지만, 추가적인 교역자유화 여부에 의해서는 거의 영향을 받지 않는다.

그림 3. 시나리오별 전 세계 및 각 지역의 GDP 변화율 (%)

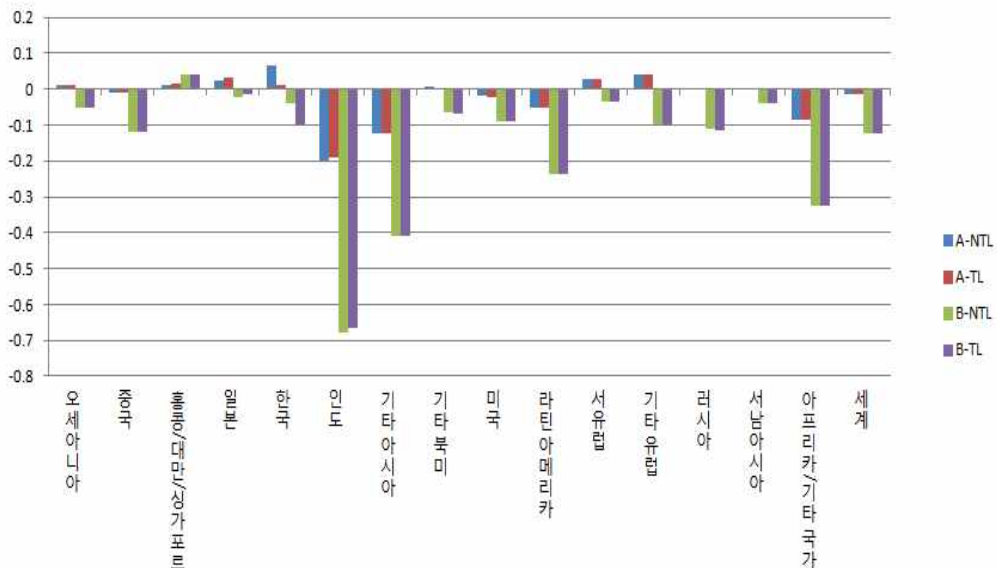
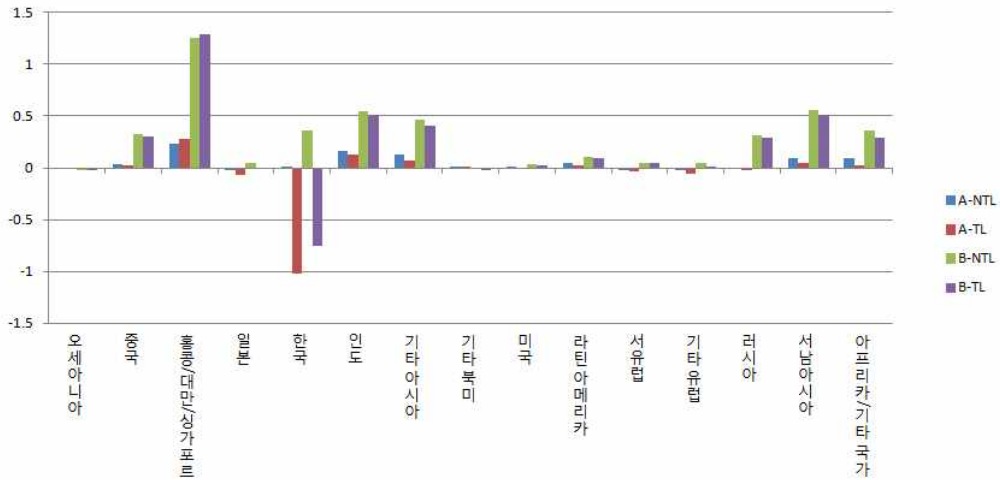


표 6. 시나리오별 전 세계 및 각 지역의 GDP 변화

국가·지역	시나리오A-NTL		시나리오A-TL		시나리오B-NTL		시나리오B-TL	
	금액 (\$ 억)	변화율 (%)	금액 (\$ 억)	변화율 (%)	금액 (\$ 억)	변화율 (%)	금액 (\$ 억)	변화율 (%)
오세아니아	1.81	0.0106	1.81	0.0107	-8.64	-0.0509	-8.66	-0.0510
중국	-12.33	-0.0115	-12.03	-0.0112	-126.94	-0.1180	-126.31	-0.1174
홍콩/대만/싱가포르	2.33	0.0124	2.69	0.0143	7.65	0.0408	7.87	0.0419
일본	12.68	0.0244	16.51	0.0318	-12.32	-0.0237	-7.32	-0.0141
한국	12.48	0.0660	1.88	0.0100	-7.69	-0.0407	-18.87	-0.0998
인도	-76.37	-0.2004	-72.31	-0.1898	-257.95	-0.6770	-253.60	-0.6656
기타 아시아	-42.73	-0.1224	-42.78	-0.1225	-143.40	-0.4107	-143.50	-0.4110
기타 북미	1.02	0.0052	0.24	0.0012	-12.34	-0.0628	-13.32	-0.0678
미국	-42.69	-0.0202	-43.84	-0.0208	-187.35	-0.0889	-189.03	-0.0897
라틴 아메리카	-33.81	-0.0514	-33.86	-0.0514	-154.82	-0.2353	-155.00	-0.2355
서유럽	64.38	0.0270	63.50	0.0266	-83.87	-0.0352	-85.02	-0.0356
기타 유럽	9.69	0.0414	9.68	0.0414	-23.24	-0.0993	-23.22	-0.0992
러시아	0.19	0.0010	0.20	0.0010	-22.29	-0.1127	-22.47	-0.1136
서남아시아	0.23	0.0009	0.24	0.0009	-10.04	-0.0378	-9.97	-0.0376
아프리카/기타 국가	-17.59	-0.0874	-17.57	-0.0873	-65.72	-0.3265	-65.55	-0.3257
세계 전체	-120.72	-0.0132	-125.63	-0.0138	-1108.96	-0.1216	-1113.98	-0.1222

다음으로 각국의 소비자가격지수가 변하는 정도는 <그림 4>에서 확인할 수 있다. 우선 기후변화의 영향을 기준으로 보면, 시나리오A하에서는 홍콩/대만/싱가포르, 인도 등을 제외한 대부분의 국가·지역에서 소비자가격지수의 변화가 거의 나타나지 않는데 반해, 생산성 하락폭이 더 큰 시나리오B하에서는 중국, 홍콩/대만/싱가포르, 한국, 인도, 기타 아시아, 러시아, 서남아시아, 아프리카/기타 국가 등에서 0.2% 이상의 지수 변화가 예측된다. 영향을 받는 상당 수 국가·지역들은 저개발국 또는 개발도상국으로 농업의 비중이 상대적으로 높은 경제구조를 지니고 있으며 식량에 대한 의존도가 높아서, 이들 국가·지역의 소비자들이 우선적으로 기후변화에 대한 부담을 지불하게 된다. 한편 무역자유화가 도입되면 다수의 국가·지역에서 가격 하락이 관측되나 그 정도는 미미한 것으로 나타나, 소비자가격지수에 있어서도 무역자유화의 여부는 크게 영향을 미치지 않는 것으로 보인다. 단, 예외적으로 한국의 경우 무역자유화 도입 시 소비자가격지수가 상대적으로 크게 하락하는 것으로 나타났는데, 이는 쌀의 국제가격과 국내가격 차이가 큰 한국의 상황이 반영된 것으로 해석된다.

그림 4. 시나리오별 각 지역의 소비자가격지수 변화율 (%)



다음으로 기후변화 및 무역자유화의 영향을 농산물에 있어서 생산량, 수입량, 소비자 가격 등의 변화율을 통해 차례로 살펴보겠다. 위 지표들은 각 시나리오에 있어서 지역별로는 물론, 쌀, 밀, 잡곡, 과채류, 유지작물 등 모형에서 다루고 있는 농산물 각 부문에 있어 개별적으로 도출할 수 있으나 농산물 전반에 있어서 각 시나리오에 따른 지역별 영향을 확인하는 데 중점을 두고자 농산물지수를 도입하였다. 각 지표에 있어서 시나리오 전, 후에 나타난 다섯 가지 하위 농산물 부문을 통합한 농산물 전체의 지역별 지수는 다음과 같은 Törnqvist 지수를 통해 도출하였다.

$$(2) \quad \ln y_j(t) - \ln y_j(t-1) = \sum_{i=1}^5 \overline{\theta}_i^j [\ln y_j^i(t) - \ln y_j^i(t-1)]$$

식 (2)에서, i, j 는 각각 품목, 지역을 나타내고, $t-1, t$ 는 각각 시점을 의미한다. $\overline{\theta}_j^i$ 는 j 지역에서 i 번째 하위 농산물 부문의 지표값이 농산물 전체의 지표값에서 차지하는 비중의 t 기 및 $t-1$ 에서의 값의 평균이다.

<그림 5>, <그림 6>는 각각 농산물 생산량지수 변화율, 농산물 수입량지수 변화율을 국가·지역별로 보여준다. 앞서 살펴본 GDP와 소비자가격지수의 경우 몇몇 예외 국가·지역이 있었으나 전 세계적으로 변화의 방향이 각각 감소, 증가하는 경향이 있었다. 그러나 농산물 생산량지수와 수입량지수의 경우 국가·지역별로 변화의 정도는 물론 그 방향성에 있어서도 차이를 보이면서, 동시에 <그림 5>와 <그림 6>를 서로 비교하면 방향성에 있어 상호관련성이 나타난다. 즉, 생산량지수에 있어서 양의 방향을 보이는 국가·지역들의 경우 수입량지수에 있어서는 대부분 음의 방향을 나타내며, 생산량지수

에 있어 음의 방향을 보이는 국가·지역들의 경우 반대의 경향을 보인다.

기후변화에 따른 생산성 변화만을 고려할 때 우선 농산물 생산량지수를 살펴보면, 보다 부정적인 가정을 하고 있는 시나리오B에서의 생산량 지수 변화율이 시나리오A의 그것보다 더 높다. 국가·지역별로 세부적으로 살펴보면, 오세아니아, 홍콩/대만/싱가포르, 일본, 기타 북미, 서유럽, 기타 유럽, 서남아시아 등에서는 생산량지수가 증가하고, 인도, 기타 아시아, 미국, 라틴아메리카, 아프리카/기타 국가 등에서는 생산량지수가 감소한다. 한국과 러시아는 시나리오A에서는 증가하지만 시나리오B에서는 감소한다. 국가·지역별 생산량지수의 증감 여부는 <표 1>에서 제시한 기후변화에 따른 국가·지역별 생산성 변화 시나리오와 밀접하게 연관된다. 생산량지수가 증가하는 국가·지역은 일반적으로 기후변화로 생산성이 상승하는 경우에 속하고 반대로 생산량지수가 감소하는 국가·지역은 생산성이 하락하는 경우에 속하며, 이로부터 생산성 상승이 국내 생산을 촉진시켰음을 알 수 있다.

다음으로 기후변화에 따른 생산성 변화만을 고려할 때 수입량지수의 변화를 살펴보면, 방향성에 있어서는 국가·지역별로 차이가 있으나 그 정도에 있어서는 시나리오A보다 B의 경우 더 크게 나타난다. 국가·지역별로 보면 오세아니아, 중국, 홍콩/대만/싱가포르, 일본, 한국, 기타 북미, 서유럽, 기타 유럽, 서남아시아 등에서는 감소 경향이, 인도, 기타 아시아, 미국 등에서는 증가 경향이 나타난다. 생산량지수와 비교할 때, 생산량지수의 변화 방향과 반대되는 방향으로 변하는 경향이 국가·지역별로 나타난다.

한편 무역자유화가 추가적으로 적용될 경우 생산량지수 및 수입량지수 모두에 있어서 국가·지역별 양상에 상당한 변화가 나타난다. 전반적으로 지수의 변화 정도가 커지는데, 일부 국가·지역에서는 무역자유화의 영향으로 변화의 방향성이 바뀌기도 한다. 이런 무역자유화 도입의 영향은 앞서 살펴본 GDP와 소비자지수에서 무역자유화의 영향이 거의 나타나지 않은 결과와 대비된다. 위와 같은 대조적인 결과는, 우선 GDP와 소비자가격지수의 경우 농산물 외 다른 산업의 영향이 포함되어 무역자유화 시나리오에 직접 영향을 받는 농산물의 변화 양상이 중화된 것에서 비롯된 것으로 보인다. 즉, 기후변화가 발생할 때 추가적으로 농산물의 무역자유화까지 이루어지면 국가·지역 전체의 GDP 등에 미치는 영향은 별로 크지 않지만 농업 부문 내의 생산량 변화나 가격 변화에는 상당한 영향을 미침을 알 수가 있고, 그 편익과 비용이 농업 관련 계층에 집중되어 나타나는 특성을 가진다고 할 수 있다.

무역자유화가 추가적으로 적용될 때 우선 생산량지수의 변화를 살펴보면, 오세아니아, 홍콩/대만/싱가포르, 기타 북미, 미국, 서유럽, 러시아 등에서는 생산량지수 변화율이 추가로 증가한다. 한편 중국, 일본, 한국, 인도, 기타 유럽, 서남아시아, 아프리카/기

타 국가 등에서는 생산량지수 변화율이 감소한다. 무역자유화에 따른 생산량지수 변화는 각국의 수입 여건 변화에 따른 것으로 해석된다. 즉, 관세 여건의 변화가 각국의 수입량의 변화를 유발하고, 유발된 수입량의 변화는 각국의 생산에 영향을 준 것이다.

다음으로 무역자유화 도입의 영향을 수입량지수의 변화에서 살펴보면, 무역자유화 전과 비교할 때 전반적으로 수입량지수 변화율의 크기가 커지고, 수입량지수 변화의 방향이 바뀌는 경우가 여러 국가·지역에서 나타난다. 무역장벽이 낮아지면서, 국가·지역 간 무역이 증가하고 그 결과 수입의 양상이 바뀌는 것으로 보인다. 중국, 일본, 한국, 인도, 기타 아시아, 라틴아메리카, 기타 유럽, 서남아시아, 아프리카/기타 국가 등에서는 수입량 지수가 증가하고, 오세아니아, 홍콩/대만/싱가포르 등은 감소한다. 인도의 경우 변화의 정도가 심한데, 농산물에 대한 전반적인 관세율이 높고, 특히 수입량이 많은 밀에 대한 높은 관세율이 무역자유화로 크게 완화됨에 따른 결과로 해석된다.

그림 5. 시나리오별 각 지역의 농산물 생산량지수 변화율 (%)

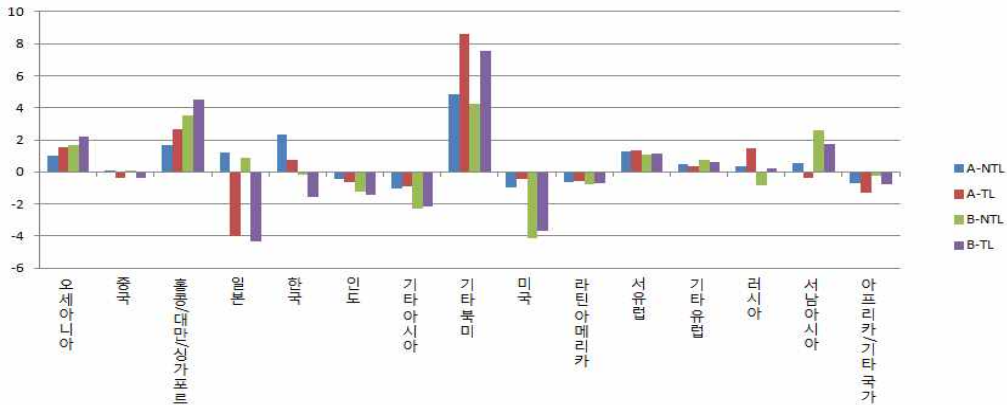
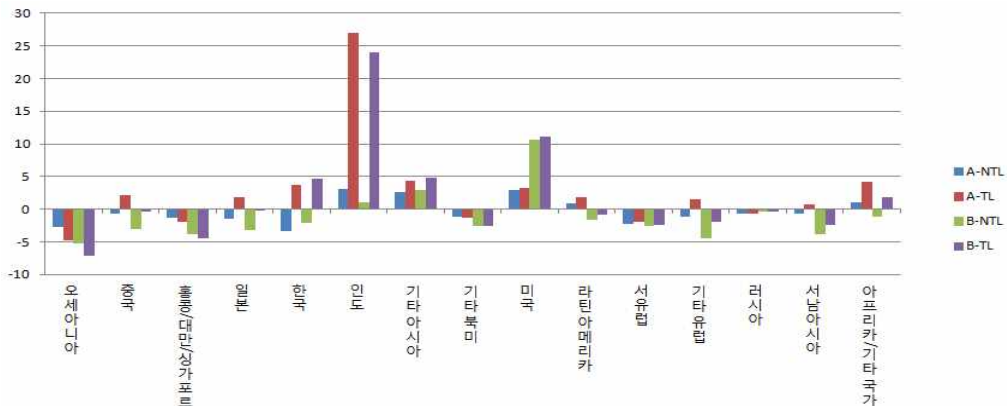


그림 6. 시나리오별 각 지역의 농산물 수입량지수 변화율 (%)



마지막으로 농산물 소비자가격지수 변화율은 <그림 7>에 제시되어 있다. 모든 상품을 포괄하는 소비자가격지수(<그림 4>)의 경우와는 달리, 생산성 변화 시나리오를 직접 적용받는 농산물을 대상으로 하는 소비자가격지수의 경우 국가·지역 및 시나리오별 전반에 있어서 상대적으로 큰 변화가 나타난다.

기후변화의 영향을 기준으로 보면, 국가·지역별로 차이는 있으나 시나리오A에 비해 시나리오B에서 상대적으로 큰 변화폭이 나타난다. 시나리오A하에서 생산성이 오히려 증가하는 오세아니아, 일본, 한국, 서유럽, 기타유럽, 러시아 등에서는 가격지수가 감소하는 것으로 나타나며, 시나리오B에서는 모든 국가·지역에서 가격지수 상승이 관찰된다. 많은 국가·지역들에서 가격지수의 증가가 관찰되는데, 국가·지역별로 가격지수 증가의 정도 차이는 우선 생산성 변화율 가정에서 그 원인을 찾을 수 있다. 생산성 변화에 있어 보다 부정적인 가정을 하는 시나리오B에서 전 지역적으로 보다 높은 가격지수 상승률이 나타난다. 국가·지역별로는 생산성이 다른 지역들에 비해 상대적으로 높아지는 오세아니아, 일본, 한국, 서유럽, 기타 유럽, 러시아 등에서는 가격지수 상승률이 작으며, 긍정적으로 가정하는 시나리오A에서는 오히려 농산물 가격지수가 하락하기도 한다.

생산성 변화 시나리오 아래 무역자유화를 추가로 고려하더라도 한국과 일본을 제외한 대부분의 지역에서 추가적인 가격지수 변화는 미미하게 나타난다. 한국과 일본의 예외적인 가격지수 하락 현상은 쌀에 대한 의존도가 높다는 점과 기존의 높은 무역장벽이 자유화로 인하여 크게 완화된 점 등이 반영된 결과로 해석된다.

그림 7. 시나리오별 각 지역의 농산물 소비자가격지수 변화율 (%)



한편, 이상의 분석결과는 관련 선행연구들과도 비교할 수가 있다. 먼저 국내 연구의 경우 권오상 등(2012), 권오상, 이한빈(2012) 등의 한국만을 대상을 하는 분석사례가 있다. 이들 연구들은 한국에서 행해진 기후변화의 생산성 변화 관련 연구성과를 CGE 모형에 반영하여 분석을 행하였지만 외국에서 진행되는 기후변화 영향은 무시하고 한국에서만 기후변화가 발생한다고 가정한 한계가 있다. 이들 연구처럼 한국에서만 기후변화가 발생한다는 가정을 본고의 분석모형에도 반영하면 결과가 <표 7>과 같이 정리된다.

표 7. 전 세계 기후변화 고려 유무에 따른 한국 GDP 및 쌀 생산량 변화율의 차이

한국	시나리오	한국 GDP 변화		한국 쌀 생산량 변화율 (%)
		금액(억 \$)	변화율(%)	
전 세계 기후변화 모두 고려	A-NTL	12.48	0.07	-0.74
	A-TL	1.88	0.01	-0.88
	B-NTL	-7.69	-0.04	1.30
	B-TL	-18.87	-0.10	1.02
한국의 기후변화만 고려	A-NTL	12.42	0.07	1.33
	A-TL	5.38	0.03	0.95
	B-NTL	-5.47	-0.03	-0.63
	B-TL	-12.38	-0.07	-0.79

한국만 기후변화가 발생한다고 가정하면 전 세계의 기후변화를 모두 가정할 때에 비해 GDP 변화율에는 큰 차이가 없다. 그러나 가장 중요한 쌀의 경우 국내 생산량 변화율에 있어 의미 있는 차이가 발생한다. 한국만 기후변화가 발생한다고 가정하면 긍정적 시나리오하에서는 쌀 생산이 늘어나고 부정적 시나리오하에서는 줄어드는 것으로 분석된다. 그러나 전 세계 기후변화를 모두 고려하게 되면 반대로 긍정적 시나리오하에서 한국의 쌀 생산량이 줄어들고 부정적 시나리오하에서 한국의 쌀 생산량이 늘어난다. 이는 한국의 쌀 생산성변화의 절대적 수치보다는 여타 국가 변화율 대비 상대적 크기에 의해 최종적인 생산량 변화가 결정된다는 것을 의미하며, 따라서 기후변화의 글로벌 효과를 반영하여 분석할 필요성을 강조한다.

해외에서 행해진 글로벌 연구 가운데 본 연구와 결과를 비교할 수 있는 것은 Calzadilla et al.(2011), Hertel et al.(2010), Willenbockel(2011) 등의 연구인데, 앞의 두 연구는 주요 연구 결과가 그래프 형태로만 제시되고 있어 본고의 결과와 직접 비교하기가 어렵다. GLOBE 모형을 이용한 Willenbockel(2011)의 연구도 본고와 달리 상대적

으로 오래된 GTAP DB를 이용하였고, 기후변화 시나리오 면에서도 차이가 있으며, 무엇보다도 국가와 상품분류에 있어 차이가 있어 본고의 분석 결과와 직접 비교하기는 어렵다. 그러나 그러한 한계를 인정한 상태에서 가능한 한 두 연구의 국가 및 품목분류를 일치시킨 후 2030년의 기후변화에 따른 농작물 생산량 변화율을 비교하면 <표 8>과 같다. 비교 결과 각 국가 혹은 지역별, 작목별 생산량 변화는 몇몇 국가에 있어 상당한 차이가 발생한다. 그러나 전체적으로 변화의 상대적 크기 혹은 방향은 대체로 두 연구가 일치한다. 본고의 결과에서는 Willenbockel(2011)의 결과보다는 국가별 생산량 변화율 격차가 줄어들며, 한국, 일본 등에서 밀이나 옥수수의 생산량이 비현실적으로 늘어나는 결과는 보여주지 않는데, 이는 특히 이들 국가에 있어 기후변화의 영향에 관한 시나리오를 보다 현실성 있는 것으로 교체함에 따라 발생한 것으로 보인다.

표 8. 기후변화에 따른 농작물 생산량 변화율

단위: %

B-NTL	Willenbockel(2011)				본 연구			
	쌀	밀	옥수수	기타	쌀	밀	옥수수	기타
오세아니아	1.7	6.8	0.4	-0.8	3.5	2.0	0.5	0.8
중국	-8.5	-5.0	-6.8	-8.4	-0.5	-0.5	-0.2	0.4
홍콩/대만/싱가포르	-0.5	93.2	37.5	3.0	0.6	31.9	11.0	2.2
일본	-0.5	93.2	37.5	3.0	0.1	23.8	14.1	0.7
한국	-0.5	93.2	37.5	3.0	-0.7	19.1	8.0	0.3
인도	-8.1	-8.3	-8.8	-7.0	-1.3	-1.2	-0.3	-0.7
기타 아시아	-5.8	-2.4	-3.6	-2.2	-2.1	-4.5	-1.9	-0.9
기타 북미	-4.2	-16.2	-7.5	-6.7	3.4	7.8	3.4	0.7
미국	-4.2	-16.2	-7.5	-6.7	-1.5	-8.0	-2.0	-2.4
라틴아메리카	-5.7	-2.2	-3.1	-1.4	-0.7	-0.2	0.0	-0.7
서유럽	6.7	2.0	-0.1	2.6	2.2	0.7	0.6	0.8
기타 유럽	6.7	2.0	-0.1	2.6	0.4	0.2	-0.2	0.7
러시아	-1.1	-3.2	-5.2	-2.1	0.4	-0.6	-1.0	0.0
서남아시아	-2.2	1.0	0.2	2.1	2.0	3.3	2.2	0.9
아프리카/기타 국가	-7.6	-5.0	-7.7	-7.3	-0.8	0.0	0.0	-0.1

주: 1) 시나리오는 Hertel et al.(2010)의 ‘부정적 시나리오(Low Productivity)’를 기준으로 함.

주: 2) 선행연구의 경우 지역 구분이 다르며, 본 연구의 지역을 기준으로 보정함.

주: 3) 본 연구에서 작물 구분이 보다 세분화되어 있으나, 선행연구의 구분을 기준으로 보정함.

5. 요약 및 결론

본고는 기후변화가 농업생산성에 영향을 주고 그로 인해 경제 전체에 미치는 파급효과를 2030년을 기준으로 하여 응용일반균형모형을 통해 분석하고자 하였다. Hertel et al.(2010), Willenbockel(2011) 등의 연구들이 정리한 기후변화가 각 국가 및 지역과 품목의 생산성에 미치는 영향에 관한 자연과학적 분석 결과들을 활용하지만, 동시에 특히 한국의 경우 이들 분석이 국내에서 행해진 실증분석 결과에 비할 때 지나치게 낙관적인 예측을 하고 있는 점을 국내 연구 결과를 반영하여 수정·보완토록 하였다. 또한 기존 연구들이 사용한 일반균형모형과 차별화되는 글로벌 CGE 모형을 활용하였고, 가장 최근의 글로벌 DB를 사용하는 변화도 주었다. 그리고 추가적으로 농업 부문의 개방화가 동시에 진행이 되면 기후변화의 영향이 어떻게 변하는지도 분석하고자 하였다.

분석 결과 각 국가·지역경제에서 농산물이 차지하는 비중은 다른 산업에 비해 상대적으로 작지만 기후변화의 영향이 어떠한가에 따라서 GDP와 소비자물가지수가 상당한 정도의 영향을 받는 것으로 나타났다. 대상 국가·지역 전반에 있어서 기후변화로 인해 GDP의 경우 전반적으로 감소하고 소비자물가지수는 전반적으로 증가하였다. 지역별로 보면, 기후변화의 영향은 이미 기온이 높고 따라서 추가적인 기온상승으로 인한 농업생산성 하락 정도가 높은 인도, 동남아시아, 그리고 아프리카 국가들에서 상대적으로 크게 나타났는데, 이를 통해 기후변화가 향후 저개발국가들의 식량접근성을 저해하는 요인으로 작용할 수 있을 것으로 우려된다.

기후변화에 따른 농업생산성 변화의 영향은 농산물 생산, 수입, 가격 등에서 보다 두드러지게 나타났다. 그 영향은 지역별로 상이하게 나타났는데, 생산성 하락이 상대적으로 적은 지역의 경우 생산이 증가하고 수입은 감소하였고, 반대로 생산성 하락이 상대적으로 큰 지역의 경우 생산이 감소하고 수입은 증가하였다. 이는 생산성 하락에 따른 국내생산 감소 여파가 지역 간 교역을 통해 일정 부분 완화됨을 의미한다. 그러나 생산성 하락이 유발하는 문제는 지역 간 교역만으로는 완전히 해소되지 못하고 농산물의 소비자가격 상승 등의 형태로 발현되는 것으로 판단된다.

한편 향후 기후변화와 함께 도래할 것으로 예상되는 국제 농산물시장의 개방화는 기후변화 때문에 발생하는 GDP와 소비자가격지수 변화를 크게 바꾸지는 못할 것으로 보이는데, 이는 유사한 분석을 모형을 달리하여 행한 Calzadilla et al.(2011)의 연구 결과와도 일치하는 것이다. 즉, 개방화 여부보다는 기후변화가 농업생산성에 미치는 영향

자체에 대한 시나리오를 어떻게 설정하느냐에 따라 각 지역의 GDP 변화가 주로 결정되었다.

그러나 무역자유화 조치는 농산물만을 국한해서 보면 비교적 보호 수준이 높은 지역들을 중심으로 상당 수준의 농산물 수입(imports) 증대 및 생산 감소를 야기하고 동시에 농산물 수출 지역의 생산을 촉진하는 것으로 나타났다. 또한 일부 국가·지역을 제외하면, 농산물가격은 전 세계 전반적으로 소폭이지만 하락하였다. 위 결과로 미루어 볼 때, 농산물 무역자유화의 흐름은 각 지역의 농산물가격 상승을 소폭이지만 완화시킴으로써 기후변화에 대한 농산물 소비자의 적응에 도움을 줄 수 있지만, 농산물 수입국의 판매시장을 추가로 위축시킴으로써 수입국의 농산물 생산자의 적응에는 위협 요인으로 작용할 것으로 해석된다.

한국의 경우 다수의 연구들에서 기후변화로 인한 생산성 변화가 유리하거나 상대적으로 적은 피해가 나타날 것으로 예측하고 있어 그 경제적 피해액도 상대적으로 작은 것으로 분석된다. 그러나 다른 국가와는 달리 특히 쌀에 대한 보호 수준이 높은 관계로 개방화가 어떻게 진행되느냐에 따라 기후변화가 국민 경제 및 농업에 미칠 영향이 상당히 달라질 것으로 예상된다.

참고 문헌

- 권오상, 김창길. 2008. “기후변화가 쌀 단수변화에 미치는 영향: 비모수적 및 준모수적 분석.” 『농업경제연구』 49(4): 45-64.
- 권오상, 노재선, 서영. 2012. “기상이변에 따른 농업생산 손실의 경제적 효과: 투입산출 및 CGE 분석.” 『농업경제연구』 53(2): 1-31.
- 권오상, 이한빈. 2012. “기후변화에 따른 농업생산성 변화의 일반균형효과 분석.” 『자원·환경경제연구』 21(4): 947-980.
- 김명환, 권오복, 이대섭, 김태훈, 조영수, 박상미. 2008. 『농업부문 전망모형 구축 연구』. 한국농촌경제연구원.
- 박경원, 권오상. 2011. “동태 실증수리계획법(PMP)을 이용한 기후변화의 경제적 효과 분석: 쌀 생산성 변화를 중심으로.” 『농업경제연구』 52(2): 51-76.
- 서진교, 최낙균, 박지현, 이창수, 박순찬. 2009. 『DDA 타결의 경제적 효과 분석과 정책과제』. 대외경제정책연구원.
- 한국환경정책·평가연구원. 2009. 『우리나라 기후변화의 경제학적 분석(I)』.
- 환경부. 2011. 『우리나라 기후변화의 경제학적 분석(II)』.
- Ainsworth, E. A., A. D. B. Leakey, D. R. Ort and S. P. Long. 2008. “FACE-ing the Facts:

- Inconsistencies and Interdependence among Field, Chamber and Modeling Studies of Elevated CO₂ Impacts on Crop Yield and Food Supply.” *New Phytologist* 179: 5-9.
- Alcamo, J., N. Dronin, M. Endejan, G. Golubev and A. Kirilenko. 2007. “A New Assessment of Climate Change Impacts on Food Production Shortfalls and Water Availability in Russia.” *Global Environmental Change* 17: 429-444.
- Annabi, N., J. Cockburn and B. Decaluwe. 2006. “Functional Forms and Parametrization of CGE Models.” MPIA Working Paper 2006-04, PEP Research Institute.
- Arndt, C., S. Robinson and F. Tarp. 2002. “Parametric Estimation for a Computable General Equilibrium Model: A Maximum Entropy Approach.” *Economic Modelling* 19: 375-398.
- Bosello, F. and J. Zhang. 2005. “Assessing Climate Change Impacts: Agriculture.” FEEM Working Paper.
- Calzadilla, A., K. Rehdanz, R. Betts, P. Falloon, A. Wiltshire and R. S. J. Tol. 2010. “Climate Change Impacts on Global Agriculture.” Working Paper FNU-185.
- Calzadilla, A., K. Rehdanz and R. S. J. Tol. 2011. “Trade Liberalization and Climate Change: A CGE Analysis of the Impacts on Global Agriculture.” ESRI Working Paper, No. 381.
- Decaluwe, B., A. Lemelin, V. Robichaud, and H. Maisonnave. 2012. *The PEP Standard Computable General Equilibrium Model Single-Country, Static Version, PEP-I-1*, Partnership for Economic Policy (PEP), MPIA Research Network.
- Hertel, T. W. (ed.) 1997. *Global Trade Analysis: Models and Applications*, Cambridge University Press.
- Hertel, T. W., M. B. Burke and D. B. Lobell. 2010. “The Poverty Implications of Climate-Induced Crop Yield Changes by 2030.” *Global Environmental Change* 20: 577-585.
- IPCC. 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report, Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R. K. and Reisinger, A. (eds.)], IPCC, Geneva, Switzerland.
- Lemelin, A., V. Robichaud, B. Decaluwé, A. and H. Maisonnave. 2012. *The PEP Standard Multi-Region, Single-Period World Model: PEP-w-1*, Partnership for Economic Policy (PEP), MPIA Research Network.
- Loebell, D. B. and C. F. Field. 2007. “Global Scale Climate-Crop Yield Relationships and the Impacts of Recent Warming,” *Environmental Research Letters* 2: 014002.
- Lofgren, H., R. L. Harris and S. Robinson. 2002. *A Standard Computable General Equilibrium Model in GAMS*. IFPRI Microcomputers in Policy Research 5, Washington DC.
- Long, S. P., E. A. Ainsworth, A. D. B. Leakey, J. Nosberger and D. R. Ort. 2006. “Food for Thought: Lower-Than-Expected Crop Yield Stimulation with Rising CO₂ Concentrations.” *Science* 312: 1918-1921.

- Matthews, R. B., M. J. Kropff, D. Bachelet and H. H. Van Laar. 1995. *Modeling the Impact of Climate Change on Rice Production in Asia*, CABI.
- McDonald, S. and K. Thierfelder. 2007. "Globe v1: A SAM Based Global CGE Model Using GTAP Data," Globe Short Course.
- Nelson, G. C., M. W. Rosegrant, A. Palazzo, I. Gray, C. Ingersoll, R. Robertson, S. Tokgoz, T. Zhu, T. B. Sulser, C. Ringler, S. Msangi and L. You. 2010. *Food Security, Farming, and Climate Change to 2050: Scenarios, Results, Policy Options*, IFPRI.
- Nordhaus, W. 2008. *A Question of Balance: Weighing the Options on Global Warming*, Yale University Press.
- Nordhaus, W. 2013. "Integrated Economic and Climate Modeling," in Dixon, P. B. and D. W. Jorgenson (eds.), *Handbook of Computable General Equilibrium Modeling* Vol 1B, Elsevier B.V.
- OECD. 2009. *The Economics of Climate Change Mitigation: Policies and Options for Global Action Beyond 2012*.
- OECD. 2012. *Economic Outlook*, Volume 2012 Issue 1, No. 91.
- Palatnik, R. R. and R. Roson. 2008. "Climate Change Assessment and Agriculture in General Equilibrium Models: Alternative Modeling Strategies." Climate Change Modelling and Policies Programme, Fondazione Eni Enrico Mattei (FEEM).
- Palatnik, R. R., I. Kan, M. Rapaport-Rom, A. Ghermandi, F. Eboli and M. Shechter. 2011. "Land Transformation Analysis and Application." A paper presented in the 18th Annual Conference of the European Association of Environmental and Resource Economists in Rome.
- Rosenzweig, C. and A. Iglesias (ed.), 1994. *Implications of Climate Change for International Agriculture: Crop Modeling Study*, United States Environmental Protection Agency.
- Schlenker, W. and D. B. Lobell. 2010. "Robust Negative Impacts of Climate Change on African Agriculture." *Environmental Research Letters* 5: 014010.
- Schlenker, W. and M. J. Roberts, M. J. 2008. "Estimating the Impact of Climate Change on Crop Yields: The Importance of Nonlinear Temperature Effects." NBER Working Paper 13799.
- Stern, N. 2007. *The Economics of Climate Change: The Stern Review*, Cambridge University Press.
- Traore, F. 2012. "A Comparison between the PEP 1-1 Model and the IFPRI Standard Model." AGRODEP Technical Note TN-01.
- Tsigas, M. E., G. B. Frisvold and B. Kuhn. 1997. "Climate Change and Agriculture." in Hertel, T. W. (ed.), *Global Trade Analysis: Modeling and Applications*, Cambridge University Press.
- UN. 2011. *World Population Prospects: The 2010 Revision*.
- Willnbockel, D. 2011. "Exploring Food Price Scenarios towards 2030 with a Global

Multi-Regional Model.” Institute of Development Studies at the University of Sussex, UK.
WTO, TN/AG/W/4/Rev. 3, Revised Draft Modalities for Agriculture, 10 July 2008.

원고 접수일: 2013년 8월 6일
원고 심사일: 2013년 8월 21일
심사 완료일: 2013년 9월 26일