

## 기후변화에 따른 농업생산성 변화의 일반균형효과 분석<sup>†</sup>

권오상\* · 이한빈\*\*

**요약** : 본고는 농업부문 및 국가경제에 대한 기후변화의 장기적 영향을 분석한다. 우선 작물 시뮬레이션 및 준모수적 분석법 등을 이용하여 쌀, 낙농 및 축산업에 대한 기후변화의 생산성 영향을 예측하고, 다음으로 축차적 동태 CGE모형을 이용하여 예측된 생산성 영향으로 유발되는 경제적 영향을 평가한다. 분석결과 우선 기후변화의 생산성 영향에서, 낙농 및 축산업의 경우 지속적으로 생산성이 하락하는 것으로 예측되었고, 쌀의 경우, 작물 시뮬레이션 적용 시 생산성 하락이, 준모수적 분석법을 적용 시 생산성이 상승한 후 다시 하락하는 것으로 예측되었다. 다음으로 쌀의 두 가지 예측결과를 기준으로 두 가지 시나리오를 설정하고 축차적 동태 CGE모형에 반영하여 경제적 영향을 평가한 결과, 2050년 연간 GDP 예상손실률이 시나리오에 따라 각각 0.2%, 0.02%로 나타났으며, 세부부문별로는 농업생산부문과 식품가공업, 농업용 투입재 산업, 그리고 몇몇 유통관련 산업에서 경제적 효과가 크게 나타났다. 그리고 대부분의 선행연구에서 간과되던 낙농 및 축산업 부문의 경제에 미치는 영향이 큰 것으로 나타났는데, 위 결과는 쌀부문 외 다른 농업생산부문에서의 기후변화 효과분석이 필요함을 제시한다.

**주제어** : 기상변화, 농업생산손실, CGE(CGE), 준모수적 분석

**JEL 분류** : Q10, Q17, Q54

접수일(2012년 10월 29일), 수정일(2012년 11월 1일), 게재확정일(2012년 12월 2일)

<sup>†</sup> 본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(주관과제번호 PJ008962)의 지원에 의해 이루어진 것임. 기후변수와 쌀 생산성 관련 자료를 구축하는 데 도움을 준 서울대학교 대학원의 조현경, 조은빛 학생에게 감사드림.

\* 서울대학교 농경제사회학부 농업·자원경제학전공 교수 겸 농업생명과학연구원 겸무연구원, 교신저자 (e-mail: kohsang@snu.ac.kr)

\*\* 서울대학교 대학원 농업·자원경제학전공

# Climate Change, Agricultural Productivity, and their General Equilibrium Impacts: A Recursive Dynamic CGE Analysis

Oh-Sang Kwon\*, Hanbin Lee\*\*

**ABSTRACT :** This study analyzes the long-run impacts of climate change on Korean agriculture and economy. We estimate the impacts of climate change on the productivities of major agricultural products including rice, dairy and livestock using both a simulation approach and a semiparametric econometric model. The former predicts a decline in productivity while the latter predicts an increase in productivity due to climate change, especially for rice. A recursive dynamic CGE model is used to analyze the general equilibrium impacts of productivity change under the two different scenarios, derived from the two productivity analysis approaches. The loss of GDP in 2050 is 0.2% or 0.02% of total GDP depending on the scenario. It is shown that the losses in dairy and livestock sectors are larger than that in rice sector, although the losses in those two non-rice sectors have been ignored by most existing works.

**Keywords :** Climate Change, Agricultural Production Loss, CGE(CGE), Semiparametric Regression

---

Received: October 29, 2012. Revised: November 1, 2012. Accepted: December 2, 2012.

\* Professor, Dept. of Agricultural Economics and Rural Development, Seoul National University, San 56-1 Sillim-dong, Gwanak-gu, Seoul 151-742, South Korea (e-mail: kohsang@snu.ac.kr)

\*\* Graduate Student, Dept. of Agricultural Economics and Rural Development, Seoul National University, San 56-1 Sillim-dong, Gwanak-gu, Seoul 151-742, South Korea

## I. 서론

기후변화로 인해 인류가 직면하게 될 영향은 매우 다양하며, 그러한 다양한 물리적 및 사회·경제적 영향은 이미 Stern(2007), Nordhaus(2008), OECD(2009) 등의 학자나 국제기구에 의해 분석·예측된 바가 있다. 이들에 의하면 기후변화로 인해 생산성 변화가 발생할 농업부문, 해일이나 침수 등 재난이 크게 발생할 수 있는 해안부문, 무더위나 새로운 전염성 질환이 증가할 수 있는 건강부문이 주된 영향을 받게 되는 부문이라 평가된다. 기후변화의 그와 같은 주된 영향 가운데에서도 농업부문에 대한 영향은 특정 산업에 대한 영향이면서도, 해안이나 건강 등과 달리 최종 소비는 물론 경제 내 각 부문에서의 생산활동에 파급영향을 미칠 수가 있으며, 아울러 국제무역을 통해 다른 나라나 지역에 대해서도 파급영향을 미칠 수가 있다. 이런 점에서 볼 때 농업부문이야말로 기후변화로 인해 가장 종합적이면서도 폭 넓은 영향을 받는 부문이라 할 수가 있다.

기후변화로 인해 농업부문이 받게 될 직간접적인 영향을 경제적 가치평가와 함께 분석하고자 하는 연구는 물론 다수가 있다. 이들 연구들은 작물과학분야에서 제시하는 기후변화로 인한 생산성 변화분에 해당 작물의 가격을 곱해주는 비교적 소극적이고 비경제학적인 방법에서부터, 일종의 최적화 모형을 이용해 최적 농업생산금액이 기후변화로 인해 어떻게 달라지는지를 연구하는 경우, 그리고 국가경제 그리고 심지어 전 세계 경제에 대한 파급효과까지 분석하는 응용일반균형(computable general equilibrium, CGE)분석까지 다양하다.

기후변화로 인한 농업부문 영향을 평가하기 위해서는 먼저 기후변화로 인해 발생할 것으로 예상되는 주요 농작물의 생산성 변화를 예측할 수가 있어야 하고, 이어서 그러한 생산성 변화를 경제적 가치로 환산하는 절차가 필요하다. 기후변화가 농업 부문에 미칠 영향에 관한 국내 연구는 그러나 이상의 두 가지 면 모두에 있어 불완전성을 가지고 있어 이에 대한 추가 연구가 지속적으로 이루어질 필요가 있다.

무엇보다도 기후변화의 효과를 경제적 가치로 환산하는 데 필요한 사전정보인 기후변화의 생산성 변화 영향에 대한 예측치가 아직은 완전히 갖추어지지 않은 문제가 있다. 기후변화의 영향은 현재로서는 주곡인 쌀에 대해서만 이루어져 있고, 이

역시 소수의 작물시물레이션 모형에 의존해서 자료가 갖추어진 한계가 있다. 기후 변화로 인해서는 예를 들어 쌀 못지않게 생산비중이 높은 축산업도 큰 영향을 받을 수 있지만 이에 대한 분석은 없는 실정이며, 쌀에 대한 분석 역시 소수의 시물레이션모형에 의존하고 있고, 실제 관측되는 경작 자료와 기후변수와의 관계가 이들 시물레이션 연구결과를 뒷받침하는지도 불분명하다.

기후변화의 경제적 효과를 종합적으로 분석한 국내 연구인 한국환경정책·평가연구원(2009)과 환경부(2011)의 연구는 세계은행과 OECD의 검증된 동태 글로벌 CGE 모형인 Env-Linkages를 활용한 분석을 종합적으로 시행하였지만, 이 모형은 산업구분을 지나치게 단순하게 시행하여 농업 전체를 하나의 부문이나 쌀과 여타부문 2개로만 분류하였기 때문에 기후변화의 품목별 영향을 파악하는 데 한계가 있다. 또한 글로벌 모형의 특성상 비교적 과거 연도를 기준으로 하여 작성된 GTAP(Global Trade Analysis Project) DB를 활용할 수밖에 없으며, GTAP자료는 전 세계 모든 국가의 자료를 일관되게 구축하다보니 한국의 자료는 오히려 한국 실정에 잘 맞지 않는 문제도 발생한다. 뿐만 아니라 수입량 제한 등이 적용되는 한국 농업정책의 영향도 모형에 반영하지 못하는 한계를 가지고 있어 분석결과와 유용성 측면의 문제도 가지고 있다.

기후변화의 농업부문 영향을 분석한 또 다른 국내 연구는 박경원·권오상(2011)이 시행한 농업부문모형(agricultural sector model)을 이용한 분석이다. 이 연구는 도 단위의 지역별 농업자원 부존량과 생산성 지표, 가격자료 등을 이용하여 농업부문 이윤을 극대화 하는 최적화모형으로서, 기후변화로 인해 발생할 쌀 단수변화가 최적 생산행위에 미치는 영향을 분석하였다. 이들의 모형은 기후변화효과의 지역별 영향을 분석할 수 있고, 농산물 품목을 매우 세분할 수 있다는 장점을 가진 분석법이지만, 축산부문은 아예 모형에 포함되지 않았고, 모든 투입요소 및 산출물 가격은 외생적으로 결정된다고 보며, 농업 외 부문도 아예 모형에 포함되지 않은 그야말로 부분균형모형이라는 한계를 가지고 있다.

그 외 김창길 외(2008)처럼 Mendelsohn et al.(1994)이 개발한 리카르디언(Ricardian) 분석법을 적용하여 토지 즉 농지의 가격을 농업생산의 순수익의 할인합이라 보고, 기후, 토양, 여타 변수들이 그와 같은 농지가격에 미치는 영향을 통계적으로 분석하

는 연구도 있으나, 용도변경 가능성 등 농업생산성 외의 많은 변수에 의해 그 가격이 주로 결정되는 국내 농지에 대해 적용하는 데에는 한계도 따른다.

이상 농업부문 기후변화의 경제적 영향을 분석한 기존의 국내 연구들이 가지고 있는 한계들을 감안하여 본 연구는 다음과 같은 시도를 하고자 한다. 첫째, 기후변화가 농업생산성에 미치는 직접적인 영향의 경우 쌀뿐 아니라 낙농 및 축산업에 대해서도 분석에 포함하도록 한다. 아직 국내 연구사례는 없으나 해외에서 가축들이 열 스트레스로 인해 생산성이 하락하는 효과가 분석된 바가 있으므로 이를 반영하여 기후변화에 따른 축산부문의 영향까지도 경제적 효과 분석에 반영하고자 한다. 기후변화로 인한 축산부문의 영향은 Tsigas et al.(1997), Bosello and Zhang(2005), Calzadilla et al.(2010), Palatnik et al.(2011), Palatnik and Roson(2008) 등과 같은 해외의 CGE모형에서도 제대로 분석되지 않았다.

둘째, 주곡인 쌀이 받는 영향의 경우 기존의 ORYZA2000 등과 같은 작물 시뮬레이션 모형으로부터 도출된 결과들은 모두 기온 상승이 반드시 생산성을 하락시키는 것으로 예측하여 실제 경작자료가 보여주는 결과와는 상이한 측면도 있어 이의 보완을 시도한다. 본 연구는 실제로 경작된 자료와 관측되는 기후변수간의 관계를 준모수적(semiparametric) 분석하여 그 결과를 작물 시뮬레이션 분석결과와 비교하고, 두 결과로부터 도출된 각기 상이한 두 가지 시나리오 하에서의 기후변화 효과를 분석하고자 한다.

셋째, 본 연구는 CGE모형을 사용하여 경제적 효과 분석을 하고자 하지만 기존 CGE모형과는 달리 GTAP DB가 아닌 가장 최근 연도의 실제 한국경제자료를 활용하며, 무엇보다도 농산업분야의 품목분류를 세분화하여 품목별 기후변화 효과를 가능한 한 세밀하게 반영하도록 한다.

넷째, 기후변화로 인해 생산성이 변할 것으로 예측되는 주 작물인 쌀의 경우 최소시장접근(MMA)을 통해 그 수입량이 규제되고 있어 이를 모형에 반영한다. 기존의 연구들은 이러한 주요 정책을 반영하지 않고 있어 모형의 현실성이 낮은 것이 사실인데, 본 연구는 수입량을 한국 정부가 정한 시나리오에 따라 외생화하는 절차를 모형에 반영하도록 한다.

다섯째, 본 연구는 기존 연구들에 비해 보다 최근의 기후변화 시나리오를 반영한다.

기후변화의 영향에 관한 기존 분석들은 모두 IPCC의 과거 기후변화 시나리오인 A1B 등을 적용하였다. 본 연구는 기상청에 의해 2011년 발표된 보다 최근의 신기후변화 시나리오를 반영하여, 이에 따른 경제적 효과를 분석한다.

본 연구는 이상과 같이 기존 연구와 차별화되는 분석을 수행하기 위한 방법론을 선정하는데, 쌀의 생산성 변화모형의 경우 준모수적 분석법 중 하나인 벌칙 스플라인 방법(penalty spline method)을 적용한다. 그리고 일반균형분석을 위해서는 단일 국가 동태 CGE모형을 사용하는데, Decaluwé et al.(2012)이 개발한 PEP-1-t를 변형한 것이다. 이 모형은 국제기구의 지원을 받아 세계 경제 분석을 위해 개발된 후 많은 검증과정을 거치고 있는 모형으로서, 본 연구는 이 모형을 연구의 목적에 맞게 몇 가지 방향으로 수정한다. 첫째, PEP-1-t는 원래 노동력과 자본 등이 모두 동일한 비율로 성장하는 비교적 경직적인 균형성장(balanced growth)모형이지만 본 연구는 이를 보완하여 인구와 자본의 예상 성장률이 각기 다를 수 있도록 하고, 그 두 성장률을 통합하여 동태모형에 반영한다. 둘째, 이미 앞에서 언급한 바와 같이 특히 쌀의 경우 MMA에 의해 수입물량이 한정되고 향후 시나리오에 따라 변화되도록 하는 정책 내용을 담을 수 있도록 역시 모형을 변형하는 절차를 밟는다.

본고의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 기후변화의 영향을 받는 주요 품목인 쌀과 축산물의 생산성 변화효과를 분석·도출한다. 제3장은 분석에 사용할 CGE모형에 대해 설명하며, 제4장은 주요 분석결과를 정리하여 보여준다. 마지막 제5장은 분석내용을 정리하고 시사점을 도출한다.

## II. 기후변화와 생산성

기후변화는 장기적으로 기온을 상승시키고 동시에 가뭄이나 홍수, 이상 저온과 같은 기상재해를 통해서도 농업생산성에 영향을 미친다. 또한 온실가스에 의한 기후변화는 대기 중 탄소농도 변화를 통해 작물의 광합성에도 영향을 미친다. 본고는 기후변화의 그러한 장기적 효과와 단기적인 기상재해효과 중 전자만을 분석에 반영코자 한다.

장기적인 기후변화가 농업생산에 미치는 영향에 관해서는 주로 작물 시뮬레이션

을 통해 분석한다. 국내에서도 특히 쌀에 대해 CERES-Rice 모형, 그리고 환경부(2011)의 연구를 위해 국립농업과학원의 연구진이 시도한 벼 생육모형(ORYZA2000)을 이용한 분석결과가 도출되었다. 해외의 경우에도 예를 들면 미국 환경처(EPA)가 주도하여 1989-1992년 사이 전 세계 다수의 지역에서 작물모형 연구결과를 정리한 Rosenzweig and Iglesias(1994)의 연구가 자주 인용된다.

기후변수가 농작물 생산성에 미치는 영향은 또한 실제 경작 자료와 기후변수 자료를 이용해 계량경제기법을 통해 분석할 수도 있다. 이러한 시도는 국내에서는 김정호(1998), 권오상·김창길(2008), 노재선 외(2012) 등에 의해 이루어진 바가 있다. 특히 권오상·김창길(2008)은 비모수적 커널(kernel) 회귀분석을 통해 기후변수와 쌀 단수 사이의 관계를 특별한 함수형태에 대한 가정이 없이 분석을 수행하였다. 본고는 기후변수와 쌀 단수 사이의 신축적 관계를 도출하되, 미래의 기후변수 값의 변화로 인해 발생할 단수의 예측치를 구하는 것이 기본 목표이며, 이를 위해서는 준모수적 분석법이 매우 유용하게 사용될 수 있다.

준모수적 분석법은 설명변수  $x_i$  및  $z_i$ 가 종속변수  $y_i$ 를 설명하는 것을 다음과 같이 모형화한다.

$$y_i = x_i\beta + m(z_i) + \epsilon_i, \quad \epsilon_i \sim N(0, \sigma_\epsilon^2) \quad (1)$$

즉 설명변수의 일부는 선형으로, 나머지는 함수 형태를 가정하지 않은  $m(z_i)$ 의 형태로 종속변수를 설명하게 된다. 본 연구가 사용하는 벌칙 스플라인 분석법은  $m(z_i)$ 를 몇 개의 기저(basis) 함수를 이용해 생성한다. 본 연구는 3차 방사성(radial) 함수를 기저함수로 선택하였고, 이 경우  $m(z_i)$ 는 다음과 같이 근사된다.

$$m(z_i) = \sum_{j=1}^J u_j |z_i - k_j|^3 \quad (2)$$

식 (2)의  $k_j$ 는 매듭(knot)이라 하며 연구자가 그 수와 위치를 정할 수 있다. 본 연구에서는 매듭의 수를 20개로 정하였고( $J=20$ ), 그 위치는 표본에서의  $z_i$ 의 값을 중복되지 않게 순서대로 나열한 후 이 수열에서  $k_j = (\frac{j+1}{J+2})$ 번째 표본 분위수로 정해주었다. 기저함수 형태와 매듭의 개수 및 위치는 추정결과에 큰 영향을 미치지 않기 때문에(Ruppert et al. 2003, pp. 124-127), 기존 연구에서 보편적으로 사용되는 것들을 적용하였다.

상수항을 포함한 선형의 관계를 맺는 변수가  $p$ 개 있다고 하자. 식 (1)의 행렬 표현을  $y = X\beta + \bar{Z}u + \epsilon$ 라 하면 벌칙 스플라인 모형의 추정과정은 식 (3)을 최소화한다.

$$\| y - X\beta - \bar{Z}u \|^2 + \lambda u^T D u \quad (3)$$

$$\text{단, } \bar{Z}_i = \{|z_i - k_1|^3, \dots, |z_i - k_J|^3\}, \quad D = \begin{bmatrix} 0_{p \times p} & 0_{p \times J} \\ 0_{J \times p} & (\Omega^{1/2})^T \Omega^{1/2} \end{bmatrix}, \quad \Omega \text{의 } (l, m) \text{ 원소는 } |k_l - k_m|^3$$

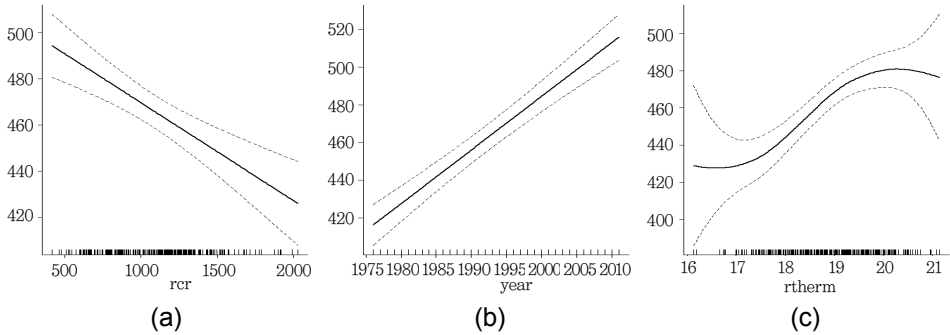
일반적인 선형최소자승모형과는 다르게  $\lambda u^T D u$ 가 더해졌기 때문에, 이렇게 추정하는 방식을 벌칙 스플라인 회귀분석이라 일컫는다. 여기서  $\lambda$ 는 제약식에 붙는 승수로, 이 값이 너무 크거나 작으면 모형은 통상적인 선형 OLS모형으로 바뀌게 된다.  $\lambda$ 의 값을 정하는 데에는 여러 가지 방법이 있지만 본 연구는 우도함수(likelihood function)를 이용하는 방법을 사용한다(Ruppert et al. pp. 112-123).

분석 자료로는 『작물통계』 상의 1976년부터 2011년까지의 수도작 단수 자료를 활용하였다. 1976년부터 1992년까지는 일반벼와 통일벼를 구분하여 통계 조사를 실시하였는데, 1993년 이후에는 통일벼는 거의 재배되지 않으므로 자료의 일관성을 유지하기 위해 일반벼만의 단수자료를 채택하였다. 지역자료의 경우 제주도를 제외한 모든 도의 단수자료를, 기상자료의 경우 벼의 생육기간인 4월에서 10월까지의 평균 기온과 누적 강수량을 이용하였다.

모형의 추정결과는 <그림 1> 및 <표 1>과 같다. 기후변수로는 기온과 강수량이,



<그림 1> 기후변수와 쌀 단수와의 관계



<표 1> 모형의 추정결과

변수	경작기간 평균 기온과 강수량	
	추정치	t-값
상수항	-5598	-10.27***
강수량	-0.04234	-4.83***
연도	2.845	11.02***
기온 평활 파라미터( $\lambda$ )	4.827	

단, \*\*\* 1%에서 유의

그리고 기술변화의 영향변수로는 연도가 사용되었는데, 강수량과 기술변화의 영향은 해당  $\lambda$  값이 너무 크게 나타나 선형으로 설정하는 것이 적절한 것으로 판명되었다. <표 1>을 보면 세 가지 변수 모두 통계적으로 유의하다.) <그림 1-a>, <그림 1-b>, <그림 1-c>는 각각 강수량, 연도, 그리고 기온이 단수에 미치는 영향을 보여주는데, 강수량은 많을수록 생산성이 하락하는 반면, 기온의 경우 약 20도 정도까지는 올라갈수록 단수가 커지지만 그로부터 추가적인 기온 상승은 오히려 단수를 떨어뜨리는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 비모수적 커널회귀분석을 시도한 권오상·김창길(2008)의 연구결과와도 유사한 것이다.

현재의 기후조건이 유지된다는 시나리오를 BAU 시나리오라 하면, 이상의 추정

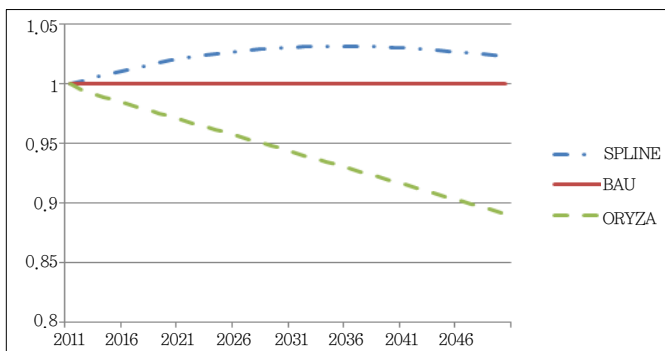
1) 비선형으로 단수에 영향을 미치는 기온의 경우 통계적으로 유의하지 않다는 가정과 통계적으로 유의하되 다른 변수처럼 선형으로 영향을 미친다는 가설을 별도의 절차를 거쳐 F-검정할 수 있는데 (Ruppert et al. pp. 105-107), 두 가지 가설 모두 1% 유의수준에서 기각되었다.

결과와 환경부(2011)의 ORYZA2000 시뮬레이션 모형을 각각 이용한 분석결과에 2050년까지의 신기후변화 시나리오를 대입하여 도출한 BAU대비 예상 쌀 단수는 <그림 2>와 같다. 본고의 준모수적 추정결과에 따른 예측치(=SPLINE)의 경우 쌀 단수는 BAU 쌀 단수와 비교할 때 향후에도 상당기간 높아지다가 2037년이 되어야 감소하기 시작하며, 2050년이 되어도 여전히 BAU보다도 생산성이 더 높을 것으로 예측된다. 이는 앞으로 발생할 것으로 예측되는 기온 변화 범위 내에서는 생산성이 여전히 높아질 것이라는 <그림 1>에서의 추정결과가 반영된 결과이다. 반면 작물시뮬레이션(=ORYZA)에서는 향후 발생할 온도상승과 CO<sub>2</sub> 농도 증가 등에 의해 BAU 대비 단수가 지속적으로 하락하여 2050년에는 BAU의 89% 수준에 불과할 것으로 예측하고 있다.

기후변화는 가축의 열 스트레스를 유발한다. 열 스트레스는 체온 상승 때문에 가축이 스트레스를 받는 현상을 말하며, 가축의 생육 및 생식을 저해한다. 기후변수와 실제 관측되는 축산물 생산성 자료를 연결하기에 필요한 신뢰도 있는 자료를 얻기는 어려우므로, St-Pierre et al.(2003)은 1980년대 이후 발표된 90여 편의 논문을 종합하여, 젖소, 비육우, 비육돈, 육계, 산란계 등의 가축에 있어서 기후요인과 생육의 관계에 대한 모형을 수립하여 제시하고 있다. 본고는 St-Pierre et al.(2003)가 제시하는 모형을 바탕으로 2011~2050년 사이의 생산성 하락 시나리오를 설정하였다.

St-Pierre et al.(2003)은 기온, 습도 등 기후요인을 직접 설명변수로 이용하는 대신 온습도지수(temperature-humidity index, THI)를 이용하고 있다. 가축은 기온은

<그림 2> 준모수적 분석과 작물시뮬레이션에 따른 단수 예측



높을수록, 습도는 낮을수록 열 스트레스를 심하게 받는데, 기온과 습도를 모두 고려하는 온습도지수는 열 스트레스 관련 연구에 두루 이용되고 있다. 본고는 2011~2050년까지의 온습도지수를 구축하기 위하여 기상청 기후변화센터로부터 기온 자료를 획득하였으며, 구체적으로는 쌀의 경우와 마찬가지로 RCP 8.5 시나리오의 남한 기온 자료를 이용하였다. 기상청에서 제공하는 기후변화 시나리오에 따르면 기온은 상승 추세를 나타내고 있으나 상하의 방향으로 변동성이 나타난다. 본 연구는 기온 상승의 추세에 따른 결과에 초점을 두고자 하였으며, 이를 위해 미래의 기온 자료를 선형화하고, 그것의 예측값을 이용하였다. 한편 습도 자료의 경우, 기상청에서는 해당기간에 대해서는 정보를 제공하고 있지 않기 때문에 평년값 자료를 이용하였다. 그리고 본 연구에서 이용한 온습도지수의 식은 St-Pierre et al.(2003)에서 이용하고 있는 Ravagnolo et al.(2000)의 연구결과를 채택하였으며, 구체적으로는 다음과 같다.

$$THI = (9/5 \times \text{℃} + 32) - (11/20 - 11/20 \times H) \times (\text{℃} - 26) \quad (4)$$

℃ : 섭씨 온도, H: 습도

경제적 효과 분석모형인 CGE모형에서 고려되고 있는 국가 경제의 산업부문 중 축산업에 해당하는 부문은 낙농, 육우, 양돈, 가금 등이다. 젖소의 연간산유량, 비육우의 체중, 비육돈의 체중, 육계의 체중 및 산란계의 산란 수 등이 순서대로 각 부문의 생산성을 대표하는 것으로 간주한다.

시나리오에 이용된 모형은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{(젖소)} \quad Milk_{Loss} &= 0.0695 \times (THI_{max} - THI_{threshold})^2 \times D \\ \text{(비육우)} \quad Gain_{Loss} &= 1.36 \times 0.064 \times THI_{Load} / 100 \\ \text{(비육돈)} \quad Gain_{Loss} &= 0.00154 \times THI_{Load} \\ \text{(육계)} \quad Gain_{Loss} &= 0.11 \times THI_{Load} / 168 \\ \text{(산란계)} \quad Egg_{Loss} &= 0.048 - ((0.8 - (0.00034 \times THI_{Load})) \times \\ &\quad (0.06 - (0.0000123 \times THI_{Load}))) \end{aligned} \quad (5)$$

- 단,  $THI_{max}$  : 하루 중 가장 높은  $THI$  값  
 $THI_{threshold}$  : 해당 가축이 열스트레스를 받기 시작하는  $THI$  값  
 $D$  : 하루 중  $THI > THI_{threshold}$  인 시간의 비중  
 $THI_{Load}$  : 하루 중 가축이 겪는 누적  $THI$  값  
 $Milk_{Loss}$  : 산유 감소량(kg/두, 하루)  
 $Gain_{Loss}$  : 해당 가축의 체중 감소량(kg/두, 하루)  
 $Egg_{Loss}$  : 산계 감소량(kg/두, 하루)

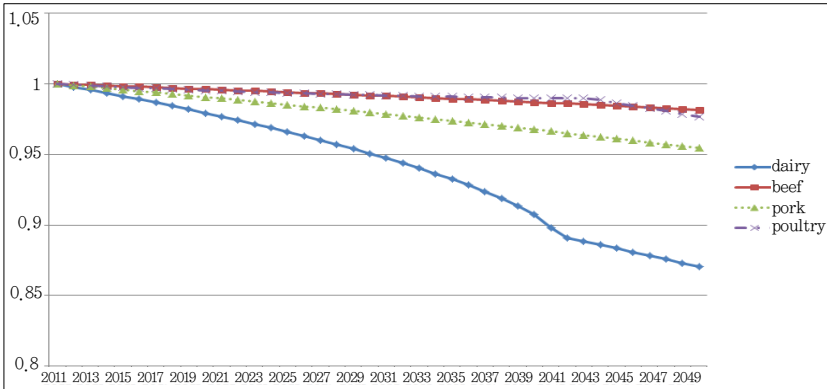
생산성 하락의 기준이 산유량, 체중 감소량, 산계 감소량 등으로 다양하기 때문에 각 부문 내 전체 생산성 변화는 일종의 가중평균치가 되어야 하므로 생산성 예측치를 변화율로 전환하는 과정이 필요하다. 생산량 감소 예측치를 생산성 감소비율로 전환하기 위해 각 부문의 표준생산량 자료를 통계청, 대한양돈협회, 낙농진흥회, 양계협회 등으로부터 획득하였다. 농림수산식품부의 『농림수산식품 주요통계(2012)』에 따르면, 예를 들면 가금 부문의 경우 2011년 생산액을 기준으로 육계, 산란계, 오리가 각각 약 4:3:3의 비중을 차지하고 있으므로, 해당 비율을 가중치로 두고 육계의 체중 감소량과 산란계의 산란 감소량을 가중평균하여 가금부문의 생산성을 계산하였다.

2011~2050년까지 축산업 부문의 생산성 하락비율은 2011년의 생산성이 BAU

<표 2> 가축별 생산성 비율 환산 기준

	기준	자료원	비고
젖소 산유량(kg/두, 1년)	8,379	낙농진흥회	연간 마리당 총산유량
소 중량(kg/두, 1년)	300	농협중앙회	24개월령 600kg 비육우를 기준하여 1년으로 환산한 값
돼지 중량(kg/두, 1년)	220	대한양돈협회	6개월령 110kg 비육돈을 기준하여 1년으로 환산한 값
육계 중량(kg/두, 1년)	18	한국양계연구소	1개월(30일)령 1.5kg 육계를 기준하여 1년으로 환산한 값
달걀 개수(개/두, 1년)	223	통계청	연간 마리당 총산계량

<그림 3> 축산부문 생산성 변화(BAU=1)



하에서는 계속 유지되는 정상상태로 보고, 이 BAU에서의 단수를 기준으로 하는 상대 단수의 변화를 도출하며, 그 결과는 <그림 3>과 같이 정리된다.

### III. CGE 모형

본고가 사용하는 CGE모형은 축차적 동태모형으로서, Decaluwé et al.(2012)이 개발한 PEP-1-t를 수정·보완한 것이다. 축차 동태모형은 각 연도별 정태모형을 자본 축적을 매개로 하여 연결시켜 놓은 것으로, 경제성장이나 인구성장, 기술변화의 동태적 효과를 분석하는 것이 가능토록 한다.

#### 1. 생산부문

생산은 복합자본, 복합노동, 중간투입재를 이용해 이루어진다. 복합자본은 자본재와 토지가 CES(constant elasticity of substitution)결합되어 만들어지며, 복합노동은 숙련노동과 비숙련노동이 CES결합된다. 복합자본과 복합노동이 다시 CES결합되어 부가가치재가 만들어지며, 이 부가가치재가 중간투입재와 Leontief결합하여 최종 산출물이 생산된다.

각 복합재가 만들어지는 과정에서 이윤극대화(혹은 비용최소화) 조건이 활용되며, 세부 투입요소의 수요함수가 도출된다.

## 2. 소득과 저축

다수 가계가 모형에 포함될 수 있지만, 본고는 대표적인 가계가 하나인 경우로 가정한다. 가계 소득은 각 유형의 자본소득, 각 유형의 노동소득, 그리고 이전소득의 합이다. 가계의 저축은 가처분소득의 절편을 포함하는 선형함수인데, 이렇게 함으로써 저축이 음(-)인 경우도 허용이 된다. 그러나 동태모형에서 경제가 성장할 경우 저축함수의 절편이 무의미해질 수가 있기 때문에 자본축적율이나 경제성장률을 반영하여 저축함수의 절편이 시간이 지나면서 변할 수 있도록 모형화 한다.

기업의 소득은 자본소득과 이전수입으로 구성된다. 법인세를 기업의 소득에서 빼준 것이 기업의 가처분소득이 되고, 기업 저축은 별도의 저축함수로부터 도출되는 것이 아니라 기업 가처분소득에서 이전소득을 빼준 것으로 정의된다.

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

가계와 기업의 소득세는 저축함수처럼 가계와 기업 총소득의 선형함수이지만, 절편이 시간이 지나면서 변할 수 있도록 한다.

외국(ROW)은 수입대금, 자본소득의 일부, 국내 경제주체로부터의 이전지출을 소득으로 받으며, 수출금액과 국내로의 이전금액만큼 국내 시장에서 소비한다. 양자간의 차이가 외국의 저축이다.

이전지출의 경우 가계와 기업이 비정부부문으로 이전하는 것은 가처분소득에 비례하도록 하며, 가계가 정부로 이전하는 사회보장분담금은 가계의 소득세처럼 선형함수로 설정하고, 여타 이전지출들은 사회계정행렬(SAM)과 일치하도록 하되, 경제성장률 등에 맞추어 성장하도록 한다.

## 3. 수요부문

수요는 소비수요, 투자수요, 공공수요, 수송 및 마진수요로 구성된다. 가계의 소비수요는 LES(linear expenditure system) 효용함수에 의해 결정된다고 가정한다. 모형

의 식별을 위해서는 수요의 소득탄력성 계수와 소비지출액 한계효용의 지출탄력성 (expenditure elasticity of the marginal utility of demand), 즉 Frisch파라미터 값을 반영한다.

투자수요는 고정자본형성과 재고변동으로 구분된다. 전자는 음(-)이 될 수 없지만 후자는 음의 값을 가질 수도 있다. 재고변동은 외생적으로 결정되지만 고정자본형성은 저축-투자균형식에 의해 내생적으로 결정된다. 고정자본형성은 민간과 공공투자를 모두 포함하며, 각 부문별 배분은 고정비율에 따라 이루어진다.

#### 4. 생산자 공급과 국제무역

단일부문이 여러 개의 상품을 생산하는 것이 가능하나, 본고에서는 산업분류와 상품분류가 일치되도록 한다. 만약 한 부문이 다수 상품을 생산한다면 총 판매수입 (revenue)을 극대화하기 위해 CET(constant elasticity of transformation) 함수를 적용한다. 각 부문이 생산하는 각 산출물은 국내시장과 해외시장에 배분되는데, 역시 CET함수를 따른다.

Armington가정에 의해 수입재는 국내 생산재를 불완전 대체하고, 생산자는 CES 생산함수 하에서 비용을 최소화하도록 수입재와 국내 생산재를 활용하며, 그 과정에서 각각의 수요함수가 결정된다.

#### 5. 가격결정

가격이나 가격지수들은 위에서의 경제행위를 분석하기 위해 설정된 함수형태에 의해 영향을 받아 결정된다. 복합재와 같은 통합재의 가격은 개별 품목가격의 가중 평균이 되며, 이때 가중치는 복합재나 통합재의 가치가 개별 구성품목의 가치합과 일치하도록 결정된다. 따라서 특정 구성품목의 가중치는 해당 품목의 가치(혹은 수량)와 통합재의 가치(혹은 수량)의 비율이다.

각 상품이나 투입요소의 판매자가격과 구매자가격은 정부가 부과하는 조세만큼 차이를 가지게 된다. 수출업자는 제품을 국내시장에서 판매하기도 하고 수출하기도 하는데, 총생산물의 가격은 따라서 국내시장과 해외시장에서 얻는 가격의 가중합이다.

## 6. 시장균형과 GDP

상품, 서비스, 투입요소 모두가 수요와 공급이 일치하도록 하는 균형조건을 충족해야 한다. 국내총생산은 여러 시각에서 구해질 수 있는데, 기초가격(basic prices) GDP는 투입요소에 대한 보수에 노동과 자본세를 제외한 여타 생산세를 합한 금액이고, 시장가격(market prices) GDP는 기초가격 GDP에 상품세와 수입세를 더해준 것으로 계산된다.

## 7. 동태 방정식

동태 방정식은 각 시점간 균형을 연결시켜주는 역할을 하는데, 어떤 변수의 경우 외생적으로 주어진 비율로 성장하게 하고, 자본의 경우에는 수식 (4)와 같이 내생적으로 축적되도록 한다.

$$KD_{k,j,t+1} = KD_{k,j,t}(1 - \delta_{k,j}) + IND_{k,j,t} \quad (4)$$

단,  $KD_{k,j,t}$  = 산업  $j$ 의 형태  $k$  자본에 대한 수요,

$IND_{k,j,t}$  = 형태  $k$ 의 (민간+공공의) 새로운 자본이  $j$ 산업에 배정된 양

문제는  $IND_{k,j,t}$ 를 어떻게 결정하느냐인데, 이와 관련된 공공부문 투자지출액  $IT_t^{PUB}$ 은 자료로부터 얻어지며, 민간부문 투자지출액  $IT_t^{PRI}$ 은 저축과 투자의 수지 균형식으로부터 얻어진다. 이렇게 얻어진 투자지출액은 각 부문별 신규자본량 및 그 가격과 다음과 같은 관계를 가진다.

$$\begin{aligned} IT_t^{PUB} &= PK_t^{PUB} \sum_{k,pub} IND_{k,pub,t} \\ IT_t^{PRI} &= PK_t^{PRI} \sum_{k,bus} IND_{k,bus,t} \end{aligned} \quad (5)$$

단,  $PK_t^{PUB}$  = 공공부문 신규자본의 가격,

$PK_t^{PRI}$  = 민간부문 신규자본의 가격



자본에 대해 putty-clay가정을 도입하여, 투자지출이 실행되면 민간부문 총 신규 자본은 마찰없이 모든 부문에 자유롭게 배분될 수 있지만, 일단 배분되고 나면 그 용도가 해당 부문에서만 사용되도록 한정된다고 가정한다. 따라서 기존자본은 부문별로 가격이 달라지지만 신규자본의 경우 그 가격이 부문별로 동일하도록  $PK_t^{PRI}$  및  $PK_t^{PUB}$  과 같이 결정된다.

부문별로 신규자본량을 할당하기 위해서는 따라서 먼저 신규자본의 가격을 결정하여야 하는데, 그 가격은 각각 다음과 같이 결정된다(Decaluwé et al. 2012, pp. 83-86).

$$PK_t^{PRI} = \frac{1}{A^{K-PRI}} \prod_i \left[ \frac{PC_{i,t}}{\gamma_i^{INVPRI}} \right]^{\gamma_i^{INVPRI}} \quad (6)$$

$$PK_t^{PUB} = \frac{1}{A^{K-PUB}} \prod_i \left[ \frac{PC_{i,t}}{\gamma_i^{INVPUB}} \right]^{\gamma_i^{INVPUB}}$$

위의 두 식에서  $A^{K-PRI}$ 와  $A^{K-PUB}$ 는 일종의 스케일 파라미터로서 자료로부터 계산되며,  $\gamma_i^{INVPRI}$ 와  $\gamma_i^{INVPUB}$ 역시 자료로부터 계산되는 파라미터들이다.

마지막으로, 특정 부문에 할당되는  $k$ 유형의 신규자본량은 기존 자본량과 비례하도록 신규자본량을 부문별로 할당하는데, 그 비율은 자본의 임차료율(=rental rate,  $R_{k,t}$ )과 사용자비용(=user cost,  $U_{k,t}$ )의 비율, 즉 일종의 Tobin의  $q$ 에 의해 결정되도록 한다.

$$IND_{k,bus,t} = \phi_{k,bus} \left[ \frac{R_{k,bus,t}}{U_{k,bus,t}} \right]^{\sigma_{k,bus}^{INV}} KD_{k,bus,t} \quad (7)$$

단,  $U_{k,bus,t} = PK_t^{PRI}(\delta_{k,bus} + IR_t)$ ,

$IR_t$  = 이자율,  $\phi_{k,bus}$  = 스케일 파라미터,

$\sigma_{k,bus}^{INV}$  = 민간 투자수요의 Tobin의  $q$  탄력성.

마찬가지의 관계가 공공부문 투자액 배정치인  $IND_{k,pub,t}$ 에 대해서도 적용된다.

경제의 성장을 모형화함에 있어 외생변수들의 경우 특정 성장률을 가정해야 하는데, 여기에는 LES 효용함수에 있어서의 기초소비량, 노동공급량, 공공투자, 가계의 소비함수와 소득세 함수에 있어서의 절편, 실질 정부지출액 등이 해당된다. 원래의 PEP-1-t모형은 이러한 외생변수 성장률이 서로 같고 또한 매년 동일하다고 가정하지만, 본고는 이 가정을 완화하여, 기본 시나리오(BAU)를 설정함에 있어 인구와 GDP에 대한 예측치를 가정하고, 이에 맞추어 외생변수 성장률과 자본축적률이 결정되도록 한다.<sup>2)</sup> 이를 위해  $g_t^{pop}$ 와  $g_t^{GDP}$ 를 각각  $t$ 기와  $t+1$ 기 사이의 인구성장률

과 GDP성장률이라 하면, 1인당 GDP성장률은  $g_t^{GDP_{pc}} = \frac{g_t^{GDP} + 1}{g_t^{pop} + 1} - 1$ 과 같이 정의

할 수 있다. 시물레이션이 이루어지는 전체 기간에 대한 1인당 GDP 평균성장률을

계산하여  $g^{\overline{GDP_{pc}}}$ 라 하면, 어떤 외생변수  $Z$ 가  $Z_t = \frac{1 + g_{t-1}^{pop}}{1 + g^{\overline{GDP_{pc}}}} Z_{t-1}$ 와 같이 변화도

록 정해준다.

## 8. 정책변수의 영향 반영

쌀은 기후변화로 인해 생산성이 달라질 주요 품목이지만, 한국의 정부정책에 의해 수입량이 제한된다. 현재 정해진 MMA 스케줄에 의하면 2014년까지는 수량제한에 의해 연평균 5.5%의 쌀 수입이 늘어나게 되어 있으나, 2015년 이후에는 관세화로 전환하게 되어 있다. 본고는 2014년까지는 정해진 시나리오에 의해 수입물량이 늘어나고, 이후의 기간에는 예상 인구성장률과 GDP성장률을 이용해 도출한 다른 외생변수들의 성장률과 동일하게 수입량이 늘어난다고 가정한다. 이 경우 매년의 수입량이 외생변수가 되어야 하는데, 본고는 대신 쌀에 대해 적용되는 관세를 내생변수로 전환하여 외생적으로 정해진 쌀 수입량이 지켜질 수 있도록 한다.

2) 이러한 절차는 MIRAGE(Bichir et al., 2002)나 PEP-w-t(Robichaud et al., 2011) 등과 같은 잘 알려진 글로벌 동태 CGE모형들에서 흔히 사용되는 절차이다. 본고의 절차는 후자가 사용한 방식을 주로 따른다. 일반적으로 인구성장률 예측치는 GDP성장률 예측치보다 더 안정적이기 때문에 후자만을 사용하는 것보다는 이 두 변수를 결합하여 외생변수들의 성장률을 정해주는 것이 보다 바람직하다.

## 9. 자료의 구축과 캘리브레이션

분석에 사용되는 SAM은 2010년 산업연관표로부터 작성된다. 산업연관표에서는 자본과 토지가 구분되지 않고, 또한 노동도 숙련노동과 비숙련노동으로 구분되지 않는다. 농업부문에만 사용되는 토지를 자본에서 분리하고 노동도 두 가지로 분류함으로써, 농업부문에서 발생하는 생산성 변화효과가 비농업부문까지 너무 순조롭게 전이되는 비현실성을 줄여줄 수가 있다. 자본재와 노동의 세분을 위해 GTAP DB에서 취하고 있는 비율을 적용할 수 있지만, GTAP자료는 전 세계 모든 국가에 대해 통일된 방식으로 자료를 구축하다 보니 한국 자료의 경우 오히려 부정확할 수 있다. 권오상 외(2012)는 토지는 농업부문에서만 주요 투입요소로 사용되므로, 『농산물생산비조사』와 『농산물표준소득자료』에서 토지용역비가 차지하는 비중을 찾아 산업연관표 상의 자본에 대한 보수에서 토지 투입이 차지하는 몫을 구했는데, 그와 같은 방식을 본고도 적용하였다. 숙련노동과 비숙련노동 구분의 경우 허재준 외(2002), 신석하(2007) 등의 관련 연구를 참조하여 한국표준직업분류 대분류 중 1, 2, 3분류를 숙련노동으로 간주하는데, 이는 허재준 외(2002)가 숙련노동으로 간주하는 고기능사무직에 가까운 분류방식이다.

<표 3>은 CGE분석을 위한 산업분류를 보여준다. 전체 41개 부문으로 분류하고, 농업 및 그 관련 부문은 총 21개로서 가능한 한 세분화를 하였다.

모형을 가동하기 이전에 주요 탄력성 추정치와 파라미터를 구하는 절차가 필요하다. 분석에 사용된 탄력성 추정치와 파라미터들은 <부표 1>에 요약되어 있다. 소비 부문에서는 LES효용함수에서의 수요의 소득탄력성자료와 Frisch파라미터가 필요한데, 후자의 경우 관련 파라미터에 대한 폭넓은 문헌조사를 한 Annabi et al.(2006)의 연구에서 가장 흔히 관측되는 -2.5를 적용하였다. 수요의 소득탄력성은 권오상·허등용(2011)이 추정된 LES효용함수에서의 계수를 활용해 그 값을 계산해내었고, 농산물만의 소득탄력성은 한국농촌경제연구원의 전망모형(김명환 외, 2008, pp. 80-83)에서 사용하는 수치를 적용하였다.

수출입 관련해서는 국내재와 수입재가 결합되는 CES함수에서의 Armington탄력성과, 국내 생산품이 국내 시장과 해외 시장에 배분되는 형태를 결정하는 CET함수

<표 3> CGE분석을 위한 산업분류

번호	부문분류	번호	부문분류
1	벼	22	석탄
2	맥류	23	원유
3	잡곡	24	천연가스
4	채소	25	석유 및 석탄제품
5	과실	26	도시가스, 증기 및 온수공급업
6	기타 식용작물	27	화력
7	비식용작물	28	원자력
8	낙농	29	수력, 기타 발전
9	육우	30	섬유 및 가죽제품, 목재 및 종이제품/인쇄
10	양돈	31	금속광석, 비금속광물
11	가금	32	화학제품
12	기타 축산	33	비금속광물제품/제1차금속제품/금속제품
13	임산물	34	일반기계, 전기 및 전자기기, 정밀기기, 수송장비
14	정미	35	기타제조업제품
15	육류 및 육가공	36	수도, 건설
16	낙농품	37	도소매
17	수산물 및 수산가공품, 기타음식료품	38	음식점 및 숙박
18	사료	39	운수 및 보관/통신 및 방송
19	비료	40	금융 및 보험, 부동산 및 사업서비스
20	농약 및 질소화합물	41	공공행정 및 국방, 교육 및 보건, 사회 및 기타서비스, 기타
21	농림어업서비스		

의 탄력성 자료가 필요하다. Armington 탄력성은 전 세계의 관련 자료를 구축해 만든 GTAP DB 7.1의 수치, Annabi et al.(2006)의 선행연구 조사결과, Arndt et al.(2002)의 추정결과를 참조하여 <부표 1>과 같이 사용하였다. 이 경우 탄력성 수치가 권오상 외(2012) 및 특히 농산물의 경우 김충실·이상호(2005)의 경우와 유사하다. CET탄력성도 권오상 외(2012) 그리고 이 연구가 참조한 Annabi et al.(2006)의 선행연구 조사와 Arndt et al.(2002)의 추정결과를 활용하였다.

본고의 계층생산함수는 (농업부문의 경우) 자본과 토지가 결합되고, 또한 숙련노동과 비숙련노동이 결합된 후, 이어서 전자의 복합자본재와 후자의 복합노동력이 CES결합되어 부가가치재가 만들어진다. 복합자본재를 만드는 탄력성과 복합노동을 만드는 CES 탄력성은 PEP-1-t의 제안을 받아들여 0.8을 가정한다. 복합자본재와 복합노동이 결합되는 탄력성은 유럽에서 행해진 32개의 탄력성 추정연구결과를 정리한 Salhofer(2000)의 결과를 참조하여 <부표 1>과 같이 결정하였다.

자본의 감가상각률은 3%, 토지의 감가상각률은 0으로 둔다. 한국의 장기 GDP성장률 예측치는 OECD(2012)의 *Economic Outlook*, Volume 2012 Issue 1-No. 91에서 취하였으며, 장기 인구성장률 예측치는 UN(2011)의 *World Population Prospects: The 2010 Revision*에서 취하였다.<sup>3)</sup>

그 외 파라미터들의 캘리브레이션은 SAM자료를 이용해 이루어졌으며, 항상 1로 고정되는 기준가격(numeraire)은 소비자 물가지수이고, 세계 수입가격 및 수출가격도 고정된다.

#### IV. 시뮬레이션

<그림 2> 및 <그림 3>이 보여준 바와 같은 기후변화로 인한 예상 단수변화의 효과를 CGE모형에 반영하여 경제적 효과로 전환하는 작업을 한다. 이 경우 단수 변화를 모형의 어느 곳에 반영해줄지를 결정하여야 한다. 앞서 설명한 바와 같이 생산 과정에서 복합노동과 복합자본재가 결합되어 부가가치재가 만들어지고, 이 부가가치재가 중간투입재와 결합되어 최종 생산이 이루어진다. 기후변화로 인한 생산성 변화는 이 중 기계류 등의 자본재와 토지로 구성된 복합자본재의 생산성을 하락시키는 것으로 가정하는 것이 적절할 것이다. 이들 투입요소는 단기적으로는 흔히 고정 투입요소라 분류되는 투입요소들이다. 고정투입요소와 달리 노동이나 중간투입재 등은 생산성 변화가 발생하면 그에 적응하여 사용량을 비교적 쉽게 바꿀 수 있기

3) 연평균 GDP성장률은 2012-17년, 2018-2030년, 2031-2050년 사이 각각 3.4%, 2.4%, 1.0%이다. 연평균 인구성장률은 2015년부터 시작하여 2050년까지 5년 단위 구간에 있어 0.133%, -0.003%, -0.165%, -0.371%, -0.572%, -0.764%, -0.946%이다.

때문에 이들의 투입량까지 모두 포함했을 때의 생산성이 앞의 시뮬레이션이 예측하는 것처럼 줄어들 것이라 가정하는 것은 지나친 가정일 수가 있다.

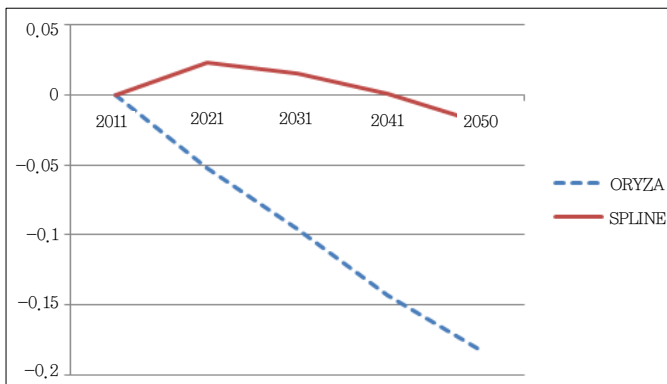
수식 (8)에서  $t$ 시점에  $j$ 번째 산업에 투입되는 복합자본재  $KDC_{j,t}$ 는 개별자본재  $KD_{k,j,t}$ 의 CES생산함수로 가정된다. 이 생산함수에서 생산효율성을 나타내는  $B_j^{KD}$ 가 BAU시나리오에서는 최초 연도의 자료에 의해 캘리브레이트된 후 그 값을 계속 유지하는 것으로 가정되지만, 기후변화가 있게 되면 기후변화의 영향을 받는 쌀이나 축산부문의 경우 <그림 2> 및 <그림 3>의 시나리오를 따라 변하는 것으로 가정한다.

$$KDC_{j,t} = B_j^{KD} \left[ \sum_k \beta_{k,j} KD_{k,j,t}^{-\rho_j^{KD}} \right]^{-\frac{1}{\rho_j^{KD}}} \quad (8)$$

기후변화로 인해 경제 내 많은 변수들이 영향을 받아 변하겠지만, 지면관계상 본고는 경제 전체 규모와 소득규모를 나타내는 전체 GDP와, 주요 품목의 국내 생산량의 변화를 정리하도록 한다. 전자는 기후변화효과의 일종의 후생지표로 간주될 수 있으며, 후자는 농업부문의 기후변화 영향이 품목별로 파급되는 현상을 보여준다는 점에서 채택되었다.

기후변화 시나리오별 기초가격기준 GDP의 변화율은 <그림 4>와 같다. 2010년

<그림 4> 기후변화가 유발하는 GDP변화(%)

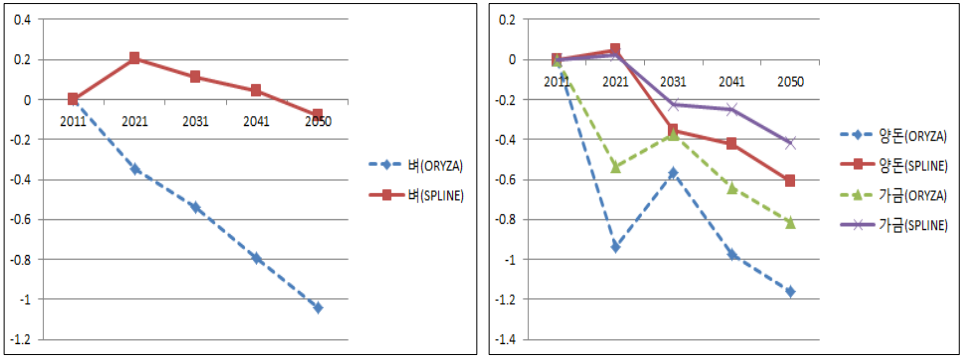


1,153조 원이었던 GDP가 OECD의 경제성장률 예측치와 UN의 인구성장률 예측치를 반영하고, 기후변화가 없다고 가정하면 2050년에는 2,606조원으로 성장한다. 기후변화로 인해 생산성이 직접 변하는 것으로 가정된 품목 중 가장 중요한 쌀의 생산성이 ORYZA2000 시뮬레이션 결과에 따라 변한다고 가정하면(=ORYZA 시나리오), 신기후변화 시나리오로 인해 2050년의 연간 GDP손실은 약 4조 7,360억 원에 달한다. 이러한 금액은 농업부문모형을 이용했던 박경원·권오상(2011)의 연구결과와 비교될 수 있다. 이들 연구 역시 동일한 ORYZA2000시뮬레이션 결과를 이용해 분석하였는데, 2050년의 예상손실이 연간 약 2,960억 원이라 도출한 바가 있다. 이들의 연구와 본고는 방법론 및 기본 가정에 있어 차이가 있고, 따라서 매우 다른 예상 피해액을 보여준다. 첫째, 본고는 박경원·권오상(2011)과 달리 기후변화 속도가 보다 빠를 것이라 예측하는 신기후변화 시나리오를 따르며, 또한 쌀뿐 아니라 축산업의 기후변화영향까지 포함하고 있다. 박경원·권오상(2011)의 모형에는 축산부문은 아예 포함되지 않는다. 둘째, 박경원·권오상(2011)의 모형에는 비농업부문의 생산은 포함되지 않고, 따라서 쌀과 축산업부문의 단수 변화가 여타 부문에 미치는 과급영향은 분석에 반영되지 않는다. 셋째, 박경원·권오상(2011)의 모형 역시 축차적 동태모형이긴 하지만 자본축적에 의한 경제성장은 고려하지 않아 전체 경제규모의 확대를 감안하지 못하는 차이도 있다. 따라서 직접적인 생산성 변화율에 대한 가정뿐 아니라 분석모형의 포괄범위나 동태 경제변수의 변화에 대한 가정 역시 분석에 많은 영향을 미침을 확인할 수 있다.

<그림 4>는 쌀의 단수변화에 대한 벌칙 스플라인 분석법을 적용하고 그에 따라 단수변화치를 예측하였을 때(=SPLINE 시나리오)의 분석결과도 보여주는데, 2041년까지는 오히려 기후변화로 인해 GDP가 더 높은 수치를 보여줄 것임을 보여준다. 이는 신기후변화 시나리오에서 예측되는 기후변수의 예상치를 대입하여도 BAU에 비해 여전히 더 높은 생산성을 보여주는 <그림 2>의 준모수적 추정모형결과를 반영하는 것이다. 쌀의 경우 기후변화에 따른 생산성 증대효과가 있지만, 축산부문은 계속해서 생산성이 하락할 것이기 때문에 2042년이 되면 결국 기후변화로 인해 GDP의 감소가 나타나게 된다. 2050년의 연간 손실은 약 5,100억 원이 될 것으로 계산된다.

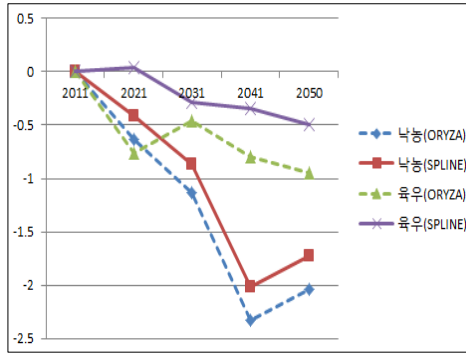
<그림 5>~<그림 7>은 개별 품목별 생산량 변화를 보여준다. <그림 5>는 기후변

<그림 5> 기후변화로 생산성이 직접 변하는 품목의 생산량 변화(%)



(a)

(b)

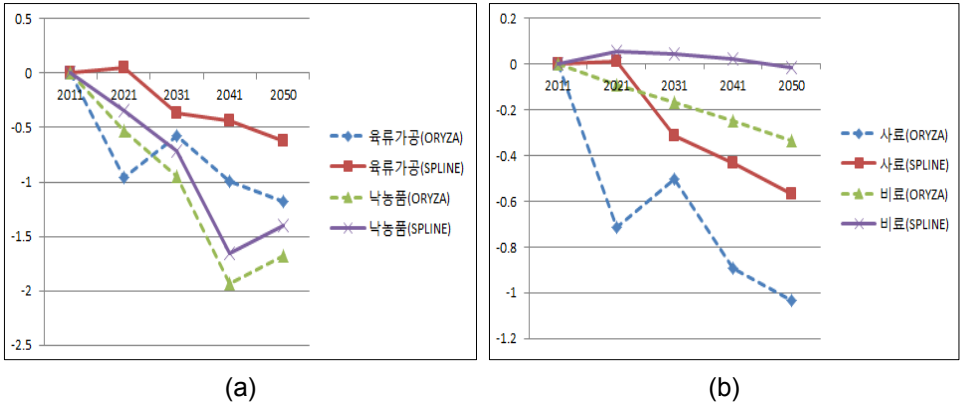


(c)

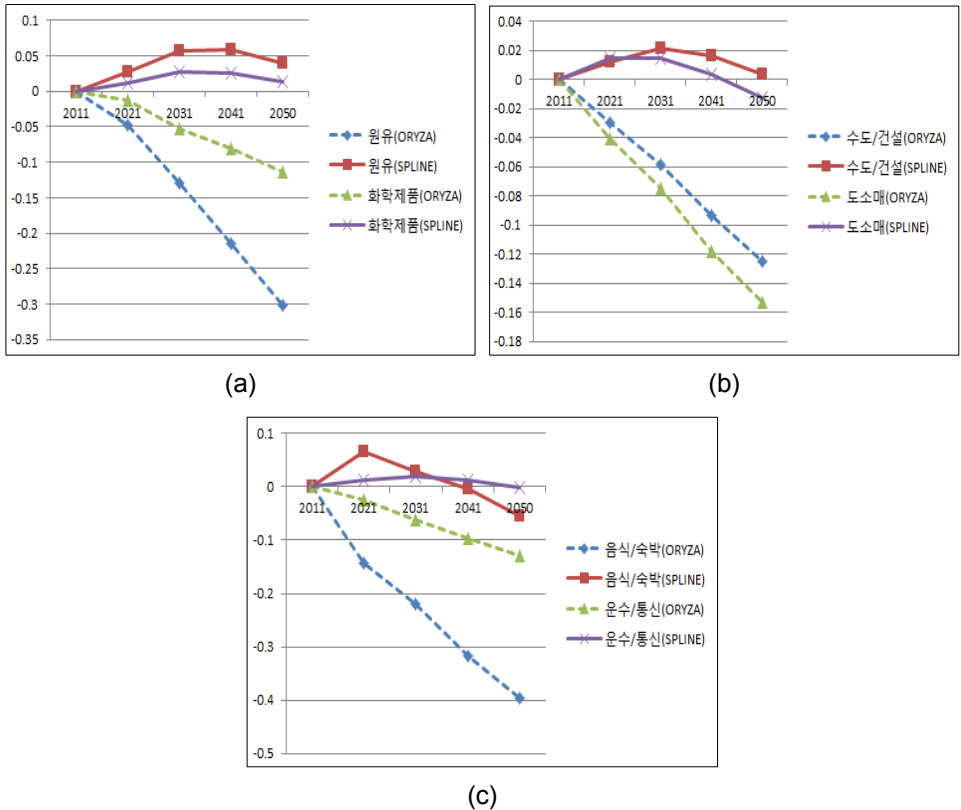
화의 직접적인 영향을 받는 5가지 농산물의 생산량 변화를 10년 단위로 보여주고 있다. 벼의 경우 ORYZA 시나리오 하에서는 생산량이 지속적으로 줄어들어 2050년에는 BAU대비 1.04%가 하락한다. 그러나 이 비율은 ORYZA시뮬레이션이 예측하는 쌀 자체의 단수 감소율 11%보다는 훨씬 적은 감소율이다. 이는 경제 성장 등으로 인해 늘어나는 쌀 수요에 부응하기 위해 쌀 생산이 여전히 늘어나야 하는 상황에서 부문간 이동이 가능한 투입요소의 경우 여타 작물에서 쌀 생산으로 전환되고, 아울러 쌀 생산 내에서도 어느 정도의 투입요소간 대체가 발생하기 때문인데, 이와 같이 단수 감소율보다 실제 생산 변화율이 훨씬 낮은 결과는 박경원·권오상(2011)의 농업부문 모형이나 단기간의 기상이변 때문에 발생하는 피해액을 CGE모형을 이용해 분석한 권오상 외(2012)의 연구에서도 관측되는 현상이다.



<그림 6> 인접 품목의 생산량 변화(%)



<그림 7> 공산품 및 서비스업의 생산량 변화(%)



SPLINE모형 추정결과에 기초한 시나리오(=SPLINE 시나리오)에서는 벼의 생산량은 기온상승에 따른 단수 증가로 오히려 늘어나다가 다시 감소하기 시작하고, 2045년이 되면 이제는 기후변화가 없을 때에 비해 생산량이 줄어들게 된다. <그림 2>를 보면 SPLINE모형에서는 단수가 2050년에도 BAU에 비해 더 높지만, 축산 등 여타부문의 생산부진과 그로 인한 자본투자 감소 등으로 인해 기후변화의 생산성 증대효과가 양(+ )이라 하더라도 벼 생산량 자체는 결국 기후변화로 인해 감소하게 된다.

<그림 5-b>와 <그림 5-c>의 축산부문을 보면, 이들 품목의 생산성 효과 자체는 ORYZA 시나리오와 SPLINE 시나리오 상에서 동일하지만, 역시 동태모형에서는 전자의 경우 경제성장이 위축되고 이로 인해 자본축적도 적어지면서 상대적으로 더 큰 기후변화 영향을 받게 된다. 그러나 쌀과 마찬가지로 투입요소간 대체 등의 효과로 인해 이 경우에도 축산부문 생산성 변화율 자체만큼 생산량이 줄어들지는 않는다. 하지만 낙농의 경우 쌀보다도 오히려 국내 생산 감소율이 더 높음을 확인할 수 있다.

<그림 6>은 육류가공, 낙농제품, 사료, 비료 등 농업생산과 밀접한 관련이 있는 부문의 생산량 변화를 보여준다. 이들 인접 품목은 기후변화로 인해 직접 생산성이 하락하지는 않지만 원료를 제공하거나 소비처가 되는 벼와 축산부문의 생산량이 줄어들면서 모두 생산 감소를 경험하게 되며, 그 정도는 역시 ORYZA 시나리오 하에서 더 크다. 예외적으로 비료의 경우 SPLINE 시나리오에서는 쌀 생산량이 늘어나기 때문에 국내 산업에 공급되는 양이 기후변화 때문에 더 늘어나는 것으로 나타났다.

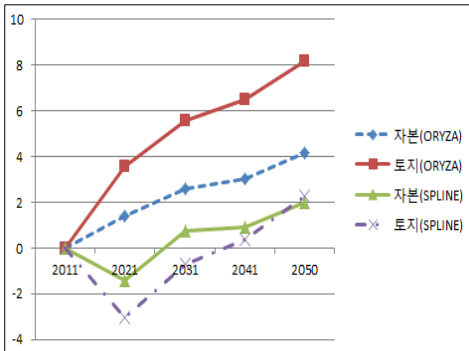
<그림 7>은 농업과는 직접 관련 없는 일반 제조업 및 서비스업의 생산량 변화인데, 일단 기후변화 영향의 크기가 작다는 것을 확인할 수 있다. 영향의 방향에 있어서는 쌀 단수에 관한 ORYZA가정과 SPLINE가정에 따라 차이가 있다. ORYZA 시나리오에서는 쌀의 생산성이 상당히 하락하면서 전체 경제규모에 미치는 영향이 음(-)의 방향이기 때문에 이로 인해 제조업과 서비스업의 생산도 덩달아 줄어들게 된다. 반면 SPLINE 시나리오에서는 비록 축산부문의 생산성은 여전히 하락하지만 가장 중요한 품목인 쌀의 생산성이 기후 변화 때문에 더 높아지게 되면서 상당한 기간 동안 제조업과 서비스업의 생산량이 기후변화로 인해 양(+ )의 영향을 받는 것으로 나타났다. 그러나 축산부문 생산성 하락은 기후변화로 인해 지속되기 때문에

SPLINE 시나리오에서도 제조업과 서비스업의 생산 증가효과가 결국에는 음(-)으로 바뀌게 되며, 특히 농산물과 식품의 취급 비중이 크다 할 수 있는 도소매업과 음식/숙박업이 비교적 빠른 시간 내에 음(-)의 기후변화 효과를 경험하게 된다.

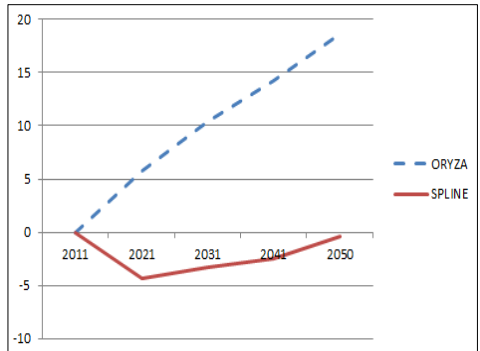
한편 각 부문에서 생산되는 상품의 가격은 대체로 <그림 5>, <그림 6>, <그림 7>의 국내 생산량 변화형태와는 반대되는 형태를 보여준다.

농업부문의 생산성 변화가 해당 부문 생산량 변화는 물론 여타 부문의 생산량 변화를 유발하는 과정은 쌀의 경우를 예로 든 <그림 8>을 통해 파악된다. <그림 8a>는 BAU대비 Tobin q의 변화율을 보여준다. ORYZA모형의 예측대로 쌀의 고정투입요소 생산성  $B_j^{KD}$ 가 하락하면, 이는 쌀 생산에 사용되는 유효자본량이 감소하였음을 의미한다. 이로 인해 쌀부문 고정투입요소의 임차료율(=rental rate,  $R_{k,t}$ )과 사

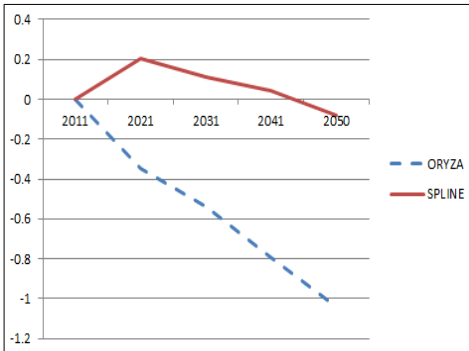
<그림 8> 벼 생산부문의 투입재 사용량 변화율(%)



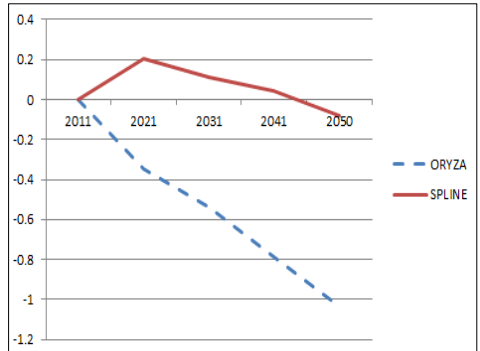
(a) Tobin q



(b) 복합노동 투입량



(c) 부가가치 투입량



(d) 중간투입재 사용량

용자비용(=user cost,  $U_{k,t}$ )이 모두 상승하지만, 전자가 더 상승하여 결국 Tobin의  $q$ 가 BAU에 비해 상승하게 되고, 이 때문에 수식 (7)에 의해 쌀 생산에 배정되는 신규 자본량과 토지량이 늘어나게 된다. SPLINE모형의 가정 하에서는 물론 반대로 쌀 부문 유효 고정투입요소량이 상당기간동안 늘어나기 때문에 Tobin의  $q$ 와 신규로 배정되는 자본량 및 토지량이 감소하며, 이후 생산성 변화효과가 소진되면 다시 늘어난다. 쌀 생산에서 차지하는 비중이나 감가상각률 차이 등으로 인해 자본보다는 토지의 변화 폭이 더 크다.

<그림 8b>는 숙련노동과 비숙련노동이 결합된 복합노동이 쌀 생산에 사용되는 양이 변하는 정도를 보여준다. 복합노동은 복합자본과 결합되어 부가가치 투입량을 만들어내는데, 신규 고정투입재가 배정되는 방향으로 노동도 배정이 되는 모습을 보여준다. 따라서 ORYZA모형에서는 복합노동이 쌀 생산에 사용되는 양이 BAU대비 늘어나고, SPLINE모형에서는 BAU대비 일단 줄어들었다가 다시 늘어나는 모습을 보여준다.

그러나 이와 같이 ORYZA가정 하에서는 늘어나고 SPLINE가정 하에서는 줄어드는 쌀에 대한 고정투입요소와 복합노동 사용량 변화는 결국 복합자본의 효율성  $B_j^{KD}$ 가 각각 하락하고 늘어난 것에 대한 반응으로 나타났을 뿐이며, 그와 같은 투입량 변화효과보다는  $B_j^{KD}$  변화의 영향이 더 크기 때문에 쌀에 대해 투입되는 부가가치 투입요소의 전체 양은 각각의 경우에 있어 반대로 감소하고 늘어난다(<그림 8c>). 아울러 중간투입요소들은 부가가치 투입재와 특정 비율로 결합되기 때문에 결국 중간투입재 사용량도 ORYZA가정 하에서는 감소, SPLINE 가정 하에서는 상당기간 증가 후 감소를 보이게 되며(<그림 8d>), 이 때문에 <그림 5a>가 보여주는 벼 혹은 쌀 생산량 자체가 <그림 8c> 및 <그림 8d>의 쌀 생산부문 부가가치 및 중간투입재 사용량 변화율과 매우 유사한 변동 모습을 보여준다.

벼와 낙농, 축산 등 여타 생산성이 직접 변하는 농업부문에서 위와 같은 반응이 일어나면서 나머지 생산부문에까지 투입요소 사용량 변화가 발생하고, 이로 인해 경제전체에 파급효과가 발생하게 된다.

## V. 요약 및 결론

본고는 기후변화의 영향을 받는 주된 분야 가운데 하나인 농업부문의 생산성 변화가 발생하면 이로 인해 경제 전체는 어떤 영향을 받는지를 응용일반균형모형을 이용해 분석하되, 기존 연구와 몇 가지 면에서 차별화를 시도하였다. 첫째, 기존 연구와는 달리 쌀은 물론 축산부문이 받게 되는 영향까지 분석에 포함하였다. 둘째, 쌀의 경우 이용가능한 실제 단수 자료가 시계열로 정비되어 있으므로 이를 이용해 기후변수와 단수와의 준모수적 관계를 추정하고, 이를 기존의 작물시뮬레이션에 따른 예측치와 비교하였다. 셋째, 기존 연구와는 달리 보다 최근의 경제자료를 이용하여 한국의 SAM을 직접 구축하여 일반균형분석에 활용하며, 또한 쌀과 같은 주요 품목에 대해 실제로 적용되는 수입제한 조치 등도 반영하여 모형을 구축하였다. 마지막으로, 2011년에 발표된 보다 새로운 기후변화 시나리오를 반영하여 분석하였다.

본고의 분석결과 지금까지 관측된 자료를 활용할 경우에는 쌀 생산의 단수는 기존의 작물시뮬레이션 분석결과와는 반대로 기후변화로 인해 오히려 늘어날 수 있음을 보여준다. 따라서 쌀에 대한 기후변화의 영향 시나리오가 긍정과 부정 두 가지가 되며, 각각의 시나리오 하에서의 경제적 영향 분석치는 상당히 상이하다. 보다 구체적으로, 2050년에 있어서의 BAU대비 연간 피해액이 쌀 작물시뮬레이션 결과를 이용하면 약 4조 7,300억 원에 달할 것이지만, 관측되는 단수자료와 기후변수간의 함수관계 분석결과를 활용하면 거의 그 1/10 정도로 피해액이 낮아질 것으로 분석되며, 이때의 피해는 주로 축산부문의 생산성 하락 때문에 발생한다.

본고가 가정하는 바와 같이 기후변화로 인해 직접적인 생산성 변화가 쌀과 낙농·축산업에 한정되어 나타난다고 하더라도, 실제 그 경제적 효과는 상당한 전후방 연계 효과를 가짐을 확인할 수 있으며, 특히 식품가공업이나 농업용 투입재 산업, 그리고 몇몇 유통관련 산업에서 그 효과가 크게 나타났다.

본고가 제시하는 이상의 결과는 먼저 다양한 자료와 분석모형을 활용하여 기후변화의 생산성 변화효과를 분석할 필요성을 제기하며, 생산성 분석모형 예측의 신뢰도에 대한 검토가 필요함을 제시한다. 뿐만 아니라, 분석모형의 미비 등으로 인해 쌀 중심의 극히 소수 품목에 한정된 기후변화효과 분석은 한계를 가지며, 갈수록 그

비중이 커지고 있는 축산업이나 과채류 등에서의 효과분석도 필요함을 알 수가 있다. 마지막으로, 자본축적 등 동태적 요인과 여타 산업에 대한 파급효과 등을 반영하도록 모형을 확장할 경우 동일 시나리오 하에서도 기존의 부분균형분석법에 비해 기후변화의 경제적 효과 추정치가 더 커지기 때문에 그와 같은 동태적·일반균형적 분석의 필요성이 다시 한 번 강조된다.

## [참고문헌]

1. 권오상·김창길(2008), “기후변화가 쌀 단수변화에 미치는 영향: 비모수적 및 준모수적 분석”, 『농업경제연구』 49(4): 45-64.
2. 권오상·노재선·서영(2012), “기상이변에 따른 농업생산 손실의 경제적 효과: 투입산출 및 CGE 분석”, 『농업경제연구』 53(2): 1-31.
3. 권오상·허등용(2011), “탄소세부과의 소득분배효과”, 『재정학연구』 4(1): 153-179.
4. 김명환·권오복·이대섭·김태훈·조영수·박상미(2008), 『농업부문 전망모형 구축 연구』, 한국농촌경제연구원.
5. 김정호(1998), “쌀 단수의 변동과 전망”, 『농촌경제』 21(3): 33-44.
6. 김창길·박현태·이상민·주현정·권오상·로버트멘델존(2008), 『기후변화에 따른 농업부문 영향 분석』, 한국농촌경제연구원.
7. 김충실·이상호(2005), “쌀 협상 결과의 평가와 과제”, 『농업경영·정책연구』 32(4): 627-648.
8. 노재선·권오상·조승현(2012), “기후변수와 쌀 단수간의 인과성 및 이상기후가 쌀 단수에 미치는 영향 분석”, 『농업경제연구』 53(1): 21-39.
9. 농림수산식품부(2012), 『농림수산식품 주요통계(2012)』.
10. 박경원·권오상(2011), “동태 실증수리계획법(PMP)을 이용한 기후변화의 경제적 효과 분석: 쌀 생산성 변화를 중심으로”, 『농업경제연구』 52(2): 51-76.
11. 신석하(2007), 『경제위기 이후 기술 변화가 미숙련 근로자의 고용상황에 미친 영향』, 한국개발연구원.
12. 한국환경정책·평가연구원(2009), 『우리나라 기후변화의 경제학적 분석(I)』.

13. 허재준·이영수·서환주(2001), 『정보통신기술 투자와 숙련노동 수요변화』, 한국노동연구원.
14. 환경부(2011), 『우리나라 기후변화의 경제학적 분석(II)』.
15. Annabi, N., J. Cockburn and B. Decaluwe (2006), “Functional Forms and Parametrization of CGE Models,” MPIA Working Paper 2006-04, PEP Research Institute.
16. 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.
17. Bchir, M. H., Y. Decreux, J.-L. Guérin, and S. Jean (2002), “MIRAGE, A Computable General Equilibrium Model for Trade Policy Analysis,” *CEPII, Working Paper No.* 2002-17.
18. Bosello, F. and J. Zhang (2005), “Assessing Climate Change Impacts: Agriculture,” FEEM Working Paper.
19. 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.
20. Decaluwé B., A. Lemelin, V. Robichaud, and H. Maisonnave (2012), *The PEP Standard Computable General Equilibrium Model Single-Country, Recursive Dynamic Version*, Partnership for Economic Policy (PEP), MPIA Research Network.
21. Mendelsohn, R., W. D. Nordhaus, and D. Shaw (1994), “The Impact of Global Warming on Agriculture: A Ricardian Analysis,” *American Economic Review* 84: 753-771.
22. Nordhaus, W. (2008), *A Question of Balance: Weighing the Options on Global Warming*, Yale University Press.
23. OECD (2012), *Economic Outlook*, Volume 2012 Issue 1-No. 91.
24. OECD (2009), *The Economics of Climate Change Mitigation: Policies and Options for Global Action Beyond 2012*.
25. 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).
26. 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 18<sup>th</sup> Annual Conference of the European Association of Environmental and Resource Economists in Rome.
27. Ravagnolo, O. and I. Misztal (2000), “Genetic Component of Heat Stress in Dairy Cattle, Parameter Estimation,” *Journal of Dairy Science* 83: 2126-2130.
  28. Robichaud, V., A. Lemelin, B. Decaluwé, and H. Maisonnave (2011), *The PEP Standard Multi-Region, Recursive Dynamic World Model*, Partnership for Economic Policy (PEP), MPIA Research Network.
  29. Rosenzweig, C. and A. Iglesias, ed., (1994), *Implications of Climate Change for International Agriculture: Crop Modeling Study*, United States Environmental Protection Agency.
  30. Ruppert, D., M. P. W., and R. J. Carroll (2003), *Semiparametric Regression*, Cambridge University Press.
  31. Salhofer, K. (2000), “Elasticities of Substitution and Factor Supply Elasticities in European Agriculture: A Review of Past Studies,” Institut Für Wirtschaft, Politik und Recht Univeristät für Bodenkultur Wien.
  32. Stern, N. (2007), *The Economics of Climate Change: The Stern Review*, Cambridge University Press.
  33. St-Pierre, N. R., B. Cobanov, and G. Schnitkey (2003), “Economic Losses from Heat Stress by US Livestock Industries,” *Journal of Dairy Science* 86: E52-E57.
  34. Tsigs, 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.
  35. UN (2011), *World Population Prospects: The 2010 Revision*.



&lt;부표 1&gt; 분석에 사용된 탄력성(계속)

번호	부문분류	수요의 소득	Armington	CET	복합 자본- 복합 노동 대체
1	벼	0.02	1.10	0.72	0.90
2	맥류	0.02	5.54	0.72	0.90
3	잡곡	0.02	5.54	0.72	0.90
4	채소	0.40	1.90	2.20	0.90
5	과실	0.14	1.90	2.20	0.90
6	기타 식용작물	0.16	3.30	0.72	0.90
7	비식용작물	0.40	3.30	2.20	0.90
8	낙농	0.56	3.70	0.72	0.90
9	육우	0.51	1.60	0.72	0.90
10	양돈	0.51	1.60	0.72	0.90
11	가금	0.51	1.60	0.72	0.90
12	기타 축산	0.35	1.60	0.72	0.90
13	임산물	0.35	1.90	0.72	0.90
14	정미	0.32	5.54	0.72	0.90
15	육류 및 육가공	0.35	4.40	2.20	1.12
16	낙농품	0.35	4.40	2.20	1.12
17	수산물 및 수산가공품, 기타음식료품	0.49	1.90	2.20	1.12
18	사료	0.40	2.60	2.20	1.12
19	비료	0.20	2.60	2.20	1.12
20	농약 및 질소화합물	0.20	2.60	2.20	1.12
21	농림어업서비스	0.30	1.60	0.72	0.90
22	석탄	0.80	2.80	0.50	1.50
23	원유	1.17	2.80	0.50	1.50
24	천연가스	1.17	2.80	0.50	1.50
25	석유 및 석탄제품	1.17	2.80	0.50	1.50
26	도시가스, 증기 및 온수공급업	1.17	2.60	0.50	1.26

<부표 1> 분석에 사용된 탄력성(계속)

번호	부문분류	수요의 소득	Armington	CET	복합 자본-복합 노동 대체
27	화력	1.17	2.60	0.50	1.26
28	원자력	1.17	2.60	0.50	1.26
29	수력, 기타 발전	1.17	2.60	0.50	1.26
30	섬유 및 가죽제품, 목재 및 종이제품/인쇄	1.17	4.50	0.50	1.50
31	금속광석, 비금속광물	1.17	4.50	0.50	1.50
32	화학제품	1.17	4.50	0.50	1.50
33	비금속광물제품/제1차 금속제품/금속제품	1.17	4.50	0.50	1.50
34	일반기계, 전기 및 전자기기, 정밀기기, 수송장비	1.17	3.90	0.50	1.50
35	기타제조업제품	1.17	4.50	0.50	1.50
36	수도, 건설	1.17	2.60	0.50	1.26
37	도소매	1.02	1.90	2.84	1.50
38	음식점 및 숙박	1.18	1.90	2.84	1.50
39	운수 및 보관/통신 및 방송	1.06	1.90	2.84	1.26
40	금융 및 보험, 부동산 및 사업서비스	1.18	1.90	2.84	1.5
41	공공행정 및 국방, 교육 및 보건, 사회 및 기타서비스, 기타	1.44	1.90	2.84	1.50