

자연재해의 경제적 파급효과 분석*

- 축차동태 글로벌 연산가능일반균형 모형의 활용 -

Economic Impact Analysis of Natural Disasters

- Using Recursive Dynamic Global Computable General Equilibrium Model -

Jong Ho Hong**, Yong Gun Kim***, Miyeon Lee****

Graduate School of Environmental Studies(GSES) and Asian Institute for Energy, Environment and Sustainability(AIEES) in Seoul National University, 1 Gwanak-ro, Gwanak-gu, Seoul, Korea
Korea Environment Institute, 215 Jinheungno, Eunpyeong-gu, Seoul, Korea
Asian Institute for Energy, Environment and Sustainability(AIEES) in Seoul National University, 1 Gwanak-ro, Gwanak-gu, Seoul, Korea

Abstract

This study analyzes economic impact of natural disasters in Korea and eight regions of the world using KEI-Linkages model, a recursive dynamic Global Computable General Equilibrium(CGGE) model. Results show that the most affected regions are East Asia and the Pacific, while Europe and Central Asia are the least affected. Applying 100, 200, 250-year flood frequency scenarios in Korea show that GDP will decline by 0.16% ~ 0.1%, and it will not likely to return to the BAU level by 2050. Production in 'Coal·Gas·Minerals' and 'Dwellings' sectors decline the most, and the former shows rather a long period of stagnation. This is the first study of its kind in Korea using a recursive dynamic CGE model to analyze economic impacts of natural disasters, whose results can contribute to developing an economic risk management strategy for climate change adaptation.

* 본 연구는 한국개발연구원(KDI)의 2013년도 정책연구인 '기후변화의 영향과 적응전략' 연구과제 중 하나인 'CGE 모형을 이용한 자연재해의 국민경제적 영향 분석'을 수정, 보완한 것이다.

** Corresponding author. Tel. +82-02-880-9518. E-mail. hongjongho@snu.ac.kr

*** Tel. +82-02-380-7637. E-mail. ygkim@kei.re.kr

**** Tel. +82-02-880-8632. E-mail. mylee03@snu.ac.kr

Submission & Publication Process

Received: Sep. 18, 2014 / Revised: Nov. 1, 2014 / Accepted: Nov. 7, 2014

Key words: recursive dynamic CGE model, natural disaster, economic impact, climate changesafety right, disadvantaged class, criterion of the acceptable risk level

국문초록

자연재해가 미치는 경제적 영향을 파악하기 위해 축차동태 연산가능일반균형 모형인 KEI-Linkages 모형을 활용하여 세계 지역별 비교 및 한국을 대상으로 분석하였다. 세계 지역별 자연재해의 경제적 파급효과를 분석한 결과, 가장 큰 영향을 받은 지역은 '동아시아 및 태평양'이었고, '유럽 및 중앙아시아' 지역이 가장 적은 영향을 받았다. 한국에 대해서는 100년, 200년, 250년 빈도의 홍수 발생 시나리오를 적용한 결과, 2015년 가상의 재해 발생시 GDP가 0.1%에서 최대 0.16%까지 감소하였고 2050년까지 BAU의 GDP 수준을 회복하지 못하였다. 산업별로는 '석탄·가스·광물,' '주거·부동산' 업종의 생산량이 가장 크게 감소하였고, '석탄·가스·광물' 업종이 상당 기간 동안 감소된 생산량 수준으로 정체된 모습을 보였다. 본 논문은 축차동태 CGE 모형을 활용하여 자연재해의 경제적 영향을 분석한 국내 최초의 연구로서 기후변화 적응을 위한 위험관리 전략수립을 위한 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

주제어: 축차동태 연산가능일반균형 모형, 자연재해, 경제적 파급, 기후변화

I. 서론

기후변화의 영향으로 불확실성이 커지면서 기존의 일반적인 재해가 발생할 확률보다 극단적인 강도의 재해가 보다 빈번히 일어날 것으로 예측된다(IPCC, 2007). 자연재해 강도와 빈도가 평균값을 중심으로 종 모양을 이루는 정규분포를 가지고 있을 때, 꼬리(tail) 부분이 얇아야 예측력이 높아지고 그에 대한 대응도 가능하다. 하지만 기후변화의 영향으로 꼬리 부분이 두터워지는, 즉 Fat-tail risk¹⁾가 증가하고 있어 평균적인 강도와 빈도를 가진 재해가 아닌 극단적인 강도와 빈도를 가진 재해의 발생 확률이 커지고 있는 상황이다.

IPCC 제4차 평가보고서에 따르면 앞으로의 기후변화는 20세기와 비교하여 더욱 심화될 가능성이 있으며, 이로 인한 극한기후 등 재해를 유발하는 위험기상 현상의 빈도와 강도는 더욱 증가될 것으로 예측되고 있다(환경부, 2009). 특히 우리나라에서는 태풍, 집중호우 등 강우 패턴의 변화로 인해 최근 10년간 자연재해 피해액은 총 17.7조원에 달할 정도로 급격하게 증가하고 있다. 기후변화는 자연재해를 통해 인구밀도가 높은 도시지역, 고령화로 인해 증가하는 노약자 등 취약 계층에 더욱 심각한 영향을 미칠 수 있기 때문에 기후변화 적응 전략에 있어 자연재해는 중요한 핵심 이슈 중의 하나이며, 이를 위해 일차적으로 자연재해가 과연 어떤 규모로 국민경제에 영향을 미칠 것인지 파악할 필요가

1) Fat-tail은 정규분포 상에서 꼬리 부분이 두터워져 불확실성이 커진다는 개념으로서 기후변화의 분포에서도 꼬리부분이 두터워지고 있어 기존의 틀로 분석하는 데에는 한계가 있다는 것이다. 따라서 기후변화의 영향을 평가할 때 Fat-tail 위험에 따른 불확실성을 고려한 접근이 필요하다는 점을 강조하고 있다(Weitzman, 2011).

있다.

본 연구는 축차동태 연산가능 일반균형(Recursive Dynamic Computable General Equilibrium, CGE) 모형을 이용하여 장기적인 관점에서 기후변화에 따른 자연재해의 경제적 파급효과를 분석하고자 한다. 논의의 순서는 다음과 같다. II절에서는 자연재해의 경제적 영향에 대한 기존 문헌을 검토하고, III절에서는 CGE 모형과 이용 자료에 대해 설명한다. IV절은 분석결과로서 두 가지 내용으로 구성된다. 첫째, 전 세계를 8개 지역으로 구분하여 자연재해의 경제적 파급효과를 비교한다. 둘째, 한국을 대상으로 극한재해 발생에 따른 경제적 파급효과와 산업별 영향에 대해 분석한다. V절에서는 결론과 향후 연구방향에 대해 언급한다.

II. 문헌 연구

자연재해의 국민경제적 영향에 대한 대부분의 연구가 단기적 영향(일반적으로 5년 이내)을 다루고 있으며, 그 결과는 경제성장에 부정적이라는 결과가 우세하다(Albala-Bertrand, 1993; Crowards, 1999; Rasmussen, 2004; Raddatz, 2007; Noy 2009). 반면, 장기적 영향에 대한 연구는 상대적으로 적으며, 연구결과의 축적도 부족한 실정이다(Skidmore & Toya, 2002; Cavallo, *et al.*, 2010).

먼저 자연재해의 단기적 영향을 다룬 주요 선행연구들부터 살펴보고자 한다. 자연재해의 국민경제적 영향에 대하여 실증적으로 분석한 최초의 시도는 Albala-Bertrand(1993)에 의해 이루어졌으며, 재해의 발생과 반응에 대한 회귀모형을 구축하고 재해 발생 전과 후에 대한 통계분석을 실시해 보니 GDP가 0.4% 증가한 것으로 나타났다. Strobl(2011)은 열대성 허리케인의 영향권에 포함되어 있는 미국 해안지역의 경제적 피해 여부를 분석한 결과, 허리케인이 발생한 년도에는 지역 내 경제성장이 평균적으로 0.79% 감소하나, 바로 그 다음 해에 일부 회복되어 0.22%p 정도 증가하는 것으로 나타났다. 이상의 결과들은 자연재해의 경제적 피해가 미미할 뿐 아니라 오히려 “창조적 파괴”를 통해 성장을 촉진할 수 있다는 역설적 가설을 지지하는 연구로 볼 수 있다.

그러나 또 다른 많은 연구들은 자연재해가 거시경제적으로 부정적인 영향을 미친다는 결과를 보여주고 있다(Crowards, 1999; Rasmussen, 2004; Hochrainer, 2009; Noy, 2009). Crowards(1999)는 캐리비안 지역의 1970-1997년 기간 동안 발생한 22개의 허리케인이 경제적으로 미친 영향을 분석한 결과, 재해가 발생한 년도의 실질 GDP 성장률이 약 3%로 감소하였다.

자연재해가 국가경제에 미치는 단기적 영향을 분석한 연구들을 볼 때 연구대상과 기간, 방법론에 따라 결과가 다르게 나타나고 있음을 알 수 있다. 자연재해가 국가경제에 미치는 장기적 영향에 대한 연구는 상대적으로 적고, 일관된 분석결과 역시 존재하지 않는다. 먼저 자연재해가 장기적으로 경제성장을 촉진한다는 대표적인 연구로서 Skidmore & Toya(2002)를 들 수 있다. 이들의 연구에 따르면 자연재해로 인한 피해로부터 경제가 회복하는 과정에서 인적자원의 질이 높아지고, 재해에 대응하기 위

한 새로운 기술의 개발이나 도입을 통해 경제성장이 이루어진다는 것이다.

그러나 가장 최근의 연구인 Hsiang & Jina(2012)에서는 재해가 경제성장에 미치는 장기적 영향에 대해 매우 상반된 결과를 보여주고 있다. 이 연구에서는 1950년-2008년 기간 동안 전 세계에서 발생한 열대성 태풍이 각국의 경제성장률에 미친 누적 영향을 분석하였다. 그 결과 태풍이 경제에 미치는 부정적 영향은 해당 시점에서 최소 20년간 지속되며, 상위 90% 수준 태풍의 경우 태풍이 없었을 것보다 가정한 BAU(Business As Usual)와 비교해 볼 때 20년 후 평균적으로 1인당 국민소득을 7.4% 낮추는 것으로 나타났다. 특히 주목할 부분은 같은 기간 태풍으로 인한 한국의 누적 GDP 손실액이 1조 달러에 달하는 것으로 나타나 4조 5천억 달러에 이르는 일본에 이어 현재 GDP 대비 피해액 규모가 전 세계 2위로 분석되었다. 자연재해의 피해가 누적적으로 경제에 부정적 영향을 유발하며, 그 중에서도 한국의 피해가 매우 크다는 사실을 시사해 주고 있다. 이렇듯 다양한 연구결과를 감안한다면 자연재해가 경제성장에 미치는 장기적인 영향에 대해서는 앞으로도 지속적인 연구가 필요하다고 할 것이다.

자연재해의 경제적 영향을 분석하는 연구방법은 초기에는 피해규모 추정을 위한 사례연구와 회귀분석이 주를 이루었고, 2000년대 중반 이후부터 투입산출모형(Input-output Model)이나 연산가능 일반균형모형(Computable General Equilibrium Model) 등을 활용하여 경제 전반에 걸친 파급효과를 분석하는 접근들이 시도되고 있다(Narayan, 2003; Pauw, *et. al.*, 2011; Giesecke, *et. al.*, 2012). CGE 모형은 투입산출모형에 비해 보다 현실적인 경제 상황, 예를 들면 자연재해 발생 이후의 경제회복 과정 등을 효과적으로 설명할 수 있다는 장점을 가지고 있다.²⁾ 이러한 관점에서 자연재해로 인한 피해를 복구하기 위한 정부 또는 민간의 투자활동, 자본량 회복 등을 반영할 수 있는 동태 연산일반균형모형이 최근 문헌에서 활발하게 적용되고 있다.

Shibusawa & Miyata(2011)의 연구에서는 동태 CGE 모형을 적용하여, 일본의 Tokai 지역에서 가상의 지진을 발생시킨 후, 그에 따른 피해만큼 자본스톡을 감소시켜 지진이 동태적, 공간적으로 미치는 경제적 영향을 평가하였다. 한편, 핀란드에서는 10년, 50년, 100년, 250년 빈도의 홍수 발생 시 경제적 파급효과를 축차동태 연산일반균형 모형을 적용하여 분석하였다(Simola, *et. al.*, 2011). 2011년 을 기준으로 가상의 홍수를 발생시키고 2020년까지 재해에 따른 경제적 변화를 분석하였는데, 기존 연구에서 산출한 홍수 피해액만큼 자본스톡을 감소시키는 설정으로 모형을 구축하였다. 또한 USGS(2011)의 연구에서는 미국 캘리포니아 지역을 대상으로 USGS(미국지질조사국, U.S. Geological Survey)가 개발한 ARkStrom 시나리오에 따라 엄청난 폭우가 발생할 경우 경제적 파급효과를 동태적 연산일반균형모형을 적용하여 분석하였다.³⁾ 이 연구에서는 HAZUS-MH라는 재난 모형을 통해 재해피해액을

2) 지진, 해일 등과 같이 예고 없이 발생하는 대단위 자연재해 상황에서 경제가 균형 상태를 유지한다고 가정하는 것이 적절한가에 대해 회의적인 시각이 있을 수 있다. 균형 상태를 전제로 모형 내에서 해를 구하는 CGE 모형보다는 이러한 제한적인 가정 없이도 재난의 경제적 파급효과 분석이 가능한 투입산출모형과 같은 접근이 보다 적절하다는 주장 역시 존재한다.

3) 'ARkStorm'은 성경에 등장하는 '노아의 방주(Noah's Ark)'와 폭우(Storm)의 합성어다. 캘리포니아를 비롯한 미 서부지역에 500년에서 1000년에 한 번 발생하는 빈도의 재해로 간주되고 있다.

산출하고, 그 만큼 자본스톡이 감소되는 설정을 적용하였다.⁴⁾

국내에서도 제한적이지만 자연재해와 경제의 관계를 연구한 시도가 1990년대 이후로 계속되고 있다 (Eom, *et. al*, 1995; 정근채, 2008; 환경부, 2009; 류문현 외, 2012). 해외 연구의 흐름과 유사하게 초기에는 피해액을 추정하는 연구에서 점차 대단위 모형을 활용하여 국민경제 전반에 미치는 영향을 분석하는 방향으로 진행되고 있다. 환경부(2009)에서 수행한 ‘우리나라 기후변화의 경제학적 분석 I’ 연구에서도 자연재해로 인한 피해비용을 추정하기 위한 방법론들을 검토하였다. 그러나 기후변화에 따른 자연재해가 미치는 영향을 경제학적으로 분석하는 내용은 본격적으로 다루지는 않았다.

가장 최근 국내에서 수행된 류문현 외(2012)는 연산일반균형모형을 활용하여 자연재해의 경제적 파급효과를 분석하였고, 자연재해로 인해 GDP가 약 5%라는 매우 큰 규모로 감소한다는 결론을 도출하였다. 그러나 단순화된 부문이 많고, 단기적인 자본량의 변화를 가정한 정태적 분석이 자연재해 이후 자본량 회복, 경제구조의 변화 등을 반영하지 못했다는 문제점이 있다.

III. 연구방법 및 자료

1. KEI-Linkages 모형의 적용

자연재해의 국민경제적 영향분석을 위해 본 연구에서는 한국환경정책·평가연구원에서 개발하고 운용 중인 KEI-Linkages를 적용한다.⁵⁾ 이 모형은 개방경제(open economy)를 전제로 한 글로벌 CGE 모형으로서 한국을 비롯한 전 세계 다른 지역 혹은 국가들에서의 자연재해 파급효과에 대한 비교 분석이 가능하다는 장점이 있다.⁶⁾

다만, 현재 구축되어 있는 KEI-Linkages 모형은 한 국가의 자본스톡을 단일 종류로 가정하고 있어 자연재해로 인해 발생할 수 있는 특정 인프라(예를 들어 전력생산 시설이나 도로망 등)의 파괴 혹은 손실을 모의하는 것은 불가능하다. 이와 같이 자연재해와 밀접히 관련된 인프라를 별도의 자본스톡으로 구분하지 못함에 따라 자연재해로 인해 직접적으로 발생할 수 있는 경제적, 구조적 손실을 분석하는 것은 쉽지 않다는 한계가 있다. 따라서 향후 연구에서는 자연재해로 인한 경제적 파급효과를 보다 정확히 파악할 수 있는 CGE 모형의 구축과 자료 확보가 필요하다.

4) 미국 연방재난관리청의 주도하에 개발된 HAZUS는 미국에서 대규모로 자주 발생하는 지진, 홍수, 허리케인으로 인한 재산 손실을 평가하고 인명 피해를 예측하는데 사용될 수 있는 재난모형이다.

5) 이 모형은 축차동태 연산일반균형 모형으로 국내 연구진(한국환경정책평가연구원, 2010)이 OECD의 ENV-Linkages 모형을 수정·보완하여 개발한 것이다. 축차동태 모형은 기본적인 정태모형에 시차변수를 도입하고, 이전 연도의 투자활동에 의한 자본축적과 인구증가, 기술수준 향상과 같은 외생적인 변화가 다음 연도에 외생변수로 적용되어 새로운 정태균형을 산출하는 것이다.

6) KEI-Linkages 모형의 상세한 구조는 한국환경정책평가연구원(2010) ‘환경경제모형 개발 II’에서 확인할 수 있다.

본 연구에서는 먼저 세계은행에서 추정한 국가별 재해피해액 추정치를 활용하여 세계의 지역별 자연재해의 경제적 파급효과를 비교, 분석한 후, 국내 선행연구에서 한국을 대상으로 별도로 구축한 재해피해액 추정치를 활용하여 한국에서의 자연재해 발생에 따른 경제적, 산업별 영향을 분석한다. 이때 세계는 한국과 선진국 그룹 등을 별도 지역으로 분리하여 총 8개의 지역으로 나타냈다(<표 1>). 또한 산업은 <표 2>와 같이 GTAP⁷⁾ DB 57개 부문 분류를 기초로 24개 업종으로 재구성하였다.

<표 1> GTAP 국가분류

구분	GTAP 국가 코드
남아시아(S.Asia)	BGD, IND, NPL, PAK, LKA, XSA
동아시아-태평양(EAP)	XOC, CHN, MNG, XEA, KHM, IDN, LAO, MYS, PHL, THA, VNM, XSE
유럽·중앙아시아 (EURCA)	LVA, LTU, ALB, BGR, BLR, ROU, RUS, UKR, XEE, XER, KAZ, KGZ, XSU, ARM, AZE, GEO, TUR, XTW
남미 (LATIN)	MEX, ARG, BOL, BRA, CHL, COL, ECU, PRY, PER, URY, VEN, XSM, CRI, GTM, HND, NIC, PAN, SLV, XCA, XCB
중동·북아프리카(MEA)	IRN, XWS, EGY, MAR, TUN, XNF
중남아프리카 (SSA)	BEN, BFA, CMR, CIV, GHA, GIN, NGA, SEN, TGO, XWF, XCF, XAC, ETH, KEN, MDG, MWI, MUS, MOZ, RWA, TZA, UGA, ZMB, ZWE, XEC, BWA, NAM, ZAF, XSC
선진국 (Developed)	AUS, NZL, HKG, JPN, TWN, SGP, CAN, USA, XNA, AUT, BEL, CYP, CZE, DNK, EST, FIN, FRA, DEU, GRC, HUN, IRL, ITA, LUX, MLT, NLD, POL, PRT, SVK, SVN, ESP, SWE, GBR, CHE, NOR, XEF, HRV, BHR, ISR, KWT, OMN, QAT, SAU, ARE
한국(KOR)	KOR

※ 자료: GTAP 국가 코드: <https://www.gtap.agecon.purdue.edu/databases/regions.asp?Version=8.211>

<표 2> GTAP 업종 분류

구분	GTAP Code	명칭
PaddyRcie	PDR	벼
Wheat	WHT	밀
CerealGrn	GRO	옥수수
Vege_Frut	V_F	땅콩·채소
Oil_Seed	OSD	콩
SugarCane	C_B	사탕수수
Fiber_nec	PFB, OCR	섬유작물·기타곡물

7) GTAP은 각국의 자료를 연구자 네트워크를 통해 지속적으로 갱신하여 2013년 현재 Version 8.1(기준년도: 2007년)까지 발전되었다. GTAP 8.1 데이터베이스는 129개 국가를 대상으로 57개 산업(42개 제조업+15개 서비스산업)의 산업연관표와 사회회계행렬(SAM)자료, 그리고 UN의 무역자료(Commodity Trade: COMTRADE), IMF의 국가 거시자료를 통합한 것이다.

<표 2> GTAP 업종 분류(계속)

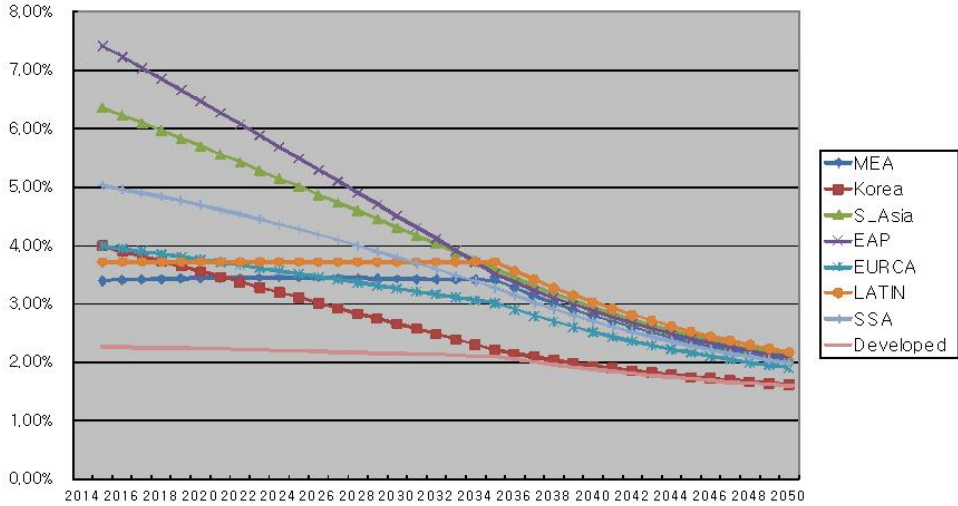
구분	GTAP Code	명칭
Cattle	CTL	축산
AnimalPRD	OAP	기타동물·부산물
RawMilk	RMK	미가공우유
Wool_etc	WOL	양모
Forestry	FRS	임산물
Fishing	FSH	수산물
Fossil	COA, OIL, GAS, OMN	석탄·가스·광물
MeatPRD	CMT, OMT	육류제품
VegetPRD	VOL, MIL, PCR	식물성유자·유가공품·쌀
FoodPRD	SGR, OFD, B_T	식료품
Text_Paper	TEX, WAP, LEA, LUM, PPP	의류·목공·종이
IS_Petro	P_C, CRP, NMM, I_S, NFM, FMP	석유석탄제품·철강
Machine	MMH, OTN, ELE, OME, OMF	자동차·기계·전자
Elec_Const	ELY, GDT, WTR, CNS	전기·가스·수도·건설
TradeTrans	TRD, OTP, WTP, ATP	무역·운송
Service	CMN, OFI, ISR, OBS, ROS, OSG	서비스
Dwelling	DWE	주거

2007년을 기준연도로 2050년까지 KEI-Linkages 모형을 이용하여 매 년도의 정태균형을 축차적으로 계산한다. 이때 특정 시점에 가상의 자연재해를 발생시키되, 자연재해에 따른 피해액만큼 자본스톡이 감소하는 방식으로 모형에 충격을 준다. 이를 통해 자본스톡 감소로 인한 경제적 파급효과의 동태적 변화를 분석한다. 자연재해의 국민경제적 영향은 BAU와 재해피해액 만큼 자본스톡이 감소하였을 때 각각 구해진 결과를 비교하여 파악할 수 있다. BAU는 투자효율, 감가상각율, 인구성장률 등의 변수를 매 년도마다 적용하여 노동 및 자본축적 과정을 통해 2050년까지의 경제성장을 구한 것이다. 자본스톡 감소 시나리오는 극한재해 발생 시의 피해액을 추정한 선행연구들을 활용하여 구성한다.

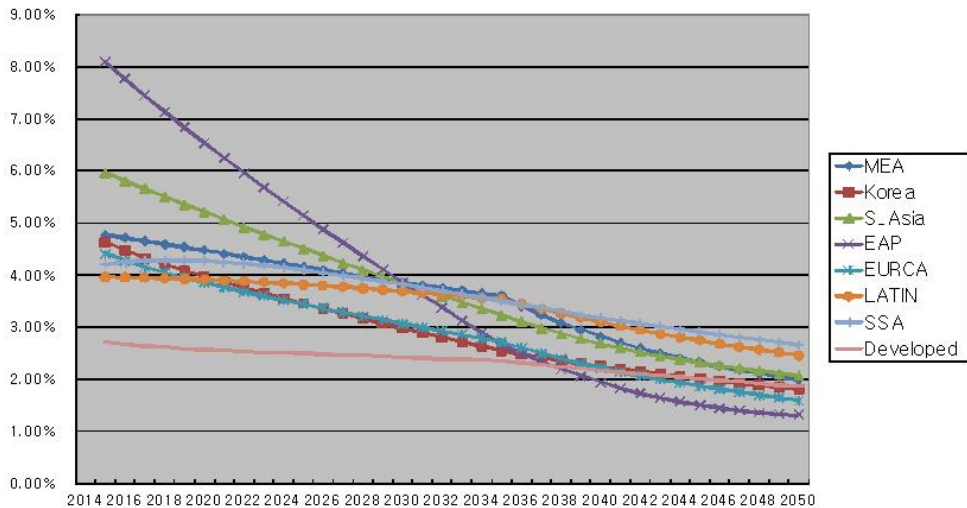
2. 자료

1) KEI-Linkages 모형 입력자료

BAU 경우, 지역별 실질 GDP 성장률은 EIA(2012)의 전망 자료를 토대로 재구성 하였으며(<그림 1>), 투자율은 GTAP 8.1 DB의 2007년도 자료를 기초로 KEI-Linkages 모형의 축차동태 전개방법에 따라 구성하였다(<그림 2>).



<그림 1> 실질 GDP 증가율 전망(BAU)



<그림 2> 실질 투자 증가율 전망(BAU)

2) 세계 지역별 비교를 위한 재해 피해액 자료

글로벌 축차동차 모형인 KEI-Linkages를 이용하여 한국과 세계 다른 지역을 대상으로 자연재해의 경제적 파급효과를 분석하기 위해서는 전 세계를 대상으로 자연재해 피해액을 추정할 연구결과가 필요하다. 그러나 위에서 언급한 재난모형은 주로 미국을 대상으로 적용되고 있어, 전 세계를 대상으로 재난모형을 통한 피해액을 추정한 연구 결과는 현실적으로 없는 상황이다. 이에 본 연구에서는 세계은행의 지원을 받아 과거 자연재해 피해액 자료를 가지고 기후변화에 따른 자연재해 피해액을 통계적으로 추정한 Mendelsohn & Saher(2011)의 연구결과를 활용하기로 한다.

Mendelsohn & Saher(2011)은 CRED에서 제공하는 전 세계 재해피해액 자료와 인구, 소득 자료를 바탕으로 회귀모형을 구축하고, 기후모형과 GDP 성장률 및 인구성장률 적용을 통해 2100년 시점의 각 국가의 재해피해액(2010년 미국 달러화 기준)을 추정하였다. 따라서 이 재해피해액 자료를 세계 지역별로 합산하여 KEI-Linkages 모형에 적용하고 자연재해의 경제적 파급효과를 분석하고자 한다.

CRED에서 제공하고 있는 한국의 자연재해 피해액 자료와 우리나라 소방방재청의 자료를 비교해본 결과, 일부 년도에는 재해피해액이 0인 경우도 있어 대체로 피해액의 규모가 국내 자료보다 작았다. 그 이유는 CRED에서는 다음과 같은 네 가지 기준 중 하나 이상을 충족해야 세계재해통계 데이터베이스에 입력하기 때문이다. 첫째, 10명 이상 사망자 발생, 둘째, 100명 이상 피해자 발생, 셋째, 국가 비상사태 선포, 넷째, 국제원조 요청이다. 또한 문제는 국가에 따라 재해피해액을 집계하는 방식에 차이가 있고, 전쟁이나 정치적 상황에 따라 정기적으로 피해액을 보고하지 못하는 경우가 있을 수 있다는 것이다. 각 국가에서 피해액을 보고하지 않는 이상 다른 경로를 통해 이를 파악하기가 사실상 힘든 상황에서 해당 국가의 경제 및 정치적 상황에 많은 영향을 받게 되고, 재해피해액에 대한 객관적인 검증 절차 없이 보고된 자료 자체에 크게 의존하고 있는 실정이다(Hsiang & Jina, 2012). 이러한 이유들로 CRED 자료는 국내에서 집계한 자연재해 피해액보다 상대적으로 규모가 작으며, 다른 국가들의 자료 역시 이러한 차이가 발생할 가능성이 클 것으로 예상된다.

CRED가 제공하는 자료는 전 세계를 대상으로 한 자연재해 연구에서 가장 보편적으로 사용하는 자료이다. 따라서 본 연구에서 자연재해의 경제적 파급효과를 세계 지역별로 비교하여 상대적 취약성을 파악하기에는 큰 무리가 없을 것으로 판단된다. 다만, 한국을 대상으로 모형을 적용할 때에는 아래와 같이 국내 자연재해 피해액 통계를 활용하여 추정한 극한재해 시의 피해액을 적용하고자 한다.

3) 한국의 재해 피해액 자료

국내에서도 재해로 인한 손실 평가는 다방면으로 이루어지고 있으나, 앞서 언급한 HAZUS-MH4와 같은 체계적이고 과학적인 재난모형은 아직 구축된 바 없다. 홍수의 경우, 국내 하천설계기준은 다차원 홍수피해 산정 방법을 적용하여 하천치수경제를 조사하도록 정하고 있다. 다차원법은 침수구역 예측 및 자산의 공간정보를 요구하며, 이에 지리정보시스템 기반의 홍수피해산정 기법이 연구된 바 있다(이충성 외, 2006). 또한 한국건설기술연구원에서 ArcGIS 기반의 다차원 홍수피해산정 시스템의 프로토타입을 제시한 바 있으나(최현상 외, 2005), 직접피해액 산정 기술 및 홍수 위험도 평가기술 등의 미흡으로 홍수 손실 평가 시스템으로는 활용될 수 없다는 문제점이 있다.

다만, 국립방재연구원에서는 재해 피해손실 추정을 위하여 HAZUS-MH를 활용한 국내 재난손실모형 구축을 목표로 2013년에 연구가 착수되었으며, 5차 년도에 걸쳐 위험지도 작성, 자산정보 구축, 피해손실함수 개선이 이루어질 예정이다(정태성, 2013). 따라서 2013년 11월 현재 우리나라를 대상으로 재난모형을 이용하여 자연재해 피해액을 추정하는 것은 어려운 상황이다.

이와 같이 과학적으로 구축된 재난모형의 적용이 현 시점에서 여의치 않기 때문에 일부 선행연구에서와 같이 기존 연구나 보고서에서 추정된 자연재해 피해액을 적용하기로 한다. 본 연구에서는 국토연구원(2005)이 100년, 200년, 250년 빈도의 홍수 발생 시의 예상되는 홍수피해액을 적용하기로 한다.

여기서 홍수피해액을 자연재해 피해액을 대표하는 것으로 판단한 이유는 다음과 같다. 현재 자연재해대책법에서는 재해를 크게 자연재해(태풍, 홍수, 호우, 폭설, 폭풍, 해일, 가뭄, 지진, 황사 등)와 인위재난(화재, 붕괴, 폭발, 교통사고, 화재방사, 환경오염사고 등)으로 구분한다. 소방방재청에서 발간하는 재해연보에서는 태풍, 호우, 호우·태풍, 폭풍설, 폭풍, 폭풍우, 대설, 호우·폭풍, 해수범람에 의한 피해를 매년 발간하고 있는데, 최근 10년('94~'03) 간 폭풍설, 폭풍, 폭풍우, 대설, 호우·폭풍, 해수범람에 의한 피해건수는 총 1,276건의 2.8%인 36건, 피해액으로는 17조 1,750억 원의 0.4%인 622억원에 불과하다. 따라서 한국에서의 자연재해 피해액을 사실상 홍수피해액으로 단일화하여 보는 데 무리가 없을 것으로 판단된다.⁸⁾

국토연구원(2005)은 과거의 홍수피해 자료를 이용하여 홍수피해 발생빈도-피해액 관계를 중심으로 전국 및 지역별 홍수발생빈도에 따른 홍수피해액을 추정하였다. 이러한 과거의 홍수피해액 자료를 토대로 확률도시법에 의한 점빈도 분석방법을 이용하여 발생빈도-피해액 관계를 분석하였다. 전국의 발생빈도-피해액 관계를 빈도분석한 결과, 홍수발생 빈도별 확률피해액은 5년 빈도 9,919억 원, 10년 빈도 1조 7,367억 원, 30년 빈도 3조 5,086억 원, 100년 빈도 6조 5,675억 원, 200년 빈도 9조 230억 원, 250년 빈도 9조 9,428억 원으로 각각 분석되었다. 본 연구에서는 이 중 100년 빈도, 200년 빈도, 250년 빈도의 피해액을 자본스톡 감소시나리오 구성에 활용하였다.

3. 자본스톡 감소 시나리오 구성

세계 지역별 비교와 한국만을 대상으로 한 분석을 위해 본 연구에서는 2015년에 가상의 극한재해가 발생하여 그에 따른 재해피해액 만큼 자본스톡⁹⁾이 감소하는 설정을 KEI-Linkages 모형에 적용한다. 각 분석 대상별로 2015년 시점의 극한재해 피해액을 추정하여 자본스톡 감소 시나리오를 구성하였다.

1) 세계 지역별 비교를 위한 자본스톡 감소 시나리오

8) 소방방재청에서 제공하고 있는 재해피해액 자료에는 자연재해대책법에서 규정한 '태풍, 홍수, 호우, 폭설, 폭풍, 해일, 가뭄, 지진, 황사 등'으로 구분되어 제시되어 있지 않고, 대신 재해를 발생시킨 원인, 즉 태풍, 호우, 호우·태풍, 폭풍설, 폭풍, 폭풍우, 대설, 호우·폭풍, 해수범람으로 구분하여 기록하고 있다. 이중 비와 직접적으로 관련된 것은 태풍, 호우, 호우·태풍이라고 할 수 있고, 그 외의 폭풍설, 폭풍, 폭풍우, 대설, 호우·폭풍, 해수범람은 바람 또는 눈 등과 관련이 있어 홍수가 아닌 다른 재해에 따른 피해액으로 구분하여 살펴본 것이다.

9) KEI-Linkages 모형에 사용된 GTAP 자료의 자본은 일반적인 자본, 토지, 천연자원 등 3가지로 구성되어 있는데, 본 연구에서 자연재해로 인한 자본스톡의 감소는 일반적인 자본에 대해 발생하는 것으로 가정한 것이다.

세계은행의 지원을 받아 수행된 Mendelsohn & Saher(2011)의 연구에서는 세계 각국을 대상으로 2100년 시점의 극한 재해에 따른 재해피해액을 추정하였다. 본 연구의 목적상 2015년에 극한재해에 따른 피해액이 필요하기 때문에 Mendelsohn & Saher(2011)에서 제공하는 2010년과 2100년의 지역별 피해액을 바탕으로 우선 2010년 국가별 극한재해 피해액을 추정하였다. 그 다음 Mendelsohn & Saher(2011)와 동일하게 국가를 developed, emerging, underdeveloped로 구분하여 각각 2%, 3.3%, 2.7% GDP 성장률을 적용하여 앞에서 구한 2010년 국가별 극한재해 피해액을 바탕으로 2015년도의 피해액을 추정하였다. CGE 모형에서는 이 피해액만큼 자본스톡이 감소하는 것으로 설정하였고, 모든 지역에서 재해가 동시에 발생한 것이 아닌 각 지역에서 개별적으로 발생한 것으로 모의실험을 수행하였다.

2) 한국의 자본스톡 감소 시나리오

한국에 대해서는 국토연구원(2005)이 소방방재청의 자연재해 통계를 활용하여 추정한 100년, 200년, 250년 빈도의 홍수발생시 예상되는 전체 피해액을 자본스톡 감소 시나리오 구성에 활용한다. 국토연구원(2005)이 추정한 피해액은 2003년도 기준가격이기 때문에 본 연구에서는 이를 2015년 시점의 재해피해액으로 계산하여 적용하였다(<표 3>).

<표 3> 한국의 극한재해 피해액(2015년 기준)

발생빈도	100년	200년	250년
재해피해액(조원)	8.33	11.45	12.61

IV. 분석결과

1. 세계 지역별 자연재해의 경제적 파급효과

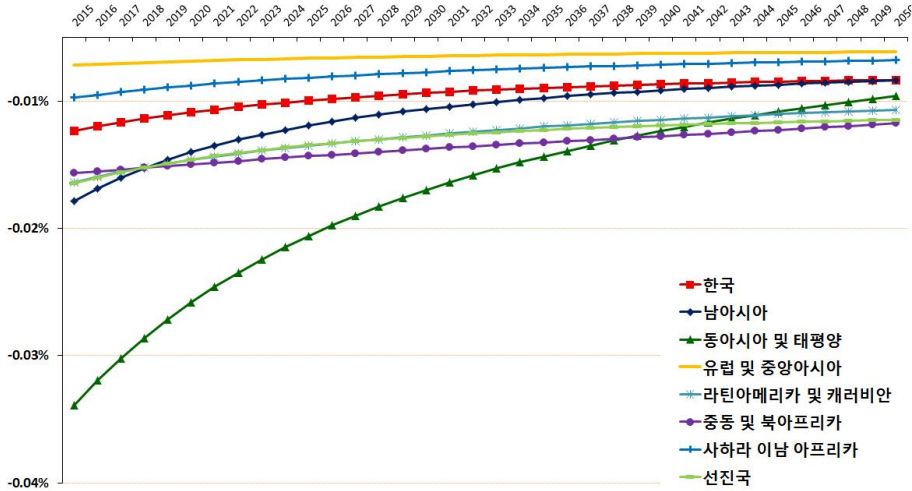
세계 지역별 자연재해의 경제적 파급효과를 분석한 결과, 전반적으로 2015년 시점의 극한재해 피해액이 자본스톡 규모(일반적으로 GDP의 3-4배)에 비해 매우 작은 수준이기 때문에 경제에 미치는 영향이 상대적으로 미미한 것으로 나타났다(<표 4>). 이러한 분석결과는 현 시점에서 확보할 수 있는 세계 재해피해액 자료의 과소추정 가능성을 감안해서 해석해야 할 것으로 보인다. 향후 글로벌 CGE 모형을 통해 자연재해의 세계 지역별 경제적 영향의 규모를 살펴보고자 한다면 우선적으로 개선되어야 한다. 따라서 여기에서는 지역별로 자연재해가 경제에 미치는 절대적인 영향의 규모보다는 상대적 인 규모의 차이를 중점적으로 살펴보고자 한다.

<표 4> 세계 지역별 자연재해에 따른 주요 지표 영향(BAU 대비 변화율, 단위: %)

	실질 GDP	소비자 물가 지수	실질 소비	실질 GDI	실질 수출	실질 수입	실질 투자	고용	교역 조건
한국	-0.0042	0.00168	-0.0038	-0.0036	-0.0039	-0.0024	-0.0051	-0.0010	0.0014
남아시아	-0.0051	0.00276	-0.0052	-0.0047	-0.0049	-0.0027	-0.0057	-0.0010	0.0022
동아시아 및 태평양	-0.0099	0.00644	-0.0106	-0.0095	-0.0091	-0.0072	-0.0121	-0.0024	0.0038
유럽 및 중앙아시아	-0.0013	0.00053	-0.0015	-0.0013	-0.0012	-0.0009	-0.0016	-0.0003	0.0003
라틴아메리카 및 캐러비안	-0.0071	0.00181	-0.0078	-0.0068	-0.0062	-0.0049	-0.0089	-0.0018	0.0014
중동 및 북아프리카	-0.0081	0.00280	-0.0086	-0.0076	-0.0059	-0.0046	-0.0095	-0.0020	0.0016
사하라 이남 아프리카	-0.0025	0.00025	-0.0026	-0.0023	-0.0025	-0.0020	-0.0031	-0.0001	0.0005
선진국	-0.0076	0.00106	-0.0078	-0.0071	-0.0082	-0.0067	-0.0109	-0.0019	0.0011

KEI-Linkages 모형에 2015년 시점 극한재해 피해로 인한 자본스톡의 감소를 적용한 결과, 모든 지역에서 GDP, 소비, GDI, 수출, 수입, 투자, 고용 지표는 감소하였고, 소비자 물가지수는 상승하였다. 가장 큰 GDP의 감소를 보인 지역은 '동아시아 및 태평양'이었고, 가장 작은 감소를 보인 지역은 '유럽 및 중앙아시아' 지역이었다. 한국은 별도의 지역으로 구분하여 분석하였으며, 다른 지역과 마찬가지로 GDP, 소비, GDI 모두 감소하였고, 소비자 물가지수는 상승하였다. 별도의 지역으로 구분되기 전에 한국은 '선진국 지역'에 포함되어 있었으며, 이 지역과 상대적으로 비교했을 때, GDP, 소비, GDI 등의 감소 규모가 작았다. 즉 비슷한 경제수준을 갖고 있는 다른 나라와 비교했을 때, 한국의 경제가 자연재해에 따른 영향을 덜 받는 것으로 나타났다.

한편, 2015년에 극한재해라는 외부충격 후 2050년까지 세계 지역별 GDP의 변화 추이를 살펴보았다 (<그림 3>). 지역별 상대적인 GDP 회복 속도를 비교하면 '남아시아'와 '선진국'의 경우 2015년 극한재해 발생시점에는 각각 두 번째, 세 번째로 GDP의 감소가 큰 지역이지만, 상대적으로 경제 회복이 신속하게 이루어지는 것을 확인할 수 있었다.



〈그림 3〉 극한재해에 따른 세계 지역별 GDP의 변화

반면, ‘중동 및 북아프리카’ 지역은 상대적으로 회복 속도가 더디어 2018년 이후에는 ‘남아시아’와 ‘선진국’의 GDP 감소보다 더 큰 폭의 감소를 보여주고 있다. 모든 지역이 2050년까지 BAU의 GDP 수준을 회복하지 못했지만, ‘남아시아’와 ‘동아시아 및 태평양’ 지역의 GDP 회복이 두드러지게 이루어짐을 확인할 수 있었다.

동아시아와 남아시아는 BAU에서 성장률이 높은 고성장 지역으로서 투자율도 높고 자본스톡의 성장률 자체가 높음에 따라 자본스톡에 대한 충격에서 회복되는 속도 또한 빠르게 나타나고 있다(〈그림 3〉 참조). 동아시아의 경우 남아시아에 비해 회복 속도가 빠르게 나타나고 있는데, 이는 동아시아의 경제성장에서 투자가 차지하는 역할이 점차 줄어드는 특성을 보이기 때문인 것으로 판단된다. 즉 이 지역에서는 실질 투자 증가율이 실질 GDP 증가율에 비해 점차 낮아지는 특성을 보이고 있다. 한국의 경우, 2050년에는 ‘남아시아’의 GDP 감소폭과 거의 유사하며, 초기의 GDP 감소폭은 크지 않았지만, BAU의 GDP 수준을 회복하지는 못했다.

2. 한국의 자연재해에 따른 경제적 파급효과

1) 주요 지표의 변화

100년, 200년, 250년 빈도의 홍수 발생 시나리오를 적용한 결과, 모든 시나리오에서 GDP, 소비, GDI 등이 감소하고, 소비자 물가지수는 상승하는 등, 자연재해가 주요 경제지표에 부정적으로 영향을 미친 것으로 나타났다(〈표 5〉). 피해액의 크기가 가장 큰 250년 빈도의 홍수가 주요 지표에 미치는 부정적인 영향도 가장 컸다.

<표 5> 극한 재해에 따른 한국의 주요 지표 변화(BAU대비 변화율, 단위: %)(2015-2050)

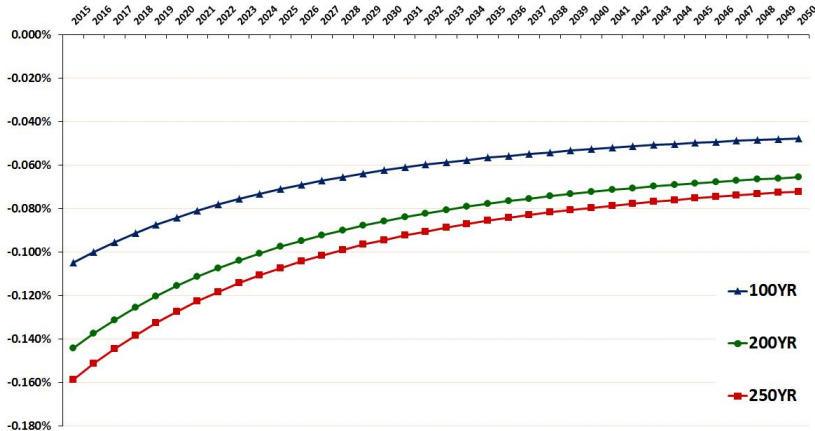
재해 빈도	실질 GDP	소비자 물가지수	실질 소비	실질 GDI	실질 수출	실질 수입	실질 투자	고용	교역 조건
100YR	-0.061	0.024	-0.054	-0.051	-0.055	-0.035	-0.072	-0.014	0.020
200YR	-0.084	0.033	-0.074	-0.071	-0.076	-0.048	-0.099	-0.019	0.027
250YR	-0.092	0.036	-0.082	-0.078	-0.084	-0.053	-0.109	-0.021	0.030

2015년에 100년, 200년, 250년 빈도의 극한재해를 겪은 후 2050년까지 한국의 GDP 변화를 살펴보았다(<그림 4>). 2015년 재해 발생 당시 한국의 GDP는 0.1%에서 최대 0.16%까지 감소하였다. 그리고 세 시나리오 모두 2050년까지 BAU의 GDP 수준을 회복하지 못하는 것으로 나타났다.

극한재해에 따른 한국의 GDP감소 규모는 류문현 외(2012)가 제시한 5% 감소, 그리고 1950년 이후 GDP 대비 태풍 누적 피해액 규모를 기준으로 할 때 한국이 전 세계 2위에 해당할 정도로 크다고 추정한 Hsiang & Jina(2012) 연구와 비교했을 때 상대적으로 매우 작은 수준이다.

이와 같은 연구결과의 차이는 모형과 추정방법상의 차이 등 여러 원인에 기인할 수 있으며, 여기서 한 가지 지적할 수 있는 사항은 사용 자료에 관한 것이다. 본 연구에서 적용한 극한재해에 따른 피해액은 국내 재해피해액 통계자료를 이용하여 추정한 것인데, 문제는 이 통계자료가 모든 재해피해액을 포함하고 있지 않다는 사실이다. 예를 들어 농작물의 피해건수만 기록되어 있고 농작물의 피해액은 추계되어 있지 않는 등, 한국의 실제 재해피해액은 현재 나와 있는 수치보다 클 가능성이 높다. 따라서 통계상에 누락된 재해피해액을 포함시켜 자료를 다시 구축하여 CGE 모형에 적용한다면 결과는 달라질 수 있음을 시사하고 있다.

회복속도에 있어서는 세 시나리오 모두 큰 차이가 없는 것으로 나타났다(<그림 4>). 즉 2015년 직후 약 5년 동안은 비교적 빠르게 회복하나, 그 이후 회복 속도가 점차 느려지는 것을 확인할 수 있다. Simola, *et. al.*(2011)이 핀란드의 두 도시를 대상으로 유사한 연구를 수행하였는데, 비록 재해 발생 후 모형 시뮬레이션 기간이 10년으로 본 연구보다 훨씬 짧지만, 재해 발생 후 10년이 지난 시점의 GDP 회복수준을 비교했을 때 본 연구의 결과보다는 회복속도가 빨랐다.



<그림 4> 한국의 극한 재해에 따른 GDP변화

이와 같이 2015년 자본스톡 감소라는 외부충격으로 GDP가 감소 후 점차 회복하는 추세를 보이는 것은 경제 내부적으로 생산요소 간 비중 조정을 통해 외부충격의 영향을 점진적으로 해소해 나가기 때문인 것으로 보인다. 반면, 2050년까지도 GDP 수준이 회복되지 않고 기존 선행연구보다 회복속도가 더딘 이유는 KEI-Linkages 모형이 갖는 고유의 특징에 기인한다고 추정할 수 있다. 모형의 구조상 투자가 저축에 의해 결정되고 저축이 소득의 일정 비율로 가정되어 있기 때문에 사실상 자본스톡이 감소한 만큼 충분히 저축을 추가적으로 늘릴 수 없어 장기적으로도 GDP가 쉽게 회복하는 경로를 밟지 못하는 것으로 판단된다.

2) 산업별 생산량 변화

앞에서 제시한 산업 구분에 따라 한국에서 100년, 200년, 250년 빈도 홍수 발생 시 산업별 생산량의 변화를 분석하였다(<표 6>). 모든 시나리오에서 대부분의 산업 생산량이 감소하였으며, 예상대로 피해액 크기가 가장 큰 250년 빈도 시나리오에서 가장 큰 폭으로 감소하였다. 가장 큰 생산량 감소를 보인 세 개의 산업은 ‘석탄·가스·광물’, ‘주거·부동산’, ‘자동차·기계·전자’이다.

<표 6> 극한재해에 따른 한국의 산업별 생산량 변화

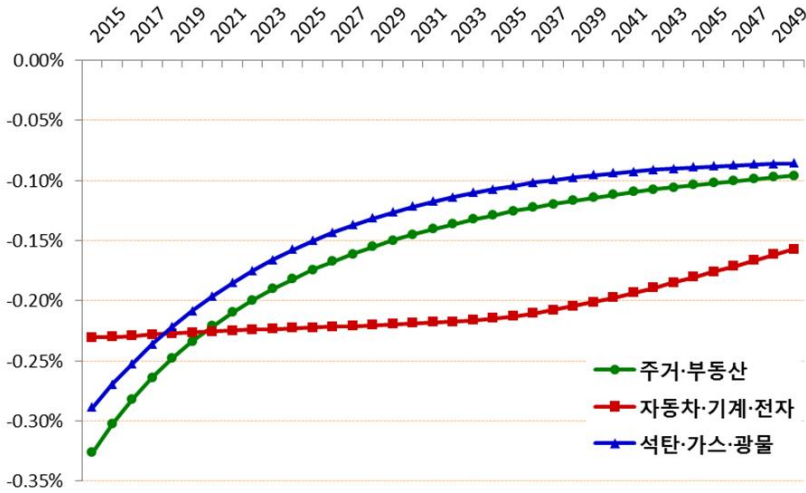
업종	100YR	200YR	250YR
석탄·가스·광물	-0.138%	-0.190%	-0.209%
주거·부동산	-0.092%	-0.127%	-0.140%
자동차·기계·전자	-0.079%	-0.109%	-0.120%
임산물	-0.073%	-0.100%	-0.110%
의류·목공·종이	-0.064%	-0.087%	-0.096%
무역·운송	-0.060%	-0.083%	-0.091%
석유·석탄·제품·철강	-0.058%	-0.080%	-0.089%

〈표 6〉 극한재해에 따른 한국의 산업별 생산량 변화(계속)

업종	100YR	200YR	250YR
전기가스수도건설	-0.054%	-0.074%	-0.081%
서비스	-0.045%	-0.063%	-0.069%
수산물	-0.037%	-0.051%	-0.057%
식료품	-0.037%	-0.051%	-0.056%
기타동물부산물	-0.035%	-0.048%	-0.053%
축산	-0.034%	-0.046%	-0.051%
양모	-0.032%	-0.044%	-0.049%
육류제품	-0.032%	-0.044%	-0.049%
미가공우유	-0.031%	-0.043%	-0.047%
식물성유자유가공품쌀	-0.024%	-0.033%	-0.036%
벼	-0.018%	-0.025%	-0.028%
섬유작물기타곡물	-0.016%	-0.022%	-0.024%
땅콩채소	-0.015%	-0.020%	-0.022%
옥수수	-0.009%	-0.012%	-0.013%

‘석탄·가스·광물’ 산업의 생산량은 0.138%에서 최대 0.209%, ‘주거·부동산’ 부문의 생산량은 0.092%에서 최대 0.140%, ‘자동차·기계·전자’ 산업의 생산량은 0.079%에서 최대 0.120% 감소하는 것으로 나타났다. 류문현 외(2012)도 ‘석탄·가스·광물’ 산업이 포함된 1차 산업의 생산량 감소가 가장 크고, 부동산 등이 포함된 3차 산업의 생산량도 감소한 것으로 보고하였다. 하지만 ‘자동차·기계·전자’ 산업이 포함된 제조업의 생산은 증가한 것으로 나타나 본 연구 결과와 다소 차이가 있다. 또한 IBISWorld(2010)도 호주 퀸즐랜드의 홍수가 산업에 미치는 영향을 예측한 보고서에서 ‘광업’이 가장 큰 영향을 받을 것으로 전망하였고, 그 이유에 대해 생산된 광산품의 운송에 중요한 도로, 철도 등의 인프라가 홍수로 인해 파괴되거나 이용이 불가능하여 생산에 차질이 있을 것이라고 설명하였다. 또한 홍수로 인해 농경지 유실 및 침수, 관련시설의 파괴로 수확이 지연되거나 중단될 수 있어 ‘농업’ 부문이 그 다음으로 취약한 산업이라고 전망하였다. 또한 Kliesen(1994)은 미국의 1993년 미시시피 대 홍수 당시 주택, 자동차, 철강, 전자산업의 생산량이 상당히 감소하였고 GDP 성장률도 감소한 것으로 보고하였다. 홍수로 인해 ‘주거·부동산’, ‘자동차·기계·전자’ 산업이 상당한 영향을 받을 수 있음을 시사한다.

한편, 세 산업의 생산량 회복속도를 살펴본 결과, ‘석탄·가스·광물’의 생산량 회복이 쉽지 않은 것으로 나타났다(<그림 5>). 2015년 극한 재해 발생시점에는 ‘주거·부동산’이 가장 큰 생산량 감소를 보이지만, 비교적 신속하게 회복경로로 진입한다. 반면, ‘석탄·가스·광물’의 경우 다른 두 산업과 비교했을 때, 생산량이 회복되지 못하고 상당기간 동안 정체된 모습을 보여주고 있다.



<그림 5> 주요 산업의 생산량 변화(2015-2050)

이 경우에도 역시 업종별 성장률이 큰 영향을 미친다. 특히 석탄, 가스, 광물 업종의 경우 BAU 시나리오에서의 실질 생산증가율을 보면 크게 하락하는 것으로 전망된 것을 알 수 있다(<표 7>). 즉, 하락하는 산업에서는 자본스톡에 대한 충격이 복구되기 어렵기 때문에 생산량 회복 또한 늦을 수밖에 없는 문제가 발생한다. 또한 산업별로 충격직전 년도인 2014년의 노동-자본 투입 비중을 살펴보면, 회복이 더딘 석탄, 가스, 광물 업종의 경우 자본 비중이 상대적으로 매우 큰 것을 볼 수 있는데, 이 또한 일정한 역할을 했을 것으로 판단된다.

<표 7> 산업별 노동-자본 투입비중(2014년)과 실질생산 증가율(2014~2050)

업종	노동-자본 투입비중(2014년)			실질생산증가율 (2014년~2050년)
	노동	자본	총합계	
주거부동산	0.0%	100.0%	100.0%	3.3%
수산물	52.5%	47.5%	100.0%	2.4%
임산물	15.2%	84.8%	100.0%	4.0%
서비스	54.6%	45.4%	100.0%	2.3%
자동차기계전자	46.3%	53.7%	100.0%	2.5%
벼	81.2%	18.8%	100.0%	0.9%
옥수수	81.2%	18.8%	100.0%	1.3%
땅콩·채소	81.3%	18.7%	100.0%	1.3%
섬유작물·기타작물	81.3%	18.7%	100.0%	1.6%
축산	79.9%	20.1%	100.0%	1.6%
기타동물·부산물	80.0%	20.0%	100.0%	2.0%
미가공우유	80.0%	20.0%	100.0%	1.2%
양모	80.7%	19.3%	100.0%	2.1%
석탄가스광물	35.4%	64.6%	100.0%	-4.5%
육류제품	61.7%	38.3%	100.0%	1.6%

<표 7> 산업별 노동-자본 투입비중(2014년)과 실질생산 증가율(2014~2050)(계속)

업종	노동-자본 투입비중(2014년)			실질생산증가율 (2014년~2050년)
	노동	자본	총합계	
식물성유지·유가공품·쌀	43.5%	56.5%	100.0%	0.9%
식료품	43.4%	56.6%	100.0%	2.1%
의류·목공·종이	56.2%	43.8%	100.0%	5.0%
석유석탄제품·철강	40.3%	59.7%	100.0%	2.2%
전기가스·수도·건설	54.5%	45.5%	100.0%	2.6%
무역·운송	38.7%	61.3%	100.0%	3.0%

3) 산업별 소비량의 변화

가계부문의 산업별 소비량 변화를 분석한 결과, 모든 시나리오에서 전 산업의 소비량이 감소하였으며, 역시 피해액 크기가 가장 큰 250년 빈도 시나리오에서 가장 큰 폭으로 감소하였다(<표 8>). 가장 큰 소비량 감소를 보인 세 개의 산업은 ‘주거·부동산’, ‘전기·가스·수도·건설’, ‘자동차·기계·전자’이다.

‘주거·부동산’의 소비량은 0.125%에서 최대 0.137%, ‘전기·가스·수도·건설’의 소비량은 0.096%에서 최대 0.106%, ‘자동차·기계·전자’의 소비량은 0.096%에서 최대 0.106% 감소하였다. 이는 앞서 생산량이 감소하는 만큼 소비할 수 있는 서비스의 양이 감소한 것에 기인한 것으로 보인다. 특히 ‘주거·부동산’의 경우, 재해로 인해 주택, 건물 등이 침수되거나 파괴된 경우, 복구하거나 새로운 주택과 건물을 짓는데 상당한 시간이 걸리기 때문에 소비량도 급감하는 것으로 보인다.

대표적인 사례로 미국의 허리케인 카트리나 사태를 들 수 있다. US Census Bureau에 따르면, 허리케인 카트리나 이후 5년 이상이 지난 2009년 말 현재 65,000개의 주택 단지가 거주할 수 없는 상태로 방치되어 있고, 인구도 2000년 대비 30% 감소한 것으로 나타났다. 한국도 극한 강도의 홍수로 피해를 입을 경우 ‘주거·부동산’의 소비량이 급감할 수 있음을 시사하고 있다.

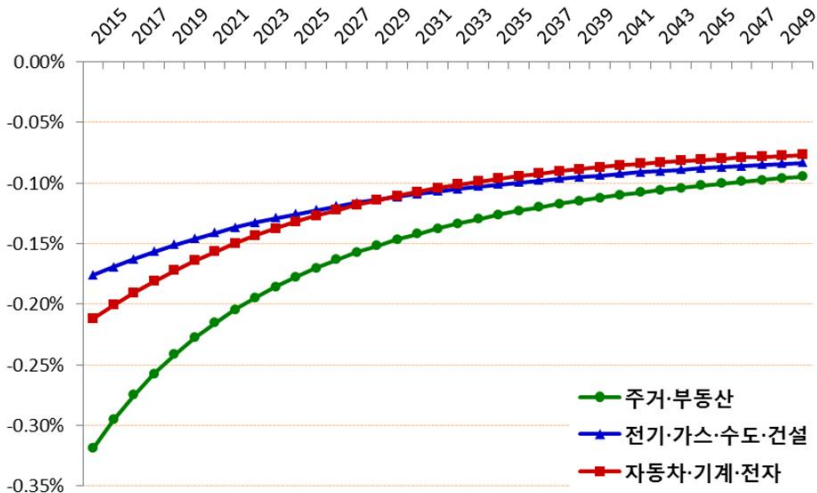
<표 8> 극한재해에 따른 한국의 산업별 소비량 변화

	100YR	200YR	250YR
주거부동산	-0.1248%	-0.1248%	-0.1374%
전기가스수도건설	-0.0962%	-0.0962%	-0.1059%
자동차기계전자	-0.0959%	-0.0959%	-0.1057%
석유석탄제품·철강	-0.0937%	-0.0937%	-0.1032%
무역·운송	-0.0796%	-0.0796%	-0.0877%
임산물	-0.0782%	-0.0782%	-0.0861%
의류·목공·종이	-0.0761%	-0.0761%	-0.0838%
석탄가스광물	-0.0689%	-0.0947%	-0.1044%
육류제품	-0.0610%	-0.0610%	-0.0672%
서비스	-0.0608%	-0.0608%	-0.0669%
섬유작물·기타곡물	-0.0584%	-0.0584%	-0.0643%

<표 8> 극한재해에 따른 한국의 산업별 소비량 변화(계속)

	100YR	200YR	250YR
수산물	-0.0527%	-0.0527%	-0.0580%
기타동물·부산물	-0.0508%	-0.0508%	-0.0560%
옥수수	-0.0484%	-0.0484%	-0.0533%
식료품	-0.0475%	-0.0475%	-0.0523%
양모	-0.0471%	-0.0471%	-0.0519%
축산	-0.0463%	-0.0463%	-0.0510%
식물성유지·유가공품·쌀	-0.0431%	-0.0431%	-0.0474%
미가공우유	-0.0418%	-0.0418%	-0.0460%
벼	-0.0236%	-0.0325%	-0.0358%
땅콩·채소	-0.0309%	-0.0309%	-0.0340%

한편, 세 산업의 소비량 회복속도를 살펴본 결과, 2015년 250년 빈도의 홍수 발생 직후에는 신속하게 회복되다가 점차 느려지는 모습을 보여주고 있다(<그림 6>). 피해가 컸던 만큼 ‘주거·부동산’의 초기 소비량이 급격히 증가하고, ‘자동차·기계·전자’의 경우 2031년 이후에는 소비량 회복이 ‘전기·가스·수도·건설’ 보다 빨라지는 것으로 나타났다.



<그림 6> 주요 산업의 소비량 변화(2015-2050)

V. 결론

본 연구는 기후변화 적응 전략의 핵심이슈 중의 하나인 자연재해가 국민경제에 미치는 영향을 파악하기 위해 글로벌 축차동태 연산일반균형모형인 KEI-Linkages 모형을 활용하였다. 이 모형을 통해 전 세계 7개 지역별 자연재해의 경제적 파급효과와 한국을 대상으로 한 자연재해의 경제적 파급효과

를 분석하였다.

세계 지역별 자연재해의 경제적 파급효과를 상대적으로 비교하여 분석한 결과, 가장 큰 GDP의 감소를 보인 지역은 ‘동아시아 및 태평양’이었고, 가장 작은 감소를 보인 지역은 ‘유럽 및 중앙아시아’ 지역이었다.

한국을 대상으로는 국내 자료를 활용하여 100년, 200년, 250년 빈도의 홍수 발생 시나리오를 적용한 결과, 2015년 재해 발생 당시 한국의 GDP는 0.1%에서 최대 0.16%까지 감소하였다. 그리고 2050년까지 BAU의 GDP 수준을 회복하지 못하였다.

한국의 산업별 파급효과는 생산량과 소비량 변화를 통해 분석하였다. 한국에서 100년, 200년, 250년 빈도 홍수 발생 시 가장 큰 생산량 감소를 보인 세 개의 산업은 ‘석탄·가스·광물’, ‘주거·부동산’, ‘자동차·기계·전자’이었다. 소비량에서는 ‘주거·부동산’, ‘전기·가스·수도·건설’, ‘자동차·기계·전자’가 가장 크게 감소하였다.

한국 산업의 생산량 회복속도에서는 ‘석탄·가스·광물’의 산업특성 상 생산량이 회복되지 못하고 상당기간 동안 감소된 생산량 수준으로 정체된 모습을 보여주고 있다. 한국의 GDP 비중에서 ‘석탄·가스·광물’의 비중이 크지는 않지만 기초산업인 만큼 지원이 필요하며, 기후변화 적응 전략에서도 ‘석탄·가스·광물’, ‘주거·부동산’, ‘자동차·기계·전자’, ‘전기·가스·수도·건설’ 등 다른 산업보다 재해에 취약한 산업에 대한 고려가 필요하다.

본 연구는 사례분석 위주의 기존 연구와는 달리 자연재해 발생 후 30년 이상 장기간의 경제적 파급효과를 일반균형모형을 통해 정량적으로 분석했다는 차원에서 의미가 있다. 문헌과 비교해 볼 때 기존 연구에서는 자연재해로 인한 GDP 감소가 0.5%에서 최대 2%까지 이루어진 반면, 본 연구결과 세계 지역별 GDP와 한국 GDP 감소는 그에 비해 규모가 상대적으로 작은 것으로 나타났다. 또한 분석 대상과 모형 시뮬레이션 기간이 상이하여 기존연구 결과와 직접적인 비교는 어렵지만, 본 연구 결과에서 보여준 재해 발생 후 GDP의 회복 추이가 기존 연구에서보다는 다소 느린 것으로 나타났다.

기후변화에 따라 예측하기 힘든 극한의 자연재해 발생 확률이 높아지는 상황에서 자연재해의 국민경제적 영향을 정량적으로 분석한 본 연구는 다음과 같은 차원에서 의의를 찾을 수 있다. 첫째, 국내에서는 처음으로 축차동태 일반균형모형을 활용하여 자연재해의 국민경제적 파급효과를 분석한 연구로서 국가의 기후변화 적응 전략 수립을 위한 기초연구 자료로 활용할 수 있다. 둘째, 극한재해 발생에 따른 국민경제적 영향을 정량적으로 분석하여 세계 지역별 내지 국가의 상대적 취약성을 파악하였다. 영향을 많이 받는다는 것은 해당 지역과 국가가 기후변화로 인해 상대적으로 큰 경제적 피해를 볼 수 있다는 의미이기 때문에 기후변화 적응을 위한 선제적 정책의 필요성을 시사하고 있다. 셋째, 재해 발생 후 복구정책 수립과 예산 배분 등 관련된 중요한 의사결정을 합리적으로 추진할 수 있다. 특정 산업이 자연재해로 인해 상대적으로 더 취약할 수 있음을 파악할 수 있다면 재해복구 및 기후변화 적응을 위한 위험관리 전략수립과 관련한 의사결정 자료로 활용할 수 있을 것이다.

반면, 본 연구는 다음과 같은 측면에서 개선이 필요하다. 극한재해의 피해액을 추정하기 위해 사용

된 국내의 재해통계 자료의 불확실성 문제가 존재하여, 보다 정확한 재해통계 자료를 수집, 적용하기 위한 노력이 요구된다. 또한 기후변화 적응 전략에 활용하기 위해서는 극한재해 피해액 추정 시 처음부터 기후변화 시나리오를 적용하여 기후변화의 영향을 반영하는 기초연구가 이루어지는 것이 바람직하다. 그리고 자연재해로 인한 경제적 충격을 단순히 CGE 모형 내의 자본스톡 감소 시나리오로 적용하기 보다는 자연재해로 인해 경제적 기능이나 구조상의 손실, 예를 들면 도로, 전력 등과 같은 인프라 시설의 손실에 대한 모의실험이 가능한 보다 현실적인 모형의 구축이 필요하다. 나아가 한국 내에서도 시도별 지역에 따라 자연재해의 경제적 파급효과가 상이할 수 있기 때문에 이러한 차이를 파악하고 반영할 수 있는 1국 다지역 CGE 모형을 활용한 재해 파급효과 연구가 추가적으로 이루어질 필요가 있다.

참고문헌

- 국토연구원. 2005. 홍수피해특성 분석 및 홍수피해지표 개발에 관한 연구. 안양: 국토연구원.
- 류문현, 조승국, 김정인. 2012. CGE모형을 이용한 자연재해의 경제적 파급효과 분석. 환경정책. 20(1): 1-21.
- 이충성, 최승안, 심명필, 김형수. 2006. GIS기반의 분포형 홍수피해산정 기법. 대한토목학회논문집. 26(3): 301-310.
- 정근채. 2008. 자연재해에 따른 경제적 손실 평가를 위한 한국형 모형 개발: 홍수재해를 중심으로. 건설기술논문집. 27(1): 11-26.
- 정태성. 2013. 복원력 있는 국토개발을 위한 피해예측시스템(HAZUS-MH) 활용. 2013.3.26 발표자료.
- 최현상, 구지희, 이준우. 2005. Web-GIS기반의 다차원 홍수피해산정 시스템 개발 연구. 대한토목학회 학술대회. 2005(10): 2641-2647.
- 한국환경정책평가연구원. 2010. 환경경제모형개발 II. 서울: 한국환경정책평가연구원.
- 환경부. 2009. 우리나라 기후변화의 경제학적 분석. 환경부.
- Albala-Bertrand, J. M. 1993. *Political Economy of Large Natural Disasters*. Oxford, United Kingdom: Clarendon Press.
- Cavallo, E., I. Noy and J. Pantano. 2010. *Catastrophic Natural Disasters and Economic Growth*. Washington, D.C: Inter-American Development Bank.
- Crowards, T. 1999. *An Economic Vulnerability Index, with Special Reference to the Caribbean: Alternative Methodologies and Provisional Results*. Caribbean Development Bank.
- Eom, W. G., S. G. Hong and S. G. Oh. 1996. *Impacts of Climatic Disasters to Domestic Economy*. Korea Meteorological Society.

- Giesecke, J. A., W. J. Burns, A. Barrett, E. Bayrak, A. Rose, P. Slovic and M. Suher. 2012. Assessment of the Regional Economic Impacts of Catastrophic Events: CGE Analysis of Resource Loss and Behavioral Effects of an RDD Attack Scenario. *Risk Analysis*. 32(4): 583-600.
- Hochrainer, S. 2009. *Assessing the Macroeconomic Impacts of Natural Disasters: Are there any?* World Bank Policy Research Working Paper Series.
- Hsiang, S. M. and A. S. Jina. 2012. *The Causal Effect of Environmental Catastrophe on Long-run Economic Growth*. Working Paper, Goldman School of Public Policy, University California, Berkeley, USA.
- IBISWorld. 2010. *Queensland Floods: The Economic Impact. Special Report, January 2011*. Australia: IBISWorld..
- IPCC. 2007. *Climate Change Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Cambridge University Press.
- Kliesen, K. L. 1994. The Economics of Natural Disasters. The Regional Economist. *Federal Reserve Bank of St. Louis*. 2(1): 1-5.
- Mendelsohn, R. and G. Saher. 2011. *The Global Impact of Climate Change on Extreme Events*. World Bank.
- Narayan, P. K. 2003. Macroeconomic Impact of Natural Disasters on a Small Island Economy: Evidence from a CGE Model. *Applied Economics Letters*. 10(11): 721-723.
- Noy, I. 2009. The Macroeconomic Consequences of Disasters. *Journal of Development Economics*. 88(2): 221-231.
- Pauw, K., J. Thurlow, M. Bachu and D. E. Van Seventer. 2011. The Economic Costs of Extreme Weather Events: a Hydrometeorological CGE Analysis for Malawi. *Environment and Development Economics*. 16(2): 177-198.
- Raddatz, C. 2007. Are External Shocks Responsible for the Instability of Output in Low-Income Countries? *Journal of Development Economics*. 84(1): 155-187.
- Rasmussen, T. N. 2004. *Macroeconomic Implications of Natural Disasters in the Caribbean*. Working Paper No. 04/224, International Monetary Fund.
- Shibusawa, H. and Y. Miyata. 2011. Evaluating the Dynamic and Spatial Economic Impacts of An Earthquake: A Cge Application to Japan. *Regional Science Inquiry*. 3(2): 13-25.
- Simola, A., A. Perrels and H. Juha. 2011. *Extreme Weather Events in Finland: A Dynamic CGE-analysis of Economic Effects*. Proceedings of the 14th Annual Conference on Global Economic Analysis.
- Skidmore, M. and H. Toya. 2002. Do Natural Disasters Promote Long-Run Growth? *Economic*

- Inquiry*. 40(4):664-687.
- Strobl, E. 2011. The Economic Growth Impact of Hurricanes: Evidence from U.S. Coastal Counties. *Review of Economics and Statistics*. 93(2): 575-589.
- USGS. 2011. *Overview of the ARkStorm scenario*. U.S. Geological Survey. Open File Report 2010-1312, Reston, Virginia, USA.
- Weitzman, M. 2011. Fat-tailed Uncertainty in the Economics of Catastrophic Climate Change. *Review of Environmental Economics and Policy*. 5(2): 275-292.

홍중호: 미국 코넬대학교에서 환경자원경제학 전공으로 박사학위를 받은 후 한국개발연구원(KDI)과 한양대학교 경제금융대학을 거쳐 2009년부터 서울대학교 환경대학원 교수로 재직 중이다. 지속가능한 발전전략, 환경정책, 기업의 사회적 책임 등이 주요 관심분야이며, 최근 논문으로 “Citizens’ Distrust in Government and Project Implementation in the Public Sector(2014)”가 있다(hongjongho@snu.ac.kr).

김용건: KAIST에서 산업경영학과 박사(경제학 전공) 학위를 받고, 1996년부터 한국환경정책평가연구원에 입사해 꾸준히 기후 및 대기관련 연구를 수행해오고 있다. 기후변화, 온실가스 감축, 환경경제모형 등이 주요 관심분야이며, 대표연구로는 “수도권 지역 배출총량관리제(2004)”, “환경경제모형 개발(2011)”, “한·중·일 탄소시장 연계의 파급효과 분석(2011)” 등이 있다(ygkim@kei.re.kr).

이미연: 서울대학교 환경대학원에서 박사과정(환경경제/환경관리 전공)을 수료하고, 현재 서울대학교 아시아에너지환경지속가능발전연구소 연구원으로 재직 중이다. 기후변화 적응, 자연재해, 경제적 파급효과 분석 등이 주요 관심분야이다(mylee03@snu.ac.kr).