

## 자연재해의 경제적 영향평가 연구방법론과 백두산화산재해에의 적용 가능성

강주화<sup>1</sup> · 유순영<sup>2</sup> · 윤성민<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>인천대학교 HK, <sup>2</sup>부산대학교 사회급변현상연구소, <sup>3</sup>부산대학교 경제학부

### Research Methodology for the Economic Impact Assessment of Natural Disasters and Its Applicability for the Baekdu Mountain Volcanic Disaster

Zhuhua Jiang<sup>1</sup>, Soon-Young Yu<sup>2</sup> and Seong-Min Yoon<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>HK Research Institute, Incheon National University, Incheon 406-772, Korea

<sup>2</sup>Research Institute for Social Criticality, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

<sup>3</sup>Department of Economics, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

There are many studies for the economic impact assessment of natural disasters, but there are few for volcanic disasters. Domestic academic research is not under active discussion because of the lack of national and social interest for volcanic eruption. This study investigated the research methodology for the economic impact assessment of natural disasters and discussed whether these can be applied to the economic impact analysis for the Baekdu Mountain volcanic disaster. The main findings are as follows: Firstly, Asia-Pacific region is the most affected by natural disasters and has the largest scale of damage. Asian and American Continent have the most economic damage. Secondly, Considering the types of damage caused by natural disasters and its complex structure, several methodologies that could be possible to estimate economic consequential damages have been compared. When applying each methodology to the Baekdu Mountain volcanic disaster, the scale of damage is likely to be over-estimated or under-estimated because of model-specific features. Thus, estimated values should be compared to each other after calculating the damage results. Thirdly, Japanese academic research on the volcanic disaster will be used as the starting point of the economic impact assessment studies for Baekdu Mountain. Using computer SW such as Hazus which is used in United States and RiskScape from New Zealand is also a good method to predict economic impact of the Baekdu Mountain volcanic disaster.

**Key words** : natural disaster, volcanic disaster, Baekdu mountain, social and economic impact

자연재해의 경제적 영향평가에 대한 연구는 많으나 화산재해의 영향평가에 대한 연구는 상대적으로 매우 적다. 국내의 경우, 화산 폭발에 대한 국가적, 사회적 관심 부족으로 화산재해 영향평가에 대한 학계 연구도 매우 부족하다. 이러한 연구실정을 고려하여, 본 연구는 자연재해의 경제적 영향평가 연구방법론을 조사하고 향후 예상되는 백두산 화산재해에의 적용 가능성을 검토하였다. 본 연구의 주요 내용과 결과를 요약하면 다음과 같다. 첫째, 자연재해 및 화산재해에 대해 조사한 결과, 아시아지역에서 자연재해 피해규모가 가장 컸고 아시아와 아메리카 대륙의 경제적 피해가 가장 많았던 것으로 나타났다. 둘째, 최근 30년 사이에 화산분화가 매우 빈번했던 일본에서 화산재해로 인한 피해 연구가 활발했던 반면, 화산분화가 드문 한국과 중국에서는 화산재해의 경제적 영향에 대한 연구가 매우 희소하다. 셋째, 자연재해에 의한 피해 유형 및 복합 피해구조에 대하여 살펴보았고, 그 중에서 정량적인 분석이 가능하다고 생각되는 경제적 간접피해를 추정할 수 있는 몇 가지 방법들을 비교 검토해 보았다. 각 방법론을 백두산 화산재해에 적용하는 경우, 모형 고유의 특징 때문에 피해규모가 과대 추정되거나 혹은 과소 추정될 가능성이 있으므로 계산된 피해결과는

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided original work is properly cited.

\*Corresponding author: [smyoon@pusan.ac.kr](mailto:smyoon@pusan.ac.kr)

사후적인 비교 검토가 필요하다. 마지막으로 일본의 화산재해에 관한 학술적 연구를 백두산 화산폭발의 경제적 영향 평가 연구의 출발점으로 활용할 수도 있겠지만, 미국에서 사용되는 Hazus나 뉴질랜드에서 사용되는 RiskScape와 같은 컴퓨터 SW를 활용하거나 개발하여 백두산 화산재해의 경제적 영향을 예측하는 것도 좋은 방법이라고 생각된다.

**주요어** : 자연재해, 화산재해, 백두산, 사회·경제적 영향

## 1. 서 론

최근 지구촌 곳곳에서 지구온난화로 인해 기상이변, 그리고 이와 직접·간접적으로 연관있는 자연재해가 빈번히 발생하고 있으며 그 피해규모도 대형화되고 있다(Swiss Re, 2012). 이러한 자연재해는 생산, 소비, 교역, 물류 등 경제활동에 큰 피해를 유발하므로, 이에 사전에 대비하거나 사후 복구를 위해 자연재해의 경제적 영향을 평가하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 국내에서도 홍수, 태풍의 피해가 자주 발생하여 그로 인한 경제적 피해를 예측하거나 사후적으로 평가하는 연구들이 다수 발표되었다. 이러한 연구의 의의는 예상되는 피해 금액을 사전에 추정하고 복구비용을 비교하여, 사전에 적절한 대응방안을 수립하는데 도움을 주기 위한 것이다. 이러한 기초자료를 준비하는데 가장 중요하고 어려운 부분은 자연재해의 피해규모를 예상하고 그것의 경제적 가치를 평가하여 계산하는 작업이다.

Gong(2009)의 자연재해 피해규모에 대한 연구에 따르면, 본 연구의 주 관심대상인 화산재해는 자연재해 유형 중 피해규모는 6위이지만, 일단 발생하면 국가경제 및 세계경제에 큰 피해를 유발할 수 있다. 2010년 4월에 분출한 아이슬란드의 에이야프얄라요쿨(Eyjafjallajökull) 화산은 대량의 화산재로 아이슬란드뿐만 아니라 주변 유럽 전역의 항공운항에 영향을 주었다. 2011년 1월 분화한 일본 키리시마산(신모에다케 화산)은 300년 만에 본격적인 화산활동을 재개하였고(NIED, 2013), 2013년 8월에는 일본 규슈의 사쿠라지마 화산에서 폭발적인 분화가 발생하였다. 이처럼 최근에 대규모 화산들이 분화하면서 한국에서도 화산재해의 피해와 대응에 대한 관심이 높아지고 있다.

우리나라의 화산 중 백두산은 최근 매우 활동적인 모습을 보이고 있어 분화 가능성이 높은 것으로 알려져 있다. 만약 백두산 분화 시기에 한반도 주변으로 북풍 또는 북동풍이 발달하면, 화산재가 남한으로 확산하여 남한 사회·경제에 많은 영향을 미칠 수 있다. 이 경우 화산재는 남한지역의 농업, 제조업, 항공, 물류, 관광 등 많은 산업에 큰 피해를 유발할 것이며,

우리나라를 포함한 세계 기후에 큰 변화를 초래하여 어획량 및 농산물 수확 등에 큰 영향을 미칠 수 있다. Lee *et al.*(2013)에 따르면, 화산재가 4 mm 쌓이는 경우 강원도에서만 농업부문 손실이 1조원 이상일 것으로 추정하고 있다. 따라서 백두산 화산 폭발로 인한 피해를 예상하여 사전에 대비하고 피해를 줄일 수 있는 연구가 필요하다. 이러한 연구는 화산재해로 인해 혹시 발생할 수 있는 북한난민 및 정권변화 가능성에 대한 사전 대비책을 마련하는데 활용할 수도 있다.

그러나 지진, 홍수, 태풍 등으로 인한 자연재해의 경제적 영향평가에 대한 연구는 많으나 화산재해의 경제적 영향 및 영향평가에 대한 연구는 상대적으로 매우 적다. 이러한 연구실정을 고려하여, 본 연구는 자연재해의 사회·경제적 영향 및 영향평가방법론에 대한 선행연구들을 조사하고, 기 수행된 자연재해 영향평가 방법들이 백두산 화산재해에 적용가능anz을 검토하고자 한다.

본 연구는 다음과 같이 구성되었다. 1절의 서론에 이어 2절에서는 자연재해 및 화산재해에 대하여 살펴본다. 3절에서는 자연재해의 사회적·경제적 영향에 대한 선행연구와 자연재해의 복합피해구조를 설명한다. 4절에서는 영향평가 방법론의 특징, 장단점 및 한계에 대하여 설명한다. 5절에서는 백두산 화산재해에의 적용 가능성을 분석하며 마지막 6절에서는 본 연구를 요약하고 결론을 제시한다.

## 2. 자연재해 및 화산재해

### 2.1. 자연재해

자연재해의 유형은 지질재해(지진, 쓰나미, 화산폭발), 기상재해(폭풍우), 수문재해(홍수, 지각변동), 기후재해(이상기후, 가뭄, 산불) 등으로 분류된다(NatCatSERVICE, 2012). Guha-Sapir *et al.*(2013)에 따르면, 2012년 세계적으로 357건의 자연재해가 발생하였고, 이로 인한 피해자 수는 124.5백만 명으로, 이 중 9,655명이 사망하였다. 경제적 손실은 1,570억 달러에 달하였다(Table 1). 2012년 자료를 2002년-2011년 평균값과 비교하면, 자연재해로 인한 인명피해는 줄어들었지만 경제적 손실

은 2002년-2011년 평균치인 1,430억 달러보다 10% 증가하였다는 것을 알 수 있다.

Table 1에 따르면, 최근 10여 년간 아시아 대륙에서 자연재해, 인명피해, 경제적 피해가 가장 많이 발생하였다. 또한 경제적 피해를 보면 아시아 다음으로 아메리카 대륙이 많은 것으로 나타났다. 이 지역의 주요 국가들인 미국, 중국, 일본, 한국의 피해를 비교분석해 보면, 자연재해로 인한 인명피해는 중국이 가장 많았고 경제적 피해는 미국이 가장 많았다(Table 2). 일본은 주로 폭풍우, 홍수, 지진으로 인한 피해가 많았고, 한국은 폭풍우와 홍수로 인한 피해가 많았다. 한편 화산재해의 경우, 불과 30년 사이에 일본에서는 화산분화가 8차례 발생하였고, 미국에서는 2차례 발생하였다. 일본은 대형 화산분화가 빈번한 편이어서 화산재해로 인한 피해에 대한 학술적 연구가 세부적으로 잘 진행되어 있다. 반면, 화산분화가 드문 한반도와 중국에서는 화산재해 연구가 일본에 비하면 매우 희소한 편이다.

**2.2. 화산재해**

세계에는 약 1,500개의 활화산이 있다. 활화산들은 일반적으로 지각판의 경계부분에서 볼 수 있는데, 대부분이 환태평양지대에 분포하고 있다. 소위 불의 고

리(Ring of Fire)라고 불리는 태평양 주위, 즉 미국 서부해안, 시베리아, 일본, 필리핀, 인도네시아의 동부해안, 그리고 뉴기니로부터 뉴질랜드의 섬들을 연결하는 부분에 분포되어 있다.

잘 알려진 대표적인 화산활동으로는 이탈리아 베수비오화산(79년), 인도네시아의 탐보라화산(1815년), 미국의 세인트헬렌스화산(1980년), 일본의 운젠화산(1990~1995년), 필리핀 피나투보화산(1991년), 아이슬란드 에이야프얄라요쿨화산(2010년) 등이 있다. 이 절에서는 운젠 화산과 세인트헬렌스 화산을 사례로 하여 화산재해에 대해 더 자세히 살펴보기로 한다.

일본열도에는 세계 활화산의 약 10%인 108개의 활화산이 존재한다. Fig. 1은 일본 화산해저드 맵 데이터베이스에 수록된 97개의 활화산을 보여주고 있다. 운젠화산(Fig. 1의 85번)은 일본 규슈 나가사키현 시마바라 반도의 주요 부분을 차지하는 활화산으로, 많은 용암피로 군집되어 있는 화산이다. 1663년, 1792년, 1990~1995년의 3회에 걸쳐 화산 분화가 있었는데 모두 주요 봉우리인 후젠다케(후젠산)의 폭발이었다. 1663년 화산 분화로 30명의 인명피해가 있었고, 1792년에는 화산 분화 한 달 뒤에 지진이 발생하여 사망자가 1만 5,000명에 달하는 일본 최대의 화산재해로 기

**Table 1.** Natural disasters by continent(Guha-Sapir *et al.*, 2013)

Damage	Continent						
	Africa	Americas	Asia	Europe	Oceania	Global	
No. of natural disasters	2012	57	79	145	65	11	357
	Average in 2002-2011	72	95	156	56	16	394
No. of victims (millions)	2012	37.82	5.57	80.29	0.58	0.26	124.52
	Average in 2002-2011	26.38	8.64	232.03	0.66	0.17	267.88
Damages (2012 US \$ bn)	2012	0.93	103.38	27.97	24.20	0.85	157.34
	Average in 2002-2011	0.99	49.96	61.93	11.66	4.78	129.33

**Table 2.** The type of damage and itemized damage for natural disasters in four countries (1980-2010)(UNISDR, 2013)

Damage	Country				
	US	China	Japan	Korea	
Natural Disaster Occurrence Reported	Storm	392	200	77	37
	Flood	132	188	22	21
	Earthquake	24	98	31	0
	Volcano	2	0	8	0
	Total including other disasters	640	597	157	71
No. of people killed	12,366	155,563	8,568	3,252	
No. of people affected (millions)	26.9	2,815.1	3.4	1.7	
Economic Damage (US \$ × 1000)	544,287	342,833	208,231	14,870	

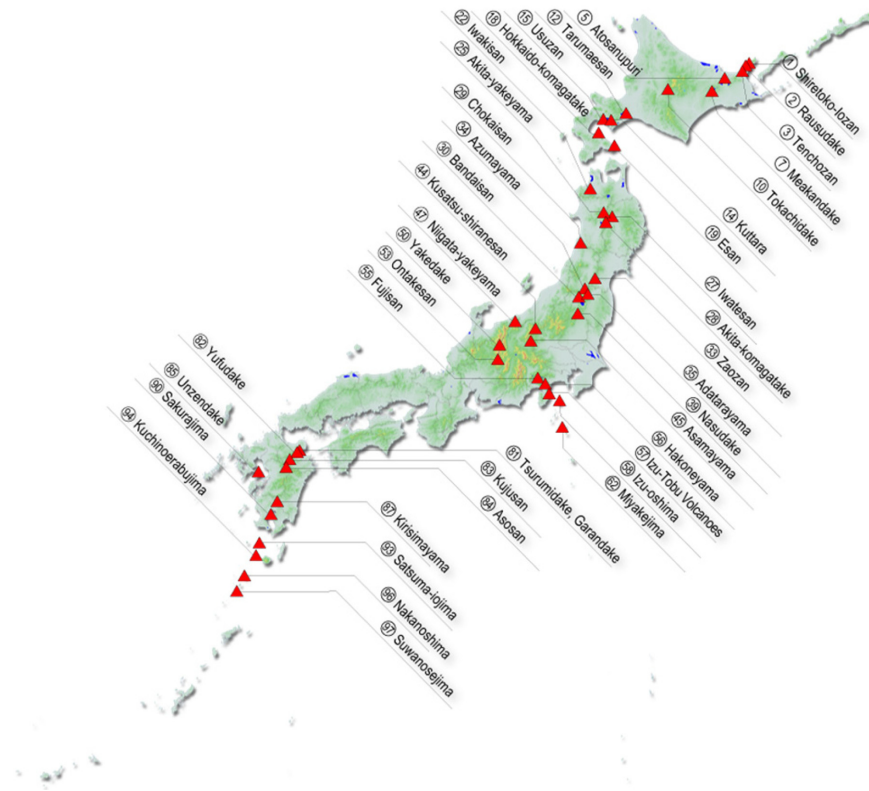


Fig. 1. Location map of volcanoes in Japan (NIED, 2013).

록되어 있다. 1990년 11월에도 운젠 화산의 분화로 모두 44명이 사망하였는데, 이러한 인명피해는 주로 화쇄류로 인한 것이다(Takahashi and Kimura, 2009).

1980년 5월 미국 워싱턴주의 남서부에 위치한 세인트헬렌스 화산의 폭발은 미국 역사상 가장 파괴적인 화산활동으로, 가장 심도있게 연구된 화산활동이다. 세인트헬렌스 화산은 1832년과 1857년 사이에 화산재와 불을 간헐적으로 분출한 기록이 있고, 1980년 3월에는 일련의 폭발과 화산재의 분출이 있었다고 한다. 강한 지진 이후 세인트헬렌스산 북쪽면 전체가 부서져 거대한 암석들이 산사태처럼 미끄러져 내려왔다고 하며, 폭발 전 2,900 m 높이에 달하던 봉오리는 이제 가장 높은 지점에서도 2,400 m에 불과하고, 분화구가 열린 북쪽 사면은 이제 해발 약 1,320 m가 되었다고 한다. 거의 4 km<sup>3</sup>에 해당하는 산이 대기 중으로 날아갔거나 화산이류(lahar)로 흘러내린 것으로, 세인트헬렌스 화산 분화로 인한 피해 총액은 약 18억 달러 이상으로 추산되고 있다(Lee, 2010).

### 3. 자연재해의 사회적 · 경제적 영향의 유형 및 상호 관련성

#### 3.1. 자연재해의 사회·경제적 영향에 관한 선행연구

경제규모가 커짐에 따라 자연재해가 경제에 미치는 영향도 함께 증대하고 있다. 이에 따라 자연재해가 경제에 미치는 영향이라는 주제는 최근 경제학 및 기타 사회과학 분야의 주요 연구주제로서 주목을 받고 있다. 여기에는 자연재해가 경제에 미치는 영향을 충분히 인식하는 작업과 자연재해로 인한 영향을 정확히 평가하는 과정이 포함된다. 합리적인 평가가 중요한 이유는 그것이 궁극적으로 재해복구 및 재난을 감소시키려는 노력의 기초가 되기 때문이다(Rose *et al.*, 1997; Brookshire *et al.*, 1997; Cochrane, 2004; Okuyama, 2004). 이 소절에서는 자연재해가 경제에 미치는 영향에 관한 선행연구, 자연재해의 영향평가에 관한 선행연구의 순으로 이 분야 연구의 주요 흐름을 살펴보기로 한다.

재해의 경제적 영향을 연구하는 재해경제학 분야는 1950년대부터 시작되었다고 볼 수 있다. Brannen(1954)는 재해가 경제에 미치는 영향을 처음으로 연구하였는데, 그는 1953년 미국 텍사스 주의 Waco라는 도시의 대재난에 대하여 연구하였다. Hirshleifer(1966)는 14세기 서유럽에서 급속히 확산된 흑사병이 경제에 미치는 장단기 영향을 분석한 바 있다.

자연재해에 대한 경제학 분야의 초기 연구는 주로 직접적인 경제적 손실에 주목하였다. 예를 들면, Petak and Atkisson(1982)는 1970년 자연재해로 인한 경제손실이 교통사고와 범죄로 인한 손실을 초과한다는 사실을 발견하였다. 이후 이 분야 연구는 자연재해로 인한 산업활동의 중단과 관련된 간접적 경제손실을 측정하려는 연구단계로 발전한다. 예를 들면, Tierney *et al.*(2001)은 산출 조사를 통해 산업 중단으로 인한 손실의 주요 근원과 파급과정을 개념적으로 정립하였고, 또 산업 중단 손실이 직접적 경제 손실과 그 크기가 비슷하다고 보고하였다.

자연재해의 영향평가에 대한 연구는 간단한 정성적 연구로부터 시작하여, 회귀분석과 시계열분석을 수행하는 연구(Friesema *et al.*, 1979; Chang, 1983), 연립방정식모형을 이용하는 연구(Guimaraes *et al.*, 1993), 투입-산출 분석모형을 활용하는 연구(Lu *et al.*, 2002; Gordon *et al.*, 1995; Rose *et al.*, 1997; Okuyama, 2004), 계량경제모형을 이용하는 연구(Ellson *et al.*, 1984; West and Lenze, 1994; Tierney, 1997; Saldaa-Zorrilla and Sandberg, 2009), CGE(computable general equilibrium) 모형을 이용하는 연구(Brookshire *et al.*, 1997; Rose and Guha, 2004; Tirasirichai and Enke, 2007) 등 다양한 방법론이 활용되고 있다.

한편 앞의 Table 1에서 설명하였듯이 아시아 대륙에서 가장 많은 자연재해 인명피해와 경제적 피해가 발생하며, 이 때문에 자연재해에 대한 연구도 활발하다. 하지만 Table 2에 나타나듯이 나라마다 빈번히 발생하는 자연재해의 내용이 다르므로, 주요 연구 분야도 나라마다 다소 차이가 있다. 한·중·일 3국에서의 자연재해 연구흐름을 살펴보면 아래와 같다.

일본의 경우, 화산재의 영향 및 피해는 여러 연구에 보고되어 있는데(Mount Fuji Hazard Map Committee, 2004; Yoshio and Shigeru, 2004; Sekiya and Osamu, 2003), 화산재 규모에 의한 피해들이 분야 및 항목에 있어서 조금씩 다르게 보고되어 있다. 특히 Mount Fuji Hazard Map Committee(2004)과 Cabinet Office of Japan(2002)는 아직 발생하지 않은 화산 분화의 피

해를 예측한 연구라는 점에서 백두산 화산재해의 경제적 영향을 추정하는데 있어 크게 도움이 될 수 있다. Mount Fuji Hazard Map Committee(2004)는 1707년 후지산 분화와 동일한 규모의 분화가 현시점에서 발생할 경우의 피해를 예측하고, 인명피해, 건물, 도로, 철도, 항공, 전력, 수도, 농작물, 삼림, 수산물 등 각 항목마다 비가 내리지 않는 경우와 비가 내리는 경우로 나누어 정량적으로 피해를 추정하고 있다. Cabinet Office of Japan (2002)도 1707년 후지산 호에이 대분화와 같은 분화가 현재의 사회·경제조건하에서 발생할 경우를 가정하여 경제적 피해를 추정하고 있다. 이 보고서에서는 사회경제적으로 중요한 영향을 미치는 피해항목을 연구대상으로 하고, 화산재해를 화산재, 분석(噴石)·화산자갈, 홍수·토사, 용암류의 네 가지로 분류하고 있다. 또한 화산재의 경우는, 비가 내리지 않는 경우, 연평균 강우량 만큼의 비가 내리는 경우, 장마비가 내리는 경우로 세분하여 각 시나리오별 직접피해 및 간접피해를 추정하였다.

중국에서도 자연재해가 미치는 사회·경제적 영향에 대한 연구가 최근 활발하게 진행되고 있다. Peng *et al.*(2008)은 2008년 5월에 발생한 사천대지진이 중국의 거시경제 및 산업에 미치는 영향을 분석하였다. Gu and Feng(2009)은 자연재해가 중국 농업에 미치는 영향에 대해 연구하였다. 중국의 주요 농업재해로는 기상재해, 생태재해, 생물재해, 지질재해 등이 있으며, 재해가 농업에 미치는 영향의 경우에는 다양한 재해종류, 넓은 재해발생범위, 높은 자연재해빈도 등의 특징이 있다고 설명하였다. 한편 중국의 해양경제 규모가 지속적으로 커지고 연해지구의 인구가 급증하면서 해저지질재해에 대한 연구가 주목받고 있다. Chen *et al.*(2010)은 해저지질재해가 사회경제발전에 미치는 영향과 추세에 대해 연구하였다. 해저지질재해 경우에는 빈번한 발생, 심각한 손실, 다양한 재해, 강한 연관성, 선명한 공간분포 차이 등의 특징이 있다고 설명하였다. Lv and Liu(2011)는 자연재해가 국가안정에 미치는 영향에 대해 연구하였다. 심각한 자연재해는 사재기, 집단사위 등 사회적 치안문제로 변화될 수 있고, 정부의 대응이 미흡한 경우 여론 악화 및 사회적 안전망의 붕괴로 이어질 수도 있다고 분석하였다. 따라서 자연재해가 심각한 사회적 문제로 변화되는 과정을 효과적으로 방지하고 대비할 필요가 있다고 주장하였다. 이 연구는 백두산 화산재해가 북한주민 및 북한정권에 미치는 영향을 분석하는 경우에 많은 도움이 될 것이라고 판단된다.

한국에서는 최근에는 자연재해와 관련된 연구가 발표되고 있다. Lee *et al*(2009)는 지진재해 발생으로 인한 사회·경제적 영향을 분석하였는데, 특히 교통망이 받는 영향에 초점을 맞추어 분석하였다. 이를 위해 우리나라의 고속도로, 교량 및 경제 관련 자료를 수집하여 사용하였고, 지진 등 예상하지 못한 사건의 발생으로 인한 최종수요의 손실과 부문별 생산품의 흐름을 예측하였다. Park and Yoo(2011)은 백두산 화산 폭발이 우리에게 미치는 영향을 경제적 측면, 기후적 측면, 생태적 측면, 인간의 건강에 미치는 영향, 수자원에 미치는 영향으로 나누어 연구하였다. 그리고 발생 가능한 화산재해에 대비하여 백두산 화산분화에 대한 과학적인 예측뿐만 아니라 국민들에게 화산재해에 대한 교육을 실시하는 등의 실질적인 대책을 세워야 한다고 주장하였다. 이외에도 최근 한국에서는 선진국에서 활용되고 있는 재해영향평가 소프트웨어를 국내 상황에 적용하기 위한 연구도 진행되고 있다(Yu, 2011; Yu and An, 2013).

### 3.2. 자연재해에 의한 피해의 유형 및 복합피해구조

이 소절에서는 Miyayiri(1994)의 연구를 토대로 하여 자연재해의 사회적·경제적 영향의 복합피해구조를 살펴보고자 한다. 자연재해의 피해는 직접피해와 간접피해로 대분할 수 있으며, 각각의 피해는 절대적 피해와 상대적 피해로 구분할 수 있다. 여기서 절대적 피해란 사람의 생명처럼 사후에 어떠한 보상을 해도 돌이킬 수 없는 피해를 말한다. 절대적 피해에는 인명피해, 회복불능의 질병, 재생불능의 환경파괴가 포함된다. 한편 상대적 피해는 재생 혹은 회복 수단이 적절하다면 사후에 회복 가능한 피해를 의미한다.

직접피해는 피해 대상의 차이에 따라 주민피해와 공공피해로 구분할 수 있다. 주민피해에는 주택·재산과 생산수단(공장, 기계, 가계, 논밭)의 상실과 파손, 상품·재고품처럼 경제적으로 계산이 가능한 손실과 정신적·신체적 장애, 스트레스처럼 경제적으로 계산하기 어려운 손실이 있다. 주민피해는 법률상 개인책임, 즉 자력갱생(自力復興)에 맡길 수밖에 없다. 반면에 공공시설의 파괴와 같은 공공피해는 국가의 재해복구의 대상이 된다.

간접피해는 경제적 피해, 사회적 피해, 법적 피해, 행정·재정적 피해 등으로 구분해 볼 수 있다. 경제적 피해는 지역 산업 및 근로자의 취업, 고용, 소득 등에 주는 2차적 피해를 말하고, 사회적 피해는 지역주민의 생활불안, 이산가족의 발생, 인구유출 등의 피해를 말하며, 법적 피해는 현행 재해대책 법제의 불완전성

과 결핍으로 인해 확대된 피해를 말한다. 마지막으로 행정·재정적 피해는 피해지역 지자체의 행정기능 혼란과 저하로 인하여 주민의 생활이 더욱 어려워지는 것을 의미한다. 간접피해의 경우 조기에 적절하게 대처하지 못한다면 피해의 크기와 파급효과가 커질 수 있다는 점에 유의할 필요가 있다.

화산 분화와 같은 자연현상은 우선 특정 피해지역의 자연환경과 인위적 환경을 파괴하고, 해당 지역사회에 돌발적이고 회복하기 어려운 직접피해를 가져온다. 직접피해는 때 시기, 여러 사회계층과 지역사회에 불균등하게 간접피해를 유발하고, 여러 지역에 다양한 간접피해를 장기간에 걸쳐 파급시킨다. 상대적 직접피해 중 생산수단과 상품의 손실, 질병과 심신(心身) 장애, 거주피해 등으로 인한 주민피해는 피해자의 생활을 어렵게 하고, 이러한 재해가 장기화되면 주민들의 생활고는 한층 가중된다. 다른 한편으로 공공인프라 즉 사회자본의 파손이나 기능상실과 같은 공공피해는 피해지역 주민의 경제활동과 사회생활에 중대한 손실과 혼란을 초래한다. 그 결과 직접피해는 피해지역의 경제사회와 주민생활에 커다란 손실을 가져오며 가족과 커뮤니티의 공동기능과 재해대처능력을 약화시키는 간접피해로 이어진다. 더 나아가 직접피해는 간접피해를 발생시키고 그것을 더 확대시키기도 한다. 산업용 시설의 파손과 간선도로 등 공공인프라의 기능저하는 상업·공업·농업의 산업피해를 낳고, 그 결과 근로자는 취업과 소득기회를 상실하게 한다. 이러한 손실은 역으로 피해지역의 유효수요를 감소시키고, 장기적으로 경제적 피해와 사회적 피해가 더 심화되어 가기도 한다.

상기 언급한 직접적·간접적 피해의 확대에 대처하기 위한 재해대책 법제가 적절하지 못하여, 피해자 구제와 재해복구 기능이 불완전하고 체계적 결함을 갖고 있으면, 피해주민의 생활과 경제활동은 부당하게 규제되어, 생활고와 경제피해는 증가하게 된다. 게다가 가족과 커뮤니티의 공동의식을 약화시켜 결국에는 인구유출의 유인이 된다. 이러한 전반 과정은 지역의 소비와 투자를 감소시켜 경제적 피해를 가중시키게 된다.

이상의 직접적·간접적 피해가 복잡하게 연쇄 반응하는 파급과정은 재해 특유의 다양한 행정적·재정적 요구를 급증시킨다. 예를 들면, 행정적·재정적 비용의 증가와 지방세수의 감소는 지자체의 일반재원 가용능력을 감소시키고 재정적립금을 바닥내며 공채(公債) 발행비용 부담을 증가시키게 만든다.

이와 같이 자연재해가 야기하는 피해 확산의 과정을 살펴보면, 재해의 종류, 규모, 기간, 지역·지방자치단

체의 경제력과 재정능력에 미치는 영향, 타 지방으로의 인구 및 기업 유출, 지방자치단체와 주민의 자치능력 등의 측면에서, 다양한 수준의 간접피해가 나타날 수 있다는 것을 알 수 있다. 그리고 재해에 의한 각종 피해는 상호 연관되어 있어 연쇄적 파급 효과도 나타날 수 있는 복합 구조를 형성하고 있다.

#### 4. 경제손실 영향평가 방법론들의 장단점과 한계

앞 절에서는 화산재해를 비롯한 자연재해의 피해 유형과 상호관계에 대해 살펴보았다. 이 절에서는 화산재해의 경제손실 영향평가에 적용될 수 있는 여러 방법들의 특징 및 장단점에 대해 알아보려고 한다.

##### 4.1. 직접적 경제손실과 간접적 경제손실

일반적으로 재해 손실은 발생한 재해의 강도뿐만 아니라 당시 사회의 경제발전수준, 인구밀도, 재해 관련 법제 등 사회환경 조건과도 밀접한 관련이 있다. 따라서 재해손실은 사회상태의 함수라고 볼 수 있다. 재해손실은 경제손실과 비경제손실로 분류하며, 경제손실은 다시 직접적 경제손실과 간접적 경제손실로 구분될 수 있다.

Parker *et al.*(1987)은 경제학 분석에서 사용하는 “저량(stock)”과 “유량(flow)” 개념의 차이를 토대로 재해손실의 개념에 대해 정의하였다. 저량은 어느 변수의 특정 시점에서의 양을 말하는 정태적인 개념이다. 재해의 직접적 경제손실이 저량에 해당한다. 유량은 일정한 기간 내에 누적된 변수의 양을 의미한다. 간접적 경제손실이 유량에 상응하는데, 그 크기는 측정기간에 의존한다. Parker *et al.*(1987)에 따르면, 재해가 미치는 직접적 경제손실에는 부동산, 기계설비 등 고정자산, 가동자산, 재고 등의 파손이나 기능상실과 관련된 가치손실이 포함된다. 한편 간접적 경제손실은 제1차 간접손실과 제2차 간접손실로 나눌 수 있다. 여기서 제1차 간접손실은 생산 중단으로 인한 유량 손실을 말하며, 제2차 간접손실은 경제시스템의 산업 연결망과 연관되는 손실을 가리킨다.

Cochrane(1997)은 직접손실의 범주를 보다 확장하였다. 재해가 토지 및 공장과 주거지에 미치는 물리적 파괴뿐만 아니라 재해가 유발한 물리적 영향도 직접손실에 포함시켰다. 그리고 간접손실은 재해로 인해 각 경제부문의 전방(forward) 산출과 후방(backward) 공급의 연결망이 파괴되어 나타나는 생산 중단의 손실이라고 규정하였다. 이러한 정의는 현재 세계의 대다수 국

가의 국가경제회계시스템(national economic accounting system)과 일치하며, 투입-산출 분석기법을 이용하여 재해가 경제 전반에 미치는 영향을 계산하고 분석하는데 용이하게 적용할 수 있다. 또한 현재 미국 국토안보부 산하 FEMA(Federal Emergency Management Agency)가 사용하고 있는 Hazus 재난손실 소프트웨어에서의 간접적 경제손실에 대한 정의와도 일치한다(FEMA, 2008).

##### 4.2. 간접적 경제손실 영향평가 방법론의 특징과 장단점

자연재해의 손실은 재해 손실이 전체 경제에 미치는 장·단기적 영향을 함께 고려하여 계산해야 한다. 직접적 경제손실에 대해서는 재해 발생 시점의 단기적 경제손실을 추정하면 되지만, 간접적 경제손실 부분은 자연재해가 발생하여 일정 기간 지속되다가 경제의 재건과 산업시설의 복구 및 정상가동이 완료될 때까지 장기간에 걸친 경제손실을 합산하여 추정해야 한다. 간접적 경제손실을 추정하는 방법에는 이하에서 살펴볼 여러 가지 방법이 활용될 수 있으며 각각의 방법에는 나름의 특징과 장단점이 있다.

###### 1) 투입-산출 분석기법

투입-산출(input-output; IO) 분석은 Leontief(1941)에 의해 처음으로 공식화되었고, Leontief(1953, 1966) 이외에도 많은 경제학자들에 의해 산업연관분석의 기본모형으로 연구되어 왔다. 투입-산출(IO) 모형을 이용하면 자연재해가 경제에 미치는 직접적 피해가 산업연결망을 통해 전방 및 후방 산업에 미치는 파급효과를 시뮬레이션해 보거나 계산해 볼 수 있다. IO 모형은 투입-산출 행렬을 이용하여 경제시스템 전반의 산업부문간 투입과 산출 사이의 상호작용을 기술하고 있으므로, 중간소비 수요변화를 통하여 자연재해가 하나 또는 여러 부문에 미치는 경제적 영향, 즉 생산, 부가가치, 고용 등에 미치는 유발 효과를 평가할 수 있다(Miller and Blair, 1985).

IO 모형은 사용하기 쉽고 추정된 손실이 명확하기 때문에 일찍이 Cochrane(1974)에 의해 자연재해의 간접적 경제손실 평가에 도입되었으며, 그 후로 다양한 자연재해의 경제적 파급효과를 계산하는 연구에 광범위하게 응용되고 있다. 예를 들면, 미국 FEMA의 Hazus 재난관리시스템의 간접적 경제손실 모듈도 IO 모형에 기초하고 있다.

IO 모형은 간접손실의 추정을 위한 유용한 분석기법

을 제공하지만 다음과 같은 문제점을 안고 있다. 첫째, IO 분석을 이용하여 진행한 재해손실평가는 대부분 정태적이고(Rose, 2004; Cole, 1998) 생산용량의 변화를 고려하지 않고 있다. 또한 IO 모형은 재해가 공급자에 미치는 영향을 평가할 수 없다. 예컨대, Rose(2004)도 재해가 수요자에 미치는 결과만을 고려하였다. Haines *et al.*(2005)와 Percoco(2006)는 이러한 두 가지 단점을 지적하였지만, 그들의 방법도 여전히 재해 발생 이후의 동태적 변화를 시뮬레이션 할 수 없었다. 둘째, IO 모형은 투입계수가 분석기간 동안 일정하다는 것을 가정하고 있는데, 이 때문에 기술수준이 급변하는 동태적인 경제에 적용하는 것은 설득력이 부족하다. 또 IO 분석은 재난 이후 상품가격의 변화를 반영할 수 없다는 문제도 있다. 정태적인 IO 모형의 단점 때문에 많은 연구들은 재해영향의 동태적 변화를 반영할 수 없었고, 그 결과 IO 모형은 경제시스템의 동태적 적응력에 대한 고려가 부족하여 재해손실 평가의 결과를 과대평가하는 경향이 있다(Rose, 2004). 그리고 지역단위의 재해손실을 평가하기 위해서는 지역투입산출표가 조사되어 있어야 하는데, 이에 지역단위의 기초 통계자료 확보의 어려움도 존재한다.

## 2) 계량경제모형

계량경제모형(econometric model)은 주로 국가단위의 경제예측 및 정량적 정책분석에 활용되어 왔다(Eckstein, 1983; Klein, 1991; Treyz, 1993; Diebold, 1998). 계량경제모형이 과거 경제활동의 추세 변화를 평균적으로 설명하는 경제분석 도구로서 객관적이고 일관성이 있는 경제 분석 및 전망 결과를 제공하였기 때문이다. 계량경제모형은 경제전망의 출발점으로서 기준 전망치를 제시할 뿐만 아니라, 예측과정 및 절차가 과학적이어서 상대적으로 객관적인 예측치를 얻을 수 있다는 장점이 있다.

국가단위경제의 분석 및 예측에 이용되던 계량경제학의 기법들이 1970년대 이후 지역단위경제에 적용되고 있어, 지역계량경제모형을 활용하면 자연재해 영향 평가 연구에서의 파급효과를 시뮬레이션하는 도구로도 사용될 수 있다(West and Lenze, 1994; Greenberg *et al.*, 1999; Saldaña-Zorrilla and Sandberg, 2009; Strobl, 2011). 그렇지만 실제에 적용하기 위해서는 대규모의 통계자료가 필요하고, 함수관계의 설정단계에

연구자의 주관적 판단이 개입될 여지가 있다는 단점이 있다.

## 3) CGE 모형<sup>1)</sup>

CGE(computable general equilibrium) 모형은 경제 변수들 사이의 관계를 연립방정식으로 표현하여 간접적 경제손실을 평가할 수 있는 방법이다(Brookshire *et al.*, 1997; Rose and Guha, 2004; Rose and Liao, 2005; Tirasirichai and Enke, 2007). CGE 모형은 경제요소 및 경제활동의 상호의존관계를 다양한 함수관계를 이용하여 반영할 수 있다. CGE 모형은 공급총량 제약을 고려할 수 있고 또 산업연관의 비선형적 측면을 고려할 수 있어 현실의 경제변수 사이의 관계를 더 적절히 반영할 수 있다는 측면에서 IO 모형의 경직성에 대비되는 유연하고 개선된 모형이라고 볼 수 있다.

CGE 모형의 단점은 이 모형이 경제 내의 모든 의사결정자들이 최적화를 목표로 행동하며 또 경제가 항상 균형 상태에 있다고 가정하는데 있다(Okuyama, 2008). 특히 균형 상태를 가정하기 때문에, 분석기간이 1년 이상이고 외부충격이 작을 경우에는 문제가 없지만, 자연재해와 같이 단기적으로 큰 충격을 주는 경우는 적용하기 어렵다. 즉 이 모형은 장기균형분석에는 적합하지만 단기적 영향을 분석하기는 부적절한 단점이 있다. 또한 확실한 표준이 될 만한 함수관계라는 것이 없고 지나치게 유연하다보니 경제적 파급효과를 과소 평가하게 되고 그로 인해 재해손실을 과소평가하는 경향이 있다(Boisvert, 1992; Rose and Guha, 2004).

## 4) 기타 방법

위의 모형 외에도 선형계획모형(linear programming model; Cochrane *et al.*, 1997; Rose *et al.*, 1997), 현지조사 분석법(Kroll *et al.*, 1991; Boarnet, 1998) 등이 활용될 수도 있다. 선형계획모형은 재해 발생 이후 부족한 생산 능력을 복구하기 위한 최적의 자원 분배 문제에 대한 해답을 제공할 수 있지만, 미래에 발생할 재해손실 영향평가에 적용가능할지 여부는 다소 확실치 않다. 현지조사 분석법은 재해의 영향을 받은 각 부문에 대해 샘플을 취하여 개별적인 재해손실 결과를 얻는 방법으로, 재해손실을 종합하는 면에서 매우 취약할 수 있다는 문제가 있고, 무엇보다 아직 발

1) CGE 모형도 계량경제모형의 한 유형으로 볼 수 있으므로 양자를 구분하지 않는 것도 가능하다고 본다. 그렇지만 Okuyama(2008), Hallegatte and Przyuski(2010), Shibusawa and Miyata(2011), Xie *et al.*(2012) 등은 간접피해분석을 위한 선행연구들의 분석기법을 소개하면서, 계량경제 모형과 CGE 모형을 구분하여 분류하고 그 차이점을 강조하고 있으므로, 본 연구에서도 이 두 모형을 구분하여 정리하고자 한다.



생하지 않았지만 향후 예상되는 재해의 손실을 예측하는 데는 활용하기 어려운 단점이 있다.

#### 4.3. 간접적 경제손실 영향평가 방법들의 한계 및 유의점

자연재해의 간접적 경제손실을 평가할 때, 무엇보다도 각 방법의 장점을 잘 활용할 수 있는 통계자료가 충분한지 그리고 제한된 자료의 제약 하에서도 일정 수준의 정확성을 유지할 수 있는지를 고려하여 모형을 선택하여야 한다. 그렇지만 위에서 설명한 여러 방법들은 각각 나름의 특징과 고유한 장단점이 있어, 선행적으로 최적의 방법을 결정하기가 쉽지 않다.

선행연구들을 보면 앞의 모형들 중 IO 모형과 CGE 모형이 비교적 많이 활용되고 있다. 이는 모형의 이론적 특징 및 조작 가능성, 자료의 활용 가능성 등을 고려하여 모형이 선택되었기 때문이라고 생각된다. 하지만 IO 모형은 경제흐름의 상호작용을 잘 반영하여 이해가 쉽고 계산이 용이하다는 장점이 있지만, 선행관계를 가정한다는 제약이 있을 뿐만 아니라 수요 측면에서만 재해의 영향을 추정한다는 단점이 있다. 그 때문에 모형의 모수 탄력성이 고정되어 추정한 재해손실은 과대평가되는 문제가 있다.

한편 CGE 모형은 IO 모형의 단점을 보완하고 있기는 하지만, 모형이 더 복잡하고 계산에 필요한 기초통계자료가 충분히 확보되어 있어야만 한다는 제약이 있다. 그리고 확실한 표준이 없는 이유로 경제적 영향을 과소평가하고 재해손실도 과소평가하는 결과가 나타날 수 있다.

실제로 어느 방법을 적용하든 모형 작성의 불확실성이 존재하여 누락되거나 중복 계산되는 문제가 있을 수 있고, 또 기초 통계의 부족 때문에 모형에 포함시키지 못하여 유발되는 부분도 있을 수 있다. 따라서 각 방법들을 이용한 계산결과를 비교하거나 세심히 검토하는 작업이 사후적으로 이루어져야 할 것이다.

### 5. 백두산 화산재해에의 적용 가능성

백두산은 우리나라 화산 중 최근 매우 활동적인 모습을 보이고 있는 화산으로, 수 차례의 분화 기록을 가진 활동적인 화산체이다. 백두산 화산은 A.D. 946년 대규모 분화 이후에도 1668년, 1702년, 1903년 중·소규모 분화를 한 적이 있는 활화산으로, 약 1 천년 전 백두산의 폭발 규모는 VEI 7로 100~150 km<sup>3</sup>의 화산재와 용암을 뿜어낸 역사상 최악의 화산 폭발이라고

할 수 있다. 이는 2010년 아이슬란드 에이아프랄라요쿨 화산 폭발의 1,000~1,500배 수준의 폭발이라고 추정되고 있다(Kim and Park, 2013). 1996년 8월 중국 북경에서 개최된 제30차 국제지질학회(International Geological Congress) 이후 활화산을 연구하는 지질학자들은 백두산을 잠재적 분화 가능성을 가진 매우 위험한 화산으로 소개하고 있다(Yun, 2010). 또한 Yun and Lee(2012)은 백두산 천지 칼데라 호수 내에 화산성 근발지진의 진앙이 집중하여 분포하며 그 진원 깊이가 지하 2 km에서 4 km 내에 집중되어 있다는 등 폭발이 머지않은 장래에 발생할 가능성에 대한 다양한 증거를 제시한 바 있다.

Yun(2010)는 백두산 일대에서 1999년 이후 최근까지 모두 3,000여 차례 이상의 지진이 발생했으며 그 빈도도 높아지고 있다고 보고하였고, 이러한 사실을 백두산 폭발이 임박했다는 것을 의미한다고 해석하였다. 이외에도 다양한 전조현상들이 백두산 주변에서 발견됨에 따라(Kim and Park, 2013), 백두산 화산 폭발에 대한 우려가 높아지고 있어 백두산 화산 분화로 인한 사회경제적 영향에 대한 분석이 시급한 상황으로 보인다.

만약 백두산에 대규모의 화산 폭발이 발생하면 화산성 홍수, 화산성 지진, 화산이류, 화쇄류, 독성 가스 등으로 인한 여러 유형의 피해가 예상된다. 그렇지만 백두산과의 거리를 감안하면 남한지역의 경우에는 주로 화산재로 인한 피해가 가장 클 것으로 예상된다(Lee and Yun, 2011). 대기권으로 분출된 미세한 화산재는 수 km 상공까지 치솟고, 제트기류를 타고 수백 km까지도 날아간다.

전 세계적으로 화산재해의 영향에 대한 연구는 다른 자연재해에 비해 상대적으로 적고, 특히 백두산 화산 폭발의 사회경제적 영향과 관련된 주제는 간단한 시론적 성격의 연구는 있지만 학술적인 연구는 많지 않다. 국내의 경우, 화산 폭발에 대한 국가적, 사회적 관심 부족으로 학계 연구가 활발하지 못한 실정이다. 하지만 미국이나 일본 등 화산방재 분야의 선진국을 중심으로 화산재해의 사회적, 경제적 영향을 평가하는 연구는 많이 수행되어 왔으므로 이러한 선행연구를 분석하면 백두산 화산재해에 적용 가능한 모형을 작성하는 일은 가능하다고 본다.

특히 일본의 경우 1991년 운젠화산 폭발 이후, 재해경제학 및 화산 관련분야의 많은 학술지 논문과 연구서들이 발표되고 있다. 일본의 화산재해 연구 중 Cabinet office of Japan(2002)는 백두산 화산재해 연구에 활용할 수 있는 연구 방법 및 결과를 제공하고

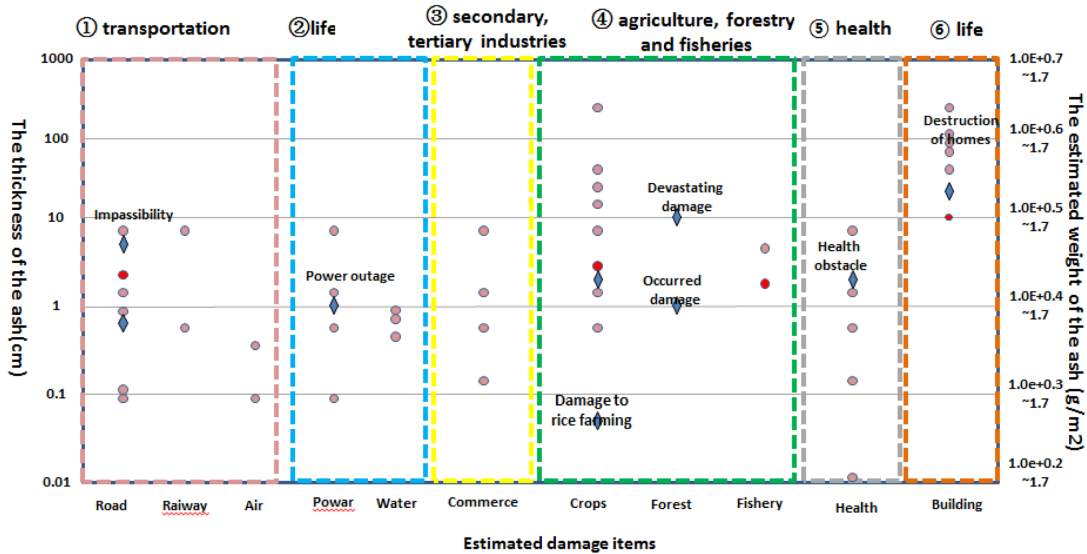


Fig. 2. The damage of volcanic disaster by ash thickness (Japan Meteorological Agency, 2013).

있다. Cabinet office of Japan(2002)는 1707년 후지산 분화와 동일한 규모의 분화가 현시점에서 발생할 경우의 직접피해 및 간접피해 산출을 정량적으로 분석하였는데, 아직 발생하지 않은 화산재해의 피해를 예측하고 있다는 점에서 백두산 화산재해의 영향평가 연구와 매우 유사하다. 한편, Japan Meteorological Agency(2013)은 화산재규모와 피해영향 사이의 대조표를 통하여 Fig. 2와 같이 분야별 피해를 화산재 단위 면적 당 무게와 두께와 함께 요약하였다. Fig. 2는 화산재해 영향평가 작업에 필수적인 정보인 취약도함수를 작성하는데 큰 도움을 줄 것이라고 판단된다(Yu *et al.*, 2013). 이와 같이 일본의 화산재해에 관한 학술적 연구를 백두산 화산폭발의 영향평가 연구의 출발점으로 활용할 수 있을 것이다.

이외에도 최근 한국에서는 외국에서 활용되고 있는 재해영향평가 관련 SW를 국내 상황에 적용하기 위한 시도가 진행되고 있는 점도 주목할 필요가 있다. 예를 들면, Yu(2011)과 Yu and An(2013)은 Hazus-MH를 홍수 등 국내 재난손실평가에 적용할 수 있도록 연구한 있다. 외국에서 빈번히 사용되는 재난평가 SW를 국내 재해영향평가에 활용하고자 하는 시도는 좋은 방향이기는 하지만, 외국의 SW를 그대로 사용할 수는 없고 많은 수정 및 보완을 한 후에야 한국의 화산재해에 사용할 수 있다는 점에서 이제 연구를 시작하는 단계라고 볼 수 있다. 예를 들면 미국 FEMA에서 개발하여 많이 사용되고 있는 Hazus의 경우 지진, 홍수,

허리케인 등에 대한 모듈은 내장되어 있지만 화산 모듈이 없어 이를 추가적으로 개발한 후에야 화산재해 영향평가에 사용할 수 있을 것이다. 뉴질랜드에서 사용하는 RiskScape 경우는 화산재해 모듈이 내장되어 있지만, 한국과 뉴질랜드의 지리적, 사회적, 환경적 차이로 인해 제공되는 SW를 그대로는 백두산 화산재해의 경제적 영향평가에 사용할 수는 없다.

Hazus나 RiskScape와 같은 SW를 백두산 화산재해 영향평가에 활용하기 위해서는 피해대상물 정보(즉, 피해대상물 내용, 위치, 가격 등)를 한국의 것으로 수정해 입력하는 과정, 한국의 화산재해 상황에 맞는 취약도함수를 연구하여 입력하는 작업, 한국의 산업연관표를 그 SW에 연결시키는 작업 등이 선행되어야 한다. 여기서 피해대상물의 내용, 위치, 가격 등과 취약도함수는 직접손실을 평가하기 위한 것으로, 직접손실평가 과정에 대해서는 Yu and An(2013)을 참고할 수 있다. 그리고 직접피해 금액이 계산되면, 산업연관 분석모형과 산업연관표를 이용하여 그 직접피해가 산업연관망을 통해 유발하는 간접피해를 추정하는 계산을 하게 된다. 계산된 직접피해와 간접피해를 합하면 화산재해의 전체(total) 피해 금액을 얻을 수 있다.

한편 백두산 화산재해의 경제적 영향평가 연구는 분화로 인한 피해가 정량적으로 보고된 바 없는 상태에서 미래의 분화가 사회경제적으로 미치는 영향을 평가해야 하기 때문에, 이미 분출한 화산을 대상으로 사후적으로 연구하는 선행연구와는 다른 측면이 있다. 즉

백두산 화산재해 연구는 화산재 분출량, 분출지속 기간, 분출의 계절적 시기, 풍향 및 풍속, 화산재 확산 범위, 원거리 지진피해 등에 대한 공학적 계산이 포함된 세부적 예상 시나리오가 있어야 하고, 그것을 기초 자료로 사회경제적 영향을 평가하게 된다. 따라서 백두산 화산재해의 경제적 영향평가 연구를 위해서는 지구과학, 기상학, 컴퓨터공학, 토목공학, 지리학, 정치학, 경제학 등을 포함한 다양한 분야의 자연과학-공학-사회과학 연구자들이 학제간 연구를 수행해야 할 필요가 있다.

## 6. 결 론

자연재해의 경제적 영향평가에 대한 연구는 많으나 화산재해의 영향평가에 대한 연구는 국내외 모두 상대적으로 매우 적다. 국내의 경우 활동하는 화산이 없어 화산 폭발에 대한 국가적, 사회적 관심이 많지 않았고, 이 때문에 화산재해 영향평가에 대한 학계 연구도 매우 부족하다. 그렇지만 최근 백두산 화산의 대규모 폭발 가능성이 높다는 증거들이 연이어 발표되자 화산재해의 사회경제적 영향에 대한 관심도 크게 증가하였다.

백두산 화산 폭발은 화산성 홍수, 화산성 지진, 화산 이류, 화쇄류, 독성 가스, 화산재 등을 통해 북한의 광범위한 지역에 인명피해 및 주거환경 파괴를 포함한 직접적인 피해를 유발할 가능성이 높아, 북한 주민의 민심 동요와 정신적 불안, 난민의 발생, 더 나아가 북한 정권의 존립에 영향을 미칠 가능성도 있다. 또 백두산은 민족의 영산으로 인식되어 있어 그것의 폭발은 한국인 전체의 심리적 동요와 불안을 유발할 수도 있어 사회·경제적 영향에 대한 정성적 연구도 필요하다.

분석의 범위를 좁혀 백두산 화산재해가 경제산업에 미치는 피해만을 연구한다면 정량적 분석이 가능하다. 본 연구에서는 화산재해의 전체 피해를 직접피해와 간접피해로 구분하고, 그 중에서도 정량적인 분석이 가능하다고 생각되는 경제적 간접피해를 추정할 수 있는 몇 가지 방법들을 검토해 보았다. 우리나라의 경우 실제로 화산이 분출한 사례에 대한 피해 통계가 없다는 점을 고려할 때, 백두산 화산재해의 간접피해를 구하는 작업에는 산업연관분석방법 즉 투입산출모형을 활용해야 할 것이라고 판단된다.

본 연구의 주요 분석결과를 요약하면 다음과 같다. 첫째, 자연재해 및 화산재해에 대해 조사한 결과, 아시아지역에서 자연재해 피해규모가 가장 컸고, 아시아와

아메리카 대륙의 경제적 피해가 가장 많았던 것으로 나타났다. 둘째, 화산의 경제적 영향에 대한 학술연구 동향을 조사한 결과, 최근 30년 사이에 화산분화가 매우 빈번했던 일본에서 화산재해로 인한 피해 연구가 활발했던 반면, 화산분화가 드문 한국과 중국에서는 화산재해의 경제적 영향에 대한 연구가 매우 희소하였다. 셋째, 자연재해에 의한 피해 유형 및 복합 피해구조에 대하여 살펴보고, 그 중에서 정량적인 분석이 가능하다고 생각되는 경제적 간접피해를 추정할 수 있는 몇 가지 방법들을 비교 검토해 보았다. 정량적인 연구에서는 피해 추정의 정확성이 높아야 하는데, 각 방법론을 백두산 화산재해에 적용하는 경우, 모형 고유의 특징 때문에 피해규모가 과대 추정되거나 혹은 과소 추정될 가능성이 있으므로 계산된 피해결과는 사후적인 비교 검토가 필요하다고 본다. 마지막으로 일본의 화산재해에 관한 학술적 연구를 백두산 화산폭발의 경제적 영향평가 연구의 출발점으로 활용할 수도 있겠지만, 미국에서 사용되는 Hazus나 뉴질랜드에서 사용되는 RiskScape와 같은 컴퓨터 SW를 활용하거나 개발하여 백두산 화산재해의 경제적 영향을 예측하는 것도 좋은 방법이라고 생각된다.

백두산 분출로 인한 화산재해의 경제적 영향을 예측하는 것은 실제로 폭발한 화산을 대상으로 사후적으로 분석하는 외국의 선행연구들과는 다른 측면이 있다. 즉 백두산 화산재해의 경우에는 재해의 발생규모와 확산 과정에 대한 세부적 예상 시나리오가 있어야 하고, 그 시나리오를 기초자료로 활용하여 사회경제적 영향을 예측할 수 있다. 따라서 화산학, 지질학, 컴퓨터공학, 경제학 등의 지식을 함께 동원하는 학제간 공동연구가 필요한 분야이다. 아직은 이 분야에 대한 학제간 공동연구가 드문 실정이지는 않지만, 최근 공동연구의 필요성이 충분히 인식되고 있으므로 향후 활발한 학제간 공동연구가 기대된다. 그리고 이러한 연구를 통하여 백두산 화산분출에 신속히 대응하고 효율적으로 회복할 수 있는 국가방재시스템이 구축되기를 기대한다.

## 사 사

이 논문은 2013년도 백두산 화산대응기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(NEMA-백두산-2012-1-3). 그리고 이 논문은 2011년도 정부재원(교육과학기술부 사회과학연구지원사업비)으로 한국연구재단의 지원을 받아 연구되었음(NRF-2011-330-B00044).

## 참고문헌

- Boisvert, R. (1992) Direct and Indirect Economic Losses from Lifeline Damage. In Milliman, J.W. (ed.) Indirect Economics Consequences of a Catastrophic Earthquake. National Earthquake Hazards Reduction Program, FEMA, Washington DC, USA, p.207-266.
- Boarnet, M.G. (1998) Business Losses, Transportation Damage, and the Northridge Earthquake. *Journal of Transportation and Statistics*, 1(2), p.49-63.
- Brannen, T.R. (1954) Economic Aspects of the Waco, Texas Disaster of May 11, 1953. Research Report of Department of Sociology, University of Texas, p.1-40.
- Brookshire, D.S., Chang, S.E., Cochrane, H., Olson, R.A., Rose, A. and Steenson, J. (1997) Direct and Indirect Economic Losses from Earthquake Damage. *Earthquake Spectra*, 13(4), p.683-701.
- Cabinet Office of Japan (2002) Damage Estimation of a Historic Eruption of Mount Fuji. Cabinet Office of Japan. (in Japanese)
- Chang, S. (1983) Disasters and Fiscal Policy: Hurricane Impact on Municipal Revenue. *Urban Affairs Review*, 18(4), p.511-523.
- Chen, D.-J., Li, P.-Y., Liu, L.-J., Du, J. and Li, P. (2010) Characteristics and Trends - the impact of seabed geological disasters on social and economic development. *Ocean Development and Management*, 6, p.80-84. (in Chinese)
- Cochrane, H. (1997) Economic Impacts of a Midwestern Earthquake. *Quarterly Publication of NCEER (National Center for Earthquake Engineering Research)*, 11(1), p.1-5.
- Cochrane, H. (2004) Economic Loss: Myth and Measurement. *Disaster Prevention and Management*, 13(4), p.290-296.
- Cochrane, H.C. (1974) Predicting the Economic Impact of Earthquakes. In Cochrane, H.C., Haas, J.E., Bowden, M.J. and Kates, R.W. (eds.) *Social Science Perspectives on the Coming San Francisco Earthquake: Economic Impact, Prediction, and Reconstruction*. University of Colorado Natural Hazard Research Working Paper No.25. University of Colorado, Boulder, CO, p.1-44.
- Cole, S. (1998) Decision Support for Calamity Preparedness: Socioeconomic and Interregional Impacts. In Shinozuka, M., Rose, A. and Eguch, R.T. (eds.) *Engineering and Socioeconomic Impacts of Earthquakes: An Analysis of Electricity Lifeline Disruptions in the New Madrid Area*. Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, NY, p.125-153.
- Diebold, F.X. (1998) The Past, Present and Future of Macroeconomic Forecasting. *Journal of Economic Perspectives*, 12(2), p.175-192.
- Eckstein, O. (1983) *The DRI Model of the U.S. Economy*, New York: McGraw-Hill.
- Ellson, R.W., Milliman, J.W. and Roberts, R.B. (1984) Measuring the Regional Economic Effects of Earthquakes and Earthquake Predictions. *Journal of Regional Science*, 24(4), p.559-579.
- EM-DAT (2013) International Disaster Database. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters.
- FEMA (Federal Emergency Management Agency) (2008) HazusMH Estimated Annualized Earthquake Losses for the United States. Federal Emergency Management Agency, Washington DC, USA.
- Friesema, P.H., Caporaso, J., Goldstein, G., Lineberry, R. and McCleary R. (1979) *Aftermath: Communities after Natural Disasters*. Sage Publications, Beverly Hills, California.
- Gordon, P., Richardson, H.W., Davis, B., Steins, C. and Vasisht A. (1995) The Business Interruption Effects of the Northridge Earthquake. Lusk Center Research Institute, School of Urban and Regional Planning, University of Southern California.
- Gong, W.-T. (2009) Risk Assessment and Emergency Management Strategies Based on the Baek Du Mountain's the Largest Volcanic Eruption on the History. Master's Thesis, Northeast Normal University. (in Chinese)
- Greenberg, M., Solitare, L., Frisch, M. and Lowrie, K. (1999) Economic Impact of Accelerated Cleanup on Regions Surrounding the U.S. DOE's Major Nuclear Weapons Sites. *Risk Analysis*, 19(4), p.635-647.
- Guha-Sapir, D., Hoyois, P. and Below, R. (2013) Annual Disaster Statistical Review 2012: The Numbers and Trends. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters.
- Guimaraes, P., Hefner, F.L. and Woodward, D.P. (1993) Wealth and Income Effects of Natural Disasters: An Econometric Analysis of Hurricane Hugo. *Review of Regional Studies*, 23(2), p.97-114.
- Gu, H.-B. and Feng, Z.-L. (2009) On Impact of Natural Disasters over Chinese. *Agriculture and Its Governance*, 12(2), p.64-68. (in Chinese)
- Haines, Y., Horowitz, B., Lambert, J., Santos, J., Lian, C. and Crowther, K. (2005) Inoperability Input-Output Model for Interdependent Infrastructure Sectors. I: Theory and Methodology. *Journal of Infrastructure Systems*, 11(2), p.67-79.
- Hallegatte, S. and Przulski, V. (2010) The Economics of Natural Disasters: Concepts and Methods. World Bank Policy Research Working Paper 5507.
- Hass, J.E., Kates, R.W. and Bowden, M.J. (1977) *Reconstruction Following Disaster*. The MIT Press, Cambridge, MA.
- Hirshleifer, J. (1966) Disaster and Recovery: The Black Death in Western Europe (RAND Corporation Memorandum RM-4700-TAB). Rand Corp.
- Japan Meteorological Agency (2013) A Proposal to Advance Volcanic Ash Forecast. Committee to Review the Advanced Volcanic Ash Forecast, 2013-3&#167;(in Japanese)
- Klein, L.R. (1991), *Comparative Performance of US Econometric Models*. Oxford University Press, New York.
- Kim, H.W. and Park, J.E. (2013) An Analysis of Disaster Management Response with respect to Supervolcano Disaster Case Studies. *Journal of Kosham*, 13(2), p.151-156. (in Korean)
- Kroll, C.A., Landis, J.D., Shen, Q. and Stryker, S. (1991). Economic Impacts of the Loma Prieta Earthquake: A Focus on Small Business. Working Paper 91-187, Studies on the Loma Prieta Earthquake, Transpor-

- tation Center, University of California at Berkeley.
- Lee, S.K., Kang, S.L., and Kim, T.J. (2009) Socio-Economic Impacts of an Unscheduled Event: A Case in Korea, *International Journal of Highway Engineering*, 11(1), p.117-126. (in Korean)
- Lee, S.-H. and Yun, S.-H., 2011, Impact of Meteorological Wind Fields Average on Predicting Volcanic Tephra Dispersion of Mt. Baekdu. *Korean Earth Science Society*, 32(4), p.360-372. (in Korean)
- Lee, Y.-J., Kim, S.-D., Chun, J.-S., and Woo, G. (2013) Estimation of Economic Losses on the Agricultural Sector of Gangwon Based on the Volcanic Ash Damage Scenario. *Journal of The Korean Earth Science Society*, 34(6), p.515-523. (in Korean)
- Lee, J.-S. (2010) *Understanding of Natural Disasters*. Goomi Book.
- Leontief, W. (1941) *The Structure of American Economy, 1919-1929: An Empirical Application of Equilibrium Analysis*. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Leontief, W. (1953) *Studies in the Structure of the American Economy: Theoretical and Empirical Explorations in Input-Output Analysis*. Oxford University Press, New York.
- Leontief, W. (1966) *Input-Output Economics*. Oxford University Press, New York.
- Lv, M.-C. and Liu, J.-C. (2011) Prevention of Natural Disasters to the Evolution of Social Security Incident Exploration. *Guangxi Police College*, 100(2), p.13-17. (in Chinese)
- Lu, C. Wei, Y.-M. and Xu, W.-X. (2002) Quantitative Analysis Model and Its Application in the Impact of Disasters on the National Economy. *Journal of Natural Disasters*, 11(3), p.15-20. (in Chinese)
- Miller, R.E. and Blair, P.D. (1985) *Input-Output Analysis: Foundations and Extensions*. Prentice-Hall, NJ.
- Miyayiri, K. (1994) The Impact of Volcano for the Regional Economic Communities and Local Governments. *Public Lectures from Nagasaki University*, 6, p.219-232. (in Japanese)
- Mount Fuji Hazard Map Committee (2004) *Review on Mount Fuji Hazard Map*. (in Japanese)
- NatCatSERVICE (2012) *Statistics of Natural Disaster*. Munich Re.
- NIED (National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention) (2013) *Volcanic Hazard Maps of Japan*. Technical Note of the National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention (NIED), No. 380.
- Okuyama, Y. (2004) Modeling Spatial Economic Impacts of an Earthquake: Input-Output Approaches. *Disaster Prevention and Management*, 13(4), p.297-306.
- Okuyama, Y. (2008) *Critical Review of Methodologies on Disaster Impact Estimation*. Background paper for GFDRR report, World Bank - UN Assessment on the Economics of Disaster Risk Reduction, p.1-27.
- Parker, D.J., Green, C.H. and Thompson, P.M. (1987) *Urban Flood Protection Benefits: A Project Appraisal Guide*. Gower Technical, VT.
- Park, C. and Yoo, C. (2011) The Impact of Baekdu Mountain's Volcanic Eruption. *Journal of KOSHAM*, 11(2), p.73-82. (in Korean)
- Percoco, M. (2006) A Note on the Inoperability Input-Output Model. *Risk Analysis*, 26(3), p.589-594.
- Petak, W.J. and Atkisson, A.A. (1982) *Natural Hazard Risk Assessment and Public Policy: Anticipating the Unexpected*. Springer-Verlag, New York.
- Peng, J.-M., Hu, Y.-Y., Qi, Y.-J. and Zuo, C.-C. (2008) Impacts of the Sichuan Earthquake on China's Economy. *China Science and Technology Investment*, 7, p.71-74. (in Chinese)
- Rose, A. (2004) Economic Principles, Issues, and Research Priorities in Hazard Loss Estimation. In Okuyama, Y. and Chang, S.E. (eds.) *Modeling Spatial and Economic Impacts of Disasters*. Springer, New York, p.13-36.
- Rose, A., Benavides, J., Chang, S.E., Szczesniak, P. and Lim, D. (1997) The Regional Economic Impact of an Earthquake: Direct and Indirect Effects of Electricity Lifeline Disruptions. *Journal of Regional Science*, 37(3), p.437-458.
- Rose, A. and Guha, G.S. (2004) Computable General Equilibrium Modeling of Electric Utility Lifeline Losses from Earthquakes. In Okuyama, Y. and Chang, S.E. (eds.) *Modeling Spatial and Economic Impacts of Disasters*. Springer, New York, p.119-141.
- Rose, A. and Liao, S.-Y. (2005) Modeling Regional Economic Resilience to Disasters: A Computable General Equilibrium Analysis of Water Service Disruptions. *Journal of Regional Science*, 45(1), p.75-112.
- Saldaa-Zorrilla, S.O. and Sandberg, K. (2009) Spatial Econometric Model of Natural Disaster Impacts on Human Migration in Vulnerable Regions of Mexico. *Disasters*, 33(4), p.591-607.
- Sekiya, N. and Osamu, H. (2003) Social Impact of Mt. Fuji Eruption: First Step for "Drawing Scenario about Social Impact of Mt. Fuji Eruption Focused Volcanic Ash" by Interview Research of the Agencies Concerned. University of Tokyo. (in Japanese)
- Shibusawa, H. and Miyata, Y. (2011) Evaluating the Dynamic and Spatial Economic Impacts of an Earthquake: A CGE Application to Japan. *Regional Science Inquiry Journal*, 3(2), p.13-25.
- Strobl, E. (2011) The Economic Growth Impact of Hurricanes: Evidence from U.S. Coastal Counties. *Review of Economics and Statistics*, 93(2), p.575-589.
- Swiss Re (2012) *Natural Catastrophes and Man-made Disasters in 2011: Historic Losses Surface from Record Earthquakes and Floods*. sigma, No.2/2012.
- Takahashi, K. and Kimura, T. (2009) Recovery and Social of Volcano Disaster-Unzen Volcano. *The Ancient Academy*. (in Japanese)
- Tierney, K.J. (1997) Business Impacts of the Northridge Earthquake. *Journal of Contingencies and Crisis Management*, 5(2), p.87-97.
- Tierney, K.J., Lindell, M.K., and Perry, R.W. (2001) *Facing the Unexpected: Disaster Preparedness and Response in the United States*. Joseph Henry Press, Washington D.C.
- Tirasirichai, C. and Enke, D. (2007) Case Study: Applying a Regional CGE Model for Estimation of Indirect Economic Losses Due to Damaged Highway Bridges. *Engineering Economist*, 52(4), p.367-401.
- Treyz, G. (1993) *Regional Economic Modeling: A Systematic Approach to Economic Forecasting and Policy*

- Analysis. Springer, Boston, MA.
- UNISDR (The United Nations Office for Disaster Risk Reduction) (2013) Disaster Statistics.
- Volcanic Disaster Countermeasure (2013) Volcanic Disaster Countermeasure.
- West, C.T. and Lenze, D.G. (1994) Modeling the Regional Impact of Natural Disaster and Recovery: A General Framework and an Application to Hurricane Andrew. *International Regional Science Review*, 17(2), p.121-150.
- Xie, W., Li, N., Wu, J.-D. and Liu, X.-Q. (2012) Evaluation of Indirect Loss from Hypothetical Catastrophes in Two Regions with Different Economic Development Levels in China. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12(11), p.3325-3335.
- Yoshio, K. and Shigeru, S. (2004) Impact Analysis on the Volcanic Ash-fall in the Metropolitan Area/2001-01. Research Report for FY 2003 Program for Promoting Fundamental Transport Technology Research. (in Japanese)
- Yu S. (2011) Analysis of Hazus-MH4 for the Development of Hazard Loss Estimation Software in Korea. *Journal of KOSHAM*, 11(2), p.83-89.
- Yu, S. and An, H. (2013) Study of Flood Loss Estimation Using Hazus-MH 2.1. *Journal of Risk Management*, 24(1), p.29-57.
- Yu, S.Y., Yoon, S.-M., Jinang, Z.H., and Choi, M.R. (2013) Building Damage Functions Using limited Available Data for Volcanic Ash Loss Estimation. *Journal of The Korean Earth Science Society*, 34(6), p.524-535. (in Korean)
- Yun, S.-H. (2010) The Potential Impact and Countermeasures for Baek Du Mountain's Volcanic Eruption. *Korea Employers Federation*, 376, p.32-33. (in Korean)
- Yun, S.-H. and Lee, J.H. (2012) Analysis of Unrest Signs of Activity at the Baegdusan Volcano. *Journal of Petrological Society of Korea*, 21(1), p.1-12. (in Korean)

---

2013년 12월 26일 원고접수, 2014년 1월 19일 1차수정, 2014년 2월 10일 게재승인