

지진의 지역경제 손실 추정*

- 공간연산일반균형의 응용 -

김익준**, 이호준***, 진동영****, 김별이*****, 지양민*****, 윤동근*****

우리나라에 지진의 발생이 증가함에 따라서 지진으로 인한 피해 및 예방에 대한 관심이 증대되고 있다. 본 연구에서는 공간연산일반균형모형을 개발하여 지역 지진 발생이 지역별로 얼마나 경제적 손실을 가져 오는지를 분석하였다. 여기서 손실이란 지진발생 후 생산시설 파손이 물류비용과 재화 가격을 상승시켜 생산과 소비과정에서 감소한 부가가치 변화량으로 정의하였다. 공간연산일반균형모형은 기초자치단체 단위의 지역 생산자-소비자 모형으로서 지역 생산자의 이윤 극대화과 소비자의 효용 극대화 과정을 통해서 재화 생산량과 가격, 고용과 임금, 자본 수요와 수익률 등의 균형 값을 내생적으로 도출할 수 있다. 공간 연산일반균형모형을 적용하기 위한 기초자료로 광역시도 지역산업연관표와 국민계정자료를 바탕으로 추산된 228개 기초자치단체 단위의 확장된 지역산업연관표를 이용하였다. 의태분석을 위한 외생적 충격 대상지역은 강한 지진이 발생하였던 경주시, 익산시, 여주시, 무주군이며 해당 지역과 인접지역의 생산시설 이 2% 파손한 것을 가정하였다. 의태분석 결과, 지진으로 인한 특정 지역의 생산시설 감소는 지진의 직접피해지역에 가장 큰 부가가치 감소를 유발하였을 뿐만 아니라 전국적으로도 부가가치를 감소시켰다. 전국적인 부가가치 감소율을 시나리오별로 비교하면, 경주시, 익산시, 여주시, 무주군 순서로 지진의 경제적 손실이 큰 것으로 나타났다. 이 연구는 지진과 같은 자연재난이 발생하였을 때 재난으로 인해 예상되는 피해를 지역별로 분석하여 지역별 방재 예산 배분 및 활용의 효율성을 제고하는데 기여할 수 있고, 궁극적으로 방재 예산투자의 우선순위를 선정하는데 도움을 줄 수 있을 것이다.

주제어 : 지진, 지역경제, 공간연산일반균형모형, 공간 파급효과

I. 문제의 제기

기상청이 발표하는 ‘국내지진 발생추이’에 따르면 우리나라 지진 발생은 2016년 경주지진 발생 이후 급격하게 늘었다¹⁾. 예로 국내에서 발생한 규모 2.0 이상

* 본 연구는 국토교통부 건설기술연구사업의 연구비지원(20SCIP-B146946-03 연구사업)에 의해 수행되었습니다.

** 서울대학교 농경제사회학부 교수 및 농업생명과학연구원 겸무연구원(Tel: 02-880-4742, E-mail: euijune@snu.ac.kr)

*** 교신저자, 서울대학교 농경제사회학부 석사과정(Tel: 02-880-4749, E-mail: dlghwnsdlekd@naver.com)

**** 서울대학교 농경제사회학부 석사과정(Tel: 02-880-4749, E-mail: jdy8131@snu.ac.kr)

***** 서울대학교 농경제사회학부 박사수료(Tel: 02-880-4749, E-mail: bakim@snu.ac.kr)

***** 서울대학교 농경제사회학부 박사수료(Tel: 02-880-4749, E-mail: minmin@snu.ac.kr)

***** 연세대학교 도시공학과 교수(Tel: 02-2123-5893, E-mail: dkyoon@yonsei.ac.kr)

의 지진 발생 총 횟수를 살펴보면, 2014년 49회, 2015년 44회에서 2016년 252회, 2017년 223회, 2018년 115회, 2019년 99회로 급증하였다. 특히 중규모의 지진 발생 또한 뚜렷이 늘어나고 있다. 기상청의 규모별 지진현황을 살펴보면, 규모 5.0 이상의 지진이 1978년부터 2015년까지 6회 발생한 반면 2016년 3회, 2017년 1회로 연이어 발생하였고, 규모 3.0 이상의 지진은 2016년 30회를 정점으로 2017~2019년 평균 11회로 비교적 낮은 빈도수를 보였다. 나아가 규모 2.0 미만의 경미한 지진까지 범위를 넓혀 살펴보면, 2016년 218회를 최고점으로 2017년 204회, 2018년 110회, 2019년 74회 등 2016년 이전 평균 22회에 비해 확연하게 증가함을 볼 수 있다. 또한 사람이 지진동을 체감한 유감지진의 경우도 2015년까지 22회 이하였던 것이 2016년 55회, 2017년 98회, 2018년 33회, 2019년 16회로 증가하였다. 기상청의 지진규모 상위 발생지역을 살펴보면, 인천 백령도와 충남, 충북의 소수 지역을 제외하고는 대부분 경북과 전남 지역으로 나타났다. 규모가 큰 지진은 경북 지역의 경주, 포항과 전남 지역의 해남, 신안에 집중된 반면, 최근에는 큰 규모의 지진의 여파로 영덕, 동해, 울진 등 동해 지역에서도 빈번하게 발생하는 등 보다 넓은 지역에서 발생하고 있다. 이러한 점에서 지진 피해 예방 및 방지를 위해서는 공간적 분포 및 요인을 고려할 필요가 있다.

지진재해로 인한 피해는 인명피해와 재산피해로 나타난다. 행정안전부가 매년 발간하는 재해연보에 따르면, 대설, 풍랑, 강풍, 지진 등 자연재해 피해액은 2017년 기준 약 4조원에 달한다. 특히 2017년 11월 포항지진의 피해액의 경우, 정부 발표에 따르면 673억 원으로 집계되었는데, 이 중 학교, 항만시설, 도로, 상·하수도 등 공공시설 296건이 총 피해액의 89%에 해당하였다. 더불어 부상자 135명, 이재민 1,797명과 함께 2만 여명의 지진 피해 복구를 위한 투입인력, 이웃지역 피해 등 간접적인 피해도 크게 나타났다. 이에 따라 실질적인 지진 피해 산정을 위해서는 직접적 피해 외에 간접적 피해도 감안되어야 한다.

정부는 지속적으로 증가하는 재해의 빈도와 피해를 예방하고 대응 역량을 높이고자, 예방 중심 재난관리 비용을 2019년 대비 10% 증액된 17.5조 원 예산을 확보하였으며, 연구개발 사업을 제외한 410개 재난 및 안전관리사업을 대상으로 투자 우선순위를 검토하였다. 해당 사업에는 재난, 태풍, 미세먼지 등 기후변화 재난 외에 코로나19와 같은 신종 감염병 대처 등도 포함되었으며, 지진과 관련하여 지진경보시스템 고도화 및 내진 보강, 도로·철도 등 노후 기반시설의 개량 및 강화를 위한 사업 등에 투자 지출을 확대하고 있다. 예산 제약을 고려할 때,

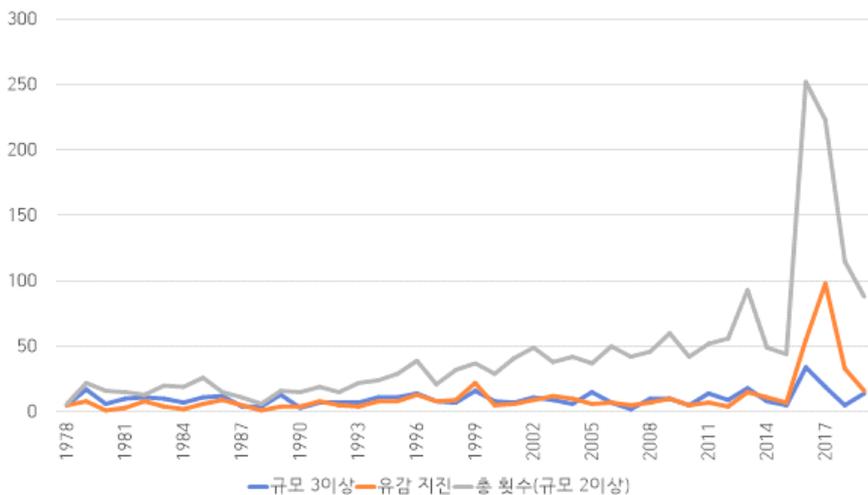
1) 한국은 2011년 동일본 대지진 이후 지진 발생 수가 증가하는 추세에 있다.

방재 예산은 재난 피해의 심각성과 예산 투자의 효과성·효율성을 고려하여 지역별로 배분되어야 하는데, 특히 재난관리 사전예방 단계에 투자 비중을 높일 필요가 있다.

본 연구의 목적은 공간연산일반균형(Spatial Computable General Equilibrium, SCGE) 모형을 개발하여 주요 재난 발생 지역의 지진이 경제적 손실에 미치는 영향을 분석하는데 있다. SCGE 모형은 공간적 접근성과 지역 간 경제활동의 상호작용을 이용하여 경제 효과의 공간적인 파급효과를 측정하고 평가할 수 있는 장점이 있다. 이 연구의 방법론과 결과물은 방재 예산 배분 및 활용의 효율성을 제고하는 데 기여할 수 있고, 궁극적으로 방재 예산투자의 우선순위를 선정하는데 도움을 줄 수 있을 것이다.

II. 국내 지진 현황

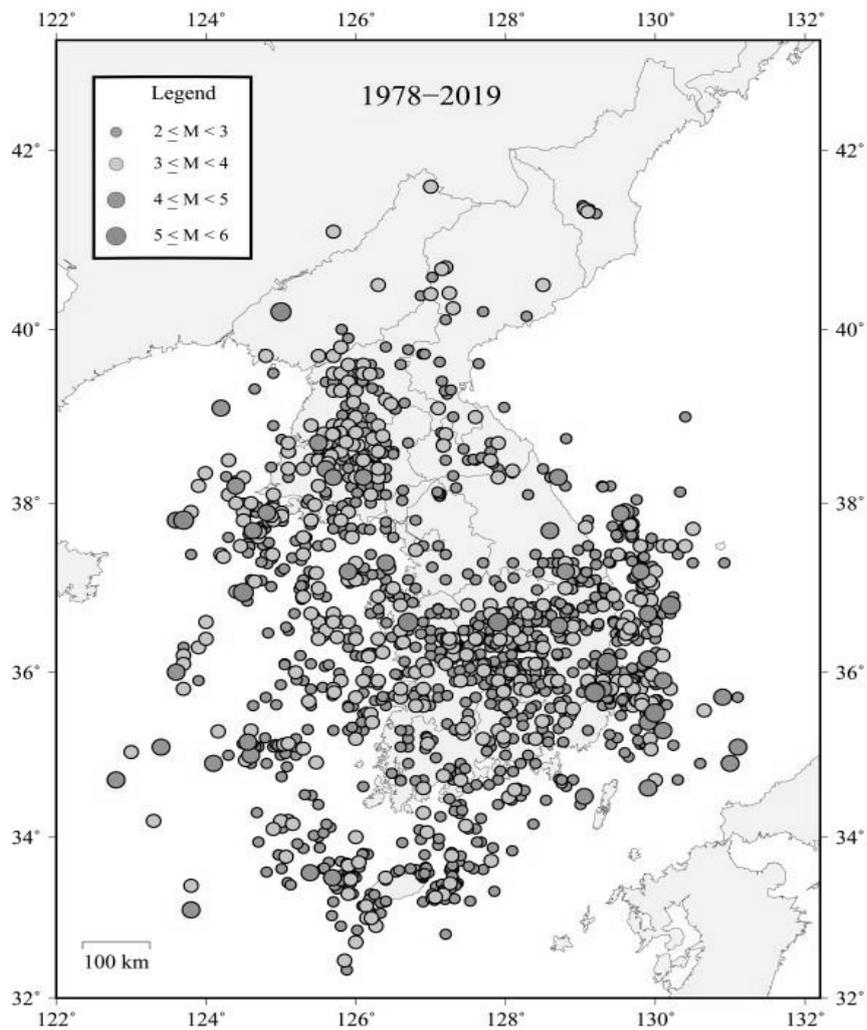
1978년 기상청에서 지진계를 통한 지진 관측을 시작한 이후로 한반도 및 주변 해역에서 발생한 규모 2.0 이상의 지진 발생횟수는 1978~1998년에는 평균 19.1회였으나, 1999~2018년에는 평균 69.9회로 증가하였다. <그림 II-1>의 지진 발생 빈도 추이를 보면 2011년 동일본대지진 이후 지진 발생이 서서히 증가



출처: 기상청

<그림 II-1> 국내지진 발생 추이 (1978~2019년)

하다가 2016년과 2017년에 급격히 증가하였다. 2018년 이후로 지진 발생은 감소추세에 있지만, 관측된 시기의 전체 지진 발생 평균 횟수보다 많은 지진이 일어나 여전히 빈번히 지진이 발생하고 있다. 규모 3.0 이상의 지진과 사람이 체감할 수 있는 유감 지진의 발생 빈도는 2015년까지 비슷한 수준을 유지하였으나, 2016년 경주에서 규모 5.8의 지진이 발생하면서 지진 총 횟수가 252회로 급증하였으며 규모 3.0 이상 지진과 유감 지진의 발생 빈도 역시 증가하였다. 2017



출처: 기상청

〈그림 II-2〉 국내 진앙분포도 (1978~2019년)

년부터 2019년까지 지진 총 발생횟수가 평균을 초과하였으며 유감지진과 규모 3.0 이상 지진도 지속적으로 발생하였다. 과거에 비해 한반도 및 주변 해역에서 발생하는 지진이 빈번해지고 있으며 그 강도 역시 증가하는 양상을 보인다.

<그림 II-2>는 1978년부터 2019년까지 한반도 및 주변 해역에서 발생한 모든 지진의 발생 위치를 지진 규모와 함께 표시한 진앙 분포도이다. 전체적으로 평양 북부-황해도-서해로 이어진 축과 서해-포항으로 연결된 축이 오른쪽으로 기울어진 ‘ㄴ’자 모양을 이루고 있다. 이 두 축을 따라 상대적으로 많은 지진이 발생하였다(이희진, 2018). 규모 4.0 이상의 지진은 주로 영남 지역과 서해 상에서 발생하였으나, 충청이남 지역에서 진앙의 분포가 대부분 지역에 나타나고 있어 향후 어느 지역에서든지 대형 지진이 발생할 가능성을 고려할 필요가 있다.

<표 II-1>에서 정리한 국내에서 발생한 지진의 규모별 순위를 살펴보면 규모 5.0 이상의 지진이 국내에서 총 10회 발생하였다. 규모 5.0 이상의 지진이 발생하면 대부분의 사람들이 진동을 느끼며 무거운 가구가 움직이고 약한 건물의 경우 파손이 일어나는 등의 피해가 발생한다. 이 중 경북 지역 인근에서 6회 발생

<표 II-1> 국내지진 규모별 순위

순위	규모 (M)	발생연월일	진원시	진앙		
				위도 (° N)	경도 (° E)	발생지역
1	5.8	2016. 9. 12.	20:32:54	35.76	129.19	경북 경주시 남남서쪽 8.7km 지역
2	5.4	2017. 11. 15.	14:29:31	36.11	129.37	경북 포항시 북구 북쪽 8km 지역
3	5.3	1980. 1. 8.	08:44:13	40.2	125.0	북한 평안북도 삭주 남남서쪽 20km 지역
4	5.2	2004. 5. 29.	19:14:24	36.8	130.2	경북 울진군 동남동쪽 74km 해역
4	5.2	1978. 9. 16.	02:07:06	36.6	127.9	경북 상주시 북서쪽 32km 지역
6	5.1	2016. 9. 12.	19:44:32	35.77	129.19	경북 경주시 남남서쪽 8.2km 지역
6	5.1	2014. 4. 1.	04:48:35	36.95	124.50	충남 태안군 서격렬비도 서북서쪽 100km 해역
8	5.0	2016. 7. 5.	20:33:03	35.51	129.99	울산 동구 동쪽 52km 해역
8	5.0	2003. 3. 30.	20:10:53	37.8	123.7	인천 백령도 서남서쪽 88km 해역
8	5.0	1978. 10. 7.	18:19:52	36.6	126.7	충남 홍성군 동쪽 3km 지역

출처: 기상청

하였으며 북한, 충남, 인천, 전남 인근 해역 등지에서도 발생하였다. 2016년에 경주에서 관측사상 최대 규모인 규모 5.8의 지진이 발생하고 1년 만에 포항에서 두 번째 큰 규모인 규모 5.4의 지진이 발생하였다. 경주에서의 지진으로 인해 부상자 23명, 이재민 최대 78명, 재산피해액 110억 원, 복구비 145억 원의 피해가 발생하였으며, 포항에서의 지진으로 인해서는 부상자 135명, 이재민 최대 1,797명, 재산피해액 673억 원, 복구비 1,539억 원의 피해가 발생하였다. 포항지진의 경우 인구밀도가 경주보다 높은 도심지역에서 발생하였으며 고층건물이 많아 큰 피해를 유발하였다. 이처럼 큰 피해를 유발하는 대형 지진의 발생 가능성이 증가하면서 지진의 피해를 최소화하기 위한 사전적 대비와 신속한 피해 복구를 위한 정부의 종합적인 대응이 요구된다.

지진 안전지대로 여겨지던 우리나라는 2008년 쓰촨성 지진, 2011년 동일본대지진 등 주변국의 대규모 지진발생을 계기로 「지진·화산재해대책법」을 개정하여 2014년 8월부터 시행하였다. 이에 따라 지진방재 분야 최상위 계획으로, 「제1차 지진방재종합계획(2015~2019)」을 수립하였다. 이후 2016년 9월 12일 경주에서 지진이 발생한 후 우리나라도 더 이상 지진의 안전지대가 아니라는 인식이 확산되었고 종합적인 지진대책의 필요성이 제기되었다. 이에 따라 ‘지진방재 종합대책’을 수립하였다. 이러한 노력에도 불구하고 2017년 11월 15일 포항에서 또 한 번 대형 지진으로 인한 피해가 발생하면서 종합대책의 미비점을 개선하고 보완하기 위해 ‘지진방재개선대책’을 마련하였다. 앞선 두 번의 대책을 종합하고 정책발전이 필요한 부분을 보완하여 법정 계획으로서 「제2차 지진방재 종합계획(2019~2023)」을 1년 앞당겨 수립하였다(행정안전부, 2018).

그동안 대책을 통해 정부는 지진 정보의 신속한 예측과 전파를 위해 지진관측소를 확대하고 긴급재난문자의 발송 기준과 시간을 개선하였다. 또한, 지진으로 인한 피해를 최소화하기 위해 신규 시설물의 내진설계 의무대상 기준을 강화하였으며, 기존 공공시설물의 내진 보강을 통해 공공시설물의 내진율이 2015년 40.9%에서 2019년 67.2%로 상승하였다. 민간시설물에 대해서는 국세 및 재산세 감면, 견폐율·용적률 완화 등의 인센티브를 제공하고 있다. 그리고 지진피해 복구제도를 개선하여 피해자에 대한 지원금을 상향하고 임시주거시설 운영지침을 마련하였다.

지진으로 인한 피해의 대부분은 건축물 등 시설물의 붕괴로 인해 사회적·경제적 역할을 수행하지 못하거나 이를 복구하는 기간에 발생한다. 이러한 피해와 복구 비용을 최소화하기 위한 중요한 대비책 중의 하나가 신규 시설물에 대한

〈표 II-2〉 제2차 지진방재 종합계획 소요예산

과제명		연도별 투자계획 (단위: 억 원)					
		계	2019	2020	2021	2022	2023
총 예산		44,689	8,977	9,490	9,447	9,565	7,211
지진정보 전달체계 고도화	수요자 맞춤형 지진조기경보 체계 구축	265	70	64	76	42	13
	긴급재난문자 등 지진정보 전파체계 강화	106	27	30	27	18	5
지진 및 지진해일 대응역량 강화	맞춤형·체험형 지진 교육·훈련 실시	349	88	107	62	46	46
	지진 및 지진해일 대응시스템 개선	8,839	1,345	1,718	2,119	2,215	1,442
국가 내진율 향상	내진보강 투자 확대 및 기간 단축	33,850	7,140	7,268	6,901	7,039	5,502
	민간의 내진보강 촉진	31	23	2	2	2	2
이재민 구호 및 복구지원 강화	이재민 회복 지원	453	73	95	95	95	95
	지진 피해 지원 강화	0	0	0	0	0	0
지진방재 연구기반 확대	체계적 전국 활성단층 조사·연구	754	203	197	156	100	98
	지진방재 연구 및 국제협력 강화	43	8	9	9	9	9

출처: 행정안전부 제2차 지진방재 종합계획(2019~2023)

내진설계 및 기존 시설물에 대한 내진보강이다(국회예산정책처, 2017). 정부에서도 「제2차 지진방재종합계획(2019~2023)」의 총 예산 4조 4,689억 원 중 국가 내진율 향상을 위한 대책으로 3조 3,881억 원을 투자할 계획으로 가장 많은 예산을 투자하고 있다. 그 중 학교시설에 대한 내진보강이 2조 1,497억 원으로 가장 큰 비중을 차지하고 있다. 내진보강 다음으로는 방파제 건설 등 해안방재 대책 6,891억 원을 포함한 지진 및 지진해일 대응역량 강화 분야에 9,188억 원의 투자를 계획하고 있다. 그 뒤를 이어 지진방재 연구기반 확대 분야에 792억 원, 이재민 구호 및 복구지원 강화 분야에 453억 원, 지진정보 전달체계 고도화 분야에 371억 원의 예산 투입을 계획하고 있다.

Ⅲ. 지진 재난의 지역경제 효과 분석

1. 공간연산일반균형의 개발

1990년대 지진과 같은 자연 재난이 경제 전반에 미치는 영향은 대부분 투입산출모형을 이용하여 추정하였다. 투입산출모형은 직접 및 간접 효과 측면에서 국가 또는 지역 경제를 구성하는 생산 활동이 산업별로 어느 정도 위축되는지를 측정할 수 있는 장점이 있었는데, Rose (2004), Okuyama (2004), Okuyama (2008), Okuyama (2014) 등은 지진 발생에 따른 부정적인 경제 효과뿐만 아니라 장기적 동태적 관점에서 피해 복구의 긍정적인 파급효과도 추산하였다. 그러나 자연재난이 발생함에도 불구하고 투입산출모형에서는 공급과 가격이 미치는 영향을 고려할 수 없다는 한계도 있었다. 이에 따라 2000년대 이후 연산일반균형(Computable General Equilibrium, CGE) 모형을 활용하여 자연 재난의 경제효과를 평가하였다(Rose and Guha, 2004; Kim and Kwon, 2016; Tantano and Tsuchiya, 2008) CGE 모형은 일반적으로 일반균형이론에 근거하여 시장의 균형 가격과 수량을 분석할 수 있는 비선형 연립방정식 모형으로서, 충격이 발생하기 이전과 이후의 균형 상태를 비교하여 충격의 파급효과를 평가한다.

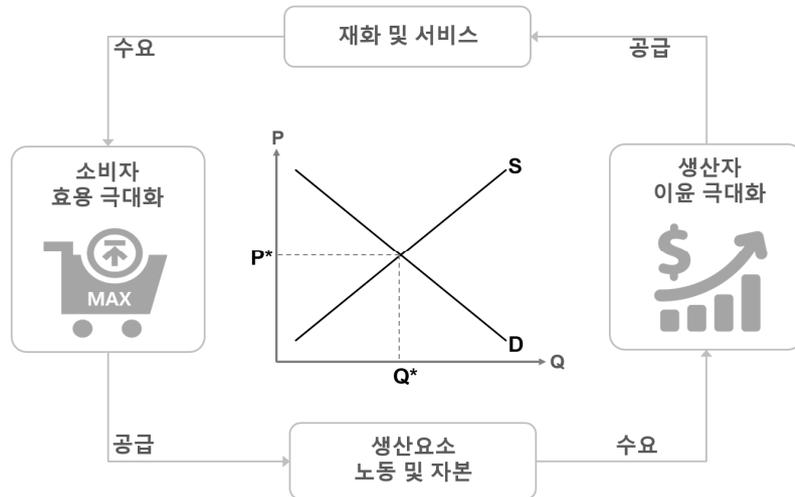
자연 재난의 경제 분석에 CGE 모형을 활용할 경우, 우선 파급효과를 산업별로 또는 부문별로 분석할 수 있다. 즉 CGE 모형은 다부문(Multi-Sectoral) 모형이므로, 지진의 경제 효과가 생산자, 소비자, 정부, 해외 부문 등 경제 주체에 따라 어떻게 상이한지를 평가하거나 농업, 광업, 제조업, 건설업, 서비스업 등 산업별로 미치는 효과가 어느정도 인지를 계산할 수 있다. 특히 경제주체 간 상호연계 정도를 고려하여 정책이나 자연 재난의 직접 효과뿐만 아니라 간접 효과와 유발 효과도 추정할 수 있다. 또한, CGE 모형에서는 생산자의 이윤 극대화와 소비자의 효용 극대화 등 경제주체의 합리적인 행위를 수용하고 있기 때문에 자원의 적정 수준을 분석할 수 있다. CGE 모형을 개발하는 과정에서 분석 대상이 내재적으로 가지고 있는 비선형성을 반영할 수 있다. 이와 같이 CGE 모형의 응용 범위는 다양하며, 특히 미시경제와 거시경제간 일관성을 유지할 수 있는 수리적 구조를 반영시킬 수 있다는 점에서 다양한 정책의 분석 수단으로 활용하고 있다. 그러나 CGE 모형은 비확률적(non-stochastic)모형으로서 모형을 개발하는데 상당한 규모의 모수를 추정해야 하는 문제점도 있다.

본 연구에서는 이러한 CGE 모형의 공통적인 특성을 토대로 하여 공간연산일

〈표 Ⅲ-1〉 자연재난의 경제적 영향 선행연구

연구명	방법론	주요변수	주요 내용 및 이슈
Yamano et al. (2007)	투입산출모형	지진의 경제효과	산업 분포와 투입산출표의 결합
Okuyama (2014)	투입산출모형	복구 활동 경제효과	지역 경제구조 변화
Rose and Guha (2004)	CGE 모형	지진 발생으로 인한 전기시설 파괴에 따른 전기 공급 감축	초단기, 단기적 경제 영향 구분
Koike and Miyamoto (2017)	교통수단에 따른 교통분포 모형을 결합한 CGE 모형	도로, 철도 네트워크, 지역간 통근 및 화물수송	모든 산업의 생산 감소 추정
Kim and Kwon (2016)	다지역 CGE 모형	통행비용 증가, 생산시설 감소	공간 접근성, 토지면적 고려
Tatano and Tsuchiya (2008)	생산요소 이동을 제한한 단기 SCGE 모형	통행비용의 증가	지역 경제의 직간접 영향
Nakajima and Sakamoto (2015)	SCGE 모형	자본스톡 감소, 재건축 및 복구	47개 지역, 20개 산업 경제효과

반균형(Spatial Computable General Equilibrium, SCGE) 모형을 개발하여 지진이 지역경제 생산 활동에 미치는 영향력을 분석한다. 자연재해는 특정 지역을 중심으로 발생하여 그 효과가 광역적으로 전파된다는 점에서 분석 단위의 공간 세분화가 중요하다. SCGE 모형은 공간을 세분화한 특성을 반영하여 동태적 모형이 아닌 정태적 모형으로도 자연 재난의 충격에 의한 단기적 지역별 경제변화를 측정할 수 있다. 다만 일반적인 CGE 모형에서는 단일 지역 내 생산 활동을 여러 유형의 산업으로 분류하지만, SCGE 모형에서는 자료 및 계산의 한계로 인하여 다수 지역 내 단일의 생산 활동을 설정한다. SCGE모형에서는 경제주체가 합리적으로 의사를 결정한다는 기본적인 가정하에 생산자(기업)와 소비자(가계)는 각각 이윤과 효용을 극대화한다. 생산자가 공급하는 재화 및 서비스는 시장에서 균형을 이루면서, 생산량과 가격, 노동 수요와 자본 수요, 이윤과 효용 수준 등이 내생적으로 결정된다. 여기서 소비자는 노동과 자본스톡을 공급하고, 기업이 생산한 재화 및 서비스를 소비한다. 만일 지진이라는 외생적인 충격이 일어날 경우, 기업의 생산 활동이나 가계의 소비활동 수준이 달라질



〈그림 Ⅲ-1〉 생산자의 이윤극대화와 소비자의 효용극대화

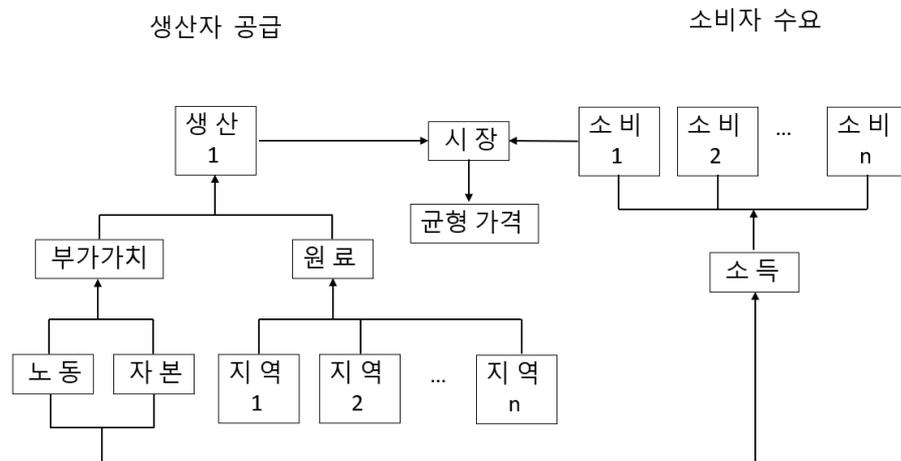
수밖에 없는데, SCGE 모형에서는 이와 같은 외생적인 조건이 변경하기 이전과 이후의 생산량과 가격을 비교하여 지진과 같은 외생 조건이 시장에 어떠한 영향을 미치는지를 분석한다.

SCGE 모형의 구조를 살펴보면, 우선 본 연구의 관심은 지진이 발생한 지역 뿐만 아니라 다른 지역에 어떠한 충격을 주었는지를 파악하는 것이므로 분석 단위 지역은 우리나라 행정 구역의 공간적인 영역을 고려하여 기초자치단체 기준 228개로 분리하였다. 각 지역의 경제주체는 생산자와 소비자로 구성되는데, 여기에 소비자에는 가계와 정부가 포함된다. 모형의 수리적 구조는 생산자의 공급 부문, 소비자의 (최종)수요 부문, 공급과 수요를 연계시키는 가격 부문 등 3개 모듈(Module)로 구성된다.

우선, 생산자의 공급 모듈에서는 각 지역의 생산(X), 부가가치(VA), 노동 수요(L), 자본(스톡) 수요(K), 자본수익률(R), 본선인도가격(Free On Board) 기준 생산자 가격(PX), 운임보험료포함가격(Cost Insurance Freight) 기준 소비자 가격(PCIF) 등이 내생적으로 결정된다. 각 지역의 생산(X)은 중간투입(원료)과 부가가치(VA)의 콥-더글러스(Cobb-Douglas) 결합 중첩 생산구조로 구성되어 있는데, 중간투입은 지역별 중간수요(TR)에 의해, 부가가치는 노동수요(L)와 자본스톡(K)의 전통적인 생산요소뿐만 아니라 인구(POP)와 인구밀도(POP/AREA)에 의해 결정된다. 생산자의 이윤 극대화 조건에 따라 임금(W), 부가가치(VA),

부가가치 가격(PVA) 등이 주어질 경우, 노동 수요(L)가 결정되며, 평균 임금(W)은 노동 수요와 노동 공급(LS) 간 균형을 유지할 수 있는 수준에서 산정된다. 자본 수요도 이윤극대화 조건으로부터 도출되는데, 전국 평균 자본수익률(R)은 자본시장 균형 조건에서 도출된다. 한편 SCGE 모형에서는, 앞에서 논의한 바와 같이, 공간의 생산과 소비활동을 강조한다는 점에서, 재화 및 서비스 가격을 생산자 가격(PX)과 소비자 가격(PCIF)으로 구분하였다. 생산자 가격은 기존 CGE모형과 동일하게 원료 구입비에 부가가치 가격을 더한 가격인 반면, 소비자 가격은 생산자 가격에 지역 간 교통요율에 물동량을 곱한 운송 마진 개념의 교통비와 생산자 가격을 합한 가격이다. 교통요율과 물동량은 지역 간 산업연관표에서 산정된 운송서비스 교역 규모를 기초자치단체의 기종점 기준으로 배분하여 산출되었으며, 시간거리는 교통수요모형에 의해 추산된다.

소비자의 (최종)수요 모듈에서는 지역별 효용(U)과 최종수요(FR)가 결정된다. 효용은 콥-더글라스(Cobb-Douglas) 유형의 소비재 함수로서, 지역별 소비량(FR)은 효용 극대화 조건에 따라 소비자 가격(PCIF), 지역 소득(부가가치 VA), 부가가치 가격(PVA) 등에 의해 결정된다. 마지막으로, 가격 모듈의 가격은 재화 및 서비스 시장과 생산요소시장(노동 시장, 자본 시장) 등 시장 수요와 공급을 일치시킬 수 있는 점에서 결정된다. SCGE 모형에서 도출되는 수량과 가격은 생산자의 이윤과 소비자의 효용을 극대화 시키는 균형점으로 이해할 수 있으며, 왈라시안(Walrasian) 균형 조건이 적용된다. 모형의 기준가격(numeraire)은 물가지수(WPI)이며, 모형 내 모수는 시계열 자료를 이용하여 추정하거나 추산된 지역



〈그림 Ⅲ-2〉 생산과 소비의 연계

간 투입산출표의 계수 값을 기반으로 산정되었다. SCGE 모형의 해(solution)는 GAMS(General Algebraic Modeling System) 프로그램을 이용하여 도출하였다. SCGE 모형을 개발하기 위해서는 분석 기준 년도의 생산, 소비, 교역 등 재화 및 서비스의 흐름과 수요-공급 관계를 일관성 있게 파악할 수 있는 자료가 필요하다. 본 연구에서는 광역자치단체 기준 지역-산업 간 산업연관표를 토대로 하여 추산한 기초자치단체 기준 지역 간 산업연관표를 이용하였다. SCGE 모형에 사용된 주요 수식을 정리하면 다음과 같다.

부가가치	$PVA_i \cdot VA_i = PX_i \cdot X_i - \sum_{j=1}^n TR_{ji} \cdot PCIF_{ji}$
소비자 가격	$PCIF_{ij} = PX_i - pxo_i + cif_{ij} \cdot PIST_{ij}$
물가지수	$WPI = \sum_{i=1}^n wwp_i \cdot PX_i$
부가가치	$\ln(VA_i) = \ln(VAC_i) + \alpha_i \cdot \ln(L_i) + (1 - \alpha_i) \cdot \ln(K_i) \\ + vap0_i \cdot \ln(POP_i) + vap1_i \cdot \ln\left(\frac{POP_i}{AREA_i}\right) + vap2_i \\ \cdot \left(\ln\left(\frac{POP_i}{AREA_i}\right)\right)^2$
생산량	$\ln(X_i) = \sum_{j=1}^n io_{ji} \cdot \ln(TR_{ji}) + \left(1 - \sum_{j=1}^n io_{ji}\right) \cdot \ln(VA_i)$
중간수요	$TR_{ij} \cdot PCIF_{ij} = X_j \cdot io_{ij} \cdot PX_j$
최종수요	$FR_{ij} \cdot PCIF_{ij} = VA_j \cdot fio_{ij} \cdot PVA_j$
노동수요	$W_i \cdot L_i = VA_i \cdot PVA_i \cdot \alpha_i$
자본(스톡) 수요	$R_i \cdot K_i = VA_i \cdot PVA_i \cdot (1 - \alpha_i)$
노동시장 균형	$LS = \sum_{i=1}^n L_i$
자본시장 균형	$KS = \sum_{i=1}^n K_i$
재화시장 균형	$X_i = \sum_{j=1}^n (TR_{ij} + FR_{ij}) + DK_i$
효용	$\ln(U_i) = \sum_{j=1}^n fio_{ji} \cdot \ln(FR_{ji})$

국내총생산 $GDP = \sum_{i=1}^n VA_i$

- | | |
|---------------------------|-----------------------|
| <i>AREA</i> : 면적 | <i>PX</i> : 생산자 가격 |
| <i>DIST</i> : 지역 간 거리 | <i>R</i> : 자본수익률(이자율) |
| <i>FR</i> : 최종수요 | <i>TR</i> : 중간수요 |
| <i>K</i> : 자본스톡 | <i>VA</i> : 부가가치 |
| <i>L</i> : 노동수요 | <i>W</i> : 임금 |
| <i>PCIF</i> : 소비자 가격(CIF) | <i>WPI</i> : 물가지수 |
| <i>POP</i> : 인구 | <i>X</i> : 생산 |
| <i>PVA</i> : 부가가치 가격 | |

주1: 아래첨자는 지역(기초자치단체)을 의미하며, 총 지역 수는 288개임. 단, 첫 번째 첨자는 출발지 또는 판매자를 두 번째 첨자는 도착지 또는 소비자를 나타냄
 주2: 소문자는 모수를 의미함

모형의 개발에서 분석에 이르기까지 과정을 정리하면 <표 III-2>와 같다. 우선 1단계에서는 SCGE 모형의 구조를 설계하고 2단계와 3단계에서는 이를 근거로 하여 기초자치단체 기준 확장된 투입산출표를 추산하고 모형 내 행위식에 필요한 모수를 추정한다. 이 연구에서 사용된 기초자치단체 기준 확장된 투입산출표는 한국은행에서 제공하는 2013년 지역산업연관표와 국민계정자료를 토대로 구성되었다. 4단계에서는 SCGE 모형이 실제로 정책 분석에 활용될 수 있도록 프로그래밍 코딩을 진행하고, 5단계와 6단계에서는 지역 지진의 발생과 강도를 변수

<표 III-2> 분석 과정

단계	과제	내용
1	모형 설계	지역 구분 및 시장 분석
2	자료 구축	228개 기초자치단체 간 교역 추정 및 지역별 고용자수, 자본스톡 등 추산
3	모수 추정	생산, 소비 및 교역 함수 모수 추정
4	프로그램 코딩	GAMS coding
5	외부 충격 정의	지진 발생 지역 및 강도 설정
6	지진 실험	지진 외생 변수 설정 및 강도 투입
7	실험 결과 비교	기준 해 및 실험 결과 간 비교 분석
8	실험 결과 분석	광역자치단체별 경제 성장 분석

화하여 이를 의태분석(Simulation) 또는 실험을 실시한다. 7단계에서는 지진이 일어나지 않았을 경우와 지진 발생 이후 수량과 가격 균형 값 차이를 분석하여 지진의 경제 손실 규모를 평가하고, 마지막 8단계에서는 7단계 결과에 대한 정책적 함의를 도출한다.

2. 지역 지진 실험 분석

본 연구는 지진발생으로 인해 생산시설이 붕괴되는 경우, 지진발생 이전과 이후의 지역 생산을 비교하여 지진의 지역경제 간접손실 규모를 추정하였다. 분석 대상 지역은 2010년 이후 내륙 지역 중 지진 강도가 비교적 큰 4개의 기초자치단체와 인접지역으로서 다음과 같다.

1) 경주 대안

2016년 규모 5.1, 5.8 경주시(인접시군: 영천시, 포항시, 울산 울주군, 울산 북구)

2017년 규모 5.4 포항시(인접시군: 영덕군, 청송군, 영천시, 경주시)

2) 익산 대안

2015년 규모 3.9 익산시(인접시군: 군산시, 김제시, 전주시, 완주군, 논산시, 부여군, 서천군)

3) 무주 대안

2012년 규모 3.9 무주군(인접시군: 영동군, 금산군, 진안군, 장수군, 거창군, 김천시)

4) 여수 대안

2011년 규모 3.7 여수시(인접시군: 순천시)

지진이 지역경제 손실에 미치는 과정을 정리하면, 우선 지진이 일어난 후 생산시설의 파괴로 직접적 생산요소인 생산 자본스톡이 감소하고, 생산비용이 늘어나면서 기업 생산성이 하락하게 되는데, 이는 연쇄적으로 가계와 정부 등 소비도 축소시킨다. 본 연구에서 지진발생에 의한 외부 충격변수로는 생산능력 감소에 따른 생산성 하락이다. 생산시설 붕괴의 외부충격을 가정할 경우, 생산자본 손실이 어느 정도 되는지를 추산해야 하는데, 국내에서는 생산자본 파손의 확률과 정도²⁾을 파악하는데 한계가 있다. 이에 따라 정부의 재난 복구비용과 일

본의 적용 기준을 고려하여 산정한 김진환·도영웅(2018)의 지진 강도 적정 파손율 2%를 이용하여 자본 손실액을 추산하였다. 우리나라는 파손율이 낮은 비목조 주택이 대부분이고, 포항지진 진도 VI가 일본기상청 기준 진도 4~5약에 해당하기 때문에, 2.0% 파손율이 적절하다고 판단하였다. 일본 내각부의 피해상황별 파손율은 일본기상청 기준 진도 6강~7인 경우 15.3%, 5강~6약인 경우 3.4~15.3%(주택 전파), 4~5약인 경우 2% 수준이다. 이러한 지진 충격의 외생 조건을 SCGE 모형에 대입할 경우, 지진발생이 재화 및 요소 시장의 수요, 공급, 가격 등에 미치는 영향을 분석할 수 있다.

4가지의 시나리오에 대한 분석 결과를 광역시도 단위로 <표 III-3>에 정리하였고, 시군구 단위로 <그림 III-3>에 나타내었다. 본 연구의 SCGE 모형은 정태적인 모형이므로, 시나리오 분석 결과는 지진 발생에 따른 외생적 충격으로 인해 지역별 지역내총생산에 1기간(1년)동안 미치는 효과이다. 우선, 모든 시나리오에 대해서 지진이 발생하여 진앙 지역과 인접 지역의 생산능력이 낮아지게 되면 국내총생산이 시나리오에 따라 0.04%에서 0.24% 감소하였다. 이러한 국내총생산의 감소는 전국 모든 지역의 지역내총생산이 감소하여 나타난 결과로, 지진으로 인하여 특정 지역에 생산 감소 충격이 전국적으로 생산에 부정적인 영향을 미칠 수 있다는 것을 보여준다. 이 현상은 다음과 같이 설명할 수 있다. 지진이 발생하여 진앙 지역의 생산시설이 파괴되면 진앙 지역의 생산이 위축되어 일자리 감소 등 고용이 조정되고 이에 따라 진앙 지역의 소비도 감소하는 연쇄적 현상이 발생한다. 그리고 진앙 지역의 생산 및 소비 감소는 진앙 지역과 거래를 하는 다른 지역의 생산 및 소비에도 영향을 주어 진앙 지역의 생산 감소로 인한 부정적인 영향이 인근지역뿐만 아니라 전국에 미칠 수 있다.

진앙지 위치와 관계없이 지역의 경제규모에 비례하여 지역내총생산이 더 많이 감소하였다. 4가지 시나리오에 해당하는 지역은 경상권과 전라권에 위치하여 수도권과는 거리가 먼 지역이다. 하지만, 수도권은 진앙 지역과 인접지역을 제외하면 경제적 손실이 큰 지역임을 <그림 III-3>을 통해서 확인할 수 있다. 수도권 중에서도 서울은 모든 시나리오에서 진앙 지역이 속하지 않은 지역 중에서는 지역내총생산이 가장 크게 줄어들었다. 이는 서울을 중심으로 한 수도권은 경제 규모가 커서 다른 지역과의 교역이 많이 일어나, 다른 지역의 경제손실이 교역이 많은 수도권에 누적되어 나타난 결과라고 해석할 수 있다. 반면에, 경제 규모가 작고 다른 지역과 거래가 적은 강원도는 지진으로 인한 경제적 간접손실이

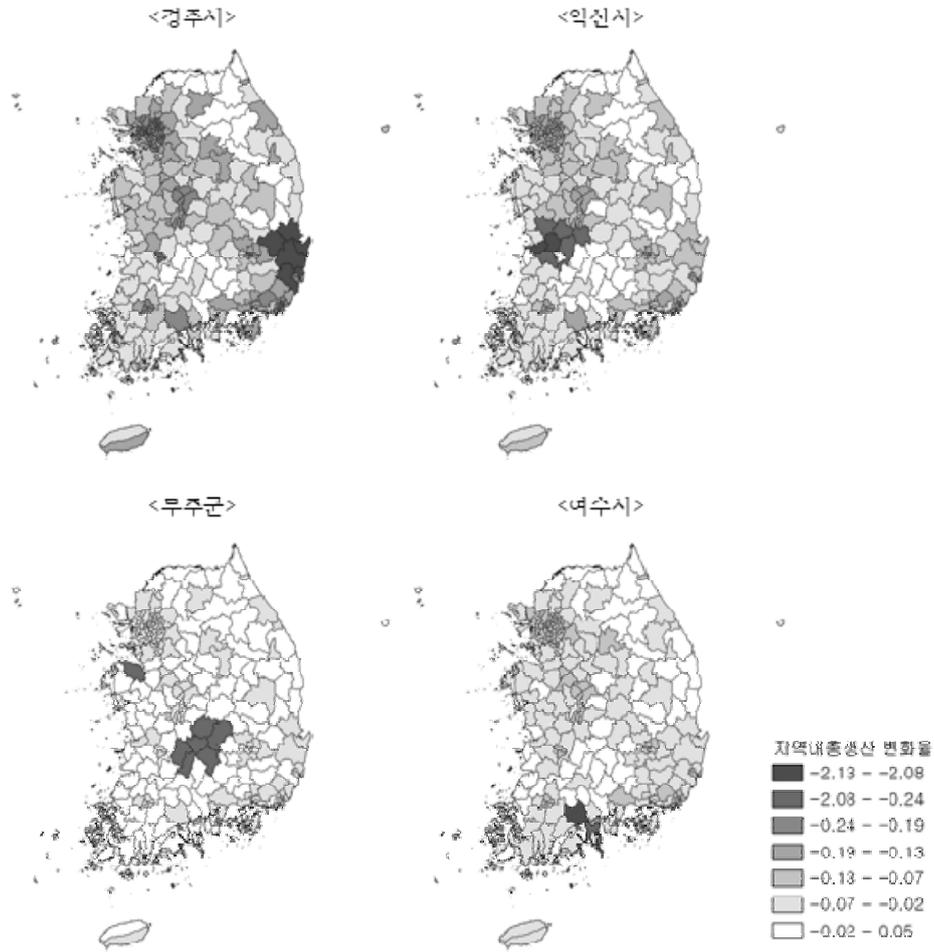
2) 파손 정도는 전파, 반파, 소파 등으로 나눌 수 있음.

상대적으로 작게 나타난다. 앞선 두 가지 결과는 지진피해가 발생하면 지진이 발생한 지역뿐만 아니라 지진이 발생하지 않은 지역에서도 적극적으로 지진피해 복구를 지원해야 하는 근거가 된다. 또한, 지진으로 피해가 발생하면 전국적으로 경제적 손실이 생기므로, 국가 차원에서 지진취약지역에 지진이 발생하더라도 지진피해가 크지 않도록 건축물의 내진능력 보강과 같이 사전적인 예방에 예산 투입이 필요함을 시사한다.

모든 시나리오에서 모든 지역의 지역내총생산이 감소하여 국내총생산을 감소하였지만, 특히 진양지가 위치한 지역과 인접한 지역이 국내총생산 감소를 견인하였다. 경주에서 지진이 발생한 경우에는 경주시가 속한 경상북도의 지역내총생산이 0.72%, 경주시와 인접한 지역인 울산광역시의 지역내총생산이 1.04%가 감소하여 다른 지역에 비해 크게 감소하였다. 익산에서 지진이 일어나면 익산시가 위치한 전라북도의 지역내총생산이 1.61% 줄어들고, 인접지역인 충청남도의 지역내총생산도 0.21% 줄어들어 다른 지역의 감소율을 상회한다. 지진

〈표 Ⅲ-3〉 지진 대안별 지역내총생산 변화 (단위: %)

광역자치단체	경주 대안	익산 대안	무주 대안	여수 대안
전국	-0.24	-0.17	-0.04	-0.10
서울	-0.22	-0.15	-0.03	-0.09
부산	-0.20	-0.14	-0.03	-0.08
대구	-0.20	-0.14	-0.03	-0.08
인천	-0.19	-0.14	-0.03	-0.08
광주	-0.18	-0.13	-0.03	-0.08
대전	-0.19	-0.13	-0.03	-0.08
울산	-1.04	-0.11	-0.02	-0.07
경기	-0.17	-0.12	-0.02	-0.07
강원	-0.09	-0.06	-0.01	-0.04
충북	-0.15	-0.11	-0.07	-0.06
충남	-0.10	-0.21	-0.06	-0.04
전북	-0.12	-1.61	-0.10	-0.05
전남	-0.09	-0.06	-0.01	-0.76
경북	-0.72	-0.07	-0.09	-0.04
경남	-0.13	-0.09	-0.06	-0.06
제주	-0.10	-0.07	-0.02	-0.04



<그림 Ⅲ-3> 시나리오별 지역내총생산 변화율

이 무주군 일대에 생산시설을 파괴하면 전라북도와 경상북도의 지역내총생산이 각각 0.10%, 0.09% 감소하여 다른 지역의 지역내총생산 감소율보다 크다. 다만, 무주군이 충청북도, 충청남도, 경상북도, 경상남도과 연결하여 있어서 다른 지역에도 부정적인 영향이 골고루 미치기 때문에, 지역내총생산이 가장 많이 감소하는 지역과 그렇지 않은 지역의 감소율 차이가 다른 시나리오에 비해 크지 않다. 마지막으로, 지진이 발생한 진앙지가 여수시인 경우에는 전라남도 남쪽 끝에 위치한 여수시의 지리적인 특성상 전라남도의 지역내총생산 감소율이 0.76%로 두드러진다. 이와 같이 진앙 지역과 이를 포함한 지역이 경제적 피해가 가장 큰

이유는 인접한 지역끼리 거래가 많아 교역 의존도가 높고 생산네트워크가 더 긴밀하게 연결되어 있기 때문이다.

IV. 결론

본 연구에서는 SCGE 모형을 개발하여 지역 지진 발생이 지역별로 얼마나 경제적 손실을 가져오는 지를 분석하였다. 여기서 손실이란 지진발생 후 생산시설 파손이 물류비용과 재화 가격을 상승시켜 생산과 소비과정에서 감소한 부가가치 변화량으로 정의하였다. SCGE 모형은 기초자치단체 단위의 지역 생산자-소비자 모형으로서 지역 생산자의 이윤 극대화와 소비자의 효용 극대화 과정을 통해서 재화 생산량과 가격, 고용과 임금, 자본 수요와 수익률 등의 균형 값을 내생적으로 도출할 수 있다. 지진 강도가 비교적 강한 지역을 대상으로 분석한 결과, 경주시, 익산시, 여주시, 무주군 등 순서로 지진의 경제적 손실이 큰 것으로 나타났다. 경주시에는 생산시설 가동의 핵심인 원자력발전소가 있고 경주시와 인접지역인 포항은 철강 산업, 울산은 자동차 산업이 발달하여, 해당 지역을 중심으로 한 동해안 부근의 영남권은 한국의 제조업 및 중화학산업의 중심지이자 한국 경제에서 매우 중요한 지역이다. 따라서 경주시 일대에 지진이 발생하면 한국에서 해당 지역의 경제적 위상이 큰 만큼 다른 지역의 피해도 비례하여 커진다. 반면에 무주군과 인근지역은 지형적으로 덕유산을 포함하는 산지에 있어 제조업, 서비스업보다 농림업이 발달하였다. 한국의 국내총생산에서 농림업이 차지하는 비중이 2% 미만인 점을 고려하면, 지진이 발생하여 무주군 일대의 생산능력이 떨어진다고 하더라도 한국 경제에 미치는 영향이 크지 않다. 이와 같이 지진으로 인한 경제적 손실 정도는 지역의 산업구조와 지리적 위치 등에 따라 달라질 수 있기 때문에, 방재 예산은 재난 발생 강도와 빈도뿐만 아니라 지역 산업구조도 고려할 필요가 있다.

향후 연구 과제를 정리하면 다음과 같다. 우선, 본 연구에서는 지진이 발생했을 때 생산시설만이 파괴되는 부정적 효과에 대한 지역적 파급효과만을 분석하였다. 하지만, 지진의 부정적인 효과를 상쇄하기 위한 정부의 재난 지원에 관한 효과와 복구 계획에 대한 경제적 편익도 추정할 필요가 있다. 이러한 재난 지원에 따른 복구 효과는 복구 과정과 시간뿐만 아니라 지역경제 회복력에도 영향을 받기 때문에 기존의 SCGE 모형과 지역경제 탄력성 모듈을 연계시키는 방안을

검토하는 것이 바람직하다. 또한 본 연구의 SCGE 모형은 정태모형으로서 단기적인 지진의 경제적 손실을 분석하는 데는 적합할 수 있지만, 지진의 지역경제 영향력이 증장기적으로 나타날 수 있다는 점에서 동태 모형(Dynamic Model)으로 전환시키는 것이 필요하다. 일반적으로 동태 모형은 후방지향적 모형(Backward-Looking Model)과 전방지향적 모형(Forward-Looking Model)으로 구분하는데, 지진의 피해 측정뿐만 아니라 연차별 방재 예산의 적정 지출도 강조되어야 하는 만큼 후자 유형의 모형으로 개발할 필요가 있다. 단 관련 자료의 구축과 프로그램의 개발 과제가 선행적으로 이루어져야 하는 어려움도 있다.

참 고 문 헌

- 국회예산정책처, 『재난안전 관리 현황과 주요 대책 분석 IV 지진방재 실태 분석-시설물 내진대책을 중심으로』, 2017.
- 기상청, 『2019 지진연보』, 2020.
- 김진홍, 도영웅, “포항지진의 경제적 영향 추계 및 정책적 시사점”, 『지역경제조사연구 포항』, 한국은행 포항본부, 2018.
- 이희진, “한반도의 지진 발생 현황과 특성”, 『2017 한국의 사회동향』, 통계청, 2018, pp.268-278.
- 행정안전부, 『재해연보』, 2017.
- 행정안전부, 『제2차 지진방재 종합계획』, 2018.
- 행정안전부, 『지진방재 개선대책』, 2018.
- Kim, E., and Y. J. Kwon, “Indirect Impact of Nuclear Power Plant Accidents Using an Integrated Spatial Computable General Equilibrium Model with a Microsimulation Module on the Korean Transportation Network,” In *Quantitative Regional Economic and Environmental Analysis for Sustainability in Korea*, Springer, Singapore, 2016, pp.141-152.
- Koike, A., and Y. Miyamoto, “Short-run Economic Assessment of the Transportation Recovery Policy after an Earthquake,” *EDP Sciences, MATEC Web of Conferences*, 103, 2017.
- Nakajima, K., and N. Sakamoto, “General Equilibrium Analysis of Regional Redistributive Effects of Investment for Reconstruction from the Great East Japan Earthquake,” *55th Congress of the European Regional Science Association: “World Renaissance: Changing roles for people and places,”* August 2015, Lisbon, Portugal.

- Okuyama, Y., "Modeling Spatial Economic Impacts of an Earthquake: Input-Output Approaches," *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, 3, 2004, pp.297-306.
- Okuyama, Y., "Critical Review of Methodologies on Disaster Impacts Estimation," Background Paper for EDRR Report, 2008.
- Okuyama, Y., "Disaster and Economic Structural Change: Case Study on the 1995 Kobe Earthquake," *Economic Systems Research*, 26, 2014, pp.98-117.
- Tatano, H., and S. Tsuchiya, "A Framework for Economic Loss Estimation Due to Seismic Transportation Network Disruption: a Spatial Computable General Equilibrium Approach," *Natural Hazards*, 44, 2008, pp.253-265.
- Rose, A., "Economic Principles, Issues, & Research Priorities in Hazard Loss Estimation," *Modeling Spatial and Economic Impacts of Disasters*, Springer, Berlin, Heidelberg, 2004, pp.13-36.
- Rose, A. and G. Guha, "Computable General Equilibrium Modeling of Electric Utility Lifeline Losses from Earthquakes," Okuyama, Yasuhide and Chang, Stephanie E. (eds.), *Modeling Spatial and Economic Impacts of Disasters*, Heidelberg: Springer, 2004, pp.119-142.
- Yamano, N., Kajitani Y., and Y. Shumuta, "Modeling the Regional Economic Loss of Natural Disasters: The Search for Economic Hotspots," *Economic Systems Research*, 19(2), 2007, pp.163-181.

<Abstract>

**Estimation of Regional Economic Losses
from Regional Earthquakes**

- Application of Spatial Computational General Equilibrium Model -

Euijune Kim

*Professor, Department of Agricultural Economics and Rural Development and
Research Institute of Agricultural and Life Sciences, Seoul National University, Korea*

Hojune Lee

*Master Course, Department of Agricultural Economics and Rural Development,
Seoul National University, Korea*

Dongyeong Jin

*Master Course, Department of Agricultural Economics and Rural Development,
Seoul National University, Korea*

Byula Kim

*Ph.D Candidate, Department of Agricultural Economics and Rural Development,
Seoul National University, Korea*

Min Jiang

*Ph.D Candidate, Department of Agricultural Economics and Rural Development,
Seoul National University, Korea*

Dongkeun Yoon

Professor, Department of Urban Planning and Engineering, Yonsei University, Korea

As the outbreak of earthquakes increases in South Korea, attention to damage and prevention from earthquakes is increasing. This paper estimates spatial impacts of regional earthquakes on regional economic losses, developing a

Spatial Computational General Equilibrium (SCGE) model. The loss is measured in terms of reductions in gross regional products through cost inflations of logistics and production from the earthquake. The SCGE model is composed of regional modules of regional productions and consumptions at city and county level, and the optimal solution set of quantities and prices of commodity and factor input markets is determined by maximization of producer's profits and consumer's utility. The expanded 228 cities and counties multi-regional input-output table is used to apply SCGE model. In the simulation, the shocked regions caused by the earthquakes are Kyungjoo, Iksan, Yeosu, Muju and it is assumed that production facilities in shocked regions and adjacent regions are loss by 2%. As the result of the simulation, the decrease in production facilities in the shocked region due to the earthquake not only causes the largest decrease in value added of shocked and adjacent regions but also reduces the value added nationwide. In aspect of national GDP, the earthquake in Kyungjoo has the largest effect on the economic losses, which is followed by Iksan, Yeosu and Muju. By analyzing the expected damage from the natural disaster by region, this paper is expected to contribute to improve an efficiency of budget allocation for national safety and natural disasters and to set investment priorities of government projects.

Key Words : Earthquake Disaster, Regional Economy, Spatial Computational General Equilibrium Model, Spatial Economic Impact

논문접수일 : 2020.12.02.

심사완료일 : 2020.12.14.

게재확정일 : 2020.12.20.