자원·환경경제연구 제 23 권 제 4 호
Environmental and Resource Economics Review
Volume 23, Number 4, December 2014 : pp. 689~718
DOI: http://dx.doi.org/10.15266/KEREA.2014.23.4.689

동태CGE모형을 이용한 홍수피해의 경제파급효과 분석†

정기호* · 황성윤**

요 약 : 본 연구는 홍수피해가 관련 산업부문의 자본을 감소시킬 경우 국가경제에 미치는 파급효과를 완전예측형 동태CGE모형을 이용하여 2010년을 기준연도로 분석하였다. 여러 홍수피해 항목들 중에서 통계자료가 확보될 수 있는 농경지, 선박, 공공시설의 물적 피해 항목에 분석을 한정하였다. 홍수피해의 시나리오는 1991년~2010년 기간 홍수피해를 2010년 기준으로 불변화하여 항목별 홍수피해의 평균과 최대로 각각 채택하였다. 분석 결과, 산업별 생산의 경우에는 자본스톡이 직접적으로 감소하는 수산업+운송업의 생산 감소율이 가장 크고 다음으로 농임업의 생산감소율이 큰 것으로 나타났다. GDP는 충격 기준연도에 벤치마크 해 대비로는 0.001%~0.057% 그리고 초기 자본감소 대비로는 약 11% 감소하는 것으로 분석되었다. 동태적으로는 GDP는 말기로 가정된 2030년까지 서서히 감소하는 것으로 분석되어서 홍수피해가 자본을 감소시킬 경우 국가경제에 미치는 영향력은 오래 지속되는 것으로 나타났다.

주제어 : 경제파급효과, 동태CGE, 홍수피해

JEL 분류 : D5, Q2

접수일(2014년 8월 18일), 수정일(2014년 12월 5일), 게재확정일(2014년 12월 12일)

† 이 논문은 2012학년도 경북대학교 학술연구비에 의하여 연구되었음. 저자들은 CGE모형 코딩에 도움을 준 한국조달연구원 김재현박사에게 심심한 감사를 드린다.

* 경북대학교 경제통상학부 교수, 교신저자(e-mail: khjeong@knu.ac.kr)

** 경북대학교 FTA통상학과 대학원생, 공동연구자(e-mail: hswhsw86@gmail.com)

Analysing the Economic Effects of Flood Damage by Dynamic CGE Model

Kiho Jeong* and Sungyoon Whang**

ABSTRACT : This study analyzes the ripple effects on the national economy of the flood damage using a perfect foresight dynamic CGE model for 2010 as the base year in case that the flood damage reduces the capital of the relevant industrial sectors. The analysis is limited to the items of physical damage such as agricultural land, ships and public facilities, for which statistical data can be obtained. As flood damage scenarios we adopt the minimum, maximum and average value of flood damage's historical data over the period 1991~2010 for each item. The results show that the largest production decline happens to the industry of fishing and transport and the next largest to the agricultural and forestry industry. The GDP reduction in the base year turns out to be from 0.001 to 0.057 percent compared to the benchmark and 11 percent compared to the exogenous shock to capital stock. Dynamically, the GDP gradually decreases until the year of 2030, which shows the long-lasting impact on the national economy of flood damage via the chanel of the capital damage.

Keywords : Economic ripple effect, Dynamic CGE model, Flood damage

Received: August 18, 2014. Revised: December 5, 2014. Accepted: December 12, 2014.

* Professor, School of Economics and Trade, Kyungpook National University, Sangyuk-Dong, Bug-Gu, Daegu 702-701, Korea(e-mail: khjeong@knu.ac.kr)

** Graduate student, Department of International Trade on FTA, Kyungpook National University, Sangyuk-Dong, Bug-Gu, Daegu 702-701, Korea(e-mail: hswhsw@gmail.com)

Ⅰ. 서 론

우리나라는 동고서저의 지형적 낙차가 심하고 연강수량의 2/3가 여름철에 집중되는 등 불리한 치수 환경여건을 갖고 있다. 한편 최근 들어 지구적인 기후변화의 영향으로 국지적 집중호우와 태풍의 발생 빈도 및 강도가 증가하고 있어서 치수 환경여건은 더욱 악화하고 있다. 이에 따라 홍수피해 위험도 증가하고 있는데, 홍수위험은 향후 더욱 증가할 것으로 예상되어 현재에 비해 장래(2060～2090)에는 1일 100mm 이상 호우발생 횟수는 2.7배, 100년 빈도 홍수량은 20% 증가할 것으로 예측되고 있어서(국토해양부, 2011), 홍수와 관련된 다각도의 연구 필요성이 제기된다.

한편 선진국들은 홍수와 가뭄 등 물문제가 심각해짐에 따라 문제 해결을 위한 연구개발투자를 활발하게 진행시켜온 반면에 우리나라의 관련 수자원 기술수준은 선진국 대비 76%에 불과하다(한국과학기술기획평가원, 2011). 물문제와 관련된 기술에는 기후변화 적응 능력 제고를 위한 기존 수자원 시설물의 최적 활용기술 개발이나 IT, BT, ET, NT 등 첨단 분야와 연계한 융복합기술 개발 외에도 기후변화에 따른 수자원 영향 예측 기술 고도화 등이 포함된다. 본 연구는 홍수 피해가 국가경제에 미치는 영향을 분석함으로써 이러한 측면의 연구개발 축적에 기여하고자 한다.

홍수피해를 포함한 여러 자연재해의 경제적 손실 분석은 직접 피해 추정과 직간접 파급효과 분석의 두 가지 방식으로 구분할 수 있다. 전자는 주로 공학 분야에서 이용되고 있고 후자는 경제학 분야에서 이용되고 있다. 직접 피해 추정은 일반적으로 자연재해 피해에 영향을 미치는 주요 인자들을 선정하고 이들 인자들의 표준화된 값을 추정하거나 지표화한 다음에 인자들 간의 가중평균이나 서로 곱하는 방식을 이용한다(Tezuka et al., 2014; 박태선 외, 2005).[1] 동 방식은 직접피해만을 추정할 수 있으며 직접피해가 경제 전체에 유발하는 간접피해는 분석에 포함시킬 수 없다.

자연재해의 직간접 파급효과 분석은 직접 피해가 경제의 여타 부문에 미치는 파급

1) Tezuka et al. (2014)는 일본에서 홍수에 의한 경제적 손실을 추정하기 위해 지역을 격자로 구분하고 홍수피해를 피해지역 격자범위와 격자별 단위 피해액의 인자로 구분한 다음에 후자는 다시 강우량 정도와 강우량 단위당 피해액으로 구분하고 강우량 단위당 피해액은 각 격자의 토지 이용별로 지표화하여 각 인자를 곱하는 방식을 사용한다. 박태선 외 (2005)은 우리나라 홍수피해지표를 개발하기 위해 홍수피해에 영향을 미치는 주요 인자들을 선정한 후, 인자별 표준화 값과 전문가조사에 의한 인자별 가중치를 곱하여 시군구별 홍수피해지표를 산정하였다.

효과인 간접피해까지 분석하며 산업연관모형이나 CGE (computable general equilibrium) 모형과 같은 다부문모형을 이용한다. 산업연관모형은 중간재 거래를 통한 산업간 의존관계를 이용하여 파급효과를 분석하며 비교적 단순한 행렬 연산에 의해 다양한 효과를 분석할 수 있어서 오랜 기간동안 자연재해분석에서 활발하게 이용되어 왔다 (Haimes and Jiang, 2001; Bockarjova et al., 2004; Cochrane, 2004; Okuyama et al., 2004; Hallegatte, 2008).

CGE모형은 산업연관모형에 비해 (1) 상대가격 변화에 따른 요소 간의 대체, 국산품과 수입품 간의 대체, 국산품 간의 대체 등을 허용함으로써 실제 현실에서 발생하는 현상을 반영할 수 있고 (2) 가계를 소득계층별로 세분할 수 있으므로 자연재해에 대한 소득계층별 취약함과 파급효과를 분석할 수 있어서 이에 따른 정책개발과 효과분석이 가능하며 (3) 동태모형의 경우 손실 기간과 복구 기간에 따른 상이한 파급효과를 분석할 수 있는 장점을 갖고 있어서 최근 자연재해 분석에서 산업연관모형을 대신하여 이용되기 시작하고 있다(Rose and Guha, 2004). 본 연구에서 이용되는 모형은 CGE모형이다.

국외에서는 다양한 수자원 관련 연구에서 CGE모형들이 응용되어 왔다. 사례로는 California San Joaquin Valley 지역의 수자원정책 효과를 평가한 Berck et al. (1991), 이집트 아스완댐의 경제파급효과를 분석한 Strzepek et al. (2007), 물공급 제약의 경제적 파급효과를 연구한 Berrittella et al. (2007), 수질개선의 직간접 경제적 파급효과를 연구한 Brouwer et al. (2008), 남아프리카공화국에서의 물 사용에 대한 조세도입의 파급효과를 분석한 van Heerden et al. (2008) 등이 있다. CGE모형을 수자원 분야에 적용하는 국외 문헌들도 대부분 수자원 공급이 부족한 상황에 집중하였고 홍수피해의 파급효과를 분석하는 연구는 최근 들어 시작되고 있다. Breisinger et al. (2012)와 Rosqvist and Perrels (2012)는 각각 에멘과 핀랜드에 대해 동태CGE모형을 이용하여 홍수의 경제적 파급효과를 분석하였으며, Haddad and TeiXeira (2013)은 공간CGE모형과 GIS정보를 결합하여 브라질 상파울로시에 대한 홍수피해를 분석하였다. 국내의 수자원 분야에서 CGE모형을 활용한 사례는 희소하여 정기호 (2011), 정기호·김재현(2011) 등이 정태 CGE모형을 이용하여 가뭄과 관련된 안정적 용수공급의 경제적 파급효과를 분석하였으며, 홍수를 포함한 자연재해의 파급효

과를 분석한 연구는 저자의 제한된 검색 범위 내에서 전무하다.

구체적으로 본 연구가 구축하려는 CGE모형은 동태CGE모형이다. 자연재해의 경제파급분석에 관한 선행연구들에서 공통적으로 지적되는 자연재해의 직접효과는 자본스톡의 손실이며(Ewing et al., 2007, p. 316; Rose and Guha, 2004, p. 121), 자연재해의 직접효과와 간접효과의 구분을 저량손실인지 유량손실인지 여부로 구분하기도 한다(Booysen et al., 1999; BRTE, 2001; Messner and Meyer, 2006; Parker et al., 1987). 정태모형은 이러한 자본스톡 변화의 파급효과를 분석하기에 적합하지 않다.

동태CGE모형에는 크게 축차형(recursive)과 완전예측형(perfect foresight)의 두 가지 유형이 있다(Babiker et al., 2009). 전자는 각 시점별로 정태모형 구조를 취하고 당기의 투자가 다음 기의 자본스톡을 결정하는 자본축적방정식을 통해 각 시점 균형들이 연결되기 때문에 기본적으로 정태모형과 큰 차이가 없다. 모형의 구축과 균형 해의 수렴이 비교적 쉽기 때문에 자연재해분석뿐만 아니라 다양한 분야에서 주된 동태CGE모형으로서 채택되고 있다. 한편 완전예측형 동태CGE모형은 경제주체가 미래 전체 기간에 걸쳐 동시적으로 최적화 의사결정을 함으로써 동태일반균형 경제이론과 가장 부합된다. 그러나 모형의 구축과 균형 해의 수렴이 상대적으로 어렵기 때문에 실제 응용에서 잘 활용되지 않고 있다. 동 모형의 선행연구 사례로는 Jorgenson and Wilcoxen (1993), Bovenberg and Goulder (2001), Balistreri (2002), Diao et al. (2005), Otto et al. (2007), Otto and Reilly (2008) 등이 있으며, 자연재해 파급효과 분석 분야에서는 아직 완전동태CGE모형을 활용한 사례가 없다.

본 연구에서 채택하는 동태CGE모형은 완전예측형 동태CGE모형이다. 축차형과 완전예측형 동태모형의 주된 차이는 시점 사이의 대체효과 반영 여부이다. 전자 모형은 경제주체가 각 시점만의 최적화를 하므로 시점 사이의 대체는 모형에서 고려되지 않는다. 반면에 완전예측 동태모형에서 경제주체는 미래를 예측하고 전 기간에 걸친 최적화를 하므로 최적화 의사결정에는 시점 사이의 대체도 포함된다. 자연재해가 발생할 경우 피해발생, 보상, 복구 등의 3개의 단계로 진행되는데 있는데 이 각각은 규모와 걸리는 기간에 따라 시점 사이의 다양한 대체 현상을 발생시키게 된다. 예를 들어서 자연재해가 발생한 이번 기나 다음 기에 정부 혹은 보험의 보상이 있다면 이번 기뿐만 아니라 모든 기의 소비에 영향을 미친다. 또한 복구하는 데 소요

되는 기간에 따라 여러 기에서의 상대가격 변화가 발생하게 되는데 이것은 해당 기뿐만 아니라 모든 기의 최적화 의사결정에 영향을 미친다. 축차동태모형은 이러한 시점 간의 대체현상을 반영하지 않는 반면에 완전예측동태모형은 시점 간 대체효과를 반영한다. 이러한 이유로 완전예측 동태CGE모형은 정태모형이나 축차동태모형보다 파급효과를 작게 분석하는 경향이 있으며(Babiker et al., 2009) 본 연구의 분석결과도 이러한 점을 고려하여 해석될 필요가 있다. 본 연구는 완전예측 동태CGE모형을 구축하고 우리나라 홍수피해의 시계열자료를 이용한 시나리오를 모형에 도입하여 국가경제 파급효과를 분석한다.

이후 연구의 구성은 다음과 같다. II절에서는 홍수피해의 파급효과를 분석하는 동태CGE모형의 구조를 소개한다. III절에서는 동태CGE모형에 투입되는 자료와 모형의 분석에 사용되는 시나리오를 설명하고 홍수피해의 국가경제 파급효과를 분석한다. 마지막으로 IV절에서 결론을 제시한다.

II. 분석모형

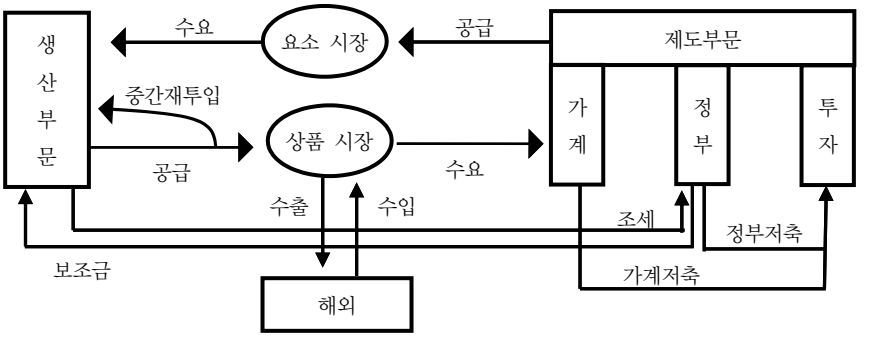
본 연구에서 구축하는 CGE모형은 소규모 개방형 완전예측 동태CGE모형이다.[2] 동태모형의 상세한 수식은 부록에서 다루고, 여기에서는 정태모형 부분의 개념적 구조를 논의한다. <그림 1>은 모형의 개괄적인 재화와 요소흐름을 보여준다. 모형은 생산부문과 제도부문으로 구분되고 이들 두 부문은 생산물시장과 요소시장에서 거래한다. 생산물시장에서 생산부문은 제도부문에 재화를 공급하고 제도부문은 재화를 구입하여 소비한다. 생산되는 생산물 중 일부는 생산을 위한 중간재로 투입된다. 요소시장에서 제도부문은 생산부문에 생산요소를 공급하고 생산부문은 생산요소를 구입한다. 모형에서 조세 납부와 보조금 지급은 시장 외적인 거래로 처리된다.

제도부문에서 가계는 노동과 자본을 보유하여 요소시장에 공급하며 정부는 수자원을 보유하여 시장에 공급한다고 가정한다. 따라서 가계의 수입 원천은 노동수입과 자본수입이며 정부의 수입 원천은 조세와 수자원 사용에 대한 수입이다. 정부의

2) 완전예측 동태CGE모형의 상세한 구조는 Rutherford (2004)를 참조함.

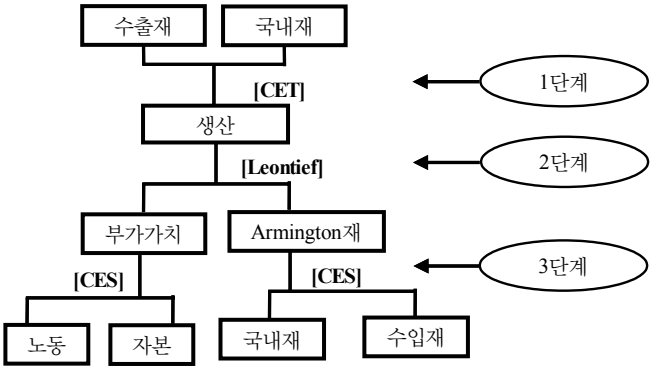
지출은 정부소비와 정부 저축으로 구성되고 가계의 지출은 소비지출과 조세 및 가계저축으로 구성된다.

〈그림 1〉 본 연구의 CGE모형 기본구조



생산기술은 <그림 2>와 같이 3단계 구조로 되어 있다. 가장 최상위 단계에서, 각 최종산출물은 불변변환탄력성(Constant Elasticity of Tranformation, CET)함수에 의해 국내재와 수출재로 변환되어 국내 시장에서 판매되거나 해외로 수출하게 된다. 그 아래 단계에서 최종산출물은 중간재와 부가가치 복합체의 Leontief함수로 결합되어 생산된다. 가장 아래 단계에서는, 부가가치 복합체가 노동과 자본 등 본원 생산요소들의 CES함수로 결합되며, 중간재 복합체는 아밍톤 가정(Armington, 1969) 가정에 따라 국내재와 수입재의 CES함수로 구성된다.

〈그림 2〉 생산기술의 트리구조



Ⅲ. 분석결과

1. 자료

본 연구는 홍수피해의 통계자료가 제공되는 가장 최근 연도인 2010년을 분석의 기준년도로 하며, 이에 따라 CGE모형의 추정에 필요한 기초통계인 사회계정행렬(Social Accounting Matrix, SAM) 구축도 2010년 산업연관표를 이용한다. 사회계정행렬에서 직접세는 국세청(2011)의 "2-1-1 예산 및 세수 실적"의 자료를 이용한다. 분석기간은 2010～2030년으로 설정하여 완전예측형 동태CGE모형을 구축할 때 가정해야 하는 말기는 2030년으로 설정된다. 균제상태의 성장률은 산업연구원(KIET)의 2013～2019년 기간 연간 경제성장률 전망치의 기하평균인 3.8%를 가정하였다.[3] 감가상각률은 국내 선행연구(김태정, 2011; 장인성, 2009; 표학길 외, 2007; 표학길, 2003)들에서 가정되는 6.2%를 이용한다. 연도별 홍수피해액의 불변가격은 2010년 기준 생산자물가지수를 이용한다.

국가수자원관리종합정보시스템은 온라인으로 홍수피해 통계자료를 연도별로 그리고 세부 유형별로 광역시와 도 수준으로 제공하며 이때 홍수피해는 태풍, 장마, 홍수 등으로 인한 피해로 정의된다.[4] 일반적으로 홍수피해는 크게 인적 피해와 물적 피해 등의 직접 피해와 복구기간 동안의 간접 피해로 구성되는데, 이 중에서 인적 피해와 복구기간 동안의 간접적인 피해는 통계자료를 확보하기 어렵기 때문에 본 연구는 물적 피해에 초점을 맞춘다.

국가수자원관리종합정보시스템에서 통계가 제공되는 물적 피해액은 건물, 선박, 농경지, 농작물, 공공시설, 기타 등의 항목으로 세분된다. 이 중에서 건물은 상업과 주거 등 여러 용도에 대한 세분된 통계자료를 확보할 수 없으며, 기타피해 역시 축대, 담장, 가축, 축사, 잠사, 수산증양식, 어구, 비닐하우스, 기타 시설 등의 여러 구성항목에 대한 세분된 통계자료를 확보할 수 없기 때문에 각각 분석에서 제외한다. 본 연구는 남은 항목 중에서 선박, 농경지, 공공시설에 초점을 맞춘다. 이들 유형의

3) 연간 경제성장률 전망수치는 산업연구원의 내부자료를 이용하였음

4) 자료출처는 http://www.wamis.go.kr/wkf/wkf_fddamaa_lst.aspx을 참조함

피해는 모두 저량(stock)의 손실이며 경제학에서 저량을 측정하는 적절한 척도는 자본스톡이다. 본 연구는 위의 세 가지 물적 피해항목을 관련 산업부문의 외생적 자본 감소로 가정하여 동태CGE모형에 도입한다.[5] 농작물 피해는 농업의 자본 감소보다는 직접적인 생산 감소로 고려하는 것이 더 적합하기 때문에 이번 연구에서는 분석에서 제외하였다. 따라서 본 연구의 분석범위는 물적 홍수피해에 한정하며 구체적으로는 선박, 농경지, 공공시설의 물적 피해 항목에 분석을 한정한다.

자료는 1991～2010년 기간 온라인으로 제공되는 국가수자원관리종합정보시스템 홍수피해의 광역시 및 도의 홍수피해 통계자료를 합산하여 전국 피해액의 연도별 자료를 구축하였으며, 시나리오의 다양화를 위해 2002년부터 홍수피해액 자료가 제공되는 제주도는 합산에서 제외하였다. 이들 시계열자료를 분석에서 홍수피해의 시나리오로 활용할 때는 분석 기준년도인 2010년 기준 생산자물가지수로 불변화하였다. 아래 <표 1>은 불변화되기 이전의 명목 피해액 시계열자료의 일부와 기초통계를 보여준다.

〈표 1〉 항목별 연도별 전국 홍수피해액 (금액단위: 백만 원)

연도	총액(S)	선박(A)	농경지(B)	공공시설(C)	(A+B+C)/S비중(%)
2010	350,508	1,150	8,923	206,703	62
2009	253,191	2,205	86	241,895	96
2008	58,848	112	3,833	51,659	94
2007	175,188	263	4,758	93,490	56
2006	1,882,434	1,153	139,315	1,641,428	95
2005	1,068,860	1,145	0	415,700	39
평균('71～'10)	596,422	4,528	23,352	351,806	59
표준편차('71～'10)	758,243	6,065	29,946	559,191	22

5) 홍수피해를 특정 산업의 자본 감소로 설정한 기존문헌으로서, Hallegatte (2008)은 산업연관모형을 이용하는 허리케인 카트리나의 경제적 파급효과를 평가하는 연구에서 민간부문 자본스톡 손실을 관련 산업들에 배분하고 분석하였고 Simola et al. (2011)은 축차동태CGE모형을 이용하는 핀란드 홍수피해의 파급효과 분석에서 자본스톡 손실을 직접효과로 그리고 이러한 직접효과에 의해 유발되는 효과를 간접효과로 구분하고 산업별로 자본스톡손실을 추계하여 분석하였다.

산업분류는 2010년 산업연관표의 403개 기본부문 분류에서 출발하여 26개 산업으로 재통합하였다. 본 연구의 분석에서 농경지 피해는 유관산업으로서 농림업(농업+임업+축산업)의 외생적인 자본 감소로 고려된다. 한편 공공시설은 도로, 교량, 철도, 항만 등으로 구성되는데 육상 및 수상의 운송업에 대한 사회간접자본에 해당하므로 공공시설 피해를 운송업의 외생적 자본 감소로 고려한다. 선박피해는 수산업의 선박피해와 운송업의 선박피해의 합계로 구성되는데 이들 두 항목의 통계가 구분되지 않기 때문에 본 연구에서는 수산업과 운송업을 통합하여 하나의 산업으로 고려한다. 따라서 공공시설 피해와 선박피해는 수산업+육상운송+수상운송의 통합부문을 유관산업으로 가정하여 동 산업의 외생적인 자본 감소로 고려한다. 산업 부문의 재통합 결과는 부록에서 제시된다.

CGE모형의 벤치마크 해는 함수들의 모수와 외생변수들의 값들의 함수가 된다. 따라서 모형 해를 도출하기 위해서는 먼저 함수들의 모수 값이 결정되어야 한다. 본 연구는 완전예측 동태CGE모형의 연산을 위한 프로그램으로서 Rutherford (1987, 1999, 2004)에 의해 개발된 GAMS에 기반한 MPSGE언어를 사용한다. 이 경우에 모형의 모수는 가중치 모수(Share Parameter)와 대체탄력성의 두 가지가 존재한다. 이 중에서 가중치모수는 기준연도의 SAM으로부터 칼리브레이션 과정을 통해 추정될 수 있지만, 후자인 대체탄력성은 자료의 부족 때문에 일반적으로 Leontief 함수나 Cobb-Douglas 함수와 같은 특정한 함수형태에 의해 가정되거나 기존연구의 탄력성 값들을 원용하여 사용된다.

본 연구에서도 선행연구들의 결과를 원용하여, 국내재와 수출재 간 변환탄력성은 조경엽(2010)이 사용한 수치의 중간값인 2.65를 이용하였다. 생산의 탄력성 값은 일반적으로 생산요소와 중간재화 간 대체탄력성을 매우 낮도록 가정하는 국내외 선행연구(오진규·조경엽, 2001; 김영덕·조경엽, 2006; Bernstein et al., 1999)의 관례에 따라 Leontief 함수를 가정하여 0의 값을 사용하였으며, 노동과 자본의 탄력성은 산업분석에서 일반적으로 가정되는 Cobb-Douglas 함수를 가정하여 1의 값을 사용하였다(신동천, 1996; 김홍배·김재구, 2011; 오인하, 2011). 수입재와 국내재의 대체탄력성의 경우 신동천(1996)의 연구에서 추정된 대체탄력성 2～4의 평균값에 가까운 3의 값을 이용하였다. 가계의 기간 간 효용 대체탄력성은 국내외 선행연구(오진

규.조경엽, 2001; Goulder and Schneider, 1999; Berstein et al., 1999; Babiker et al., 2008)에서 가정된 0.5를 이용하였다.

2. 시나리오

홍수피해의 경제적 파급효과 분석은 구축한 CGE모형을 이용하여 홍수피해가 없는 경우의 벤치마크 내생변수 균형 해를 먼저 계산하고 다음으로 홍수피해의 시나리오를 모형에 적용하여 새로운 내생변수 균형 해를 계산한 다음에 두 균형 해를 서로 비교함으로써 수행된다. 이를 위해서는 홍수피해가 없는 가상적인 경우를 상정할 필요가 있다. 본 연구는 기준연도인 2010년 SAM 수치에 이미 당해연도의 홍수에 따른 피해가 반영되었다고 보고 농임업과 수산업+운송업의 자본스톡을 당해연도 농경지 홍수피해와 선박 홍수피해+공공시설 홍수피해 만큼 각각 증가시켜 계산된 균형 해를 홍수피해가 없는 가상적인 벤치마크 해로서 설정한다. 다음으로 홍수피해액에 대한 시나리오는 먼저 각 연도의 농경지와 선박+공공시설의 명목 홍수피해액을 2010년 기준 생산자물가지수로 조정하여 실질 홍수피해액을 계산한 다음에 1991～2010년 기간 동안 각 항목의 실질 홍수피해액의 평균만큼 농임업과 수산업+운송업의 자본스톡이 각각 감소하는 시나리오를 설정한다. 한편 지구온난화에 따른 기후변화로 홍수피해 최대 기록이 갱신되는 상황을 고려하여 같은 기간 동안 각 항목의 실질 홍수피해액의 최댓값만큼 농임업과 수산업+운송업의 자본스톡이 각각 감소하는 시나리오를 추가로 설정한다. <표 2>는 이렇게 계산된 농임업과 수산업+운송업의 실질 홍수피해액 자료를 보여준다.

〈표 2〉 실질 홍수피해액

연도	자본스톡 변화 (백만 원)	
	농임업	수산업+운송업
1991	316,776	718,199
1992	54,254	193,665
1993	21,702	330,711
1994	20,840	192,749
1995	109,541	746,297

〈표 2〉 실질 홍수피해액 (계속)

연도	자본스톡 변화 (백만 원)	
	농임업	수산업+운송업
1996	51,781	416,662
1997	47,368	384,694
1998	101,312	1,112,640
1999	49,992	1,261,896
2000	19,570	897,174
2001	14,983	542,099
2002	159,892	140,113
2003	161,322	3,921,575
2004	20,978	852,520
2005	32,345	479,794
2006	158,968	1,873,595
2007	84,168	105,423
2008	3,971	53,632
2009	7,442	253,400
2010	8,923	207,853
평균(시나리오1)	79,828	723,538
최대(시나리오2)	316,776	3,921,575

<표 3>은 1990년대와 2000년대로 구분하여 두 산업의 실질 홍수피해액의 평균과 표준편차를 보여준다. 1990년대에 비하여 2000년대에 농임업의 실질 홍수피해액은 평균과 표준편차 모두 감소한 반면에 수산업+운송업은 두 수치 모두 증가한 것으로 나타났다. 그러나 평균 1단위당 표준편차로 보면 두 산업부문 모두 수치가 증가하여 스케일을 조정한 홍수피해액의 변동성이 1990년대에 비해 2000년대에 들어 두 산업부문 모두 증가한 것을 알 수 있다.

〈표 3〉 시기별 실질 홍수피해액 기초통계 (백만 원)

	1991～1999년		2000～2010년	
	농임업	수산업+운송업	농임업	수산업+운송업
평균	85,952	595,279	61,142	847,925
표준편차	91,784	390,437	67,133	1,147,919
표준편차/평균	1.0678	0.6559	1.0980	1.3538

3. 경제파급효과 분석결과

홍수피해의 경제파급효과 분석을 위한 시나리오는 앞서 논의된 바와 같이, 홍수피해에 따른 농임업과 수산업+운송업의 자본스톡 감소에 대해 평균(시나리오 1)와 최대(시나리오 2)의 2개 시나리오를 각각 적용한다.

<표 4>는 자본스톡 감소에 따른 당해연도인 2010년 산업별 생산의 변화를 보여준다. 분석결과, 자본스톡이 직접적으로 감소하는 수산업+운송업과 농임업의 생산감소율이 크게 나타났는데, 특이한 점으로 기타농림수산업과 음식료품의 경우 자본스톡이 직접 감소하지 않는데도 불구하고 생산이 농임업과 거의 비슷한 감소율로 영향받는 것으로 분석된다. 기타농림수산업은 농임업에 중간재로 판매되는 중간재 수요가 생산에서 차지하는 비중이 78%로 그리고 수산업+운송업에 중간재로 판매하는 비중은 8%로서 매우 높은 특징을 갖는다. 참고로 다른 산업들의 경우 농임업에 대한 중간재 판매비중은 모두 10% 미만이고 수산업+운송업에 대한 중간재 판매비중은 석유및석탄제품(10%)을 제외하고 모두 3% 미만이다. 한편 음식료품의 경우는 생산에서 농임업 산출물을 중간재로 투입하는 비중이 29%로 그리고 수산업+운송업의 산출물을 중간재로 투입하는 비중은 6%로서 역시 매우 높은 특징을 갖는다. 다른 산업들의 경우 농임업 산출물을 중간재로 투입하는 비중은 모두 4% 이하이고 수산업+운송업 산출물을 중간재로서 투입하는 비중은 광산품(8%)과 비금속광물제품(7%)을 제외하고 모두 4% 미만이다. 본 연구에서는 일반적인 CGE응용연구의 가정을 따라서 부가가치와 중간재의 대체탄력성을 0으로 설정하여 최종산출물에 대한 레온티에프 생산함수 구조를 가정하였기 때문에, 상대가격 변화에 따른 대체가 발생하지 않고 최종산출물의 생산이 감소하면 중간재의 투입도 같은 비율로 감소하게 되는 구조를 갖는다. 이에 따라 자본감소에 따른 직접적인 생산감소효과가 가장 큰 농임업과 수산업+운송업에서 생산이 감소하면 이들 산업에 중간재 판매비중이나 중간재 투입비중이 높은 산업의 수요 감소 효과가 상대적으로 높게 되어, 기타농림수산업과 음식료품의 생산 감소효과가 상대적으로 크게 된 것으로 해석된다.

또 다른 특이한 점으로서 전기 및 전자기기, 기타운송 및 관련서비스 등은 생산이 증가하는 것으로 분석된다. 농임업과 수산업+운송업에서 자본스톡이 외생적으로 감

소할 경우 상대가격 변화를 가져오는 경로는 2개가 있는데, ① “자본시장에서 공급 감소로 가격 상승 발생”과 ② “부가가치와 아밍톤중간재 간의 대체탄력성이 0으로 설정되므로, 자본과 해당 두 개 산업의 산출물을 중간재로 사용하는 상대적 정도에 따라 각 산업의 생산 감소의 정도가 다르게 되고 이에 따라 최종재 시장에서의 상대가격의 변화 발생”이다. 이들 두 경로는 모든 산업부문에 대해 영향을 미치게 된다. 만약 어느 산업부문이 부가가치 중 자본의 투입비율이 낮고 중간재로 투입되는 농임업과 수산업+운송업 산출물 비중이 작으면 상대적으로 다른 산업에 비해 이들 두 개 경로의 영향을 적게 받게 되고 따라서 다른 산업부문에 대한 상대가격이 하락하게 될 것이며 이 경우 효용극대화 과정에서 이 산업부문 재화에 대한 수요는 증가하여 생산이 증가할 수 있다. 전기 및 전자기기와 기타운송 및 관련서비스의 두 산업은 생산에서 차지하는 자본투입비중이 각각 9%, 5%로 작고 또한 생산에서 차지하는 농임업과 수산업+운송업의 중간재 투입 비중은, 전기 및 전자기기의 경우 각각 0.00%와 0.36% 그리고 기타운송 및 관련서비스의 경우 각각 0.00%와 5.32%로서 이러한 요건을 충족하고 있다.

〈표 4〉 산업별 생산 변화

부문명	기준해 (십억)	시나리오 1(평균)		시나리오 2(최대)	
		수준(십억)	증감률(%)	수준(십억)	증감률(%)
농업.축산업.임업	44,125	44,109	-0.035	44,059	-0.148
수산업+육수상운송	57,813	57,762	-0.087	57,536	-0.479
기타농림수산업	1,333	1,333	-0.035	1,331	-0.156
광산품	3,653	3,652	-0.016	3,649	-0.092
음식료품	94,573	94,545	-0.029	94,438	-0.142
섬유 및 가죽제품	50,961	50,957	-0.008	50,939	-0.043
목재 및 종이제품	27,910	27,906	-0.013	27,890	-0.072
인쇄 및 복제	8,392	8,391	-0.006	8,389	-0.032
석유 및 석탄제품	136,245	136,224	-0.015	136,130	-0.085
화학제품	223,740	223,720	-0.009	223,628	-0.050
비금속광물제품	34,237	34,233	-0.010	34,218	-0.055
금속제품	73,454	73,451	-0.004	73,436	-0.026
제1차금속제품	218,918	218,905	-0.006	218,843	-0.034

〈표 4〉 산업별 생산 변화 (계속)

부문명	기준해 (십억)	시나리오 1(평균)		시나리오 2(최대)	
		수준(십억)	증감률(%)	수준(십억)	증감률(%)
일반기계	113,896	113,892	-0.004	113,870	-0.023
전기 및 전자기기	340,394	340,398	0.001	340,407	0.004
정밀기기	17,753	17,753	-0.001	17,751	-0.010
수송장비	211,172	211,168	-0.002	211,144	-0.013
기타제조업제품	18,139	18,137	-0.007	18,131	-0.041
전력, 가스 및 수도	77,023	77,018	-0.006	76,996	-0.035
건설	188,335	188,329	-0.003	188,297	-0.020
도소매	159,888	159,877	-0.007	159,827	-0.038
음식점 및 숙박	80,250	80,240	-0.013	80,198	-0.065
기타운송 및 관련서비스	66,169	66,170	0.003	66,176	0.012
통신 및 방송	59,383	59,381	-0.004	59,371	-0.020
금융 및 보험	132,988	132,983	-0.004	132,960	-0.021
기타서비스	683,296	683,271	-0.004	683,161	-0.020

<표 5>와 <표 6>은 각각 자본스톡 감소에 따른 당해연도인 2010년 산업별 가격 변화와 수입 변화를 보여준다. 분석결과, 자본스톡이 직접적으로 감소하는 수산업+운송업과 농임업의 가격 증가율이 평균 시나리오에서는 각각 0.0106%와 0.1130% 그리고 최대 시나리오에서는 각각 0.0549%와 0.6466%로서 가장 크게 나타났으며, 나머지 산업들은 평균 시나리오에서 0.0005%(기타농림수산업)～0.0058%(기타운송 및 관련서비스) 그리고 최대 시나리오에서는 0.0147%(기타농림어업)～0.0386%(기타운송 및 관련서비스) 범위에서 가격이 증가하는 것으로 나타났다. 수입의 경우는 자본스톡 감소가 미치는 영향이 산업별로 방향이 다른 것으로 나타났다. 자본스톡이 직접적으로 감소하는 수산업+운송업과 농임업의 경우 수입이 증가하는 것으로 나타났는데 특히 자본스톡 감소폭이 가장 큰 수산업+운송업의 수입증가율은 평균 시나리오에서는 0.382% 그리고 최대 시나리오에서는 2.140%로서 산업부문 중 증감률 크기가 가장 높았다. 반면에 기타농림수산업의 수입 감소율은 평균 시나리오에서는 0.054% 그리고 최대 시나리오에서는 0.242%로서 수입이 감소하는 산업부문 중 감소율이 가장 컸다.

〈표 5〉 산업별 가격 변화

	기준해 [6]	시나리오 1(평균)		시나리오 2(최대)	
		수준	증감률(%)	수준	증감률(%)
농업, 축산업, 임업	1.0000	1.0001	0.0106	1.0005	0.0549
수산업+육수상운송	1.0000	1.0011	0.1130	1.0065	0.6466
기타농림수산업	1.0000	1.0000	0.0005	1.0001	0.0147
광산품	1.0000	1.0000	0.0026	1.0002	0.0209
음식료품	1.0000	1.0000	0.0011	1.0002	0.0157
섬유 및 가죽제품	1.0000	1.0000	0.0042	1.0003	0.0306
목재 및 종이제품	1.0000	1.0000	0.0034	1.0003	0.0264
인쇄 및 복제	1.0000	1.0000	0.0045	1.0003	0.0320
석유 및 석탄제품	1.0000	1.0000	0.0025	1.0002	0.0206
화학제품	1.0000	1.0000	0.0039	1.0003	0.0286
비금속광물제품	1.0000	1.0000	0.0038	1.0003	0.0278
제1차금속제품	1.0000	1.0000	0.0044	1.0003	0.0307
금속제품	1.0000	1.0000	0.0048	1.0003	0.0331
일반기계	1.0000	1.0000	0.0049	1.0003	0.0338
전기 및 전자기기	1.0000	1.0001	0.0056	1.0004	0.0375
정밀기기	1.0000	1.0001	0.0052	1.0004	0.0355
수송장비	1.0000	1.0001	0.0051	1.0003	0.0349
기타제조업제품	1.0000	1.0000	0.0045	1.0003	0.0319
전력,가스및수도	1.0000	1.0000	0.0042	1.0003	0.0305
건설	1.0000	1.0001	0.0050	1.0003	0.0345
도소매	1.0000	1.0000	0.0042	1.0003	0.0305
음식점 및 숙박	1.0000	1.0000	0.0037	1.0003	0.0283
기타운송 및 관련서비스	1.0000	1.0001	0.0058	1.0004	0.0386
통신 및 방송	1.0000	1.0000	0.0048	1.0003	0.0335
금융 및 보험	1.0000	1.0000	0.0048	1.0003	0.0333
기타서비스	1.0000	1.0000	0.0049	1.0003	0.0342

6) 본 연구에서 CGE모형의 추정에 사용된 GAMS는 가격 변수의 경우 벤치마크 해를 모두 1로 나타내며 외생적 충격에 따른 새로운 균형해는 1의 값에서 상대적으로 변화한 값으로 나타낸다.

〈표 6〉 산업별 수입 변화

부문명	기준해 (십억)	시나리오 1(평균)		시나리오 2(최대)	
		수준(십억)	증감률(%)	수준(십억)	증감률(%)
농업, 축산업, 임업	10,302	10,304	0.021	10,307	0.045
수산업+육수상운송	2,122	2,130	0.382	2,167	2.140
기타농림수산업	23	23	-0.054	23	-0.242
광산품	130,803	130,788	-0.012	130,717	-0.066
음식료품	15,970	15,972	0.017	15,982	0.081
섬유 및 가죽제품	17,206	17,205	-0.007	17,200	-0.036
목재 및 종이제품	6,243	6,242	-0.002	6,242	-0.010
인쇄 및 복제	472	472	-0.002	472	-0.007
석유 및 석탄제품	33,277	33,272	-0.014	33,251	-0.078
화학제품	54,975	54,972	-0.006	54,958	-0.031
비금속광물제품	6,822	6,823	0.016	6,828	0.089
제1차금속제품	51,478	51,477	-0.002	51,472	-0.012
금속제품	7,201	7,201	-0.004	7,199	-0.020
일반기계	42,378	42,377	-0.004	42,370	-0.020
전기 및 전자기기	83,086	83,084	-0.003	83,073	-0.017
정밀기기	14,581	14,581	-0.004	14,578	-0.021
수송장비	23,231	23,229	-0.009	23,219	-0.049
기타제조업제품	4,947	4,947	-0.002	4,947	-0.008
전력,가스및수도	210	210	-0.016	210	-0.084
건설	9	9	-0.004	9	-0.024
도소매	2,749	2,749	-0.007	2,748	-0.034
음식점 및 숙박	9,158	9,159	0.009	9,162	0.044
기타운송 및 관련서비스	20,604	20,602	-0.011	20,592	-0.061
통신 및 방송	2,568	2,568	-0.015	2,566	-0.082
금융 및 보험	4,837	4,836	-0.018	4,832	-0.094
기타서비스	43,152	43,147	-0.011	43,126	-0.061

<표 7>는 홍수피해의 외생적 충격이 가해지는 당해연도에 거시경제변수들의 감소를 보여준다. 홍수피해는 GDP에 대해 벤치마크 해 대비 0.008%～0.041% 감소시키며, 수요 구성 항목별로는 가계소비, 투자, 정부지출이 각각 0.012%～0.063%, 0.003%～0.020%, 0.003%～0.014% 감소하는 것으로 분석되었다. 한편 거시경제변수들 감소를 외생적인 자본감소로 나누어 계산하면, GDP는 자본감소의 약 11%만큼 감소하며 이 중에서 소비 감소가 약 9%로 가장 많이 차지하고 다음으로 투자가 1.4%～1.6% 감소하는 것으로 나타났다.

〈표 7〉 거시경제변수 변화

	기준해 (십억)	시나리오 1(평균)			시나리오 2(최대)		
		수준 (십억)	증감률 (%)	외생적 충격대비 증감률 (%)	수준 (십억)	증감률 (%)	외생적 충격대비 증감률 (%)
GDP	1,173,275	1,173,185	-0.008	11.165	1,172,792	-0.041	11.405
소비	616,986	616,913	-0.012	9.155	616,597	-0.063	9.187
투자	347,683	347,672	-0.003	1.404	347,615	-0.020	1.608
정부지출	178,394	178,389	-0.003	0.606	178,368	-0.014	0.610

마지막으로 <표 8>은 2030년까지 시간에 걸친 GDP 파급효과의 동태적 변화를 보여준다. 홍수피해에 따른 외생적인 자본감소 충격이 가해진 기준년도부터 GDP감소가 시작해서 말기인 2030년까지 GDP감소가 지속되는 것으로 분석되어서, 홍수피해가 자본감소의 경로를 거칠 경우 그 영향력이 지속적일 수 있음을 보여준다.

〈표 8〉 GDP파급효과의 동태적 변화

연도	시나리오 1(평균)			시나리오 2(최대)		
	(십억원)	증감률 (%)	외생적 충격대비 증감률 (%)	(십억원)	증감률 (%)	외생적 충격대비 증감률 (%)
2010	-90	-0.008	11.165	-483	-0.041	11.405
2011	-86	-0.007	10.659	-453	-0.037	10.685
2012	-83	-0.007	10.330	-439	-0.035	10.355
2013	-80	-0.006	10.010	-425	-0.032	10.034
2014	-78	-0.006	9.700	-412	-0.030	9.723
2015	-76	-0.005	9.398	-399	-0.028	9.421
2016	-73	-0.005	9.105	-387	-0.026	9.127
2017	-71	-0.005	8.821	-375	-0.025	8.842
2018	-69	-0.004	8.544	-363	-0.023	8.565
2019	-66	-0.004	8.275	-352	-0.021	8.295
2020	-64	-0.004	8.014	-340	-0.020	8.033
2021	-62	-0.004	7.759	-330	-0.019	7.778
2022	-60	-0.003	7.512	-319	-0.017	7.529
2023	-58	-0.003	7.270	-309	-0.016	7.287
2024	-57	-0.003	7.035	-299	-0.015	7.052
2025	-55	-0.003	6.806	-289	-0.014	6.822
2026	-53	-0.002	6.582	-280	-0.013	6.598
2027	-51	-0.002	6.364	-270	-0.012	6.379
2028	-49	-0.002	6.150	-261	-0.011	6.165
2029	-48	-0.002	5.941	-252	-0.011	5.955
2030	-46	-0.002	5.737	-244	-0.010	5.750

IV. 결 론

본 연구는 홍수피해가 관련 산업부문의 자본을 감소시킬 경우 국가경제에 미치는 파급효과를 완전예측형 동태CGE모형을 이용하여 2010년을 기준연도로 분석하였다. 여러 홍수피해 항목들 중에서 통계자료가 확보될 수 있는 농경지, 선박, 공공시설의 물적 피해 항목에 분석을 한정하였으며 첫째 항목의 홍수피해는 농임업의 자본감소로 그리고 둘째와 셋째 항목의 홍수피해는 수산업+운송업의 통합된 산업부문의 자본감소로 가정하였다. 홍수피해의 시나리오는 1991년～2010년 기간 홍수피해를 2010년 기준으로 불변화하여 항목별 홍수피해의 평균을 채택하였고 보조적으로 기후변화에 따른 홍수피해가 증가하는 추세를 반영하여 같은 기간의 최댓값도 시나리오로서 고려하였다.

분석 결과, 산업별 생산의 경우에는 자본스톡이 직접적으로 감소하는 수산업+운송업과 농임업의 생산감소율이 큰 것으로 나타났다. 한편 자본스톡이 직접 감소하지 않는 산업들 중에는 기타농림수산업과 음식료품이 농임업과 거의 비슷한 감소율로 생산의 영향을 받는 것으로 나타났다. 반면에 전기 및 전자기기, 기타운송 및 관련서비스 등은 생산이 증가하는 것으로 분석된다. 산업부문별 가격은 전 부문에서 증가하는 것으로 나타났는데 수산업+운송업과 농임업의 가격이 가장 크게 영향을 받았다. 수입의 경우는 산업별로 증감 방향이 다르게 나타났다. 자본스톡이 직접적으로 감소하는 수산업+운송업과 농임업의 경우 수입이 증가하는 것으로 나타났으며 특히 자본스톡 감소폭이 가장 큰 수산업+운송업의 수입증가율이 평균 시나리오에서는 0.382% 그리고 최대 시나리오에서는 2.140%로서 산업부문 중 증감률 절대값 크기가 가장 높았다. 반면에 기타농림수산업은 수입이 감소하는 산업부문 중 감소율이 가장 컸다. GDP는 충격 기준연도에 벤치마크 해 대비 0.001%～0.041% 감소하는 것으로 분석되었고, 초기 자본감소 대비로는 자본감소의 약 11%만큼 감소하며 수요 구성항목으로는 소비 감소가 약 9%로 가장 많이 감소하고 다음으로 투자가 1.3%～1.6% 감소하는 것으로 나타났다.

홍수를 포함한 자연재해가 발생할 경우 진행과정은 피해발생-보상-복구의 3단계로 이루어진다. 직접적인 피해발생이 경제에 미치는 파급효과는 이들 세 단계에서

지속되는 기간이나 방식에 따라 달라진다. 예를 들어서 피해발생이 어느 정도 지속되는지, 정부와 보험의 보상시점과 보상방식, 그리고 복구가 시작되는 시점과 완료되기까지 걸리는 기간에 따라 총 파급효과는 크게 달라질 것이다. 이번 연구는 홍수피해에만 초점을 맞추어 파급효과를 분석하였으며, 보상과 복구를 같이 포함하는 분석은 세밀한 시나리오의 개발을 필요로 하며 향후 별도의 연구에서 다룰 계획이다. 또한 홍수피해의 내용에 따라 정부 지원이 필요한 경우와 그렇지 않은 경우로 구분할 수 있기 때문에, 정부 지원이 필요한 홍수피해의 유형을 따로 분리해서 가격보조나 법인세 등의 지원효과를 분석하는 것도 흥미로운 연구주제일 것이다.

본 연구는 국내에서는 홍수를 포함하여 자연재해 파급효과분석에 처음으로 다부문모형을 적용하여 분석하는 연구이다. 외국에서는 다양한 산업연관분석모형과 CGE모형이 개발되어 적용되고 있고 분석에 사용되는 시나리오도 다양한 상황에 대해 개발되어 있다. 우리나라에서도 지구온난화와 기후변화에 따라 자연재해의 강도와 발생빈도가 빠르게 증가하고 있기 때문에 향후 자연재해의 파급효과 분석을 위해 다양한 모형과 시나리오 개발이 요구되며 본 연구는 이에 대한 출발점을 제공한다는 점에서 기여한다.

[References]

1. 김영덕·조경엽, “수도권 공공기관 지방이전의 경제적 효과,”『경제학연구』, 제54집, 제2호, 2006, pp. 143～183.
2. 김용주·유용성, “팔당호 및 한강 수질개선의 비시장가치 측정: 속성가치측정법을 이용하여,”『자원환경경제연구』, 제14권, 제2호, 2005, pp. 337～381.
3. 김태정, “인구 고령화의 파급영향 및 대응방향 : 노동공급 및 연금제도를 중심으로,” 한국은행 Working Paper 제459호, 2011.
4. 김홍배·김재구, “우리나라의 지역별 수자원정책 수립에 관한 연구-4대강 유역을 중심으로,”『지역연구』, 제27권, 제3호, 2011, pp. 61～80.
5. 박태선·김광묵·윤양수·이승복, “홍수피해특성 분석 및 홍수피해지표 개발에 관한 연구,” 국토연구원 Working Paper 2005-6, 2005.

6. 신동천, “수입재와 국내재의 대체탄력성에 관한 연구”『경제학연구』, 제 44집, 제 2호, 1996, pp. 101～118.
7. 신동천,『국제무역의 연산균형 분석』, 세경사, 1999.
8. 오인하, “배출규제가 탄소누출에 미치는 영향 분석 및 전망 - 소비 관점의 탄소회계와 국경조치의 영향을 중심으로,” 에너지경제연구원, 2012.
9. 오진규·조경엽, “지속가능한 개발을 위한 에너지·탄소세 활용방안 연구,” 에너지경제연구원, 2001.
10. 장인성, “인구 고령화를 반영한 연금 및 세제개편 효과 분석,” 국회예산정책처, 2009.
11. 정기호·김재현, “CGE모형을 이용한 다목적댐 운영의 경제파급효과 분석: 용수공급 기능을 중심으로”『자원환경경제연구』, 제21권, 제1호, 2012, pp. 129～156.
12. 정기호, “안정적 수자원관리의 리스크 프리미엄 : 소양강댐 사례”『경제연구』, 제30권, 제1호, 2012, pp. 69～86.
13. 조경엽, “국가온실가스 감축목표 평가와 시사점,” 한국경제연구원, 2010.
14. 표학길, “한국의 산업별・자산별 자본스톡추계(1953～2000),”『한국경제의 분석』, 제9권, 제1호, 2003, pp. 203～282.
15. 표학길·정선영·조진삼, “한국의 총고정자본형성, 순자본스톡 및 자본계수추계: 11개 자산-72부문(1970～2005),”『한국경제의 분석』, 제13권, 제3호, 2007, pp. 137～191.
16. Armington, P., “A Theory of Demand for Products Distinguished by Place of Production,” *IMF Staff Papers*, 16, 1969, pp. 159～178.
17. Babiker, M., A. Gurgel, S. Paltsev, and J. Reilly, “A Forward Looking Version of the MIT Emissions Prediction and Policy Analysis (EPPA) Model,” *MIT Joint program on the Science and Policy of Gobal Change*, 161, 2008.
18. Babiker, M., A. Gurgel, S. Paltsev, and J. Reilly, “Forward-looking versus Recursive-dynamic Modeling in Climate Policy Analysis: A Comparison,” *Economic Modeling*, 26, 2009, pp. 1341～1354.
19. Balistreri, E. J., “Operationalizing equilibrium unemployment: A general equilibrium external economies,” J*ournal of Economic Dynamics and Control*, 26, 3, 2002, pp. 347～374.
20. Berck, P., S. Robinson, and G. Goldman, “The Use of Computable General Equilibrium Models to Assess Water Policies,” *University of California at Berkeley, Department of Agricultural and Resource Economics*, Working Paper No 545, 1990.

21. Berstein, P., W. Montgomery, and T. Rutherford, “Global Impacts of the Kyoto Agreement: Results from MS-MRT Model,” *Resource and Energy Economics*, 21, 1999, pp. 375～413.
22. Berrittella, M., A. Hoekstra, K. Rehdanz, R. Roson, and R. Tol, “The Economic Impact of Restricted Water Supply: A Computable General Equilibrium Analysis,” *Water Research,* 42, 2007, pp. 1799～1813.
23. Bockarjova, M., A. Steenge, and A. Van Den Veen, “On Direct Estimation of Initial Damage in the Case of Major Catastrophe,” *Disaster Prevention and Management*, 13, 2004, pp. 330～336.
24. Booysen, H., M. Viljoen, and G. de Villiers, “Methodology for the Calculation of Industrial Flood Damage and Its Application to an Industry in Vereeniging,” *Water,* 25, 1999, pp. 41～46.
25. Bovenberg, A. L. and L. H. Goulder, “Neutralizing the Adverse Industry Impacts of CO_2 Abatement Policies: Does It Cost?,” *Behavioral and Distributional Effects of Environmental Policy Chapter 2.*, 2001, pp. 45～90.
26. Breisinger, C., O. Ecker, R. Thiele, and M. Wiebelt, “The Impact of the 2008 Hadramout Flash Flood in Yemen on Economic Performance and Nutrition: A Simulation Analysis,” *Kiel Working Papers*, 1758, 2012.
27. Brouwer, R., M. Hofkes, and V. Linderhof, “General Equilibrium Modelling of the Direct and Indirect Economic Impacts of Water Quality Improvements in the Netherlands at National and River Basin Scale,” *Ecologocal Economics,* 66, 2008, pp. 127～140
28. BRTE(Bureau of Transport and Regional Economics), Economic Costs of natural Disasters in Australia, Canberra: Paragon Printers, 2001.
29. Cochrane, H., “Economic Loss: Myth and Measurement,” *Disaster Prevention and Management*, 13, 2004, pp. 290～296.
30. Diao, X., J. Rattso, and H. E. Stokke, “International spillovers, productivity growth and openness in Thailand: an intertemporal general equilibrium analysis,” *Journal of Development Economics*, 76, 2005, pp. 429～450.
31. Dixon, P. and D. Joregenson, *Handbook of Computable General Equilibrium Modeling*, Elsevier: Boston, 2013.

32. Ewing, B., J. Kruse, and D. Sutter, “Hurricanes and Economic Research: An Introduction to the Hurricane Katrina Symposium,” Southern Economic Journal, 74, 2007, pp. 315～325.
33. Goulder, L. and S. Schneider, “Induced Technological Change and the Attractiveness of CO_2 Abatement Policies,” *Resource and Energy Economics*, 21, 1999, pp. 211～253.
34. Haddad, E. and E. Teixeira, “Economic Impacts of Natural Disaters in Megacities: The Case of Floods in Sao Paulo, Brazil,” *The University of Sao Paulo*, Working Paper, 2013.
35. Haimes, Y. and P. Jiang, “Leontief-based Model of Risk in Complex Interconnected Infrastructure,” *Journal of Infrastructure Systems*, 7, 2001, pp. 1～12.
36. Hallgegatte, S., “An Adaptive Regional Input-output Model and Its Application to the Assessment of the Economic Cost of Katrina,” Working Paper, Ecole Nationale de la Meteorologie.
37. van Heerden, J. H., J. Blignaut, and M. Horridge, “Integrated Water and Economic Modelling of the Impacts of Water Market Instruments on the South African Economy,” *Ecological Economics*, 66, 2008, pp. 105～116.
38. Ianchovichina, E. I. and R. A. McDougall, “Theoretical Structure of Dynamic GTAP.,” *GTAP Technical Paper*, 17, 2000.
39. Jorgenson, D. W. and P. J. Wilcoxen, “Reducing U.S. Carbon Emissions: An Econometric General Equilibrium Assessment,” *Resource and Energy Economics*, 15, 1993, pp. 7～25.
40. Lee, H., J. Oliverira-Martins, and D. Mensbrugghe, “The OECD Green Model: An Updated Overview,” *OECD Development Centre, Working Paper*, 97, 1994.
41. Messner, F. and V. Meyer, “Flood Damage, Vulnerability and Risk Perception,” in J. Schanze, E. Zeman and J. Marsalek (eds.), Flood Risk management, New York: Springer, 2006.
42. Okuyama, Y., “Modeling Spatial Economic Impacts of an Earthquake: Input-output Approaches,” *Disaster Prevention and Management*, 13, 2004, pp. 297～306
43. Otto, V. M., A. Loschel, and R. Delink, “Energy biased technical change: A CGE analysis,” *Resource and Energy Economics*, 29, 2007, pp. 137～158.

44. Otto, V. M. and J. M Reilly, “Directed technical change and the adoption of CO_2 abatement technology: The case of CO_2 capture and storage,” *Energy Economics*, 30, 2008, pp. 2879～2898.
45. Parker, D., C. Green, and P. Thompson, Urban Flood Protection Benefits, Aldershot: Gower, 1987.
46. Rose, A. and G. Guha, “Computable General Equilibrium Modeling of Electric Utility Lifeline Losses from Earthquakes,” in Y. Okuyama and S. Chang (eds.), *Modeling the Spatial and Economic Impacts of Disasters*, Heidelberg: Springer, 2004.
47. Rosqvist, T. and A. Perrels, “Vulnerability and Adaptation Assessment of Flood Prone Areas,” *2nd Nordic International Conference on Climate Change Adaptation*, Helsinki, 2012.
48. Rutherford, T., “Applied General Equilibrium Modeling,” Ph.D. thesis, Department of Operations Research, Stanford University, 1987.
49. Rutherford, T., “Applied General Equilibrium Modeling with MPSGE as a GAMS Subsystem: An Overview of the Modeling Framework and Syntax,” *Computational Economics*, 14, pp. 1～46, 1999.
50. Rutherford, T., “Dynamic General Equilibrium with GAMS/MPSGE,” UNSW Workshop, 2004.
51. Simola, A., A. Perrels, and J. Honkatukia, “Extreme Weather Events in Finland: A Dynamic CGE Analysis of Economic Effects,” the 14th Annual Conference on Global Economic Analysis.
52. Strzepek, K. M., G. W. Yohe, R. S. J. Tol, and M. W. Rosegrant, “The Value of the High Aswan Dam to the Egyptian economy,” *Ecological Economics*, 66, 2008, pp. 117～126.
53. Tezuka, S., H. Takiguchi, S. Kazama, A. Sato, S. Kawagoe, and R. Sarukkalige, “Estimation of the Effects of Climate Change on Flood-triggered Economic Losses in Japan,” *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 9, 2014, pp. 58～67.

[Appendice]

부록 1. 모형의 수식 구조

1) 생산부문

t기의 i산업의 단위생산함수는 국내재(XD_{it}) 및 수입재(XM_{it})의 CES 함수로 구성된 중간재투입(XT_{it})과 본원적 생산요소투입의 CES함수로 구성된 부가가치(VA_{it})의 Leontief 함수이다. 국내재(XD_{it})는 중간투입재들($ddfm_{j,it}$)의 Leontief 함수로 가정된다. 그리고 γ는 CES 함수의 모수이며 ρ는 CES 함수의 대체탄력성을 의미한다. 각 생산함수에 따라 모수와 대체탄력성을 상첨자를 통해 다르게 표기하였으며 하첨자를 통해 산업에 따른 구분을 명시하였다. 그리고 L_{it}은 노동수요량을, K_{it}는 자본수요량을 의미한다.

$$Y_{it} = \min[\frac{XT_{it}}{\alpha_{XT,it}}, \frac{VA_{it}}{\alpha_{VA,it}}]$$

$$XT_{it} = \gamma_{T,it}[\alpha_{T,it} XD_{it}^{\rho_d} + (1-\alpha_{T,it}) XM_{it}^{\rho_d}]^{\frac{1}{\rho_d}}$$

$$XD_{it} = \min[\frac{ddfm_{1,it}}{\alpha_{1,it}}, ..., \frac{ddfm_{n,it}}{\alpha_{n,it}}]$$

$$VA_{it} = \gamma_{v,}it[\alpha_{L,}itL_{it}^{\rho} + (1-\alpha_{L,}it)K_{it}^{\rho}]^{\frac{1}{\rho}}$$

생산자는 비용최소화에 의해 최적 투입물의 양을 결정한다. 아래에서 ps_{jt}는 중간투입재의 가격을, pm_{it}은 수입재의 가격을, w_t는 임금을 그리고 r_t는 자본가격을 의미한다.

$$Min. \sum_{j=1}^{n} ps_{jt} ddfm_{j,it} + pm_{it} XM_{it} + w_t L_{it} + r_t K_{it}$$

$$s.t.\ \ Y_{it} = \min[\frac{XT_{it}}{\alpha_{XT,it}}, \frac{VA_{it}}{\alpha_{VA,it}}]$$

$$XT_{it} = \gamma_{T,it}[\alpha_{T,it}XD_{it}^{\rho_d} + (1-\alpha_{T,it})XM_{it}^{\rho_d}]^{\frac{1}{\rho_d}}$$

$$XD_{it} = Min[\frac{ddfm_{1,it}}{\alpha_{1,it}}, ..., \frac{ddfm_{n,it}}{\alpha_{n,it}}]$$

$$VA_{it} = \gamma_{v,it}[\alpha_{L,it}L_{it}^{\rho} + (1-\alpha_{L,it})K_{it}^{\rho}]^{\frac{1}{\rho}}$$

비용최소화 문제에 의해 결정되는 생산자의 단위 비용함수는 다음과 같이 나타낼 수 있다. 단, $\sigma = 1/1+\rho$은 비용함수의 대체탄력성을 표시한다.

$$Cost_{it}^{Y} = [\{ \frac{1}{\gamma_{y,it}}(\sum_{j=1}^{n}\alpha_{n,it}^{\sigma_d}ddfm_{j,it}^{1-\sigma_d} + \alpha_{m,it}pm_{it}^{\sigma_d})^{\frac{1}{1-\sigma_d}} \}^{\sigma} + \{ \frac{1}{\gamma_{v,it}}(\alpha_{L,it}^{\sigma_v}p_{LK,t}^{1-\sigma_v} + (1-\alpha_{L,it})p_{W,t}^{1-\sigma_v})^{\frac{1}{1-\sigma_v}} \}^{\sigma}]^{\frac{1}{1-\sigma}}$$

생산은 국내재 생산과 수출재 생산으로 구성되며 이는 CET 함수를 통해 다음과 같은 불완전 대체관계로 표현된다.

$$Y_{it} = \gamma_{EX,it}[\alpha_{EX,it}XD_{it}^{\rho_{EX}} + (1-\alpha_{EX,it})XE_{it}^{\rho_{EX}}]^{\frac{1}{\rho_{EX}}}$$

국제무역에 대한 CET 가정은 고전적 무역이론이 설명하지 못하는 동일재화에 대한 수출재와 국내재의 생산에 대해 설명해준다.

2) 가계부문

완전예측 동태모형에서 가계의 소비행위는 다음과 같은 무한기간하에서의 동태적 효용극대화에 의해 결정되는 것으로 가정된다.

$$Max. \quad \sum_{t=0}^{\infty}\frac{U(C_t)}{(1+\beta)^t}$$

$$s.t. \quad \sum_{t=0}^{\infty} pc_t C_t + \sum_{t=0}^{\infty}\sum_{i=1}^{n} pd_{it} ID_{it} + \sum_{t=0}^{\infty} Tax_t = \sum_{t=0}^{\infty} w_t \omega_t^L + \sum_{t=0}^{\infty} r_t \omega_t^K + \sum_{t=0}^{\infty} Tr_t$$

단, β: 시간선호율

가계의 소비함수는 아래와 같이 가계 소비재의 CES 함수로 구성되며, 가계의 소비재는 국내재와 수입재의 불완전 대체재로 가정한다.

$$C_t = \gamma_{c,t}[\sum_{i=1}^{n} \alpha_{c,it} XD_{it}^{\rho_c} + (1-\sum_{i=1}^{n} \alpha_{c,it}) XM_{it}^{\rho_c}]^{\frac{1}{\rho_c}}$$

3) 정부부문

t기의 정부지출 함수는 국내소비재의 CES 함수로 구성되며, 정부는 기간별로 예산균형을 달성하는 것으로 가정하였다.

$$G_{rt} = \gamma_{g,t}[\sum_{i=1}^{n} \alpha_{g,it} XD_{it}^{\rho_g}]^{\frac{1}{\rho_g}}$$

$$pg_t G_t = Tr_t - S_{g,t}$$

단, Tr_t:조세수입, $S_{g,rt}$:정부저축

4) 자본축적 및 투자부문

자본은 시점 간에 걸쳐 축차적으로 축적되는 것으로 가정한다.

$$K_t = (1-\delta)K_{t-1} + I_t$$

δ는 감가상각률을 의미한다.

5) 동태적 모형의 말기조건(Terminal Condition)

완전예측 동태모형의 경우 무한 기간에서의 동태적 효용극대화를 가정한다. 그러나 무한시점에 대한 수치적 해를 구할 수 없으므로 말기를 설정하고 말기조건에 대한 적절한 가정을 제약조건으로 추가하게 된다.

본 연구는 Rutherford(2004)를 따라 균제상태(steady state)에서의 말기 조건을 다음과 같이 설정한다.

$$\frac{I_T}{I_{T-1}} = \frac{C_T}{C_{T-1}}$$

이때 T는 모형내에서의 말기(Terminal Period)를 의미하며, 위 식은 무한시간 조건하에서 도출되는 균형과 아주 근접한 값을 가질 수 있도록 부과하는 조건으로 해석된다.

부록 2. 산업분류

통합번호	부문명	기본부문 분류 번호
1	농업, 축산업, 임업	1-26
2	수산업+육수상운송	27-28, 327-330, 332
3	기타농림수산업	29
4	광산품	30-44
5	음식료품	45-84
6	섬유 및 가죽제품	85-113
7	목재 및 종이제품	114-128
8	인쇄 및 복제	129-130
9	석유 및 석탄제품	131-141
10	화학제품	142-171
11	비금속광물제품	172-187
12	제1차 금속제품	188-208
13	금속제품	209-219
14	일반기계	220-239
15	전기 및 전자기기	240-267
16	정밀기기	268-273
17	수송장비	274-287
18	기타제조업제품	288-297
19	전력, 가스 및 수도	298-304
20	건설	305-320
21	도소매	321-322
22	음식점 및 숙박	323-326
23	기타운송 및 관련서비스	331, 333-340
24	통신 및 방송	341-347
25	금융 및 보험	348-353
26	기타서비스	354-403