

포항 지진이 지역경제에 미치는 공간경제적 파급효과 분석: 공간연산일반균형모형 개발

Estimation of the Spatial Impact of the Pohang Earthquake on Regional Economies: Development of the SCGE Model

김의준* · 김별아** · 윤동근***

Kim, Euijune*, Kim, Byula**, and Yoon, Dong Keun***

Abstract

This study analyzes the spatial effects of the Pohang earthquake on regional economies by developing a spatial computational general equilibrium (SCGE) model. The model is composed of regional modules of production and consumption and is linked with a transport demand model at the city and county levels. The effects are measured using changes in the gross regional product (GRP) derived from increases in travel time costs from the collapse of road networks by an earthquake. Three scenarios are considered in this study in terms of external shocks to changes in production capacities (capital stocks) and travel time costs. Counter-factual experiments show that the earthquake in Pohang may have led to economic losses in other regions besides the area in which the earthquake occurred. Results showed a decline in gross domestic product by 0.58%, GRP by 3.69% for southern Daegu in zones directly influenced by the earthquake, and 0.64% for capital regions in zones indirectly influenced by the earthquake. These negative outcomes on the economies depended on much more direct damage to production facilities rather than indirect damage such as the collapse of road networks after an earthquake.

Key words : Earthquake Disaster, Economic Impact, SCGE Model

요 지

본 논문은 공간연산일반균형(SCGE) 모형 개발을 통해 포항 지진 발생이 지역경제에 미치는 공간적 영향을 분석한다. 본 연구모형은 지역 수준의 생산과 소비 모듈로 구성되며, 시·군 단위의 교통 수요 모형과 연계된다. 지진의 공간경제적 파급효과는 지진발생 후 도로망의 붕괴로 증가한 시간비용에 의한 지역내총생산(GRP)의 변화로 측정한다. 세 가지 대안 분석에는 지진발생으로 인한 생산역량(자본스톡), 통행시간비용 변화의 외부충격을 이용한다. 분석 결과, 포항지진 발생으로 국내총생산(GDP) 0.58% 감소, 직접영향권 중 대구 남부 GRP 3.69% 감소, 간접영향권 중 수도권 GRP 0.64% 감소 등 지진 발생지역 이외 타지역, 국내 전역에 경제적 손실이 발생할 수 있는 것으로 나타났다. 또한 이러한 결과는 도로망 붕괴로 인한 간접적 영향에 비해 생산시설 피해의 직접적인 영향에 보다 크게 의존함을 보여준다.

핵심용어 : 지진재해, 경제적 파급효과, SCGE모형

1. 서 론

국내에서 지진, 호우, 태풍 등 자연재해의 빈도와 강도가

해마다 증가하고 있다. 지진의 경우 최근 2008~2017년 사이 규모 2.0 이상의 지진이 917건 발생하였는데, 특히 2016년과 2017년에는 각각 223건, 252건이 발생하며 과거 2008~2015

*정회원, 서울대학교 농경제사회학과 교수(Tel: +82-2-880-4742, Fax: +82-2-873-5080, E-mail: euijune@snu.ac.kr)

Member, Professor, Department of Agricultural Economics and Rural Development, Seoul National University

**교신저자, 정회원, 서울대학교 농경제사회학과 박사과정(Tel: +82-2-880-4749, Fax: +82-2-873-5080, E-mail: bakim@snu.ac.kr)

Corresponding Author, Member, Ph.D. Candidate, Department of Agricultural Economics and Rural Development, Seoul National University

***정회원, 연세대학교 도시공학과 교수(Tel: +82-2-2123-5893, Fax: +82-2-393-6298, E-mail: dkyoon@yonsei.ac.kr)

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

년 연평균 50건 대비 5배 급증하였다. 국민재난안전포털(Ministry of the Interior and Safety, 2019) 통계에 따르면, 자연재해에 따른 피해는 인명피해 외에 건물피해(1.01%), 농경지(3.92%) 및 사육시설(8.00%) 피해, 그리고 도로·철도·항만 및 하천·수도와 학교를 포함한 공공시설 피해(86.99%) 순으로 나타난다. 이 중 공공시설 피해 부문을 보다 세부적으로 살펴보면, 도로·교량 피해가 가장 큰 비중(11.32%)을 차지한다. 이러한 자연재해는 인명피해, 농산물·공공토목시설 등의 자산피해 뿐 아니라 직접피해의 연쇄효과로 지역관광업 등 연관 산업까지 생산 차질 등의 간접피해를 줄 수 있다. 또한 지진의 영향은 지진 발생지역 외에 주변지역까지 영향을 미칠 수 있다. 따라서 재난관리 차원에서 사전예방과 사후복구 예산규모 책정 등을 위해서는 사전 단계에서 보다 객관적인 지진의 직·간접 손실 파악이 필요하다.

자연재해로 인한 실질적인 피해액은 재해 발생시점의 자본 손실 뿐 아니라 그에 따라 파생되는 경제활동 손실까지 포함할 필요가 있다. 포항과 울산 등과 같이 지역산업 공급망의 연쇄효과가 큰 지역의 경우, 총 생산손실 중 간접 영향 비중이 직접영향 보다 크게 나타날 수 있기 때문이다(MacKenzie et al., 2012). 하지만 중앙재난안전대책본부 통계와 같은 자연재해 직접피해 자료는 공시되어 구득 가능한 반면 간접피해 자료는 부재로 파악하기 어려운 실정이다. 따라서 지진발생의 잠재적 손실까지 포함한 직·간접 영향을 평가할 수 있는 방법이 개발되어야 하는데, 이에 본 연구는 직·간접손실을 고려한 지진재해의 사회경제적 영향을 분석하고자 한다.

본 연구의 목적은 포항 지진이 우리나라 지역경제의 성장에 미치는 영향을 분석하는 것이다. 지역경제에 대한 지진 영향의 강도와 범위는 지역·산업 간의 상호존적 교역은 물론 도로, 철도 등 공간적 네트워크의 위치와 용량에도 의존한다(Kim and Yi, 2015; Kim and Kwon, 2016). 이에 따라 본 연구에서 지진재해의 직접효과는 지진발생으로 생산 시설 및 장비가 파괴되어 생산이 위축·마비되는 생산차질을 의미하고, 간접효과는 도로시설망이 붕괴되어 단절되는 경우 증가한 통행 시간비용이 생산, 고용, 소득 등 지역경제에 미치는 영향으로 정의한다. 이를 분석하기 위해 교통모형을 연계한 공간연산가능일반균형(Spatial Computable General Equilibrium, 이하 SCGE)모형을 개발한 본 연구는 일반적 CGE모형과는 달리 공간적 접근성과 상호작용을 고려한 지역 간의 재화 및 요소 흐름인 공간적 파급효과 또한 살펴볼 수 있는 차별성을 지닌다.

SCGE모형은 기존 자연재난 경제효과 분석에서 널리 사용되는 투입산출(Input-output, 이하 I-O) 모형의 단점인 공급 제약과 수요 의존성을 해결하여 경제주체의 수요와 공급 측면의 경제적 요소를 반영할 수 있는 장점이 있다. 본 연구의

SCGE 모형은 교통수요모형과 연계된 생산자 및 소비자의 지역경제모형으로서 광역자치단체와 지진 발생지역 주변의 연관 기초자치단체를 대상으로 개발되었으며, 지진재해의 충격변수로는 생산자본 감소와 통행시간 변화를 활용하였다.

본 논문의 구성을 살펴보면, 우선 지진재해의 영향과 관련한 선행연구를 고찰하고, SCGE모형의 구성과 대안 분석을 통해 지진발생의 지역경제 손실을 추정하였다.

2. 선행연구

지진발생의 파급효과 분석과 관련한 연구는 크게 단기적, 장기적 관점으로 나뉘 볼 수 있는데, 전자는 지진의 부정적 영향이 대부분인 반면, 후자는 지진발생 후 복구기간 동안 건설 수요의 증가에 따라 긍정적 영향이 나타남을 볼 수 있다(Okuyama, 2004). 이처럼 지진발생으로 도로 네트워크의 접근성이 악화되는 경우 단기적으로는 생산비용을 증가시켜 기업의 생산성과 부가가치를 감소시키고, 이에 가계와 정부의 소비를 감소시킬 수 있다. 한편 장기적으로는 지진재해로 파괴된 교통시설·생산시설 복구를 위한 투자가 늘어나면서 지역내총생산은 향상될 수 있다.

지진발생으로 생산 시설·장비 등 자본 손실을 고려하여 재난의 경제효과를 분석한 SCGE모형 연구를 살펴보면, Kajitani and Tatano (2014, 2018)는 지진발생 이후 유지시설(전기, 물, 가스) 피해로 인한 생산역량 손실률에 초점을 두고 경제적 손실을 파악하였다. 지진피해의 결정요소로는 크게 네 가지 요소, 즉 위험(Hazard), 노출(Exposure), 취약도(Vulnerability), 그리고 회복력(Resilience)을 고려하였다. 위험은 지진에 의한 지반 진동의 외부적 충격을 의미하며, 노출은 종사자수의 공간적 분포를, 취약도는 Nakano (2011)의 기능 취약도 곡선에 따른 생산시설의 기능적 피해를, 그리고 회복력은 생산시설의 회복력을 의미한다(Kajitani and Tatano, 2009). Kajitani and Tatano (2014, 2018)는 재해 피해와 복구 과정이 반복되는 특성상 단기모형을 활용하였으며, 생산 및 유지 시설의 기능수준에 대한 기업조사 1차 자료를 토대로 생산역량의 손실과 회복을 추정하였다. 나아가 직접조사 기반의 생산역량 추정값은 실질지표인 산업생산지수(Index of Industrial Production, IIP)와의 비교를 통해 모형의 타당성을 검증하였다. 이와 같이 보다 신뢰성 있는 간접손실의 추산을 위해서는 민감도 분석이 필요한데, 이러한 이유는 분석결과가 지진발생 이전의 기존 상황, 지진 강도, 그리고 복구를 위한 재원 조달 방법 등에 의존하여 외부충격에 민감하게 변할 수 있기 때문이다(Okuyama, 2004).

지진발생으로 교통네트워크가 단절됨으로써 발생하는 간접손실을 이용하여 충격을 평가한 SCGE모형 연구로는 Kim and Kwon (2016)과 Tatano and Tsuchiya (2008) 등이 있다. 두 연구는 공통적으로 통행비용을 요금과 시간 기준으

1) 해당 수치는 2013년 기준 총 피해액 대비 비중을 나타냄.

로 산정하였으며, 교통수단별 수송용량과 운행횟수의 차이를 반영하기 위해 Tatano and Tsuchiya (2008)는 항공과 항만을 제외한 육상교통시설(도로 및 철도)을, Kim and Kwon (2016)은 도로 교통수단을 고려하였다. Tatano and Tsuchiya (2008)는 지역 간 노동이동과 국가 간 자본이동의 제약 하에 화물은 도로 이용을, 여객은 업무출장 목적의 철도 이용을 가정하여 분석모형에 반영하였다. 이에 기업 행위식의 경우 노동과 자본 비용 외에 지식창출 비용으로 업무출장비를 여객 교통비에 반영하여 이윤 극대화 모형을 설정하였다. 이와 같이 교통비를 포함한 재화가격을 반영하여 지역별 재화수요 비중과 지역간 거래를 추산하고, 교통비 손실의 충격 전·후의 지역별 수급균형을 통해 지진발생 전·후의 시장균형조건을 찾았다. (1) 지진발생 후 13일까지를 가정한 경우와 (2) 지진발생 후 14~66일까지를 가정한 경우의 두 가지 시나리오 분석 결과, 교통시설과 관련된 누적손실은 전자의 경우 92억 엔, 후자의 경우 190억 엔으로 추정되었다. 지역별 손실비중을 살펴보면 칸토(40%), 니가타(20%), 도호쿠(10%), 주부(10%), 킨키(10%), 기타(10%) 순으로 나타나는데, 이같은 칸토 지역의 비교적 큰 손실 비중은 지리적 위치와 경제적 비중이 기인한다고 볼 수 있다. Kim and Kwon (2016)은 노동과 자본 외에 공간 접근성과 생산 가능한 토지면적을 추가적으로 고려한 기업의 이윤 극대화 모형과 가격의 효용 극대화 모형을 개발하였으며, 본선인도가격(Free On Board, 이하 F.O.B.) 및 운임보험료포함가격(Cost Insurance Freight, 이하 C.I.F.)과 같이 공간적 측면을 고려한

가격 구조를 이용하여 지역 간의 교역을 추산하였다. 이 또한 지진발생 전과 후의 시장균형조건을 달성시킴에 경제적 손실을 추정하였다.

지진재해의 사회경제적 영향 관련 선행연구를 정리하면 Table 1과 같으며, 주요 방법론에는 크게 I-O모형과 연산일반균형(CGЕ)모형이 있다(Okuyama, 2014; Kim and Kwon, 2016). 우선, I-O모형은 산업 간 생산 활동의 상호의존성을 보여주는 정태 모형으로, 지진에 의한 특정 부문의 충격이 다른 산업에 미치는 영향을 볼 수 있다. 그러나 선형 모형인 I-O모형은 수요에 대한 무한한 공급을 가정함으로써 공급의 제한과 가격의 영향을 반영하지 못하는 단점이 있다. 이러한 한계를 고려하여 Rose (2004)는 지진발생 후 지역적 투입요소 공급 부족을 수입으로 대체하였고, Okuyama (2014)는 지진발생 후 피해복구 활동을 고려한 장기적 관점에서 지역 경제의 구조변화를 분석하였다. 다음으로 CGE모형은 일반균형이론에 근거하여 수요와 공급의 수량 및 가격의 변화를 추정하는 비선형 구조의 연립방정식체계로, I-O모형의 단점을 보완한다(Choi, 2002). CGE모형을 통해 지진발생 전과 후, 즉 초기 균형 상태와 새로운 균형상태 간의 비교정태분석을 통해 지진의 영향을 분석할 수 있다. I-O모형과 CGE모형 외에도 확률적 추정치를 통해 미래예측이 가능한 시계열 분석 등의 계량경제 모형이 있으나, 지진은 주기적으로 발생하지 않는 사건(event)이란 점과 피해에 뒤따르는 복구 과정을 고려할 때 이들은 재난효과 분석에 비교적 적절하지 않다고 할 수 있다(Okuyama, 2008).

Table 1. Major Literature Reviews on Seismic-related Impact Analysis

Author	Model	Major Variable	Major Issue
Okuyama (2014)	Input-Output Model	Effect of Recovery Activity	Changes in Regional Economic Structure
Kim and Kwon (2016)	SCGE Model	Increase in Travel Cost, Decrease in Production	Regional Effects Considering Economic Activity Relations
Koike and Miyamoto (2017)	CGE Model incorporating A Traffic Distribution Model by Transport Mode	Road and Rail Network, Commuter Passengers and Freight Traffic between Regions	Estimation of Production Losses in the All-Industry and Transportation Equipment Industry by Transportation Facility Recovery
Nakajima and Sakamoto (2015)	SCGE Model	47 Regions, 20 Industries,	Loss Effects of Private Capital Stock, Distribution Effect of Recovery and Reconstruction Investment
Tatano and Tsuchiya (2008)	Short-term SCGE Model with Limited Element Mobility	Increase in Travel Cost	Effects of Direct and Indirect Regional Economic Impacts
Okuyama (2008)	Econometric Model	Resilience of Local Economy	Time Series Model
Song and Kim (2017)	Impulse Response Analysis using VAR Model	Classification of Disaster Strength, National Corruption Awareness, and Tourism Resources	Economic Impact of Tourism by Country Characteristics, Natural Disaster Types
Choi et al. (2011)	-	Distribution of Import and Export by Trade Partner Country, Trade Dependency Ratio	The Effects of Demand and Supply on Trade Dependencies Between Countries

Table 2. Major Equations of SCGE Model

Classification	Equations
Firm Production	Domestic Production = Intermediate Input + Value Added Value Added = VA (Population, Population Density, Labor, Capital)
Private Consumption	Private Consumption = C (Income, Purchaser Price)
Purchaser Price	Purchaser Price ²⁾ = Producer Price + Trade Volume × Traffic Rate × Transit Time
Maximization of Firm Profits	Labor Demand = LD (Value Added, Wages, Producer Price) Capital Demand = KD (Value Added, Interest Rate, Producer Price)
Maximization of Household Utility	Utility = U (Private Consumption)
Commodity Market Balance	Total Supply = Total Demand
Labor Market Balance	Labor Demand = Labor Supply
Capital Market Balance	Capital Demand = Capital Supply

이와 같은 방법론별 장단점을 고려하여 본 연구는 세부 경제주체별 행위식들로 구성된 CGE모형을 활용하여 미시적 변화와 거시적 변화의 연계성을 분석하고자 한다. 이에 본 연구는 미시공간적 네트워크 기능의 교통수요모형을 연계한 CGE모형을 통해 지진발생 후 교통네트워크 파괴에 따른 통행시간비용 증가와 생산량 감소가 지역경제에 미치는 파급효과를 추정한다. 또한 선행연구 내용을 고려하여 본 연구에서는 지진의 충격변수로 생산시설과 교통시설의 붕괴를 활용하고자 한다.

3. 방법론

본 연구는 SCGE모형을 이용해 지진발생 이후 생산시설 파괴 등 자본스톡 감소의 직접피해와 교통인프라의 단절로 인한 지역경제 손실의 간접피해를 분석하였다.

SCGE모형에서는 경제주체가 합리적 행위를 한다는 가정 아래 생산자의 이윤과 소비자의 효용을 극대화하는 과정에서 생산량과 이윤, 소비량과 효용이 도출되고, 시장 균형 조건에 따라 가격이 결정된다. 이에 본 연구에서는 지진발생 전과 후의 균형을 비교함으로써 지진발생 후 생산과 소비의 변화를 살펴볼 수 있다.

본 연구의 공간적 범위는, 지진재해가 다양한 파급경로를 통해 이웃지역 또는 범국가적으로 영향을 미칠 수 있는 점을 고려하여, 2017년 11월³⁾ 규모 5.4의 지진으로 큰 피해를 입은 포항시 북구(홍해읍 일원 진앙지)를 중점으로 직접영향권과 간접영향권으로 분류하였다. 다만 이는 물리적 지진강도에 따른 영향권 분류가 아닌 도로 네트워크에 따른 내부 및 외부 존재계의 분류로써, 직접영향권에는 대구광역시와 경상북도 내 포항 지진과 직접 연계되는 기초자치단체, 간접

영향권에는 수도권, 중부권, 호남권, 그리고 영남권 중 직접 영향권을 제외한 지역이 포함된다.

한편 SCGE모형 개발을 위해서는 지역 생산과 소비, 지역 간 교역 등을 일관성 있게 파악할 수 있는 사회계정행렬 (Social Accounting Matrix, 이하 SAM)이 구축되어야 하는데, 본 연구에서는 지역별 경제활동 수준을 파악하기 위해 광역 자치단체⁴⁾(광역시, 도) 기준의 2013년 지역투입산출표와 시군구별 생산과 수요, 피용자보수, 부가가치, 총생산 등의 자료를 활용하여 추산하였다.

본 모형의 경제주체는 생산자와 소비자로 구성되며, 모형의 수리적 구조는 생산자 공급, 소비자 최종수요, 그리고 공급과 수요를 연계시키는 가격 및 시장청산 부문의 3개 모듈로 이루어진다. 첫째, 생산자 공급 모듈에서는 지역별 생산, 부가가치, 노동 수요, 임금, 자본 수요, 자본수익률, 본선인도가격(Free On Board) 개념의 생산자가격, 운임보험료포함가격(Cost Insurance Freight) 개념의 구매자가격 등을 산정한다. 본 연구모형의 주요 방정식인 Table 2에서 볼 수 있듯이 생산은 중간투입과 부가가치의 레온티에프 (Leontief) 결합 중첩 생산구조로 구성되는데, 중간 투입은 지역 투입계수를 이용한 레온티에프 함수로, 부가가치 투입은 노동, 자본, 인구 및 인구밀도의 트랜스로그(Translog) 생산함수로 결정된다. 생산자의 이윤 극대화 조건에 따라 노동 수요가 결정되며, 임금은 노동 수요와 공급이 일치되는 수준에서 산정된다. 이와 같은 방식으로 자본 수요와 자본 수익율도 이윤 극대화와 시장 균형 조건을 거치면서 산정되는데, 자본 수급은 지진발생으로 생산자본의 손실을 가정하는 등 대안 구성에 따라 외생적으로 처리되기도 한다.

또한, 공간 요인을 고려한 본 SCGE모형의 특징은 생산자가격과 구매자가격을 구분하여 산정한다는 점이다. 생산자가격은 기존 CGE모형과 같이 지역 투입계수에 구매자가격을 곱하여 산정된 중간투입가격과 부가가치가격의 합계로 산출한 반면, 구매자가격은 생산자가격에 지역 간의 교통요

2) 구매자가격은 C.I.F. 기준이며, 생산자가격은 F.O.B. 기준임.
3) 2016년 9월 규모 5.8 경주지진에 이은 국내 역대 2위 규모인 반면, 피해의 경우 포항지진(중앙재난안전대책본부 추산 약 546억 원의 물적 피해)은 계속되는 여진 발생과 대학수학능력학시험 일정 등으로, 경주지진(행정안전부 추산 부상자 23명, 이재민 54세대 111명, 약 110억 원의 재산피해)보다 오히려 크게 추계됨.

4) 서울, 인천, 경기, 대전, 충남, 충북, 광주, 전북, 전남, 대구, 경북, 부산, 울산, 경남, 강원, 제주(총 16개 지역)

을, 물동량, 통행시간거리를 곱한 운송마진 개념의 교통비를 더한 가격으로 정의된다. 교통요금과 물동량은 산업연관표의 운송서비스 교역 부문을 본 연구의 공간 단위인 시군구의 기중점 기준으로 배분하여 산출되며, 시간거리는 교통수요모형을 통해서 결정된다. 둘째, 소비자 최종수요 모델에서는 효용과 소비가 결정된다, 효용은 콥-더글라스(Cobb-Douglas) 유형의 소비재 함수이며, 소비량은 효용 극대화 조건에 따라 결정된다. 마지막으로, 가격 및 시장청산 모델에서는 재화 서비스 시장과 요소시장(노동 시장, 자본 시장) 등 각 시장 내 수요와 공급이 균형을 이루는 점에서 가격이 산정된다. 이와 같이 모형의 해는 주어진 제약 아래 생산자 이윤과 소비자 효용을 극대화 시킬 수 있는 수량 및 가격의 균형점으로 수렴한다. 재화 및 요소 시장 균형에는 왈라시안(Walrasian) 균형 조건이 적용되며, 모형의 기준가격(numeraire)은 소비자물가지수(Consumer Price Index)로 설정하였다. 모형 내 모수는 계량적 통계분석과 사회계정행렬 계수를 이용하여 추정하였으며, 모형의 해는 GAMS 프로그램을 이용하여 일반균형 값을 도출하였다.

SCGE모형에 지진 충격의 외생 조건을 대입할 경우 지진발생이 재화 및 요소 시장의 수요, 공급, 그리고 가격에 미치는 영향을 분석할 수 있다. 본 연구에서 지진발생에 의한 외부 충격변수는 생산시설의 감소와 교통 네트워크 붕괴에 따른 시간거리의 증가로 구성된다. 먼저, 생산시설 붕괴의 외부충격을 가정할 경우 생산자본 손실액을 추산해야 하는데, 국내에서는 생산자본 파손의 확률과 정도⁵⁾ 관련 자료를 구득할 수 없다는 한계가 있다. 이에 본 연구는 정부가 산정한 복구비용과 일본의 적용기준을 고려한 한국은행 포항본부(The Pohang Headquarters of the Bank of Korea, 2018)⁶⁾ 결과를 토대로 지진 강도에 따른 적정 파손율 2%를 가정하여 자본 손실액을 추산하였다. 또 다른 충격변수인 교량붕괴 손실액의 경우 도로교량별 붕괴 확률과 이에 따른 확률적 기대 손실액의 곱(multiply)으로 추계해야 하지만, 현실적으로 교량과 교량별 피해 정도⁷⁾에 대한 모든 경우의 수를 고려하기는 어렵다. 이에 본 연구에서는 지진 발생시 포항시 내 모든 주요 교량들이 100% 붕괴한다고 전제하고 지진발생 전후의 통행시간 자료를 활용하였다. 이 자료는 한국교통연구원 국가교통DB의 기중점 통행량과 도로 네트워크 자료를 토대로 구축되었으며, 교통수요모형을 이용해 지진발생 이후

교량 전면 통제 하의 시간거리를 추산함으로써 지진발생 전과 후의 통행시간 변화율을 Table 3과 같이 산정하였다.

위와 같은 지진발생 이전과 이후의 생산 자본스톡과 통행시간의 수준값 및 변화율은 지진발생의 비교정태분석에 이용하였다. 즉 본 연구는 지진발생으로 인한 (1) 생산시설 붕괴, (2) 교량시설 붕괴, 그리고 (3) 생산시설과 교량시설 모두 붕괴되는 경우를 가정한 3가지 대안을 설정하고, 지진발생 이전과 지진 이후의 각 대안별 지역생산을 비교하여 지진의 지역경제효과를 분석하였다. 대안 1의 경우에는 산업시설 등 생산자본의 2% 붕괴를 가정하여 지진의 직접피해를 추산하였고, 대안 2에서는 포항의 주요 도로교량의 붕괴 손실을 가정하여 지진으로 인한 간접피해로 추산하였다. 마지막으로 대안 3은 생산시설과 도로교량의 동시 붕괴를 가정하여 피해액을 산정하였다.

대안별 지진이 지역경제에 미치는 메커니즘을 Fig. 1과 같이 살펴보면, 지진발생 후 공급 측면에서는 생산시설의 파괴로 직접적 생산요소인 생산 자본스톡이 감소함에 따라 공급이 줄어들고, 이는 국내생산에 직접적으로 피해를 야기한다. 가격 측면에서는 지진발생 후 도로교량의 붕괴로 우회 도로를 이용하는 등 이동시간거리가 늘어나면서 구매자가 가격이 상승하고, 이는 다시 생산자가격을 높이게 된다.

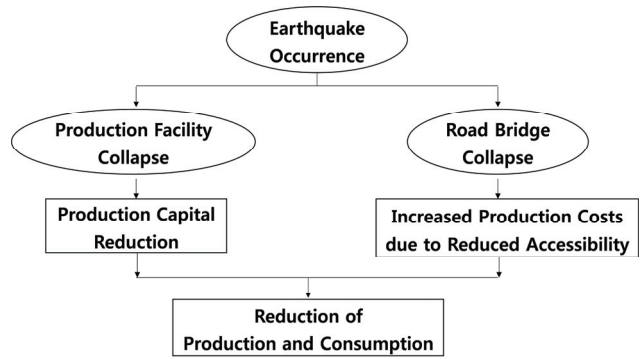


Fig. 1. Overview of Direct and Indirect Effects of Earthquake Disaster

4. 분석결과

세 가지 대안 분석 결과, Table 4에서 볼 수 있듯이, 지진발생 후 국내총생산(Gross Domestic Product, 이하 GDP)은 생산자본 파괴와 도로교량 붕괴로 인해 각각 0.53%, 0.05% 줄어들어 총 0.58% 정도 감소할 것으로 예상된다. 이같이 GDP 감소의 결과는 지진재해로 인한 포항시 외부충격이 국내 전역의 생산과 소득에 부정적 영향을 미칠 수 있음을 의미한다는 점에서 공간 측면을 고려한 SCGE모형이 공간적 파급효과를 유발하는 자연재난 분석에 적절한 방법론임을 보여준다.

대안별 GDP 효과를 살펴보면, 대안1(생산시설 붕괴 가정)

5) 파손 정도는 전파, 반파, 소파 등으로 나눌 수 있음.
 6) 한국은행 포항본부(The Pohang Headquarters of the Bank of Korea, 2018)에 따르면, 목조주택 중심인 일본(파손율 3.4~15.3% 적용)과는 달리, 우리나라는 파손률이 낮은 비목조주택이 대부분인 점, 그리고 포항지진의 진도 VI이 일본기상청 기준진도의 4-5약에 해당하는 점에서 2.0%의 파손률을 적용함. 참고로 일본의 피해상황별 파손률의 적용기준을 살펴보면, 일본기상청기준진도 6강-7인 경우 파손률 15.3%, 5강-6약인 경우 주택 전과가 보고된 지역 3.4~15.3%와 이외 지역 2.0~3.4%, 그리고 4-5약인 경우 2%를 적용함.
 7) 교량 피해정도는 피해 없음, 약간, 보통, 심각, 완전히 나뉘어 살펴볼 수 있음.

Table 3. Change Rate of Travel Time between Regions after Earthquake

		Daegu								GyeongBuk									
		Jung-gu	Dong-gu	Seo-gu	Nam-gu	Buk-gu	Suseong-gu	Dalseo-gu	Dalseong-gun	Gumi-si	Gyeongsan-si	Gunwi-gun	Cheongdo-gun	Goryeong-gun	Seongju-gun	Chilgok-gun	Pohang-si	Gyeongju-si	Yeongcheon-si
D.	Jung-gu	-0.02	-0.09	-0.06	-0.03	0.00	-0.03	-0.04	-0.04	0.01	0.93	1.07	0.01	0.81	0.62	0.01	-0.08	-0.71	-0.22
	Dong-gu	-0.07	-0.23	-0.09	-0.08	-0.16	-0.16	-0.08	-0.11	-0.02	1.03	1.18	-0.01	0.88	1.33	0.01	-0.10	-0.48	-0.13
	Seo-gu	-0.06	-0.11	-0.03	-0.05	-0.03	-0.07	-0.02	-0.02	0.02	0.26	0.30	0.01	0.22	0.01	0.02	-0.08	-0.86	-0.24
	Nam-gu	-0.01	-0.09	-0.01	-0.04	-0.01	-0.04	-0.01	-0.02	0.00	0.57	0.65	0.01	0.49	0.50	0.02	-0.07	-0.45	-0.13
	Buk-gu	-0.06	-0.20	-0.01	-0.06	-0.06	-0.16	-0.04	-0.05	-0.03	0.67	0.77	0.00	0.58	0.71	0.01	-0.08	-0.42	-0.22
	Suseong-gu	0.04	-0.01	0.05	0.02	0.02	0.06	0.01	-0.01	-0.06	0.97	1.11	0.00	0.83	1.24	0.01	-0.08	-0.22	-0.07
	Dalseo-gu	-0.03	-0.09	-0.02	-0.03	-0.00	-0.04	0.00	-0.02	0.02	0.11	0.12	0.02	0.09	0.02	0.02	-0.07	-0.68	-0.22
	Dalseong-gun	-0.02	-0.11	-0.02	-0.02	-0.05	-0.03	-0.01	-0.01	-0.01	0.18	0.21	0.00	0.16	0.13	0.00	-0.04	-1.12	-0.26
G.B.	Gumi-si	0.01	0.01	0.01	0.01	-0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	-0.00	-0.00	-0.01	-0.00	-0.01	-0.01	0.00	0.18	0.10
	Gyeongsan-si	0.88	1.00	0.43	0.61	0.65	0.91	0.08	0.17	0.01	-0.01	0.02	-0.01	-0.00	-0.02	0.00	0.01	1.29	1.21
	Gunwi-gun	1.01	1.15	0.50	0.69	0.75	1.04	0.10	0.19	0.00	0.00	-0.03	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.00	1.52	1.40
	Cheongdo-gun	0.02	-0.00	0.02	0.02	0.01	0.01	0.03	0.02	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	-0.05	0.00	0.00	0.44	-0.11
	Goryeong-gun	0.77	0.86	0.38	0.53	0.56	0.79	0.07	0.15	0.01	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.01	-0.01	0.00	1.09	1.05
	Seongju-gun	0.94	1.30	0.02	0.58	0.79	1.17	0.03	0.15	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.01	0.00	0.00	1.85	1.57
	Chilgok-gun	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	-0.00	0.01	-0.00	-0.01	0.01	0.00	-0.01	-0.00	0.00	0.14	0.08
	Pohang-si	-0.09	-0.12	-0.08	-0.09	-0.10	-0.11	-0.08	-0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	-0.02	-0.08	-0.11
	Gyeongju-si	-0.03	-0.38	-0.97	-0.15	-1.29	0.64	-0.59	-1.51	0.28	1.13	1.40	0.43	0.95	1.52	0.22	0.09	0.73	0.37
	Yeongcheon-si	-0.20	-0.02	-0.33	0.04	-0.30	0.22	-0.31	-0.10	0.05	1.12	1.29	-0.02	0.96	1.45	0.08	-0.15	0.07	-0.18

Note. D. means Daegu Metropolitan City while G.B. indicates Gyeongsangbuk-do.

의 국내총생산 변화율(-0.53%)이 대안2(교량시설 붕괴 가정)의 변화율(-0.05%)에 비해 10배 정도 크게 나타났는데, 이를 통해 생산시설 붕괴로 인한 직접피해가 교량 붕괴로 인한 간접피해보다 훨씬 큰 손실률을 유발함을 볼 수 있다. 이는 도로교량이 붕괴될 경우 통행차단, 도로우회 등을 통한 교통비 및 생산비의 증가가 재화가격의 상승으로 나타나 수요와 공급이 감소하는 반면, 생산시설이 붕괴될 경우에는 생산-공급에 보다 직접적인 영향을 미쳐 생산 마비-위축, 그리고 이에 따른 고용 조정, 소비 및 생산 감소 등 생산-소득-지출 연결고리의 악순환이 연쇄적 형태로 나타나기 때문에 판단된다. 실제로 포항시 인구수는 2015년 약 52만 명을 정점으로 이후 감소 추세를 보이며, 2017년 대비 2018년 인구수는 약 2,500명의 감소를 보였다. 이러한 이유에는 저출산 등의 자연적 요인도 있지만, 포항시를 떠나 수도권 등 타지역으로 인구전출의 요인을 간과할 수 없다. 포항시와 타지역 간 인구이동을 살펴보면 주로 20~30대 연령층이 일자리 기회를 찾아 포항시와 이웃도시인 경상북도 구미시, 또는 유사한 철강 도시인 충청남도 당진시, 그리고 대도시인

대전광역시로의 전출이 많았는데, 이는 지진발생 이후 포항시 내 기업경영의 악화로 고용 감소⁸⁾ 등 지역경제수준의 악화를 내포한다고 볼 수 있다.

다음으로 영향권별 포항 지진의 파급효과를 살펴보면, Table 4 및 Fig 2에서 볼 수 있듯이, 직접영향권과 간접영향권 모두 지진발생 이전 대비 지진 이후 지역내총생산(Gross Regional Product, 이하 GRP)의 감소를 보였다. 직접영향권에서는 앞서 살펴본 GDP 변화와 같이 생산시설 붕괴의 직접피해가 교량붕괴의 간접피해보다 크게 나타났으며, 대구 남구(-3.69%), 대구 서구(-1.89%), 대구 중구(-1.85%), 대구 수성구(-1.39%), 경북 고령군(-1.35%) 순으로 비교적 큰 손실률을 보였다. 간접영향권에서는 직접피해 및 총피해 기준 수도권(각 -0.59%, -0.64%)에서 큰 손실률을 보인 반면 도로교량 붕괴시의 간접피해 기준으로는 포항시가 속한 영남권(-0.06%)에서 큰 손실률을 보였다. 이와 같이 지진발

8) 통계청 자료의 2017년 대비 2018년 15-64세 고용률을 살펴보면, 대구광역시의 경우 0.8% 감소, 경상북도는 1.0% 감소를 보임(Statistics Korea, 2019).

Table 4. GRP Changes by Scenario

(Unit: %)

Zone	Si-Gun-Gu		Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
			Collapse of Production Facilities	Collapse of Road Bridge	Collapse of Production Facilities and Bridge
GDP			-0.53	-0.05	-0.58
Direct-influenced Zone	Daegu Metropolitan City	Jung-gu	-1.76	-0.10	-1.85
		Dong-gu	-1.10	-0.06	-1.15
		Seo-gu	-1.81	-0.09	-1.89
		Nam-gu	-3.54	-0.15	-3.69
		Buk-gu	-0.94	-0.06	-1.00
		Suseong-gu	-1.31	-0.08	-1.39
		Dalseo-gu	-1.11	-0.08	-1.18
	Gyeongbuk Province	Dalseong-gun	-0.73	-0.04	-0.77
		Pohang-si	-0.45	-0.03	-0.48
		Gyeongju-si	-0.56	-0.03	-0.59
		Gumi-si	-0.30	-0.02	-0.32
		Yeongcheon-si	-0.64	-0.02	-0.66
		Gyeongsan-si	-0.65	-0.03	-0.68
		Gunwi-gun	-0.61	0.00	-0.62
		Cheongdo-gun	-1.13	-0.01	-1.14
		Goryeong-gun	-1.33	-0.02	-1.35
		Seongju-gun	-0.26	-0.01	-0.27
	Chilgok-gun	-0.96	-0.03	-1.00	
	GyeongNam	Changnyeong-gun	-0.56	-0.01	-0.57
Indirect-influenced Zone	Capital Region		-0.59	-0.05	-0.64
	Central Region		-0.32	-0.03	-0.35
	Honam Region		-0.29	-0.03	-0.32
	Yeongnam Region		-0.52	-0.06	-0.58

Note 1. Seoul, Incheon, Gyeonggi Province represent are considered as the Capital region, Daejeon, Gangwon, Chungbuk as the Central region, Gwangju, Jeonbuk, Jeonnam, Jeju as the Honam region, and Busan, Ulsan, Gyeongbuk, Gyeongnam as the Yeongnam region.

Note 2. The shading and bold writing sections mean the top five loss rate areas, while the bold writing sections without shading mean the bottom five loss rate areas.

생지역인 포항시가 포함된 경상북도 고령군은 물론 이웃지역인 대구광역시, 그리고 수도권까지 나타난 경제적 손실의 결과는 긴밀히 연계된 지역 간의 생산네트워크로 인해 지진 발생 지역은 물론 생산연관 지역의 경제에도 영향을 미친다고 해석할 수 있다. 예로 대구광역시와 경상북도의 경우, 지역 간 인접 요인과 더불어 두 지역 모두 1차금속 및 금속제품업 비중이 크며⁹⁾, 특히 대구광역시의 1차금속제품업은 경상북도와의 교역 의존도가 매우 높다.¹⁰⁾ 이러한 공간적

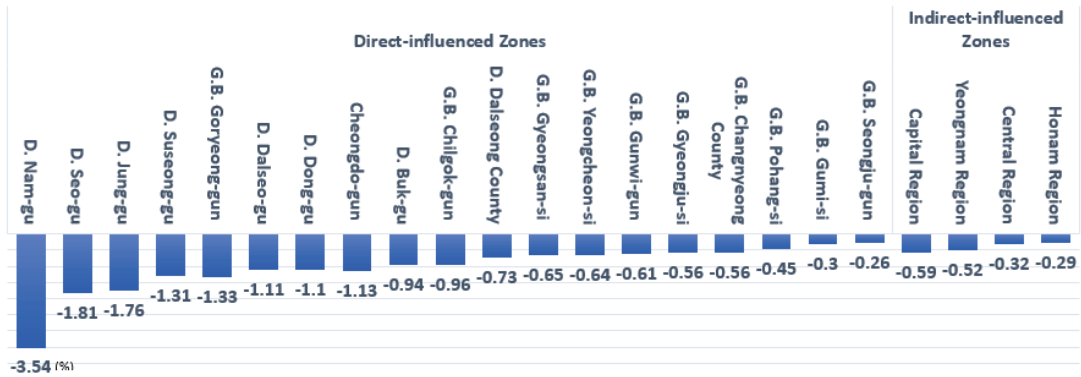
연계성으로 지진발생 지역이 아닌 타지역에서도 구매자가 격 증가, 연관지역 간 산업가계 경제활동 저하¹¹⁾ 등 연쇄적 간접피해가 발생하게 된다.

대안별 GRP 파급효과를 정리하면, 대안1(생산시설 파손률 2%)의 GRP 감소율은 대구 남구(-3.54%), 대구 서구(-1.81%), 대구 중구(-1.76%), 경북 고령군(-1.33%), 대구 수성구(-1.31%) 등에서 큰 손실률을 보인 반면, 경북 성주군(-0.26%), 경북 구미시(-0.3%), 경북 포항시(-0.45%), 경북 경주시(-0.56%), 경북 창녕군(-0.56%)에서 작은 손실률을 보였다. 간접영향권에서는 수도권(-0.59%), 영남권(-0.52%),

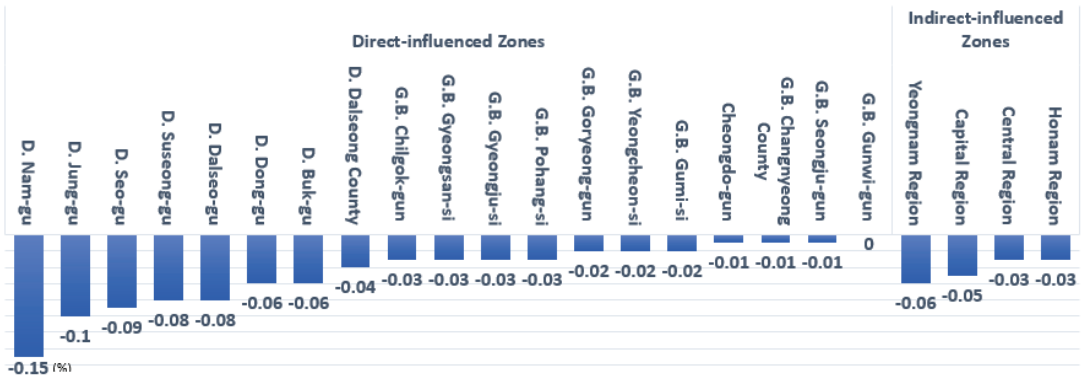
9) 예로 포항시 포함통계연보를 살펴보면, 1차금속제조업 경우 종사자수 17,477명, 출하액 20,691,366백만 원, 부가가치 4,159,517백만 원이며, 기타기계및장비제조업 경우 종사자수 56,889명, 출하액 379,503백만 원, 부가가치 154,398백만 원(Pohang City Hall, 2018).

10) 한국은행 경제통계시스템에서 확인할 수 있는 2013 지역간 산업연관표에 따르면, 2013년 기준 대구광역시의 지역내 교역은 68,599백만 원이

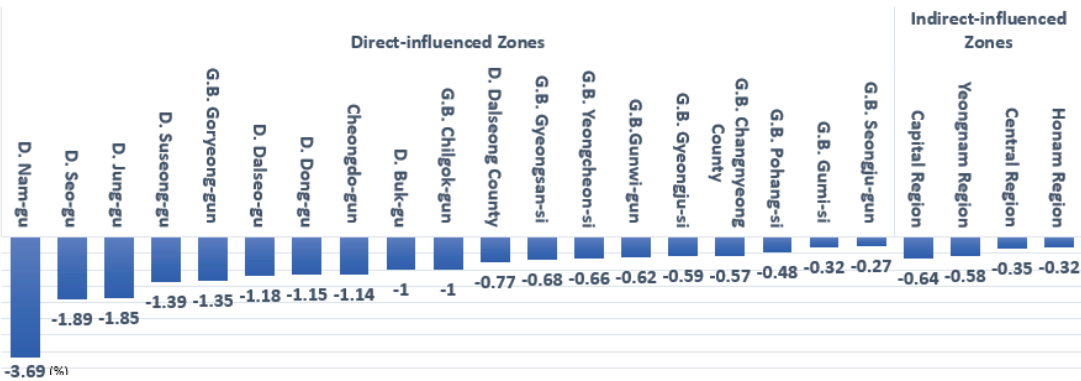
며, 경상북도와의 교역은 263,237백만 원 수준임(Bank of Korea, 2014).
11) 기업의 생산중단 또는 계약해지로 인한 경영악화, 해당지역으로의 출퇴근자 및 방문객 감소 등.



(a) Scenario 1. Production Facility Collapse Assumption



(b) Scenario 2. Road Bridge Collapse Assumption



(c) Scenario 3. Assumption of Production Facility and Road Bridge Collapse

Note. D. means Daegu Metropolitan City while G.B. indicates Gyeongsangbuk-do.

Fig. 2. GRP Change Rate after Earthquake by Scenario

중부권(-0.32%), 호남권(-0.29%) 순으로 큰 손실률을 보였다. 다음으로 대안 2(교량 파손률 100%로 해당도로의 전면통제 가정)의 분석 결과, 대구 남구(-0.15%), 대구 중구(-0.10%), 대구 서구(-0.09%), 대구 수성구(-0.08%), 대구 달서구(-0.08%)에서 큰 손실률을 보인 반면, 경북 군위군(-0.004%), 경북 성주군(-0.01%), 경남 창녕군(-0.01%), 경북 청도군(-0.01%), 경북 구미시(-0.02%)에서 작은 손실률을 보였다. 간접영향권에서는 영남권(-0.06%), 수도권(-0.05%), 중부권(-0.03%), 호남권(-0.03%) 순으로 큰 손실률을 보였다. 직접

영향권에서는 대안 2의 결과와 유사한 지역에서 큰 손실률을 보인 반면 간접영향권에서는 수도권에서 큰 손실률을 보인 대안 2의 결과와 달리 영남권에서 큰 손실률을 보였다. 이는 내단2교가 위치하고 있는 익산포항고속도로가 대구광역시 까지 연결되며 해당 도로망이 수도권이 아닌 영남권 지역과 보다 직접적으로 연결되어 있기 때문으로 판단된다. 마지막으로 생산시설과 도로시설 모두 붕괴된 경우를 가정하는 대안 3의 분석결과는 대안 1과 2의 분석결과 합과 일치하였다. 직접영향권에서는 대체적으로 경상북도 보다 대구광역

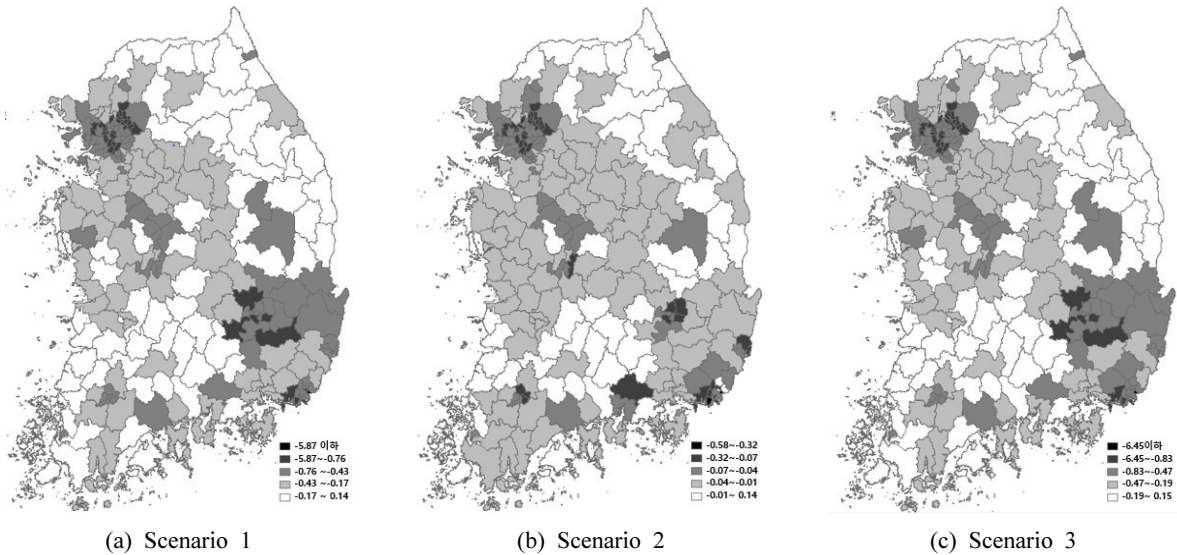


Fig. 3. Mapping of GRP Change Rate after Earthquake by Scenario

시의 GRP 손실률이 크게 나타났다. 대구 남구(-3.69%), 대구 서구(-1.89%), 대구 중구(-1.85%), 대구 수성구(-1.39%), 경북 고령군(-1.35%)에서 비교적 큰 손실률을 보인 반면 경북 성주군(-0.27%), 경북 구미시(-0.32%), 경북 포항시(-0.48%), 경남 창원군(-0.57%), 경북 경주시(-0.59%)는 비교적 적은 손실률을 보였다. 특히 경북 포항시의 GRP 손실률(-0.48%)은 한국은행 포항본부(The Pohang Headquarters of the Bank of Korea, 2018)의 추산 결과(-0.45%)와 유사한 값을 보임으로써 본 연구결과의 타당성을 검증할 수 있었다. 간접영향권에서는 수도권(-0.64%), 영남권(-0.58%), 중부권(-0.35%), 호남권(-0.32%) 순으로 대안 1(생산시설 붕괴 가정)과 같은 지역 순의 손실률을 보였다.

이와 같이 GRP가 비교적 낮은 경상북도 일부 지역과 대구광역시 다수 지역에서 보인 큰 손실률의 결과는 지역별 사회경제적 취약성에 기인한다고 판단된다. 지진발생으로 부정적 영향력이 큰 지역은 사업체수, 고용자수, 지역내총생산 등이 비교적 낮다¹²⁾. 한편 간접영향권에서는 수도권(-0.64%), 영남권(-0.58%), 중부권(-0.35%), 호남권(-0.32%) 순으로 지역내총생산의 감소를 보였다. 지역경제가 취약한 직접영향권과는 달리 서울, 경기, 인천 등의 간접영향권은 포항과 경북의 1차금속제품업에 대한 의존도가 비교적 높기 때문에 포항 지진으로 인한 파급효과가 큰 것으로 보인다. 이러한 수도권의 손실 결과는 Tatano and Tsuchiya (2008)가 주장한 바와 같이 산업구조와 경제지리 위상에 기인한 것으로 볼 수 있다.

12) 2016년 기준 사업체수 경우 대구 중구 8,895개, 대구 서구 7,758개, 대구 남구 4,452개, 대구 수성구 11,974개, 경북 고령군 1,660개이며, 지역내총생산 경우 대구 중구 4,219,325백만 원, 대구 서구 3,152,745백만 원, 대구 남구 2,000,795백만 원, 대구 수성구 6,340,688백만 원, 경북 고령군 1,122,695백만 원(Statistics Korea, 2019).

5. 결론

본 연구는 지진발생 후 생산시설 파손 등 자본스톡의 감소에 따른 생산 차질을 직접피해로 정의하고, 지진발생 후 도로시설망이 붕괴되어 교통비 및 재화가격을 상승시켜 생산과 소비 등 지역경제에 미치는 손실을 간접피해로 정의하였으며, 이들의 합계를 지진에 의한 작·간접 파급효과로 산정하였다. 연구모형은 미시적 공간 수준의 교통 네트워크와 연계시키기 위해 통합 광역자치단체와 연관 기초자치단체 공간 단위의 SCGE모형을 개발하였다. 지진 관련 외생적 충격변수로는 생산시설 붕괴로 인한 생산 자본스톡의 감소, 도로시설 붕괴로 인한 시간비용의 증가를 설정하여 대안 분석 하였다. 분석 결과, 지진발생 후 생산시설 손실과 교량 붕괴로 인한 시간비용의 증가는 작·간접 영향지역의 지역내 총생산을 감소시켰다. Fig. 3은 분석결과를 GIS프로그램을 통해 지도에 시각화한 그림이다. 이와 같이 본 연구는 지진발생에 따른 파급효과를 교통수요모형과 연계한 SCGE모형을 통해 공간적 측면을 고려하여 지진발생의 직접영향지역 외에 생산 네트워크에 따라 파생되는 간접영향지역까지 고려할 수 있다는 점에 의의가 있다. 다만 생산시설 붕괴로 인한 생산 자본스톡의 감소효과는 교량시설 붕괴로 인한 가격상승의 효과 보다 크게 나타났다. 이는 교통비를 고려한 가격요인 보다 자본요소인 생산시설이 생산활동에 보다 직접적 투입요소로 작용했기 때문으로 판단된다.

한편 한계점을 살펴보면, 본 연구모형은 수출입이 없는 폐쇄경제를 가정하는 등 비교적 제약된 모형으로, 향후 보다 세밀한 자료와 모형으로 보완한다면, 보다 정교한 분석이 가능할 것이다. 나아가 향후 연구방향을 제언하자면, 첫째, 산업별 분류하여 분석할 경우, 특화된 산업을 지닌 지역별 생산활동 부문의 변화를 보다 세부적으로 살펴볼 수 있을

것이다. 예로 1차산업의 비중이 큰 지역은 지진발생 후 농경지의 유실 피해가 클 것이며, 3차산업이 주력산업인 지역에서는 공공시설과 금융 부문의 피해가 크게 나타날 것이다. 포항시의 경우엔 건설, 철강 및 비금속 광물 산업이 특화된 만큼 해당 관련 분야에 대한 피해가 집중될 것으로 예상된다. 둘째, 교통수단별 교통비용을 세분화하여 살펴본다면, 즉 승용차와 버스는 여객 수송, 화물차는 화물 수송으로 분류하여 이들의 수요 및 통행시간을 살펴본다면 보다 세부적인 경제주체별 영향을 살펴볼 수 있을 것이다. 마지막으로, 본 연구는 지진발생으로 인한 생산 손실의 단기 효과에 초점을 둔 반면 장기적 관점에서 피해복구 수요의 효과도 살펴볼 수 있다. 복구 속도 또는 시간에 따라 생산회복이 결정되기 때문에 지역경제 회복과 성장 관점에서 복구 측면 또한 중요하다. 지진으로 파손된 사회간접자본시설의 복구를 위한 공공투자, 피해 공장·설비 복구를 위한 기업투자, 그리고 주택 등 파손된 민간시설에 대한 민간투자 및 소비의 증가는 장기적 관점에서 오히려 지역경제에 긍정적 영향을 미칠 것이기 때문이다.

다만 이러한 복구효과는 지방재정상황, 복구시간, 회복력 등에 따라 차이가 나므로 향후 연구에서 지역별 사회경제적 취약성과 회복탄력성을 고려한다면 보다 정확한 피해·복구액 산출이 가능할 것이다. 이와 비슷한 맥락으로 도로시설의 물리적 노후도를 고려하여, 교량 붕괴 확률을 토대로 피해·복구비를 산출하는 방안도 고려되어야 할 것이다. 20년 이상의 노후된 건물·시설 및 교량을 보유한 지역의 경우 동일한 외생충격을 가해도 피해가 더 크게 나타날 것이기 때문이다.

감사의 글

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

References

Bank of Korea. (2014). *Input- output table*. Retrieved from <http://ecos.bok.or.kr/>

Choi, H. (2002). A study on the computational general equilibrium (CGE) model. *Yonsei Economic Studies*, Vol. 9, No. 2, pp. 177-217.

Choi, P., Noh, S., Lee, H., Lee, J., and Park, M. (2011). The impact and implications of Japan's great earthquake on East Asian production network. *KIEP World Economy Update*, Vol. 1, No. 1, pp. 1-18.

Kajitani, Y., and Tatano, H. (2009). Estimation of lifeline resilience factors based on surveys of Japanese industries. *Earthquake Spectra*, Vol. 25, No. 4, pp. 755-776.

Kajitani, Y., and Tatano, H. (2014). Estimation of production capacity loss rate after the great East Japan earthquake and tsunami in 2011. *Economic Systems Research*, Vol. 26, No. 1, pp. 13-38.

Kajitani, Y., and Tatano, H. (2018). Applicability of a spatial computable general equilibrium model to assess the short-term economic impact of natural disasters. *Economic Systems Research*, Vol. 30, No. 3, pp. 289-312.

Kim, E., and Kwon, Y.J. (2016). 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 E. Kim, and B. Kim (Eds.), *Quantitative regional economic and environmental analysis for sustainability in Korea* (pp. 141-152). doi:10.1007/978-981-10-0300-4_8

Kim, E., and Yi, Y. (2015). Impact of railroad investments on regional economies: An approach of spatial CGE model with a microsimulation module of railroad and highway networks. *The 5th International Seminar on Integration of Spatial Computable General Equilibrium and Transport Modelling*, Kobe, Japan, pp. 15-17.

Koike, A., and Miyamoto, Y. (2017). Short-run economic assessment of the transportation recovery policy after an earthquake. *MATEC Web of Conferences*, Vol. 103, 09017. doi:10.1051/mateconf/201710309017

MacKenzie, C.A., Santos, J.R., and Barker, K. (2012). Measuring changes in international production from a disruption: Case study of the Japanese earthquake and tsunami. *International Journal of Production Economics*, Vol. 138, No. 2, pp. 293-302.

Ministry of the Interior and Safety. (2019). *Disaster statistics*. Retrieved from http://www.safekorea.go.kr/idsiSFK/neo/sfk/cs/csc/bbs_conf.jsp?bbs_no=28&emgPage=Y&menuSeq=734

Nakajima, K., and Sakamoto, N. (2015). 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"*, Lisbon, Portugal.

Nakano, K. (2011). *Economic impact assessment of a natural disaster to industrial sectors*. Ph.D. dissertation, Kyoto University, Kyoto, Japan.

- Okuyama, Y. (2004). Modeling spatial economic impacts of an earthquake: Input-output approaches. *Disaster Prevention and Management*, Vol. 13, No. 4, pp. 297-306.
- Okuyama, Y. (2008). *Critical review of methodologies on disaster impacts estimation*. Background Paper for EDRR Report.
- Okuyama, Y. (2014). Disaster and economic structural change: Case study on the 1995 Kobe earthquake. *Economic Systems Research*, Vol. 26, No. 1, pp. 98-117.
- Pohang City Hall. (2018). *The 58th Pohang statistical yearbook*.
- Rose, A. (2004). Economic principles, issues, and research priorities in hazard loss estimation. In Y. Okuyama, and S.E. Chang (Eds.), *Modeling spatial and economic impacts of disasters* (pp. 13-36). doi:10.1007/978-3-540-24787-6_2
- Song, M., and Kim, S. (2017). Examining effect of natural disaster on the tourism balance: Focused on natural resource destination and cultural resource destination. *International Journal of Tourism Management and Sciences*, Vol. 32, No. 7, pp. 99-116.
- Statistics Korea. (2019). *Statistical database*. Retrieved from http://kosis.kr/statisticsList/statisticsListIndex.do?menuId=M_01_03_01&vwcd=MT_GTITLE01&parentId=109.1;#SelectStatsBoxDiv
- Tatano, H., and Tsuchiya, S. (2008). A framework for economic loss estimation due to seismic transportation network disruption: A spatial computable general equilibrium approach. *Natural Hazards*, Vol. 44, No. 2, pp. 253-265.
- The Pohang Headquarters of the Bank of Korea. (2018). *Economic impact estimation and policy implications of Pohang earthquake*.

<i>Received</i>	November 3, 2020
<i>Revised</i>	November 4, 2020
<i>Accepted</i>	December 2, 2020