

화산재 양에 따른 피해와 사회·경제적 영향 분석

강주화¹ · 유순영^{2,*} · 윤성민³ · 최기홍³

¹부산대학교 사회급변현상연구소, 609-735, 부산광역시 금정구 부산대학로 63번길 2

²국가수리과학연구소 계산수학연구부, 305-811, 대전광역시 유성구 유성대로 1689번길 70

³부산대학교 경제학부, 609-735, 부산광역시 금정구 부산대학로 63번길 2

Damage and Socio-Economic Impact of Volcanic Ash

Zhuhua Jiang¹, Soonyoung Yu^{2,*}, Seong-Min Yoon³, and Ki-Hong Choi³

¹Research Institute for Social Criticality, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

²Division of Computational Sciences in Mathematics, National Institute of Mathematical Sciences, Daejeon 305-811, Korea

³Department of Economics, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

Abstract: This study investigates the damages of and analyzes the social and economic impacts of volcanic ash eruptions in the world in order to estimate the potential volcanic ash impacts in South Korea when Mt. Baekdusan volcano erupts in the future. First, we build a comparison chart called “the impact of volcanic ash” on each economic and social sector by using major volcanic eruptions and we compare the damage with respect to volcanic ash thickness/weights. Secondly, we analyze the social and economic impact from volcanic ash. The economic damage is not likely to occur in South Korea, unless Mt. Baekdusan erupts in winter. However, the potential damage should not be overlooked because the volcanic ash may have a global impact around the world. If Mt. Baekdusan volcano erupts when the wind blows from north or northeast, the volcanic ash may then significantly affect South Korea of which economy is highly dependent on exports. Particularly when the volcanic ash moves to the densely populated metropolitan areas or agricultural areas, the damage can be significant. In preparation for the potential volcanic disasters, the volcanic ash forecast table suitable for South Korea should be prepared. In addition, building a Korean volcanic ash hazard map in advance will have a strategic significance.

Keywords: volcanic disaster, volcanic ash, Mt. Baekdusan, direct damage, indirect damage

요약: 백두산 화산이 분화할 경우, 한국에는 주로 화산재로 인한 피해가 예상된다. 이에 본 연구는 해외의 대형 화산 분화 사례를 기반으로, 화산재 규모에 따른 피해와 사회·경제적 영향을 분석하였다. 첫째, 주요 화산 분화의 화산재 피해사례 및 화산재 두께/무게에 따른 피해를 “화산재 규모와 피해 영향 대조표”를 통하여 살펴보았다. 둘째, 화산재의 사회·경제적 영향을 분석하였다. 백두산이 겨울에 분화하지 않는다면, 한국은 화산재로 인해 경제적 피해를 입을 가능성이 크지 않지만, 화산재의 특성상 범세계적으로 영향을 미칠 수 있기 때문에 그 영향을 간과해서는 안 된다. 한편 만약 백두산 분화 시기에 한반도 주변으로 북풍 또는 북동풍이 발달하면, 화산재가 남한으로 확산하여 남한 경제에 영향을 미칠 수 있다. 항공수출에 차질이 생길 수 있으며, 인구 밀도가 높은 수도권이나 지방중심도시(산업집중도시) 혹은 농업지역으로 화산재가 이동해 온다면 그 피해는 매우 클 수 있다. 이러한 화산재해에 대비하여 한국의 실정에 맞는

*Corresponding author: s7yu@nims.re.kr

Tel: +82-42-717-5714

Fax: +82-42-717-5734

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 the original work is properly cited.

화산재 예보 단계표가 만들어야해야 하며, 화산재 예측을 위한 한국형 화산 해저드 맵을 구축할 필요가 있다.

주요어: 화산재해, 화산재, 백두산, 직접피해, 간접피해

서론

2010년 4월에 분출한 아이슬란드의 에이야프얌알라요쿨 화산은 대량의 화산재로 아이슬란드뿐만 아니라 주변 유럽 전역의 항공운항에 영향을 주었다. 2011년 1월 26일부터 분화되기 시작한 키리시마산(신모에다케 화산)은 300년 만에 본격적인 화산활동을 재개하였다(NIED, 2013). 2013년 8월 18일에는 일본 규슈 서남단의 가고시마(鹿兒島)현의 대표적인 활화산인 시쿠라지마(櫻島) 화산의 쇼와(昭和) 분화구에서 폭발적인 분화가 발생하였다(Japan Meteorological Association, 2013). 이처럼, 최근에 대규모 화산들이 분화하면서 한국에서도 화산 재해 대응에 대한 관심이 높아지고 있다.

백두산은 1996년 국제지질대회(중국 북경) 이후, 잠재적 분화위험이 있는 활화산으로 규정되었다. 또한, 2002년 6월 28일 중국 연변조선족자치주의 왕청현(汪清县)에서는 규모 7.3인 지진이 발생하는 등 백두산 지역의 화산활동과 관련된 전조현상 또는 화산 활동에 영향을 줄 수 있는 지질현상이 여러 차례 발견되었다(Yun, 2010). 다양한 전조현상이 나타남에 따라 백두산 분화에 대비하여 화산재해 방재 시스템을 명확하게 정립할 필요성이 증대되고 있다.

본 연구는 위와 같은 국내·외 여건을 연구배경으로 하고 있다. 활화산은 사회적, 경제적으로 많은 영향을 미치지만, 백두산과의 거리를 감안하면 우리나라 남한지역의 경우에는 주로 화산재로 인한 피해가 가장 클 것으로 예상된다(Lee and Yun, 2011). 백두산 분화 시 우리나라의 경우, 화산재에 의한 항공기 운항 중단 등 간접적 경제피해가 예상된다. 특히, 대외수출의존도가 높은 한국의 경우, 수출의 약 25%를 차지하는 항공수출에 차질이 발생할 우려가 있으며, 화산재 분화에 따른 이상저온 현상이 아시아 지역에 발생하여 농업생산이 저하될 수 있다. 농업은 기타 산업 및 전체 경제에 영향을 주게 된다.

화산 연구의 선진국인 일본에서는 화산 재해로 인한 피해 연구가 세부적으로 잘 진행되어 있다. 반면, 화산 분화가 드문 한반도와 중국에서는 화산 재해 연구가 일본에 비하면 거의 전무한 실정이다. 하지만, 백두산의 절반은 한반도에 위치하고 있기 때문에, 백

두산 화산 폭발 시 화산재 낙하 지역(중국, 북한)과 가까운 거리에 있는 한국 및 아시아 주변지역은 화산재해에 적극적으로 대응해야 한다. 세계 각국의 화산재해 자료를 수집하고, 공학적인 계산과 시뮬레이션을 기반으로 사회경제적 피해를 예측하고, 적절한 방재 대책을 수립하는 것은 매우 중요한 일이다.

화산 분화 시 통상적으로 용암류, 화쇄류, 화산재 등으로 인한 피해사례가 보고되고 있다. 한국의 경우에는 주로 화산재로 인한 피해가 예상되기 때문에 본 연구는 화산재에 초점을 맞추고, 화산재 규모에 따른 피해를 조사하고 사회·경제적 영향을 분석하고자 한다.

주요 화산 분화에 의한 화산재 피해 사례

세계 주요 화산

세계에는 약 1,500개의 활화산이 있다. 활화산들은 일반적으로 판의 경계부에서 볼 수 있는데, 대부분이 환태평양지대에 분포하고 있다(Fig. 1). 소위 불의 고리(Ring of Fire)라고 불리는 태평양 주위, 즉 미국 서부해안, 시베리아, 일본, 필리핀, 인도네시아의 동부해안, 그리고 뉴기니로부터 뉴질랜드의 섬들을 연결하는 부분에 분포되어 있다.

세계적으로 화산 재해는 다수 발생하고 있다. 잘 알려진 대표적인 화산활동으로는 이탈리아 베수비오 화산(79년), 인도네시아의 탐보라화산(1815년), 미국의 세인트헬렌스화산(1980년), 일본의 운젠화산(1990-1995년), 필리핀 피나투보화산(1991년), 아이슬란드 에이야프얌알라요쿨화산(2010년) 등이 있다. 국내 선행 연구들은 화산폭발지수와 특징에 초점을 맞추어 이들 화산 분출 사례를 요약하였고(Park and Yoo, 2011), 대형 화산재해 발생 시 화산재해 대응의 문제점과 시사점을 제시하기도 하였다(Kim and Park, 2013). 본 연구는 선행연구들과 달리, 화산재에 초점을 맞추어 전 세계 주요 화산 폭발로 인한 화산재 피해사례를 소개하고자 한다.

일본열도에는 세계 활화산의 약 10%인 108개의 활화산이 존재한다. Fig. 2는 일본 화산해저드 맵 데이터베이스에 수록된 97개의 활화산을 보여주고 있다. 일본의 활화산은 대부분 자연경관이 아름답고 온

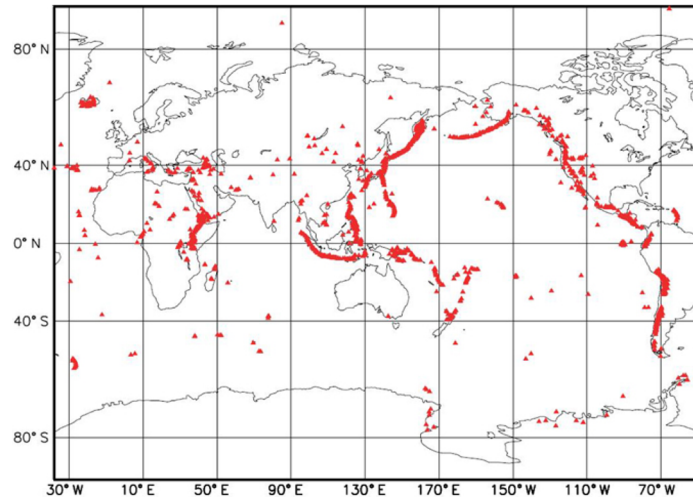


Fig. 1. The distribution of the world's major volcanoes (Volcanic disaster countermeasure, 2013).

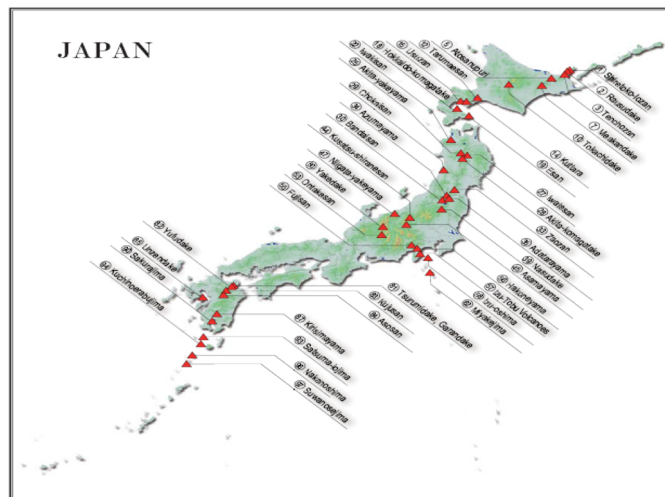


Fig. 2. Location Map of volcanoes in Japan (NIED, 2013).

천이 가까이 있어 관광과 등산의 대상이 되기도 한다. 그러나 일단 분화활동을 시작하면 화산 주위에 큰 피해를 입히게 된다.

Fig. 2의 55번(1707년 후지산 대분화), 45번(1783년 아사마산 대분화), 30번(1888년 반다이산 대분화), 90번(1914년 사쿠라지마 대분화), 10번(도카치다케 분화), 85번(운젠후겐다케 분화)은 일본의 주요 6대 화산이다. 1707년 후지산 대분화에 마을이 매몰되고 기아와 대홍수가 발생하였고, 1783년 아사마산 대분화로 화쇄류, 토석류와 대홍수가 발생하였으며, 1888년 반다이산 대분화로 산체가 붕괴되었다. 1914년 사쿠라지마 대분화는 20세기 최대 규모의 대분화로 기

록되었으며, 1926년 도카치다케 분화로 인해 토석류와 이류가 발생하였고, 1990-1995년 운젠후겐다케 분화 시 화쇄류로 인해 인명피해가 발생하였다. 유사 이래, 수많은 화산재해가 발생한 일본은 최근에도 2000년의 우스산 화산과 미야케지마 화산처럼 화산재해가 발생하여 큰 피해를 입고 있다(NIED, 2013). 2011년에는 신모에다케 화산이 약 300년 만에 본격적인 화산활동을 재개하면서 많은 사람들을 긴장시켰다.

백두산은 동북아시아 지역의 활화산으로서 10세기 대분화는 지난 2,000년 이내에 화산 활동 중 가장 격렬하였다(Yun and Lee, 2012). 백두산은 총 10여 회의 역사시대 분화기록을 가지고 있다. 939년, 946-

947년, 1014-1019년, 1199-1201년, 1401년, 1403년, 1405년, 1406년, 1597년, 1668년, 1673년, 1702년, 1903년 등의 분화기록이 정신평기, 일본기략, 고려사, 조선왕조실록, 장백산 강강지락 등에 남아있다(Yun and Cui, 1996). 한편 Liao(2012)는 백두산 분화가 1597년은 “이조실록”에, 1668년과 1702년의 분화는 “장백산역사자료(长白山史料断)”에 모두, 세 차례 기록되어 있다고 보고하였다.

아래에 화산재에 초점을 맞추어 전 세계 주요화산의 화산재 피해사례를 소개한다. 이러한 피해사례를 살펴본 후, 본 연구의 핵심인 “화산재 규모와 피해 영향 대조표”를 제시하고, 화산재의 사회·경제적 영향에 대해 분석하기로 한다.

주요 화산에서의 화산재 피해사례

세계의 화산재해 중, 분화로 인한 화산재 피해사례를 Table 1과 같이 정리할 수 있다(Cabinet Office of Japan, 2002). Table 1에서 화산은 분화 시간 순서로 정리하였고, 피해대상은 사람, 건물, 도로, 자동차, 철도, 공항, 항공기, 전력시설, 전화시설, 농지, 농작물, 인공림, 상업, 수산업, 기상, 가전제품, 생태계, 수도 시설 분야 등으로 나누었다. 또한 피해상황과 분출구로부터의 거리 및 분출물의 양도 표에 나타내었다.

화산재 규모에 따른 피해 조사

화산재의 항목 및 분야에 따른 피해조사

화산재의 영향 및 피해는 여러 연구에 보고되어 있는데(Mt. 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. Mt. Fuji Hazard Map Committee (2004)는 1707년 후지산 분화와 동일한 규모의 분화가 현지점에서 발생할 경우의 피해를 추정하고, 인명피해, 건물, 도로, 철도, 항공, 전력, 수도, 농작물, 삼림, 수산물 등 각 항목마다 비가 내리지 않는 경우와 비가 내리는 경우로 나누어 Table 2와 같이 정량적으로 피해를 정리하고 있다. 후지산 분화로 인한 피해를 특별히 연구하는 이유는, 1707년 후지산 분화와 동일한 규모의 화산 분화가 발생할 경우, 수도권 및 후지산 주변에 장기간, 광범위하게 사회·경제적 영향을 미치기 때문이다. 일본의 선행연구에서 특별히 후지산 분화 피해에 대한

정량적인 추정 연구가 많은 것도 이러한 이유라고 생각된다.

또한 Yoshio and Shigeru (2004)는 운젠후겐다케, 세인트헬렌스화산 등으로 인한 주요 화산재 피해 실태를 조사·분석하였으며, 화산재 피해가 시간적으로 어떻게 확대되는가를 설명하였다. 이들은 화산재가 교통, 라이프라인, 2·3차 산업, 농임수산업, 건강, 생활, 사회의 각 분야에 미치는 단기적 영향과 장기적 영향을 구분하였으며, 화산재 피해 확산을 억제하기 위해서는 화산재 발생 초기에 재처리시스템을 확립하고, 공공기관 및 가계에 구체적인 대응책을 사전에 제시하는 것이 중요하다고 주장하였다.

화산재 규모와 피해 영향 대조표

화산재 규모와 피해의 특징을 파악하기 위하여 앞에서 서술한 각 분야 및 항목의 피해를 화산재 단위면적당 무게 및 두께와 함께 정리하였다(Table 3). 실제로 보고된 피해 사례를 각종 참고문헌으로부터 발췌한 것으로, Fusian HM은 후지산해저드맵(Volcanic Hazard Maps of Japan)을 의미한다. 이외에도 Table 2의 추정치(Mt. Fuji Hazard Map Committee, 2004)가 존재하는 항목에 대해서는 굵은 회색 실선 아래 부분에 표시하였다. Table 3에서 화산재 두께는 건조한 조건에서의 두께로, 화산재 1mm의 두께는 1000-1700 g m⁻²에 해당한다고 가정하였다. 통상 비가 내리면, 화산재 두께는 건조한 경우의 1.7배가 된다고 가정한다. 예상치와 실제 사례를 분야별로 대조하면 다음과 같은 결론을 도출할 수 있다.

(1) 교통

비가 내리지 않을 경우, 화산재 두께가 하루 동안 5cm를 초과하면 도로의 통행이 불가능하다고 추정하지만, 비가 내릴 때에는 화산재 제거 차량이 움직일 수 없게 되므로 5mm의 화산재에도 도로와 철도의 이용이 불가능해지는 경우가 있다고 추정한다.

(2) 라이프라인

비가 내리는 경우, 1cm의 화산재에서 18%의 확률로 정전이 발생한다고 추정하고 있다. 수도는 정수장의 침전지 능력에 따라 피해 규모가 다르기 때문에 일정하게 추정할 수 없지만, 세인트헬렌스의 사례는 6mm 정도의 화산재에서 수질 저하를 보고한 바 있다.

Table 1a. Damage from volcanic ash (Cabinet Office of Japan, 2002)

Volcano	Inventory	Damage	distance from crater	Ejecta volume (m ³)
Fujisan (1707)	People	scattered, died of disease and famine	-	1.7 billion
	Building	38 houses of 75 houses damaged	12 km	
		most houses damaged	25 km	
	Agricultural Products	no production in the following year	80 km	
		took 10 years to get recovered	55 km	
		took 15-45 years to get recovered to the original state	40-75 km	
	98 years later, only 23% get recovered	15 km		
Asamayama (1783)	Building	83 houses damaged	11 km	450 million
	Climate	reached to the stratosphere and caused the climate change	-	
Sakurajima (1914)	Agricultural Products	wheat, vegetables, fruit trees, tea damaged	-	2.1 billion
Hokkaido-Komagatake (1929)	People	1 dead due to pyroclastic falls	6 km	500 million
		1 dead due to house collapse	7-12 km	
	Building	335 houses burnt and destroyed	7-12 km	
Sakurajima (1955-)	Road	suspension of traffic	12 km	200 million
	Rail Transit	signal breakdown	12 km	
	Water supply	clogging	15 km	
	Electricity	leakage current	15 km	
	Farmland	acidification	-	
	Agricultural Products	poor quality	-	
	Aircraft	windproof window damaged	-	
Tokachidake (1926)	People	air pollution	-	71 million
Niigata-yakeyama (1974)	Water Supply	land covered and recharge to wells reduced	-	600 thousand
Usuzan (1977)	People	airborne ash	10 km	83 million
	Water supply	ash 80cm thick loaded girders	3 km	
		water contaminated	3 km	
	artificial forest	trees fell down, damaged, or blighted	28 km	
	Aircraft	windproof window damaged	-	
St. Helens (1980)	Road	skiddy roads and car accidents increased		1.06 billion
	Car	filters in engine and air conditioner contaminated and broken down		
	Aircraft	Jet engine broken down, airport closure for 3-7 days, 1,030 flights cancelled		

(3) 2·3차 산업

세인트헬렌스의 사례는 화산재 두께와 회복 시간 간의 관계를 보여준다. 1.3-6 mm의 화산재로부터 회복되는데 5일-7일이 소요된다는 기록이 있다.

(4) 농림수산업

2 cm의 화산재로 밭 작물피해가 발생된다고 예측한 바 있고, 후지산의 사례에 의하면 15 cm의 화산재로 토양피해가 발생한다. 삼림 부분의 추정치(10 cm

Table 1b. Damage from volcanic ash (continued) (Cabinet Office of Japan, 2002)

Volcano	Inventory	Damage	distance from crater	Ejecta volume (m ³)
Pinatubo (1991)	Building	ash loading destroyed houses, rainfall worsened	-	1-1.6 billion
	Airport	take-off and landing of warplanes impossible, closure of Manila airport	-	
	Aircraft	Jet engine broken down	-	
	People	irritant to eyes and throat	-	
	Road	signal · circuit breaker malfunctioned, skiddy roads and car accidents	-	
	Car	filters in engine and air conditioner contaminated and broken down	-	
Unzendake (1991-1995)	Railroad	signal and alarm malfunctioned	8 km	270 million
	Electricity	power cut due to power transmission line cut	-	
	Telephone	public phone broken down due to sensors contaminated	-	
	home appliances	sensors in gas water heater, air conditioner, camera broken down	-	
	Industry	products damaged, automat broken down, sales reduction	-	
	Fishery	seawater, seabed contaminated, fishery products reduced	-	
Miyakejima (2000)	Aircraft	Engine, window replacement	-	22 million
	Fishery	fishery products reduced	-	
	Agricultural Products	no harvest	-	
	Ecosystem	loss and reduction of habitat	-	
Eyjafjallajkulls (2010)	Farmland	Southern farmland damaged	-	150 million
	Aircraft	Closure of airports in 30 european countries, 100 thousand flights cancelled for a week	-	
	People	800 evacuated	-	
Kirisimayama (2011)	People	43 injured during ash removal	-	50-70 million
	Farmland	agricultural assets destroyed, field burial	-	
	Agricultural Products	impossible to harvest vegetables	-	
	Aircraft	closure of Miyazaki airport for three hours and half, flights cancelled	-	

에서 괴멸적 피해)와 비슷한 규모이다.

(5) 건강

2 cm의 화산재에 의해 건강 피해가 생길 것이라고 추정하고 있지만, 아사마산의 사례는 0.1 mm 이상의 화산재 지역에서 호흡기 환자의 증상이 악화되고 있다고 보고하고 있다.

(6) 생활

강우의 유무에 따라 건물에 미치는 영향이 다르다. 비가 내리는 경우, 30 cm의 화산재로 인해 목조건축

물이 붕괴될 수 있기 때문에 화산재 제거와 피신이 필요하다.

화산재의 사회·경제적 영향 분석

화산재의 사회적 영향 분석

Sekiya and Osamu (2003)는 Mt. Fuji Hazard Map Committee (2004) 및 Yoshio and Shigeru (2004)와 달리, 2차적 영향을 주로 다루고 있다. Sekiya and Osamu (2003)는 후지산 분화로 인해 영향을 받을 것으로 예측되는 야마니시현, 시즈오카현, 카나가와현,

Table 2. Estimation of the damage from volcanic ash (Japan Meteorological Agency, 2013)

Inventory	if it does not rain	if it rains
Human health	health impacts if ash thickness is larger than 2cm	
Building	Frame houses only damaged. 30% damaged if ash thickness is around 45-60 cm for a day. 60% damaged if ash thickness is larger than 60 cm for a day.	30% damaged if ash thickness is around 30-45 cm for a day. 60% damaged if ash thickness is larger than 45 cm for a day.
Road	Suspension of traffic if ash thickness is larger than 5cm/day. the damage reduces from 100% (1st day) to 50% (2nd day), 25% (3rd day) and 0% (4th day).	Suspension of traffic if ash thickness is larger than 5 mm/day.
Railroad	wheels and rails malfunctioned due to defective electricity control, railroad crossing malfunctioned	
Aircraft	flights cancelled	
Electricity	no damage	18% damaged if ash thickness is larger than 1cm
Water supply	can be impossible to supply water	
Agricultural products	no harvest for a year if ash thickness is larger than 2cm in fields	
	no harvest for a year if ash thickness is larger than 0.5mm in rice-fields	
Forestry	50% damaged if ash thickness is larger than 1cm	
	100% damaged if ash thickness is larger than 10cm	
Fishery	no quantitative assessment but qualitative assessment	

동경도의 기업(12), 라이프라인(12), 교통물류(7), 농업(6)에 대하여 청취조사를 진행하였다. 강우로 인한 복합 피해는 고려하지 않았으며, 주로 교통 두절로 인한 인적·물류 피해가 크게 발생할 것이라고 가정하였다. 즉 전기, 수도, 통신, 금융에서의 피해는 크지 않다고 가정하였다. 조사된 내용을 화산재 영향 지역과 화산재 영향 지역 이외로 나누면 Table 4와 같다. 화산재 피해를 직접피해(1차적 영향)와 간접피해(2차적 영향)로 나누었으며, 각 분야에 대하여 구체적인 피해 내용을 정성적으로 보고하고 있다.

화산재로 인하여, 도로, 철도, 항공 등 교통기능이 마비되면, 위험지역으로는 운송이 어려우며, 따라서 국내의 물류시스템이 완전히 마비될 수 있다. 원재료·제조물·식료품 등 모든 물류시스템이 정지될 것이다. 이외에도 화산재 제거에 동원되는 인적 피해 및 농업 피해 형태의 직접피해가 발생할 수 있다. 화산재 영향 지역은 통신, 의료, 산업 등에서 간접피해를 입을 수 있다. 화산재 영향 지역 밖에서는 교통장애로 물류가 마비되고 원재료의 공급로가 차단될 뿐만 아니라, 상품 공급망도 차질이 발생하면서 기업 활동이 어려워질 것이다. 상황에 따라서는 노동력 확보가 어려워지고 산업의 도미노 피해가 발생한다. 이외에도 국제물류 마비로 인해 수출입에 차질이 생기고 전국적으로 생활물자가 부족해지게 될 것이다.

화산재의 경제적 영향 분석

본 절에서는 후지산, 운젠화산, 세인트헬렌스화산의 화산재가 산업에 가져다 준 피해액 및 이들이 일본 및 미국 경제에 미친 영향을 분석하기로 한다.

화산재에 의한 산업피해

야마니시현, 카나가와현, 동경도, 지바현, 이바라키현의 산업연관표를 토대로 Table 5와 같이 산업별 피해금액을 산출하였다(Cabinet Office of Japan, 2002). Table 5는 광역적인 영향이 우려되는 1707년 후지산 분화와 동일한 분화가 현시점에서 발생할 경우 입게 되는 피해 추정치로, 이하에서 후지산 분화는 후지산 분화에 따른 추정치를 말한다. 반면, Yoshio and Shigeru (2004)은 Table 6과 같이 운젠화산 분화 시 발생한 실제 피해금액을 보여주고 있다.

후지산 분화로 인한 1차 산업(농업·임업)의 피해 금액은 8,969억 3천3백만 엔이고, 2차 산업(광업, 식료품, 석유제품, 펄프/종이/목제품, 화학제품, 석유/석탄 제품, 요업/토석 제품, 철강, 비철금속, 금속제품, 일반기계, 전기기계, 수송기계, 정밀기계, 기타 제조공업제품, 건설)의 피해금액은 302억 2천만 엔이며, 3차 산업(전기/가스/열 공급, 수도/폐기물처리, 상업, 금융/보험, 부동산, 운송, 통신/방송, 공무, 교육/연구, 의료/보건/사회보장, 기타 공공서비스, 대 회사 서비

Table 3a. The impact of volcanic ash on traffic and lifeline (Japan Meteorological Agency, 2013)

Volcanic ash		Traffic			Lifeline	
Thickness	Weight	Road	Railroad	Aircraft	Electricity	Water Supply
10 cm- 1 cm	100 kg/m ²	7.5 cm Highway closed for 5 days (St. Helens, 1980) 2 cm School closed (Kirisimayama, 2011) 1.8-2 cm Car accident increased due to skiddy roads with ash and rain. Car window damaged (Sakurajima 1979) 1.3 cm Limited access to downtown for 5 days, speed limit (St. Helens, 1980) 5 cm impassability (Fujisan HM)	7.5 cm Railroad cut, speed limit for 9 days after restart (St. Helens, 1980)	6 cm Miyake Jima airport disabled (Miyakejima, 1983)	7.5 cm Power cut for 6-8 hours (St. Helens, 1980) 1.8-2 cm Power cut for 6 hours and impact to 1600 houses (Sakurajima 1979) 1.3 cm Transmission broken down, electric pole burnt, power cut for a while, (St. Helens, 1980)	1 cm Filter clogging and water supply cut (Usuzan, 1978)
	-10 kg/m ²					
1 cm -1 mm	10 kg/m ²	7-8 mm No highway passage for ash removal for a day (Sakurajima 1995) 6 mm Highway closed for 2 days, poor visibility, engine breakdown (St. Helens, 1980) 1.3 mm Limited access to downtown for 5 days (St. Helens, 1980) 1-2 mm Difficult to drive due to poor visibility, car accidents increased (Niigata-yakeyama 1974)	5-10 mm Limited drive due to signal malfunctions. A little rain worsened (Sakurajima 1987)	4 mm International airport disabled, 10 days for recovery (Pinatubo, 1991) 1-2 mm Airport closure for 7 days (Reventador 2002)	6 mm Power cut (St. Helens, 1980) 6 mm Insulator burnt and power cut due to ash with rain (Redoubt 1989) 3 mm Insulator burnt and power cut due to ash with rain (Ruapehu 1995/6) 1 mm Power cut for a while due to ash with rain (Asosan, 1990)	9 mm Water supply cut due to contamination (Ontakesan 1979) 6 mm Contamination of water supply (St. Helens, 1980)
	-1 kg/m ²		5 mm wheels and rails malfunctioned due to defective electricity control, railroad crossing malfunctioned (Fujisan HM)			
1 mm -0.1 mm	1 kg/m ²	0.5 mm Lane invisible, ash removal needed (Fujisan HM) 0.1-0.2 mm Ash removal begun (Sakurajima)	0.2-0.7 mm JR stopped (Sakurajima 2012)	0.3 mm Invisible flight strip (Kirisimayama 2011) 0.2 mm Subway may derail (Sakurajima 1980)		
	-100 g/m ²			Ash fall on airport No passage (Fujisan HM)		

Table 3b. The impact of volcanic ash on secondary and tertiary industry (Japan Meteorological Agency, 2013)

Volcanic ash		Secondary and tertiary industry
Thickness	Weight	Commerce
10 cm -1 cm	100 kg/m ² -10 kg/m ²	7.5 cm 9 days for complete recovery of Ritzville. Merchandise covered with volcanic ash. Closure due to computer broken down. Closure order for safety check. (St.Helens, 1980) 1.3 cm 8 days for complete recovery of Cheney. (St.Helens, 1980)
1 cm -1 mm	10 kg/m ² -1 kg/m ²	6 mm 7 days for complete recovery of Ellensburg. Volcanic ash entered into shops and merchandise covered with volcanic ash(St.Helens, 1980) 1.3 mm 5 days for 90% recovery of Missoula. Closure due to air pollution (St.Helens, 1980)

Table 3c. The impact of volcanic ash on agriculture, forestry, fishery and livestock farming (Japan Meteorological Agency, 2013)

Volcanic ash		Agriculture, forestry, fishery and livestock farming			
Thickness	Weight	Agriculture	Forestry	Fishery	Livestock farming
>1 m	> 1000 kg/m ²	200 cm Recovered to 23% of the original state after 98 years (Fujisan, 1707)			
1 m	1000 kg/m ²	50 cm 15 years-45 years to get recovered to the original state (Fujisan, 1707)			
-10 cm	-100 kg/m ²	30 cm 10 years to be productive (Fujisan, 1707)			
		15 cm No harvest in the following year (Fujisan, 1707)			
		10 cm Destroyed (Fujisan HM)			
10 cm	100 kg/m ²	7.5 cm Off-season products killed off. low quality products harvested (St. Helens, 1980)	1 cm Artificial forest damaged (Usuzan 1978)	5 cm 30% shrimp dead. bad taste and low-nutrient (Unzendake 1991-5)	
-1 cm	-10 kg/m ²	3 cm Open fields killed off. vinyl house covered with ash (Kirisimayama 2011)		2 cm Some corals dead (Kirisimayama 2011)	
		1-3 cm Products damaged and production reduced (Sakurajima 1914)			
		3 cm Precipitation of coarse volcanic ash on fields and soil compaction formed (Miyazaki Prefecture)			
		2 cm No harvest for a year (Fujisan HM)			
1 cm	10 kg/m ²	6 mm pasture grasses slightly damaged (falling down and contaminated) (St. Helens, 1980)			
-1 mm	-1 kg/m ²				
1 mm	1 kg/m ²	0.5 mm No harvest for a year in rice-fields (Fujisan HM)			0.5 mm poisoning (O'Hara et al., 1982)
-0.1 mm	-100 g/m ²				

Table 3d. The impact of volcanic ash on human health (Japan Meteorological Agency, 2013)

Volcanic ash		Human health	
Thickness	Weight		
10 cm	100 kg/m ²	7.5 cm Slight respiratory illness. Only 1-2% population required emergency treatment (St. Helens, 1980)	
-1 cm	-10 kg/m ²	2 cm People suffered from pains in eyes, nose, throat, and bronchus where the ash thickness was larger than 2 cm (Usuzan, 1977)	
		1.3 cm Respiratory illness increased by 50% for a weak (St. Helens, 1980)	
		2 cm Human health problems begin to be estimated at the ash thickness of 2 cm (Fujisan HM)	
1 cm	10 kg/m ²	6 mm People suffered from pains in eyes, nose, throat. Patients increased. 2-4 persons every 1000 persons had health issues (St. Helens, 1980)	
-1 mm	-1 kg/m ²	1.3 mm Chronic pulmonary diseases worsened (St. Helens, 1980)	
1 mm	1 kg/m ²	0.1 mm 43% of patients with bronchial asthma worsen. Mild or moderate bronchial asthma significantly affected	
-0.1 mm	-100 g/m ²	(Asamayama, 2004)	

Table 3e. The impact of volcanic ash on buildings (Japan Meteorological Agency, 2013)

volcanic ash		life
thickness	Weight	Buliding
>1 m	>1000 kg/m ²	300 cm 38 of 75 houses damaged in Subarasi town. The other 37 houses collapsed due to the heat inside volcanic gravels (Fujisan, 1707)
		120 cm 52 households collapsed n Garuyisiwa quarter, 83 houses damaged (Asamayama, 1783)
		100 cm Most houses damaged (Fujisan, 1707, Tavurvur 1994)
1 m	1000 kg/m ²	80 cm Cracking in girders of water purifying plant (Usuzan, 1977)
		60 cm All the 335 houses burnt and destroyed in Sikabe town (Hokkaido-Komagatake, 1929)
		18 cm Roof of a 8 year old building collapsed due to heavy rain with volcanic ash. (Miyakejima, 1977)
-10 cm	-100 kg/m ²	10 cm Building for compost storage collapsed due to ash load in ranch (Kirisimayama, 2011)
		30 cm Can be collapsed (Fujisan HM)

Table 4. Qualitative damage prediction from the Mt. Fuji eruption (Sekiya and Osamu, 2003)

Within the area where volcanic ash is present	
Traffic · Domestic Logistics	Congestion due to broken cars
	No highway passage
	Railroad operation stopped
	Bus operation stopped
	Flights cancelled
International Logistics	Flights cancelled
People (near Mt. Fuji)	Ash removal
Agriculture	Crops damaged
	Soil deterioration
Co mmunication	Co mmunication increased
Medical services	Limited transportation of medicine and patients
Industry	No raw materials, limited labours
Outside the area where volcanic ash is present	
Traffic congestion, logistics stopped working	
Difficult to run a business	
Resource shortage	
Export/import limited	
Domino effects	

스, 대 개인 서비스)의 피해금액은 1830억 9천3백만 엔이다(Table 5). 이들 산업의 총 피해금액을 합계하면 1조 1,102억 4천 6백만 엔이다.

후지산의 직접피해 금액은 7,015억 5천4백만 엔이고, 간접피해 금액은 4,163억 5천3백만 엔으로, 총 피해금액은 1조 1,179억 7백만 엔이다. 총 피해금액이 총 산업피해금액보다 76억 6천1백만 엔 많은데, 이는 건물의 직접피해금액에 해당한다(Table 5). 일반적으로 산업연관분석에서 건물피해는 산업피해에 포함되지 않는다.

운젠화산의 직접피해 금액은 747억 5천2백만 엔,

간접피해 금액은 1,551억 8천9백만 엔(Table 6), 합계하면 총 피해금액은 2,299억 4천1백만 엔인데, 그 중 농림수산업의 직접 피해금액은 180억 2천6백만 엔, 공공토목시설의 직접 피해금액은 330억 7천3백만 엔, 농축산물의 직접 피해금액은 208억 8천1백만 엔이다. 시마바라시를 중심으로 한 운젠화산의 경제적 총 피해금액은 2,299억 4천1백만 엔으로(Table 6), 후지산 화산과 비교할 때(Table 5), 훨씬 적은 피해금액이다. 이는 후지산 분화의 광역적인 피해가 경제에 큰 영향을 미칠 수 있다는 것을 시사한다. 따라서 일본학계에서는 후지산 분화로 인한 피해를 심도 깊게 연

Table 5. The results of industry association analysis for Mt. Fuji (Unit: Million Yen) (Cabinet Office of Japan, 2002)

	Direct damage	Indirect damage	Total
Building	7,661	-	7,661
primary industry	693,893	203,039	896,933
secondary industry	-	30,220	30,220
tertiary industry	-	183,093	183,093
Total	701,554	416,353	1,117,907

Table 6. Damage amount from Unzen volcano (Yoshio and Shigeru, 2004)

	Direct damage (Yen)	Indirect damage (Yen)	Total (Yen)
agro-fishery/forestry	18,026,150,000	-	18,026,150,000
Public works	33,073,687,000	-	33,073,687,000
agricultural raw materials and live animals	20,881,498,000	-	20,881,498,000
commerce and industry	16,810,000	153,726,960,000	153,743,770,000
Others	2,754,238,000	1,462,641,000	4,216,879,000
Total	74,752,373,000	155,189,601,000	229,941,974,000

Table 7. Direct and indirect damage caused by the volcanic ash (Cabinet Office of Japan, 2002)

	Fuji (Yen)	Unzen (Yen)	St.Helens (Dollar)
Direct damage	701,554,000,000	74,752,373,000	860,000,000
Indirect damage	416,353,000,000	155,189,601,000	-
Total	1,117,907,000,000	229,941,974,000	5,000,000,000

Table 8. Damage estimation for Mt. Fuji in three rainfall scenarios (Cabinet Office of Japan, 2002)

	No rainfall (Yen)	Average annual rainfall (Yen)	Rainy season (Yen)
Direct damage	701,554,000,000	713,469,000,000	713,469,000,000
Indirect damage	416,353,000,000	1,054,884,000,000	1,359,617,000,000
Total	1,117,907,000,000	1,768,354,000,000	2,073,085,000,000

구한 바 있으며, 아직도 진행 중이다.

주요 화산재 재해로 인한 직접피해와 간접피해

후지산, 운젠화산, 세인트헬렌스 화산의 순서로 직접피해와 간접피해를 살펴보았다(Cabinet Office of Japan, 2002; Yoshio and Shigeru, 2004). 먼저, 후지산, 운젠화산, 세인트헬렌스화산의 직접피해 및 간접피해 금액은 Table 7과 같다. 후지산은 1707년 12월 16일 분화되기 시작하여, 31일까지 모두 16일간 지속되었다. 만약, 후지산 분화와 동일한 분화가 현재 발생하게 될 경우, 강우가 없는 경우라면, 일본은 7,015억 5천4백만 엔의 직접피해와 4,163억 5천3백만 엔의 간접피해를 입게 된다. 이를 합계하면 1조 1,179억 7백만 엔의 피해금액이 예상된다(Table 7).

Table 8은 1707년 후지산 분화와 동일한 분화가 현재 발생하게 될 경우를 세 가지 기상 조건으로 나누어서 구체적인 피해금액을 산정한 결과이다(Cabinet Office of Japan, 2002). 만약 화산재 낙하기간에 연평균 강우량만큼의 비가 온다면, 일본은 7,134억 6천9백만 엔의 직접피해와 1조 548억 8천4백만 엔의 간접피해를 입게 된다. 이를 합계하면 1조 7,683억 5천4백만 엔의 총 피해금액이 된다. 한편, 만약 장마기에 화산재가 발생한다면, 일본은 7,134억 6천9백만 엔의 직접피해와 1조 3,596억 1천7백만 엔의 간접피해를 입게 된다. 이를 합계하면 총 2조 730억 8천5백만 엔의 피해금액이 발생한다.

후지산이 분화하면, 화산재 피해 이외에도 홍수, 토석류 등의 피해가 발생할 수 있다. Cabinet Office

of Japan (2002)는 홍수, 토석류 등의 피해금액을 688억 3천만 엔-4,542억 6천6백만 엔으로 추정하고 있다. 장마기의 총 피해금액인 2조 730억 8천5백만 엔에 홍수 피해금액인 688억 3천만 엔-4,542억 6천6백만 엔을 합하면 2조 1,419억 1천5백만 엔-2조 5,273억 5천1백만 엔의 피해금액이 예상된다. 최악의 경우 후지산 분화로 인해 2조 5천억 엔이라는 엄청난 피해가 발생할 수 있다는 것을 의미한다. Hiroi et al. (2003)도 2조 5천억 엔이라는 피해금액을 언급한 바 있는데, 이 수치는 일본의 각종 보고서와 연구논문 등에 자주 언급되고 있다. 후지산이 수도권에 있기 때문에 광역적인 영향의 파급효과가 매우 크다는 것을 시사한다. 그리고 강우가 있을 경우의 간접피해가 강우가 없는 경우의 간접피해를 훨씬 초과한다(Table 8). 또한 화산 폭발이 장기적인 경우(예를 들면, 운젠 화산)에도 간접피해가 매우 크게 발생한다(Table 7). 운젠화산은 1990년 11월 17일 후젠다케에서 분화하기 시작하여, 1995년까지 지속되다가 그 해 6월 3일에 종식되었다. Table 7은 운젠화산의 경우, 직접 피해에서 파급된 간접피해(1,551억 8천9백만 엔)가 직접 피해(747억 5천2백만 엔)를 초과한다는 것을 보여 준다. 운젠화산의 피해는 시마바라 시를 중심으로 인접한 후카에구, 오바마구 등 주변지역에서 발생한 도시형 재해로(Miyayiri, 1994), 간접 피해 중에서도 특히 상공업피해가 심각하였다.

1991년 6월부터 이듬해 5월까지 1년간의 피해액은 시마바라 반도 1시 16구에서 합계 953억 엔으로, 1990년 일본 상공업 총생산액의 약 40%에 달한다. 상공업 피해는 시마바라 반도 상공업 생산의 51%(그 중 시마바라 시 36%)를 점유하는 1시(시마바라시) 2구(후카에구, 오바마구)에서 주로 발생하였는데, 특히 상업과 서비스업의 중추거점인 시마바라 시 권역에서 발생되어, 상공업 간접피해가 대규모로 발생하고, 피해가 특정 지역에 집중되는 도시형 재해를 초래하였다.

실제 1990년 11월 17일 운젠화산이 분화되기 시작하여 종식된 이듬해 1996년 3월 31일까지 상공업 피해는 1,537억 4천3백만 엔이었는데, 그 중 직접피해는 1,681만 엔이었고 간접피해는 1,537억 2천6백만 엔이었다(Table 6). 전체 간접피해금액 1551억 8천9백만 엔 중, 상공업 간접피해 금액이 1,537억 2천6백만 엔으로 전체의 피해액의 99%를 차지하였다.

세인트헬렌스 화산 피해는 인구밀도가 낮은 지역에 집중되었기 때문에 인적피해는 적었다. 하지만, 화산

재 및 이류가 경제에 미친 영향은 적지 않다. 직접피해는 집계 초기 25억 달러로 계산되었지만 그 후 8억 6천만 달러로 수정되었다. 그 중, 삼림피해가 4억 5천만 달러를 차지하고 있으며, 피해 수목의 제거 등에 2억 7천만 달러, 교량 및 도로 등 공공시설피해 8천 5백만 달러, 농업피해 3천 9백만 달러로 보고되고 있다(Sorensen, 1980). 간접피해를 계산한 자료는 없지만, 총 피해액은 50억 달러 이상이라고 보고되고 있다(Japan Society of Civil Engineers, 2012).

세인트헬렌스 화산 분화는 농업지역에 화산재 피해를 입혔다고 한다. 그러나 그 피해 규모는 작았는데, 이유 중 하나가 분화시기에 있다. 세인트헬렌스 화산은 주요 작물들이 한창 성장하고 있는 시기인 5월 중순에 분화하였는데, 이로 인해 화산재로 인한 농업 피해가 적었다. 예를 들면, 이 지역의 주요 작물인 겨울밀이 한창 자라고 있는 시기여서 화산재 피해에 대체로 잘 견뎠다고 한다. 하지만, 목초는 무성하게 잘 자라 있었기 때문에 영향을 많이 받았다고 한다. 만약, 세인트헬렌스화산이 5월 18일이 아닌 6월 18일에 분화하였더라면, 화산재는 겨울밀의 작황에 매우 큰 피해를 주었을 것이고, 지역의 농업경제는 큰 타격을 입었을 것이다(Warrick, 1981).

그 외에도 2010년 아이슬란드 화산의 경우, 약 17억 달러의 경제적 피해를 유발했고, 2011년 키리시마 화산의 경우, 약 1억 5천만 엔의 경제적 피해를 유발했다.

백두산이 분화하면 남한지역은 특히 화산재로 인한 피해를 입게 될 것으로 보인다. 만약 화산재가 편서풍 및 제트기류를 타고 북한 함경북도, 블라디보스토크, 일본 홋카이도 방향으로 이동한다면 한국은 화산재에 의한 경제적 피해가 발생할 가능성이 크지 않을 수 있다. 이 경우에도 화산재가 범세계적인 범위에서 영향을 미치고 있기 때문에 그 영향을 간과할 수는 없다. 그렇지만 남한 쪽으로 화산재가 이동한다면, 농림수산업 분야에서 직접피해가 나타나고 2·3차 산업에서는 직접피해와 간접피해가 예상되며, 항공기 운항 중단에 따른 교통·물류의 피해, 호흡기 질환과 같은 보건·환경 분야의 피해 등 여러 유형의 피해가 예상된다.

결론

백두산 화산이 분화할 경우, 한국은 주로 화산재로

인한 피해가 예상된다. 이에 본 연구는 세계 주요 화산 재해 사례를 기반으로 화산재 규모의 정도에 따른 피해를 조사하고 사회·경제적 영향을 연구하였다.

첫째, 주요 화산 분화의 화산재 피해사례 및 화산재 규모에 따른 피해를 “화산재 규모와 피해 영향 대조표”를 통하여 살펴보았다. 분석결과, 화산재가 전 세계적으로 교통, 라이프라인, 2·3차 산업, 농림수산업, 건강, 생활 등 여러 분야에 걸쳐 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

둘째, 화산재해의 사회·경제적 영향에 분석하였다. 백두산 분화 시 한국의 경우에는 화산재에 의한 항공운항 중단(교통 분야) 등 피해가 예상된다. 화산재가 편서풍 및 제트기류를 타고 북한 함경북도, 블라디보스토크, 일본 홋카이도 방향으로 이동한다면 한국은 화산재에 의한 경제적 피해가 발생할 가능성이 크지 않을 수 있다. 그렇지만 이 경우에도 화산재가 범세계적인 범위에서 영향을 미치고 있기 때문에 그 영향을 간과할 수는 없다. 만약 백두산이 겨울철에 분화 할 경우에는 다음과 같이 큰 피해가 예상된다.

(1) 화산재가 한국에 영향을 미칠 수 있으며 이 경우 수출의 약 25%를 차지하는 항공수출에 차질이 생긴다. 항공수출은 한국 사회·경제 전반에 영향을 미칠 수 있다. 이 때문에 화산재로 인하여 항공운항이 중단 되는 사태에 대해 적절히 대비할 필요가 있다.

(2) 화산재 분화에 따른 이상저온 현상이 아시아 지역에 발생하면 농업생산이 저하된다. 농업은 기타 산업 및 전체 경제에 파급적인 영향을 주게 된다. 뿐만 아니라 한국의 농업지역에 화산재가 이동해 오게 되면 농업부분은 큰 경제적 피해를 입게 된다.

(3) 후지산 분화(추정)의 경우처럼 인구 밀도가 높은 수도권 지역에 화산재가 이동해 오면 그 피해금액은 기하급수적으로 늘어나게 되어 한국 경제에 큰 영향을 미치게 된다. 설상가상으로 비까지 오면 간접 피해는 기하급수적으로 늘어나게 될 것이다.

(4) 운젠 화산의 경우처럼 비록 화산재가 지방도시 쪽으로 이동해 간 경우에도, 그 지방도시가 산업집중 도시이고 장기간에 걸쳐 화산재 피해가 지속된다면 그 피해도 매우 클 수 있다.

이상의 네 가지 이유로, 백두산 분화 시의 피해를 과소평가 하는 것은 금물이다. 따라서 사전에 준비하고 연구하고 대책을 세워야 한다. 향후 이러한 화산재해에 대비하여 한국의 실정에 맞는 화산재 피해 경보체계 뿐만 아니라, 특히 화산재 예보 단계표

(0.1 mm 미만, 0.1-1 mm, 1 mm 이상)가 만들어져야 한다고 생각한다.

미국 세인트헬렌스화산은 실제 화산에 의하여 발생한 현상이 해저드평가로 예측된 현상과 거의 일치하여 해저드 맵의 유효성을 검증해준 좋은 사례이다. 따라서 백두산 분화의 피해를 정확하게 예측하기 위한 한국형 화산 해저드 맵 구축이 필요하다.

감사의 글

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

References

- Cabinet Office of Japan, 2002, Damage estimation of a historic eruption of Mt. Fuji. Cabinet Office of Japan, 124p. (in Japanese)
- Hiroi, O., Saitou, M., and Yoshida, S., 2003, Estimation concepts and procedures about volcanic hazards, case study on Mt. Fuji. Volcanological Society of Japan, 170 p.
- Japan Meteorological Agency, 2013, A proposal to advance volcanic ash forecast. Committee to review the advanced volcanic ash forecast, 2013-3, 16 p. (in Japanese)
- Japan Meteorological Association, 2013, Volcanic damages in Sakurajima as of August, 18, 2013. <http://bousai.tenki.jp/bousai/volcano/information-10335.html>. (August 20th 2013) (in Japanese)
- Japan Society of Civil Engineers, 2012, Study on the impacts of volcanic ash and debris flow derived by volcanic eruptions on social capital and countermeasures to mitigate the impacts. 2012-3, 143p. (in Japanese)
- 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, 151-156. (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, 360-372. (in Korean)
- Liao, Z., 2012, Volcanoes, hot springs and geothermal capacity in china. China International Broadcasting Publishing House, Beijing, China, 183 p. (in Chinese)
- Miyayiri, K., 1994, The impact of volcano for the regional economic communities and local governments. Public

- Lectures from Nagasaki University. 6, 219-232. (in Japanese)
- Mt. Fuji Hazard Map Committee, 2004, Review on Mt. Fuji Hazard Map. 138 p. (in Japanese)
- NIED, 2013, Volcanic Hazard Maps of Japan Second Edition. Technical Note of the National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Tsukuba, Japan, 380, 186 p.
- O^oEHara et al., 1982, Superphosphate poisoning in sheep the role of fluoride. New Zealand Veterinary Journal, 30, 191-201.
- Park, C. and Yoo, C., 2011, The impact of Baekdu mountain's volcanic eruption. Journal of Kosham, 11, 73-82. (in Korean)
- 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, 20, 151 p.
- Sorensen, J.H., 1980, Emergency response to Mount St. Helens' eruption: March 20 to April 10, 1980. Natural Hazard Research, University of Colorado, Working Paper 43 p.
- Volcanic Disaster Countermeasure, 2013, Volcanic disaster countermeasure, <http://www.bousai.go.jp/kazan/taisaku/k101.htm>. (August 3th 2013) (in Japanese)
- Warrick, R.A., 1981, Four communities under ash: after Mount St. Helens. Monograph, University of Colorado, Institute of Behavioral Science, Program on Technology, Environment and Man, 34, 146 p.
- 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. 2001-01, 546 p.
- Yun, S.-H., 2010, The potential impact and countermeasures for Baekdu mountain's volcanic eruption. Korea Employers Federation, 376, 32-33. (in Korean)
- Yun, S.-H. and Cui, Z.X., 1996, Historical eruption records on the Cheonji caldera volcano in the Mt. Baekdu. Korean Earth Science Society, 17, 376-382. (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, 1-12. (in Korean)

2013년 9월 23일 접수
 2013년 10월 7일 수정원고 접수
 2013년 10월 8일 채택