

# CGE 모형을 활용한 농업 가뭄의 직간접적 파급효과 계측 - 쌀 생산성을 중심으로 -

김현웅 · 성재훈\*

한국농촌경제연구원 환경자원연구부 위촉연구원

\*한국농촌경제연구원 환경자원연구부 연구위원

## Evaluation of Economic Effects of Agricultural Drought Using CGE Model - Focus on Rice Productivity -

Kim, Hyeon-Woong · Sung, Jae-Hoon\*

*Researcher, Dept. of Environment & Resources Research, Korea Rural Economic Institute*

*\*Senior Researcher, Dept. of Environment & Resources Research, Korea Rural Economic Institute*

**ABSTRACT** : Agriculture is one of the most vulnerable sector to droughts, and drought damage on the agriculture sector could have effects on other sector. Droughts have different characteristics compared to other extreme events, which means more sophisticated methods considering the characteristics of droughts are required when measuring their damage. The purpose of this study is to analyze the damage of droughts based on limited computational general equilibrium model. To be specific, we constructed a CGE model focusing on the agriculture sector in Korea. Also, to limit changes in land use and labor, we limited them, and assume droughts only have effects on productivity of value-added. Lastly, we simulate drought effects on rice production in Korea based on several climate scenarios and GCM to identify the economic effects of droughts. The results show that 1) the cumulated damage of droughts during 2021~2040 is higher than other periods (2040~2061, 2081~2100), 2) the correlation between the damage of droughts and SSP scenarios is insignificant. This result implies the necessity of the effective drought risk management to prevent future droughts effects, irrespective of mitigation policies. 3) Due to increases in rice price, GDP of rice sector is increased. However, GDP of the other sector and consumer welfare are decreased. This result show that indirect effects of droughts would be more important when measuring drought effects on agriculture sector.

**Key words** : Computable General Equilibrium Model, Agricultural Drought, Rice Productivity, Consumer Welfare

## I. 서 론

### 1. 연구의 개요

2022년 세계경제포럼은 극한 기상을 향후 10년 이내 극복해야 할 가장 중요한 위기 두 번째로 발표하였다

(WEF 2022). 실제 한반도의 강수량의 변동성 역시 크게 증가할 것으로 전망되며, 특히 우리나라 물부족의 심도와 지속기간 그리고 강도는 지속적으로 증가할 것으로 예상된다(성재훈 외, 2019).

가뭄의 영향은 단기간 큰 영향을 미치는 다른 극한기 후와는 다른 특징을 가지고 있다. 우선, 대부분의 가뭄은 사회기반시설 등과 같은 자산에 직접적인 영향을 미치지 않는 반면, 물을 중요한 투입재로 사용하는 산업, 예를 들어 농업에 피해가 집중된다. 또한 가뭄은 강도뿐만 아

Corresponding author : Sung, Jae-Hoon

Tel : 061-820-2348

E-mail : jsung@krei.re.kr

Table 1. Methods assessing costs of drought

Cost Category	Method
Direct cost	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Direct assessment of costs on companies and sector</li> <li>• Damage functions</li> <li>• Market valuation(WTP, prices, avoided cost, etc.)</li> <li>• Integrated assessment analysis: Biophysical-agroeconomic models, hydrological-economic model</li> </ul>
Indirect and economy-wide	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Computable General Equilibrium model</li> <li>• Supply input-output model</li> <li>• Adaptive regional input-output model</li> <li>• Inoperability input-output model</li> <li>• Macroeconometric</li> </ul>
Intangible	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contingent valuation</li> <li>• Choice modelling</li> <li>• Cost-based methods</li> <li>• Life satisfaction analysis</li> </ul>
Risk mitigation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cost of implementation</li> </ul>

Source: Freire-González et al.(2017; 198)

나라 지속기간을 동시에 고려해야 하며, 이로 인해 가뭄에 대한 준비(preparedness)와 대응(response)에 따라 피해와 비용, 그리고 사회전반에 미치는 영향이 크게 달라진다(Freire-González et al. 2017). 이는 효과적인 가뭄위험관리를 위해서는 가뭄의 영향을 정교하게 평가하기 위한 연구가 필요하며, 이를 위해 가뭄의 특징을 반영한 영향평가 모형에 대한 연구 역시 필수적임을 의미한다.

가뭄의 피해 혹은 영향은 많은 문헌을 통해 이루어져왔다. 구체적으로 Freire-González et al.(2017)은 문헌 연구를 통해 가뭄으로 인한 피해는 직접적 피해와 간접적 피해, 손에 잡히지 않는 비용, 그리고 위험 저감 비용으로 구분하고 각 피해계측 방법을 <Table 1>과 같이 제시하였다.

가뭄이 농업부문에 미치는 영향에 대한 국내 연구는 해외에 비해 상대적으로 제약적이며 짧게 집중되어 있다. 또한 국내 연구 모두 기후변화 시나리오에 따른 가뭄 피해 변화에 대한 분석은 부재하다. 구체적으로 성재훈 외(2017, 2018)은 시군별 쌀 생산량과 수리안전답 자료를 바탕으로 가뭄이 단위면적당 쌀 생산량에 미치는 영향을 계측하였으며, 성재훈 외(2018)은 패널분석 결과와 생산-생산 승수를 통해 가뭄의 경제적 파급효과를 계측하였다. 하지만 산업연관분석을 통한 경제적 피해 계측은 수요의 가격 탄력성이 비탄력적인 농업의 특징을 잘 반영하지 못하는 단점을 가지고 있다. 마지막으로 이승호 외(2017)은 강수량의 평균적인 변화를 가정하고 이를 바탕으로 물 부족의 경제적 파급효과를 계측하였다.

이에 본 연구는 연산가능일반균형(Computable General Equilibrium, 이하 CGE) 모형을 통해 생산감소로 인한 가

격변화를 고려함과 동시에 기반 시설에는 영향을 미치지 않는다는 가뭄의 특성을 잘 반영할 수 있도록 토지의 전용과 같은 산업 간 자본 이동을 제한하였다. 마지막으로, 세 개의 GCM과 SSP 시나리오를 바탕으로 기후변화로 인한 가뭄 피해액 변화를 계측하였다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 우선 2장은 분석 모형인 CGE 모형과 자료, 그리고 기후변화 시나리오에 대해 설명하였으며, 3장은 분석 결과, 그리고 4장은 결론 및 제언을 제시하였다.

## II. 분석모형 및 자료

### 1. 연산가능일반균형 모형

본 연구에서는 농업 부문에서의 가뭄 발생이 국내 경제 전반에 미치는 직간접적 영향을 계측하고자 하며, 이를 위해 CGE 모형을 이용하고자 한다. ‘연산가능’이라는 의미는 경제 충격에 대한 파급효과를 양적으로 추정 가능하다는 것이며, ‘일반’의 의미는 생산과 소비, 고용, 세금, 저축 등이 상호 밀접하게 연관된 경제활동을 동시에 분석할 수 있다는 것이다. 마지막으로 ‘균형’은 생산자와 소비자, 정부, 해외 부문 등 모든 경제주체의 수요와 공급이 균형을 이루는 수준에서 가격 및 수량이 결정된다는 의미이다. 즉, CGE 모형은 단일 산업이 아닌 국내외 경제 전반에 대한 파급효과를 양적으로 추정할 수 있는 거시적 모형에 해당한다(Burfisher, 2016).

이러한 CGE 모형은 생산, 소득 및 저축, 수요, 무역,

가격 결정, 시장 균형조건 등을 나타내는 연립방정식 형태를 보이며, 외부 충격에 의해 균형이 어떻게 변화하는지 계측 가능하다(권오상과 이한빈, 2012). 따라서 CGE 모형은 산업연관분석과는 달리 외부충격으로 인한 경제적 파급효과를 가장 포괄적으로 계측할 수 있으며, CGE 모형을 활용하여 계측한 GDP 및 소비자 후생 변화 등의 지표 변화는 외부충격이 경제 전체에 미치는 파급효과를 특정 지표를 통해 나타낸 것이라 해석할 수 있다.

Decaluwe et al.(2013)에서 제시된 정태적 CGE 모형인 PEP-1-1은 경제의 생산 부문을 크게 부가가치와 중간소비로 구분하였다. 또한, 최종 산출물은 부가가치와 중간소비의 일정 비율로 구성될 수 있기 때문에 레온티에프 생산함수를 기본 형태로 한다. 반면에, 부가가치는 복합노동과 복합자본의 결합으로 구성되며, 두 생산요소는 대체관계를 가진다. 따라서 복합노동과 복합자본은 고정 대체탄력성(Constant Elasticity of Substitution)을 가정하며, 각각의 복합노동과 복합자본 역시 세부유형별 노동과 자

본의 CES 결합으로 구성된다고 가정한다. 본 연구는 PEP-1-1 모형을 바탕으로 국내 실정에 적합한 CGE 모형을 개발하고자 한다(Figure 1).

Figure 2는 특정 상품이 k개의 활동으로부터 생산될 때의 경제 내 상품 흐름을 나타낸다(Lofgren et al., 2002). 각 생산활동은 대체관계를 가지고 있기 때문에 총 산출물은 활동 간 CES 결합으로 생산된다. 또한, 국내에서 생산된 총 산출물은 수출과 국내 수요로 나누어지게 되는데, 국내 생산자는 이윤극대화를 위해 생산 선택 시 수출을 고려하는 고정전환탄력성(Constant Elasticity of Transformation, CET) 함수 형태로 수출량을 결정한다(이승호 외, 2017).

수입 부문과 관련하여 국내 수요 대비 부족한 부분은 수입품과의 통합을 통해 공급된다. 이 때, 국내 상품과 수입 상품 간 불완전 대체관계를 반영하여 아밍턴(Armington) 복합재 형태로 통합된다.

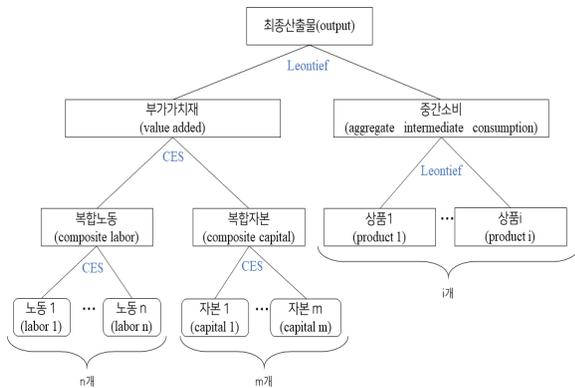
2. 사회계정행렬 및 탄력성

CGE 모형에서는 사회계정행렬(Social Account Matrix, 이후 SAM)을 분석자료로 활용한다. SAM은 특정 기간 동안의 거시적 수입이나 지출을 의미하며, 국내 경제 전반을 포괄할 수 있도록 모든 재화 및 서비스의 가치와 이로 인해 발생된 부가가치를 포함한다. 본 연구에서는 최근의 경제상황을 반영하기 위하여 한국은행으로부터 입수한 2019년도 기준 투입산출표 연장표와 국민계정을 활용하여 SAM을 구축하였다.

SAM은 크게 생산요소(factor)와 경제주체(agent), 산업(industry), 해외 부문(rest of world)으로 구성되며, 산업이 2개인 기본 SAM의 구조를 도식화하면 다음 Table 2와 같다. SAM의 대부분 항목은 한국은행 2019년 기준 투입산출표로부터 자료를 입수하였으며, 가계저축과 정부저축은 국민계정 자료를 이용하였다. 또한, 국민계정의 정부지출액과 SAM으로 구성된 정부지출액을 바탕으로 가계보조금을 도출하였으며, 가계수입과 가계지출이 일치되는 수준으로 직접세를 계산하였다.

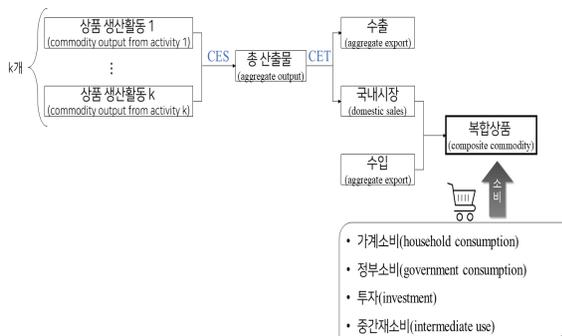
일반적으로 SAM은 연구의 목적에 따라 다양한 형태를 보이며, 본 연구는 농업 가품 발생의 직간접적 파급효과를 계측하는 것이 목적이므로, 산업 구분을 농업(15개), 농업 관련 산업(5개), 음식료품(3개), 에너지 부문(8개), 비농업(15개) 등 5개 부문의 46개 산업으로 구성하였다(Appendix 1)<sup>1)</sup>.

CGE 모형을 분석하기 위한 다음 절차는 탄력성 추정치와 파라미터를 설정하여야 한다. 이와 관련하여 권오상과 이한빈(2012)는 Annabi et al.(2006)과 Arndt et al.(2002) 등 여러 선행연구로부터 탄력성 추정 결과를 정리하였으



Source: Decaluwe et al.(2013: 13)

Figure 1. Production structure in CGE model



Source: Lofgren et al.(2002: 12)

Figure 2. Commodity flow in the economy

Table 2. Structure of SAM for two industries

		Factor		Agent			Industry		Rest of world		Revenue
		Labor	Capital	House	Gov	Invest	Ind. 1	Ind. 2	Export	Tax	
Factor	Labor						labor income				labor income
	Capital						capital income				capital income
Agent	House	labor income	capital income	transfer income	subsidy						household income
	Gov			direct tax			production tax		tax		gov income
	Invest			household save	gov save		depreciation				Investment
Industry	Ind. 1			consumption expenditure by household and gov respectively		Investment	intermediate input	export			aggregate demand
	Ind. 2										
Rest of world	Import					Investment	import				import
	Tax						tax				tax
Expenditure		labor income	capital income	household expenditure	gov expenditure	Investment	aggregate supply	export	tax		Total

Source: Own elaboration

며, 본고 역시 이를 참고하여 탄력성 추정치 및 파라미터를 설정하였다. 구체적으로, 소비 부문에서 사용되는 LES(Linear Expenditure System) 효용함수는 소득탄력성과 Frisch 파라미터를 필요로 하며, 수출입과 관련하여 아밍턴 탄력성, CET 탄력성이 필요하다. 이에 소득탄력성과 아밍턴 탄력성, CET 탄력성 추정치는 권오상과 이한빈(2012)에 제시된 자료를 이용하며, Frisch 파라미터는 Annabi et al.(2006)에 제시된 -2.5를 적용한다. 또한, 권오상과 이한빈(2012)는 부가가치를 생성하는 노동과 자본의 CES 결합을 반영하기 위하여 PEP-1에 제안한 0.8로 CES 탄력성을 설정하였으며, 본고 역시 이를 연구에 적용한다. 이상의 탄력성 모수는 Appendix 1에 제시하였다.

CGE 모형 내에서 기준가격이 되는 뉴메레르(Numeraire)는 소비자 물가지수로 설정하였으며, 수출입 가격도 1로 고정하였다. 또한, 외생적으로 투입되는 탄력성과 Frisch 파라미터를 제외한 나머지 파라미터들은 캘리브레이션 과정을 통해 계산할 수 있다.

### 3. 시나리오 설정

#### 가. 생산성 감소 시나리오

본 연구에서는 농업 가뭄 발생이 경제 전반에 미치는 파급효과를 예측하고자 하며, 이를 위해 농업 가뭄이 발생하였을 때 어느 정도의 생산성 감소가 발생하는지 파악할 필요가 있다.

본 연구에서는 채여라 외(2022)의 2021년부터 2100년까지의 가뭄 피해 분석 결과를 활용하였다. 구체적으로 채여라 외(2022)에서는 쌀의 생산성 변화를 추정하기 위해 3개의 글로벌기후모형(Global Climate Model, 이하 GCM)을 활용하였으며, 각 GCM별로 감축노력을 의미하는 SSP 126, SSP 245, SSP 585 등 3개의 사회경제 시나리오(Shared Socioeconomic reference Pathway, 이하 SSP)를 설정하였다<sup>2)</sup>. 분석 기간은 2021~2040년(근미래), 2041~2060년(중미래), 2081~2100년(원미래) 등 3개로 설정하였으며, 예측된 생산량에 대해 2001~2020년까지의 평균 생산량(523.3581kg/10a) 대비 감소율을 농업 가뭄에 따른 쌀의 생산성 감소 지표로 활용한다. 단, 본 연구는 농업 가뭄에 따른 쌀 생산성 감소에 초점을 맞추기 때문에 농업 가뭄 발생 이후에 오히려 평균 생산량보다 높은 생산량을 보이는 경우는 분석에서 제외하였다. 마지막으로 시군 단위의 자료를 통합하기 위하여 2019년도 논 면적을 기준으로 가중 평균을 실시하였다. 채여라 외(2022)가 분석한 미래 가뭄으로 인한 단위면적당 쌀 생산량 변화 분석 결과는 Table 3과 같다.

#### 나. CGE 모형 내 시나리오 적용

CGE 모형에서 산출물은 부가가치와 중간투입 등 투입재의 레온티에프 결합으로 생성되며, 농업 가뭄 발생에 따른 생산성 변화는 투입재의 변화로 반영할 수 있다(권오상 외, 2012).

Table 3. Change in rice yield resulting from drought

GCM	SSP	rice production(kg/10a)(year)									
CanESM5	SSP 126	484(*23)	466(*29)	507(*93)							
	SSP 245	522(*85)	519(*94)								
	SSP 585	501(*31)	481(*36)	510(*82)							
GFDL-ESM4	SSP 126										
	SSP 245	523(*22)	512(*25)	523(*31)	489(*39)	510(*54)	523(*94)				
	SSP 585	510(*50)									
ACCESS-ESM1-5	SSP 126	523(*21)	486(*22)	410(*38)	521(*39)	386(*56)	505(*88)	523(*98)			
	SSP 245	523(*23)	523(*25)	523(*26)	520(*32)	522(*34)	511(*54)	516(*88)	520(*94)	521(*96)	
	SSP 585	514(*25)	271(*28)	485(*52)	502(*57)	523(*60)	101(*83)	518(*93)			

Source: Chae et al.(2022)

Note: ( ) means the specific year from 2021 to 2100 when the rice yield is lower than the average rice yield during 2001~2020 (523.3581kg/10a), and the value means the rice yield in that year.

다만, 농업 가뭄이 발생하였을 경우에 농가는 피해를 최소화하기 위해 중간투입재를 신축적으로 조절할 수 있는 반면, 노동과 자본 등의 본원적 투입요소의 사용량을 변화시키기는 어렵다. 즉, 농업 가뭄에 따른 쌀 생산성 변화율을 최종 산출물에 적용하였을 때 도출되는 결과는 농가의 가뭄 피해저감 행위가 포함되어 실제 피해규모보다 과소 추정될 우려가 존재한다. 이에 본 연구는 농업 가뭄으로 인한 생산성 감소를 본원적 투입요소인 노동과 자본의 생산성 감소와 직결된다고 가정하여 분석을 진행한다. 또한 앞서 언급하였듯이 가뭄으로 인한 토지의 전용 등과 같은 산업 간 자본 이동은 제한된다고 가정하였으며, 이를 위해 쌀의 자본을 고정하였다.

본 연구의 CGE 모형에서 j산업의 부가가치는 다음과 같은 노동(LDC<sub>j</sub>)과 자본(KDC<sub>j</sub>)을 내생변수로 하는 CES 함수를 통해 계산된다.

$$VA_j = B_j^{VA} [\beta_j^{VA} LDC_j^{-\rho_j^{VA}} + (1 - \beta_j^{VA}) KDC_j^{-\rho_j^{VA}}]^{-\frac{1}{\rho_j^{VA}}} \quad (1)$$

이 때, B<sub>j</sub><sup>VA</sup>는 규모 모수(scale parameter)로, 노동과 자본의 결합으로 발생될 수 있는 부가가치 규모라고 해석할 수 있다. GDP는 부가가치와 캘리브레이션 된 부가가치의 가격, 생산세를 바탕으로 산출이 가능하며, 이에 따라 쌀의 생산성 변화 시나리오로부터 도출된 감소율을 규모 모수에 적용하였을 때의 GDP와의 차이를 통해 농업 가뭄 발생으로 인한 직간접적 파급효과를 파악할 수 있다.

이러한 GDP 변화는 생산 측면에서 농업 가뭄의 경제적 영향을 평가하는 지표가 될 수 있지만, 소비자 측면에서의 후생변화를 함께 고려하지는 못한다. 실제로, 가뭄이 발생

하는 경우에 농업생산성 하락과 더불어 소비재의 가격 및 소비자 소득도 변화하게 된다. 가격과 소득의 변화는 상품 소비량에 영향을 미치게 되며, 최종적으로 소비자 후생도 변화시키게 된다. 따라서 본 연구에서는 동등변화(Equivalent Variation, EV)를 통해 소비자의 후생을 추정한다. 권오상 외(2012)는 소비자 후생과 관련하여 보상변화(Compensating Variation, CV)를 계산하였으며, 이는 농업생산 손실이 발생하기 전 얻었던 후생 수준을 농업생산 손실이 발생한 이후에도 동일하게 얻기 위해 소득이 얼마나 변해야 하는지를 나타낸다. 반면에, 본 연구에서 제시하는 동등변화는 농업생산 손실이 발생하기 전 상황에서 농업생산 손실이 발생한 이후에 얻게 될 새로운 후생수준을 달성하기 위해 소득이 얼마나 변해야 하는지를 의미한다.

본 연구가 정립한 CGE 모형에서 소비자의 효용은 Stone-Geary 효용함수를 따른다고 가정한다.

$$U = \prod_j (C_j - C_j^{MIN})^{\gamma_j^{LES}} \quad (2)$$

$$EV = M^1 - \sum_{j=1}^N PC_j^1 CMIN_j - (M^0 - \sum_{j=1}^N PC_j^0 CMIN_j) \prod_{j=1}^N \left( \frac{PC_j^0}{PC_j^1} \right)^{\gamma_j^{LES}} \quad (3)$$

C<sub>j</sub>는 각 산업별 소비량, CMIN<sub>j</sub>은 최소소비량, γ<sub>j</sub><sup>LES</sup>는 한계소비성향을 의미한다. 또한, M<sup>0</sup>, M<sup>1</sup>은 각각 변화 전후의 소득을, PC<sub>j</sub><sup>0</sup>, PC<sub>j</sub><sup>1</sup>은 j산업의 변화 전후 가격을 의미한다. Stone-Geary 효용함수에 대한 동등변화는 식(3)과 같이 정의된다(Just et al., 2004).

Table 4. Result of GDP change by industry(unit: million won)

period	industry	CanESM5			GFDL-ESM4		ACCESS-ESM1-5		
		SSP 126	SSP 245	SSP 585	SSP 245	SSP 585	SSP 126	SSP 245	SSP 585
2021~ 2040	rice	1,081,270		698,643	506,083		1,796,330	61,577	2,993,630
	rice processed	-34,972		-21,967	-15,731		-65,007	-1,835	-243,625
	AGR except rice	-84,348		-53,972	-38,944		-145,960	-4,672	-367,810
	Industry related AGR	-27,717		-17,653	-12,713		-48,746	-1,514	-133,150
	Food and Beverage	-84,423		-54,108	-39,068		-145,144	-4,698	-347,061
	Energy	-56,353		-36,158	-26,119		-96,378	-3,146	-217,270
	etc	-3,373,774		-2,167,916	-1,566,943		-5,737,191	-189,144	-12,363,713
<b>total</b>	<b>-2,580,317</b>		<b>-1,653,131</b>	<b>-1,193,434</b>		<b>-4,442,098</b>	<b>-143,432</b>	<b>-10,678,999</b>	
2041~ 2060	rice				146,079	137,918	1,688,781	134,218	656,327
	rice processed				-4,427	-4,175	-69,213	-4,061	-20,518
	AGR except rice				-11,146	-10,519	-144,129	-10,235	-50,603
	Industry related AGR				-3,622	-3,418	-48,953	-3,325	-16,535
	Food and Beverage				-11,198	-10,569	-142,261	-10,284	-50,748
	Energy				-7,493	-7,072	-93,849	-6,882	-33,920
	etc				-450,128	-424,885	-5,550,247	-413,446	-2,034,349
<b>total</b>				<b>-341,934</b>	<b>-322,720</b>	<b>-4,359,870</b>	<b>-314,014</b>	<b>-1,550,347</b>	
2081~ 2100	rice	174,094	62,102	139,991	1,631		193,536	141,017	52,250
	rice processed	-5,298	-1,853	-4,239	-48		-5,902	-4,219	-1,563
	AGR except rice	-13,301	-4,714	-10,678	-124		-14,797	-10,713	-3,969
	Industry related AGR	-4,326	-1,528	-3,470	-40		-4,814	-3,474	-1,287
	Food and Beverage	-13,360	-4,740	-10,728	-124		-14,861	-10,771	-3,991
	Energy	-8,939	-3,174	-7,179	-83		-9,942	-7,211	-2,672
	etc	-536,862	-190,811	-431,296	-5,007		-597,052	-433,483	-160,603
<b>total</b>	<b>-407,992</b>	<b>-144,717</b>	<b>-327,599</b>	<b>-3,796</b>		<b>-453,832</b>	<b>-328,854</b>	<b>-121,833</b>	

Source: Own calculation

### III. 분석결과

#### 1. 산업별 GDP 변화

권오상과 이한빈(2012)는 기후변화로 인해 변화된 GDP를 기후변화 효과의 후생지표로 간주하였으며, 본고도 이를 받아들여 농업 가문에 대한 후생지표로서 GDP 변화를 계측하였다. 생산성 감소 시나리오에서 도출된 GCM 및 SSP 시나리오별 GDP 변화량은 Table 4에 제시되어 있다.

CanESM5 모형의 SSP 시나리오별 GDP 변화를 살펴보면, SSP 126과 SSP 585 모두에서 2021~2040년 구간의 GDP 감소액이 더 큰 것으로 나타났다. SSP 시나리오 간 GDP 감소액을 살펴보면, 전체 기간에서 SSP 126 시나리오에서의 피해가 가장 큰 것으로 나타났다.

GFDL-ESM4 모형의 SSP 126 시나리오에서는 농업 가문 발생으로 인한 생산량 감소가 없는 것으로 파악되었으며, SSP 245 시나리오는 전체 기간에서 쌀 생산성이 감소하였다. 쌀 생산성 감소에 따른 GDP 변화를 살펴보면, 2021~2040년 구간의 GDP 감소액이 약 1조 2천억 원으로 가장 컸다. 2041~2060년 구간에서는 SSP 585 시나리오보다 SSP 245 시나리오의 GDP 감소액이 다소 큰 것으로 확인되었다.

마지막으로, ACCESS-ESM1-5 모형 SSP 126과 SSP 585 시나리오에서도 다른 시나리오 결과와 동일하게 2021~2040년 구간에서의 GDP 감소액이 가장 큰 것으로 확인되었다.

또한, 경제발전이 상대적으로 느린 SSP 126 시나리오보다 빠른 발전을 중심에 둔 SSP 585 시나리오에서의 GDP 감소액이 더욱 큰 것으로 확인되었다.

Table 5. Result of consumer's welfare change by scenario

period	industry	CanESM5			GFDL-ESM4		ACCESS-ESM1-5		
		SSP 126	SSP 245	SSP 585	SSP 245	SSP 585	SSP 126	SSP 245	SSP 585
Household income in 2019(million won)		1,929,632,996							
2021~2040	Simulation (million won)	-3,275,501		-2,096,581	-1,538,921		-5,657,277	-181,570	-13,860,268
	Change (%)	-0.1697		-0.1087	-0.0798		-0.2932	-0.0094	-0.7183
2041~2060	Simulation(million won)				-433,116	-408,760	-5,571,933	-397,725	-1,965,852
	Change (%)				-0.0224	-0.0212	-0.2888	-0.0206	-0.1019
2081~2100	Simulation(million won)	-516,862	-183,207	-414,945	-4,804		-574,977	-416,355	-154,247
	Change (%)	-0.0268	-0.0095	-0.0215	-0.0002		-0.0298	-0.0216	-0.0080

Source: Own calculation

이상의 결과를 요약하면, ACCESS-ESM1-5 모형의 SSP 245 시나리오를 제외한 모든 시나리오에서 2021~2040년 구간의 GDP 감소 규모가 가장 큰 것으로 확인되었다. 또한, 농업 가품으로 인해 쌀의 생산성이 감소하였음에도 농업 부문의 GDP는 증가하는 것으로 나타났다. 이는 농업 부문의 GDP 감소폭보다 벼의 GDP 증가폭이 더 크기 때문이다. 구체적으로, 벼 산업의 GDP 증가는 벼의 생산량 감소에 대응하여 공급량이 감소하게 되고, 이에 따라 벼 가격이 급등한 결과에 기인한다. 이러한 가격 변화 결과는 Appendix 2를 참조 바란다<sup>3)</sup>.

## 2. 소비자 후생 변화

본 연구에서는 2019년도를 기준으로 소비자 후생변화를 계측하였다. 이는 가품으로 인한 농업생산 손실로 인해 감소한 후생 수준을 소득으로 나타낸 것이다. 모든 시나리오에서 농업 가품 발생 이후에 소비자의 후생이 감소하는 것으로 나타났으며, 각 GCM 시나리오별 결과는 Table 5와 같다.

분석 결과, 벼 생산 감소로 인한 가격 상승으로 소비자 후생 역시 감소하는 것으로 나타났다. 구체적으로 소비자 후생 변화는 2021~2040년 구간에 가장 큰 것으로 나타났으며, ACCESS-ESM1-5와 SSP 585를 가정할 경우, 소비자 후생 감소는 2019년 대비 약 0.72%에 이르는 것으로 나타났다.

## IV. 결론 및 제언

본 연구는 농업 부문을 세분화시킨 CGE 모형을 개발하였으며, 미래 기후변화 시나리오를 바탕으로 농업 가품 발생에 따른 쌀 생산성 감소를 시나리오로 적용하였다.

GDP 변화를 분석한 결과, 기후변화에 따른 가품의 누적 피해는 2021~2040년 가까운 미래에 가장 클 것으로 예상되며, 그 피해액 역시 약 14백억 원에서 11조 원에 이르는 것으로 나타났다. 흥미로운 점은 가품으로 인한 피해는 기후변화 감축 노력을 의미하는 SSP 시나리오와 큰 관련성이 없다는 점이다. 이는 가품과 같은 극한 기후에 대한 대응은 감축 노력과 동시에 극한 기후에 대한 위험관리 역시 필수적임을 의미한다.

마지막으로 가품으로 인한 직접적인 영향을 받는 벼 생산 부문의 경우, 가격 상승으로 인한 동 부문의 GDP는 증가한 것으로 나타났다. 하지만 벼 부문을 제외한 대부분의 산업부문은 쌀 생산량 감소로 인해 부문별 GDP가 감소하였으며, 소비자 후생 역시 벼 생산량 감소에 따른 가격 증가로 감소하였다. 이는 가품으로 인한 실질적인 피해 산정에 있어 농업 생산부문의 직접적인 피해와 더불어 그 파급효과까지 고려해야 함을 의미한다.

본 연구의 한계는 다음과 같다. 우선, 우리나라의 가품이 지역적으로 발생한다. 하지만 본 연구에서 구축한 CGE 모형은 국가 단위 모형으로 이러한 지역적 피해를 계측하는 데에는 한계를 가진다. 이에 농업 가품 발생으로 인한 지역적 피해 규모를 식별할 수 있는 지역 단위 모형과 본 연구에서 제시한 국가 단위 모형을 유기적으로 연결할 수 있는 통합 모형 구축이 필요할 것으로 보인다. 두 번째로, 2100년까지의 전망치에 대한 자료 부족과 불확실성으로 인해 미래 거시변수(예를 들어, 농지면적 감소, 유가 및 GDP 변화 등)의 영향을 고려하지 못했다는 한계가 있다. 마지막으로 IPCC CMIP6에 속한 18개 GCM을 모두 고려하지 못하였으며, 특히 18개 GCM 중 강수량 기준 GCM 중 상한에 속하는 INM-CM4-8과 하한에 속하는 UKESM1-0-LL을 활용하지 못하였다(RDA, 2021).

- 주1) 농업 부문: 벼, 정곡, 맥류 및 잡곡, 콩류, 감자류, 채소, 과실, 화훼작물, 기타 농산물(식용), 기타 농산물(비식용), 낙농, 육우, 양돈, 가금, 기타 축산.  
 농업 관련 산업: 도축육, 가공육, 육가공품, 낙농품, 비료 및 질소 화합물.  
 음식료품: 곡류 가공품, 채소/과일 가공품, 기타음식품.  
 에너지 부문: 연탄, 휘발유, 등유, 경유, 중유, 액화석유가스, 제트유, 기타화석연료.  
 비농업 부문: 투입산출표 기본부문 산업 중 앞에 포함되지 않는 모든 산업.
- 주2) CanESM5는 강수량 기준 18개 시나리오의 평균에 가장 가까운 GCM이다(농촌진흥청 2021). 이에 반해 나머지 두 GCM은 평균에서 벗어난 것에 속하며 본 연구에서 “GFDL-ESM4”은 일종의 강수량 기준 하한, “ACCESS-ESM5”은 강수량 기준 상한에 해당한다. 다만, 본 연구에서는 IPCC CMIP6에 속한 18개 GCM을 모두 고려하지 못하였으며, 특히 18개 GCM 중 강수량 기준 GCM 중 상한에 속하는 INM-CM4-8과 하한에 속하는 UKESM1-0-LL을 활용하지 못하는 것은 본 연구의 한계에 해당한다(농촌진흥청 2021).
- 주3) Appendix 2를 참고하면, 가뭄 발생으로 인한 벼의 생산량 감소가 벼의 가격을 대폭 상승시키는 것과 비교하였을 때 벼를 가공한 정곡 및 쌀 가공식품의 가격 상승폭은 상대적으로 작게 나타났다. 이는 쌀 가공식품용으로 비교적 상품성이 떨어지는 쌀이 주로 사용되며, 특히 정곡의 경우에는 공공비축으로 인해 벼 생산량 감소에 덜 민감하게 반응하기 때문이다.

본 논문은 농촌진흥청 국립농업과학원 신농업기후변화 대응체계구축 사업의 지원을 받아 연구되었음(PJ015692032022, 과제명: 농업 가뭄 영향평가를 위한 토양-물-에너지-식량 넥서스 기술 개발)

## References

1. Annabi, N., J. Cockburn and B. Decaluwe, 2006, “Functional Forms and Parametrization of CGE Models,” MPIA Working Paper 2006-04, PEP Research Institute.
2. 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.
3. Burfisher, M. E., 2016, *Introduction to Computable General Equilibrium Models*, Second Edition, Cambridge University Press, 11-16.
4. Chae, Y. R., J. Y. Park, H. S. Choi, Y. W. Choi, Y. G. Yang, H. K. Kim, J. Y. Jeon., 2022, *Building and Assessing Adaptive Capacity to Climate Change for National Risk Management: Economic analysis of the extreme climate risks*. Korea Environmental Institute.
5. Decaluwé, B., A. Lemelin, V. Robichaud, and H. Maisonnave, 2013, PEP-1-1 the PEP Standard Single-country, Static CGE Model, Partnership for Economic Policy-PEP.
6. Freire-González, J., C. Decker, and J. W. Hall, 2017, “The economic impacts of droughts: A framework for analysis,” *Ecological economics*, 132, 196-204.
7. Just, R. E., D. L. Hueth, and A. Schmitz. 2004, *The Welfare Economics of Public Policy*, Edward Elgar, 175-179.
8. Kwak, J. H., J. H. Kim, S. M. Jun, S. H. Lee, S. H. Lee, J. N. Kang, and M. S. Kang, 2020, “Assessment of Future Flood According to Climate Change, Rainfall Distribution and CN,” *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 62(6), 85-95.
9. Kwon, O. S. and H. B. Lee, 2012, “An Analysis of the General Equilibrium Effects of Change in Agricultural Productivity Caused Climate Change,” *Environmental and Resource Economics Review*, 21(4), 947-980.
10. Kwon, O. S., J. S. Roh, and Y. Suh, 2012, “An Input-Output and CGE Analysis of the Economic Impacts of Agricultural Production Losses due to Abnormal Weather in Korea,” *The Korean Journal of Agricultural Economics*, 53(2), 1-32.
11. Lee, S. H., O. S. Kwon, and S. W. Kang, 2017, “Economic Impacts of Agricultural Water Shortages in Korea –A Combined Top-down and Bottom-up Model Analysis,” *Journal of The Korean Society of Rural Planning*, 22(4), 111-126.
12. Lofgren, H., R. L. Harris, and S. Robinson, 2002, *A Standard Computable General Equilibrium(CGE) Model in GAMS(Vol. 5)*, International Food Policy Research Institute.
13. RDA, 2021, *SSP Climate Change Scenario Detailing Data Production Technology Guide for Agricultural Application*.
14. Sung, J. H., H. K. Jeong, H. J. Lee, 2019. *The effects of Extreme Events on Korean Agricultural Sector*, Korea Rural Economic Institute.
15. Sung, J. H., K. S. Chae, D. E. Kim, 2017. *The Effects of Droughts and Public Investments in Irrigation Facilities on Rice Yields in Korea*, *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, 19(4), 293-303.
16. Sung, J. H., K. S. Chae, 2018. *Analyze the economic effects of droughts focuses on rice production*, *Journal of Rural Development*, 41(3), 1-23.

17. WEF, 2022, The Global Risks Report 2022 17<sup>th</sup> edition, In partnership with Marsh McLennan, SK Group and Zurich Insurance Group published by the World Economic Forum.

- 
- Received 31 October 2022
  - Finally Revised 29 November 2022
  - Accepted 30 November 2022

Appendix 1 Elasticity applied to CGE model

Industry	Labor-capital substitution elasticity	CET elasticity	Armington elasticity	Income elasticity	Labor-capital CES elasticity	Frisch parameter
Rice	0.9	0.72	1.1	0.02	0.8	-2.5
Rice processed	0.9	0.72	5.54	0.32		
Grain	0.9	0.72	5.54	0.02		
Bean	0.9	0.72	5.54	0.02		
Potato	0.9	0.72	3.3	0.16		
Veggitable	0.9	2.2	1.9	0.4		
Fruit	0.9	2.2	1.9	0.14		
Flower	0.9	2.2	3.3	0.4		
Others eat	0.9	0.72	3.3	0.16		
Others not eat	0.9	2.2	3.3	0.4		
Dairy	0.9	0.72	3.7	0.56		
Cow	0.9	0.72	1.6	0.51		
Pig	0.9	0.72	1.6	0.51		
Chicken	0.9	0.72	1.6	0.51		
Livestock etc.	0.9	0.72	1.6	0.35		
Meat	1.12	2.2	4.4	0.35		
Chicken meat	1.12	2.2	4.4	0.35		
Process meat	1.12	2.2	4.4	0.35		
dairy product	1.12	2.2	4.4	0.35		
Fertilizer	1.12	2.2	2.6	0.2		
Grain product	1.12	2.2	1.9	0.49		
Veggie and fruit product	1.12	2.2	1.9	0.49		
Food etc.	1.12	2.2	1.9	0.49		
Briquette	1.5	0.5	2.8	0.8		
Gasoline	1.5	0.5	2.8	1.17		
Lamp oil	1.5	0.5	2.8	1.17		
Diesel	1.5	0.5	2.8	1.17		
Heavy oil	1.26	0.5	2.6	1.17		
LPG	1.26	0.5	2.6	1.17		
Zet	1.26	0.5	2.6	1.17		
Fossil etc.	1.26	0.5	2.6	1.17		
Forestry	0.9	0.72	1.9	0.35		
Fishing	1.12	2.2	1.9	0.49		
Agri-service	0.9	0.72	1.6	0.3		
Mining	1.5	0.5	4.5	1.17		
Manufacture	1.5	0.5	4.5	1.17		
Electric	1.26	0.5	2.6	1.17		
Gas	1.26	0.5	2.6	1.17		
Steam	1.26	0.5	2.6	1.17		
Water	1.26	0.5	2.6	1.17		
Waste	1.5	2.84	1.9	1.44		

CGE 모형을 활용한 농업 가품의 직간접적 파급효과 계측

Industry	Labor-capital substitution elasticity	CET elasticity	Armington elasticity	Income elasticity	Labor-capital CES elasticity	Frisch parameter
Recycle	1.5	2.84	1.9	1.44		
Build	1.26	0.5	2.6	1.17		
Restaurant	1.5	2.84	1.9	1.18		
Service	1.5	2.84	1.9	1.44		
Other etc.	1.5	2.84	1.9	1.44		

Source: Annabi et al.(2006); Arndt et al.(2002); Kwon and Lee(2012)

Appendix 2 Change in purchase price of commodity after drought(unit: %)

Industry	CanESM5				ACCESS-ESM1-5			
	SSP 126		SSP 585		SSP 126		SSP 585	
	'21~'40	'81~'100	'21~'40	'81~'100	'21~'40	'81~'100	'21~'40	'81~'100
Rice	16.18	2.54	10.34	2.04	28.16	2.83	73.16	0.76
Rice processed	12.53	1.98	8.02	1.59	21.60	2.20	51.27	0.59
Grain	-0.08	-0.01	-0.05	-0.01	-0.14	-0.01	-0.32	0.00
Bean	-0.02	0.00	-0.01	0.00	-0.04	0.00	-0.10	0.00
Potato	0.08	0.01	0.05	0.01	0.13	0.01	0.32	0.00
Veggitable	0.01	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.03	0.00
Fruit	-0.05	-0.01	-0.03	-0.01	-0.09	-0.01	-0.25	0.00
Flower	-0.04	-0.01	-0.03	-0.01	-0.08	-0.01	-0.20	0.00
Others eat	-0.05	-0.01	-0.03	-0.01	-0.09	-0.01	-0.20	0.00
Others not eat	0.19	0.03	0.12	0.02	0.32	0.03	0.84	0.01
Dairy	0.48	0.08	0.31	0.06	0.84	0.08	2.15	0.02
Cow	0.66	0.10	0.42	0.08	1.15	0.12	2.94	0.03
Pig	0.39	0.06	0.25	0.05	0.68	0.07	1.74	0.02
Chicken	0.07	0.01	0.04	0.01	0.12	0.01	0.29	0.00
Livestock etc.	0.09	0.01	0.05	0.01	0.15	0.01	0.39	0.00
Meat	0.24	0.04	0.15	0.03	0.41	0.04	1.06	0.01
Chicken meat	-0.03	0.00	-0.02	0.00	-0.05	-0.01	-0.12	0.00
Process meat	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.04	0.00
dairy product	0.09	0.01	0.06	0.01	0.16	0.02	0.42	0.00
Fertilizer	-0.10	-0.02	-0.06	-0.01	-0.17	-0.02	-0.39	0.00
Grain product	0.36	0.06	0.23	0.05	0.62	0.06	1.47	0.02
Veggie and fruit product	-0.06	-0.01	-0.04	-0.01	-0.11	-0.01	-0.26	0.00
Food etc.	0.13	0.02	0.08	0.02	0.23	0.02	0.56	0.01
Briquette	-0.09	-0.01	-0.06	-0.01	-0.16	-0.02	-0.37	0.00
Gasoline	-0.09	-0.01	-0.06	-0.01	-0.15	-0.02	-0.36	0.00
Lamp oil	-0.08	-0.01	-0.05	-0.01	-0.15	-0.01	-0.35	0.00
Diesel	-0.09	-0.01	-0.05	-0.01	-0.15	-0.02	-0.36	0.00
Heavy oil	-0.08	-0.01	-0.05	-0.01	-0.14	-0.01	-0.35	0.00
LPG	-0.09	-0.01	-0.06	-0.01	-0.15	-0.02	-0.35	0.00
Zet	-0.08	-0.01	-0.05	-0.01	-0.14	-0.01	-0.37	0.00

Industry	CanESM5				ACCESS-ESM1-5			
	SSP 126		SSP 585		SSP 126		SSP 585	
	'21~'40	'81~'100	'21~'40	'81~'100	'21~'40	'81~'100	'21~'40	'81~'100
Fossil etc.	-0.09	-0.01	-0.06	-0.01	-0.15	-0.02	-0.34	0.00
Forestry	-0.05	-0.01	-0.03	-0.01	-0.08	-0.01	-0.21	0.00
Fishing	-0.09	-0.01	-0.06	-0.01	-0.16	-0.02	-0.36	0.00
Agri-service	0.37	0.06	0.24	0.05	0.65	0.06	1.74	0.02
Mining	-0.09	-0.01	-0.06	-0.01	-0.15	-0.02	-0.35	0.00
Manufacture	-0.11	-0.02	-0.07	-0.01	-0.18	-0.02	-0.46	-0.01
Electric	-0.09	-0.01	-0.06	-0.01	-0.16	-0.02	-0.39	0.00
Gas	-0.09	-0.01	-0.06	-0.01	-0.15	-0.02	-0.35	0.00
Steam	-0.07	-0.01	-0.05	-0.01	-0.13	-0.01	-0.35	0.00
Water	-0.10	-0.02	-0.06	-0.01	-0.17	-0.02	-0.43	0.00
Waste	-0.11	-0.02	-0.07	-0.01	-0.19	-0.02	-0.46	-0.01
Recycle	-0.11	-0.02	-0.07	-0.01	-0.19	-0.02	-0.48	-0.01
Build	-0.14	-0.02	-0.09	-0.02	-0.24	-0.02	-0.55	-0.01
Restaurant	0.28	0.04	0.18	0.04	0.48	0.05	1.17	0.01
Service	-0.11	-0.02	-0.07	-0.01	-0.19	-0.02	-0.46	-0.01
Other etc.	-0.11	-0.02	-0.07	-0.01	-0.19	-0.02	-0.44	-0.01

Source: Own calculation