1960년 이후의 전 세계 화산재해 피해 분석

Statistical Analysis of Worldwide Volcanic Disasters After 1960

구창민* · 이원호** · 이승수*** · 이동현****

Gu, Changmin*, Yi, Waonho**, Lee, Sungsu***, and Lee, Donghyun****

Abstract

The direct and indirect economic damage of the volcanic ash has been brought to Korea by the volcanic eruption in March and April of 2010 from Mt. Eyjafjallajökull in Iceland. Along with this situation, the concern about the potential damage caused by the volcanic eruption of Mt. Baekdu, which had a large-scale explosion record of VEI 7 in the mid-10th century, has increased. However, it is difficult to accurately predict the time and size until the volcano actually erupts and it is a very uncertain risk due to the characteristics of the ash that causes social and economic damages of large scale once it explodes. In addition, it is difficult to collect information and data because there are not enough organizations to provide professional information on damages caused by volcanic ash. The purpose of this study is to collect data on human injury, facility damage, and industrial damage caused by volcanic eruptions occurring worldwide, and to utilize it as a basis for analysis of volcanic disasters.

Key words : Volcanic Disaster, Volcanic Disaster DB, Casualty, Damage to Facilities, Damage to Industries

요 지

지난 2010년 3월 20일과 4월 14일 아이슬란드의 에이아프얄라요쿨 화산 분화로 인해 화산재의 직·간접적인 경제적 피해가 국내까지 미치게 되었다. 이러한 상황 속에서 국내에서도 10세기 중반 화산폭발지수 VEI 7의 대규모 분화 기록을 보유하고 있는 백두산의 화산분화에 따른 피해 걱정을 하는 목소리가 높아졌다. 하지만 화산이 분화하기 전까지 그 시기나 규모를 정확하게 예측하기 어렵고 한 번 분화하면 수많은 인명피해, 경제적 피해를 야기하는 화산재해 특성상 매우 불확실한 리스크를 안고 있는 상황이다. 또한 국제적으로 화산재해 피해관련 전문 정보를 직접 제공하는 기관이 부족해 정보수집이 어려운 실정이다. 이에 본 연구에서는 전 세계적으로 발생하는 화산분화에 따른 인명피해, 시설피해, 산업피해 관련 자료를 수집하고 현황을 파악하여 화산재해 경향 분석의 기초자료로 활용하고자 한다.

핵심용어 : 화산재해, 화산재해 DB, 인명피해, 시설피해, 산업피해

1. 서 론

지난 2002년부터 2008년까지 화산성 지진이 한 달 기준 약 72회 가량 발생하였고, 2002년부터 2009년까지의 GPS관 측에 의한 지표면의 수평변위에 의하면 천지 칼데라 정상부

를 중심으로 화산체가 팽창하는 것이 감지되었다(Xu et al., 2012). 또한 지난 2010년 3월 20일과 4월 14일 두 차례에 걸쳐 VEI(Volcanic Explosivity Index) 규모 4의 폭발 기록을 보유한 아이슬란드 에이아프얄라요쿨 화산이 분화하였다. 그로 인해 유럽의 항공기 운항이 전면 중단되었고 화산재

*정회원, 국립재난안전연구원 연구원(E-mail: kucm7166@korea.kr)

Member, Researcher, National Disaster Management Institute

**교신저자, 정회원, 광운대학교 건축공학과 교수(Tel: +82-2-940-5195, Fax: +82-2-917-3578, E-mail: whyi@kw.ac.kr)

Corresponding Author, Member, Professor, Department of Architectural Engineering, Kwangwoon University

***정회원, 충북대학교 토목공학부 교수

Member, Professor, School of Civil Engineering, Chungbuk National University

****정회원, (주)큐버솔루션 대표

Member, CEO, Co. Cuber Solution

구름이 장기간 확산됨에 따라 유럽 대부분의 항공기 운항이 취소되고 유럽전체 항공기의 금전적 손실이 하루 2억 달러에 이르는 등 전 세계적으로 파급효과가 나타났다(Budd et al., 2011).

이로 인해 화산분화에 대한 우려와 관심이 증가하는 계기가 되어, 2012년 3월부터 2015년 4월까지 ‘화산재해 피해예측 기술개발’, ‘화산재 피해예방 및 관리기술’, ‘화산재해 대응시스템 개발’, ‘화산재해 대응 국제협력 네트워크 기반 구축’이라는 4가지 과제명으로 백두산 화산대응기술개발사업단이 운영되면서 백두산 화산분화에 대비한 화산재해 대응시스템이 구축되었고, 백두산 화산분화에 따른 피해예측·예방을 위한 관리 기반이 마련되었다. 이어 백두산을 포함한 주변국 화산재해에 따른 한반도의 위험성을 종합적으로 평가할 수 있는 대응시스템의 필요성이 제기되어, 국민안전처는 2015년 5월부터 2018년 4월까지 ‘한반도 주변 화산분화 위험을 고려한 화산재해 대응체계 고도화(Lee S.S. et al., 2017)’라는 과제명으로 화산재해 대응시스템을 고도화하고 있다.

이 사업에서 화산재해에 따른 한반도의 위험을 종합 평가할 수 있는 화산재해 관련 DB 구축 작업이 이루어지고 있으며, 조사결과를 화산재해 온라인 네트워크 시스템(VDPEDIA)에 탑재하고 있다. 그러나 국제적으로 화산 관련 주제에 관하여 화산자체에 대한 인벤토리나 사진 정보를 포함한 사이트들이 대부분이고, 화산재해로 인한 피해나 이로 인한 방재 관점에서의 전문 정보를 다루는 사이트나 기관은 미흡한 실정이다.

이에 본 논문에서는 화산재해 관련 기존연구 ‘Caldela and Wirasinghe (2014)’, ‘Kinvig et al. (2010)’, ‘Alam and Kimura (2004)’의 분석 및 통계기법을 참고하였다. 또한 화산재해 유형, 주요 화산재해 발생 화산체, 인명, 시설, 산업피해 관련 발생유형 및 주요 화산체 등 정량화 된 피해 내용들의 자료를 수집하였고, 각 항목별 빈도분석과 상관관계가 있는 항목들에 대한 현황분석을 하였다.

2. 화산재해 관련 DB 구축

2.1 표준 화산재해 정보체계

표준 화산재해 정보체계 분류 항목으로 정한 객관적이며, 수치로 표현될 수 있는 키워드들을 「재해연보」, 「한국표준산업분류」 등의 기준과 비교·검토하여, 표준 화산재해 정보체계 분류 항목으로 확정하였다. 표준 화산재해 정보체계(안)는 대분류 항목으로 화산재해 유형, 인명피해, 시설피해, 산업피해 등 5개, 중분류 항목으로 화산재, 사망, 교통, 농업, 손상 등 40개, 소분류 항목으로 도로, 수도, 전기, 학교, 농작물, 가축, 수산물, 제조업시설, 건설업시설 등 36개로 구성한다(Table 1).

Table 1. Systemic Classification of Volcanic Disaster Information

Main classification	Middle Classification		Detail Classification	
Types of volcanic accidents	Volcanic ash	Pyroclastic Density Current	-	
	Lahar	Lava Flow	-	
	Flood	Volcanic Earthquake	-	
	Magma	Volcanic Gas	-	
	Vapor	Tephra	-	
	Snow avalanche	Landslide	-	
	Tsunami	-	-	
Damage type	Damage	Pollution	-	
	Death	Facility failure	-	
	Facility closure	Flight Cancel	-	
	Route closure	Evacuation	-	
	Etc	-	-	
Human damage	Death	Lost	-	
	Injury	Disease	-	
	Victims	-	-	
Structural damage	Transportation		Road	Railway
			Harbor	Flight
			Terminal	-
	Lifeline		Waterworks	Electric
			Gas	Heat
			Broadcast	Oil
	Public Service		School	Public office
			Culture	Athletic
	Health		Medical treatment	
	Environment		Sewer	Waste
			Water pollution	-
	Housing		Housing	
Industrial damage	Agricultural damage		Crops	Farmland
			Agricultural facility	-
	Livestock damage		Livestock	Livestock Facility
	Forestry damage		Forest	Forestry facility
	Fishery damage		Aquatic products	Fisheries facility
	Mining damage		Mining facility	
	Manufacturing damage		Manufacturing Facility	
Construction damage		Construction industry facility		

2.2 화산재해 DB 구축방법

전 세계적으로 발생하는 화산재해에 대한 현황을 파악하기 위해 다음과 같은 연구방법을 이용한다.

첫째, 전 세계적으로 발생하는 화산재해 사례들의 Resource 자료를 스미소니언 연구소 GVP 에서 제공하는 ‘Eruption Data’와 Volcanoes of the World (Siebert et al., 2011)에서 제공하고 있는 전 세계 화산리스트를 기반으로, 인터넷 서치, 구글 학술 알리미 서비스 등을 통해 자료조사를 실시한다.

둘째, 기사자료 조사의 범위는 전 세계의 화산재해 사례를 다루고, 화산분출로 인한 피해를 담고 있는 내용의 기사자료들을 수집하며, 수집한 기사 자료들은 자료 수집 범위를 1960. 1. 1 ~ 2017. 12. 31까지 전 세계의 VEI 3 이상의 화산재해로 제한하고 화산재해에 대한 예방, 대비, 대응, 복구 내용을 다룬 기사자료를 수집한다.

셋째, 조사 내용은 전 세계 화산체를 대상으로 지역별, 연대별로 구분하고 표준 화산재해 정보체계(안)에 따라 화산재해 피해관련 DB를 구축한다.

넷째, 구축한 DB에 대하여 지역별, 화산별, 분류항목별 빈도분석과 상관관계가 있는 항목들에 대한 현황분석을 실시한다.

2.3 화산재해 DB 구축현황

구축된 화산재해 피해관련 DB는 전체 화산체 233개, 자료수집 건수 1,513건, 전체 화산재해 빈도 2,100건, 유형별 화산재해 빈도 1,842건, 인명피해 발생 화산체 211개, 인명피해 표출건수 1,645건, 시설피해 발생 화산체 211개, 시설피해 표출건수 1,559건, 산업피해 발생 화산체 206개, 산업피해 표출건수 1,403건 등으로 구성되었다. 기사자료를 통해 구축된 DB의 특성으로 인하여 화산분화 기간 중 동일시기에 작성된 기사자료가 다수임으로 통계 결과가 중복되지 않도록 하였으며, 각 항목별 표출건수는 Table 2와 같다.

Table 2. Number of Data Collection

Category	Number of data
Volcano	233
Number of data collection	1,513
Total number of volcanic disasters	2,100
Number of volcanic disasters per type	1,842
Number of volcanic disasters with human loss	211
Number of collected data for human loss	1,645
Number of volcanic disasters with structural damage	211
Number of collected data for facility damage	1,559
Number of volcanic disaster with Industrial damage	206
Number of collected data for industrial damage	1,403

또한 East Asia, South America, South East Asia 등 총 14개 지역으로 구분하여 분화 화산개수 및 자료수집 건수를 Fig. 1과 같이 나타내었다.

Fig. 1. Regional Distribution of Volcanoes and Data Collected

3. 화산재해에 관한 일반적 특성

3.1 화산재해 유형

전체 2,100건의 화산재해 DB 중 유형별 분석이 가능한 화산재해 유형 1,842건의 화산재해에 대하여 조사하였다. 화산재(Volcanic Ash), 용암류(Lava Flow), 화쇄류(PDC), 화산성 지진(Earthquake), 화산가스(Volcanic Gas), 화산이류(Lahar), 테프라(Tephra), 눈사태(Snow avalanche), 산사태(Landslide), 수증기(Vapor), 화산성 홍수(Flood), 마그마(Magma), 쓰나미(Tsunami) 총 13가지 유형으로 분류하였고, 가장 발생 빈도가 높은 것은 ‘화산재’(60.9%), ‘용암류’(12.8%), ‘화쇄류’(8.2%)인 것으로 조사되었다(Table 3 and Fig. 2).

Table 3. Annual Frequency of Volcanic Disasters

Volcanic disaster type	Pre-1900	1900-1999	Since 2000	Sum
Volcanic Ash	9(37.5)	182(43.9)	931(66.4)	1122(60.9)
Lava Flow	7(29.1)	73(17.6)	156(11.1)	236(12.8)
PDC	0(0.0)	54(13.0)	98(7.0)	152(8.2)
Volcanic Earthquake	1(4.2)	22(5.3)	96(6.9)	119(6.5)
Volcanic Gas	1(4.2)	15(3.7)	54(3.8)	70(3.8)
Lahar	1(4.2)	23(5.5)	25(1.8)	49(2.7)
Tephra	2(8.3)	21(5.1)	13(0.9)	36(2.0)
Snow avalanche	1(4.2)	3(0.7)	10(0.7)	14(0.8)
Landslide	0(0.0)	4(1.0)	8(0.6)	12(0.7)
Vapor	0(0.0)	7(1.7)	3(0.2)	10(0.5)
Flood	1(4.2)	4(0.9)	3(0.2)	8(0.4)
Magma	0(0.0)	4(0.9)	4(0.3)	8(0.4)
Tsunami	1(4.2)	3(0.7)	2(0.1)	6(0.3)
Sum	23	412(100)	1,401	1,836(100)

Fig. 2. Annual Frequency of Volcanic Disasters

3.2 지역별 화산재해 발생빈도

전 세계 2,100건의 화산재해에 대하여 분류한 14개 지역에 따른 화산재해 표출건수 빈도분석 결과는 Table 4와 같다. 이를 해양에서 분화한 화산체를 제외한 2,003건에 대하여 6대주로 구분하여 나타내면 Asia (1,086건, 54.2%), South America (554건, 27.7%), North America (172건, 8.6%), Europe (108건, 5.4%), Oceania (74건, 3.7%), Africa (9건, 0.4%) 순이다. 화산재해 관련 자료의 표출건수가 많은 지역은 Asia, South America 순이며, 2개 지역의 노출 빈도는 전체 화산체 중 81.9%를 차지한다.

Table 4. Regional Frequency of Volcanic Disasters

Region	Frequency (N)	Percentage (%)
South East Asia	651	31.0
South America	554	26.4
East Asia	418	19.9
North America	172	8.2
Europe	108	5.2
Oceania	74	3.5
North Atlantic Ocean	38	1.8
Atlantic Ocean	24	1.1
Pacific Ocean	22	1.0
Middle Asia	17	0.8
North Mariana	12	0.6
East Africa	5	0.2
Central Africa	4	0.2
Antactica	1	0.1
Sum	2,100	100

3.3 주요 화산별 화산재해 발생빈도

전체 2,100건의 화산재해 표출건수 중 최다 표출 화산으로는 Sinabung (시나붕, 142건), Mayon (마운, 71건), Kelut (켈루트, 55건), Aira (아이라, 55건), Soputan (소푸탄, 47건) 인 것으로 조사되었다. 화산재해 중 20건 이상의 표출 대상 화산체에 대해 조사한 결과는 Table 5와 같다.

Table 5. Incident Frequency of Volcanic Disaster from Regionally Representative Volcano

Region	Nation	Volcano	Frequency	Percentage
South East Asia	Indonesia	Sinabung	142	6.8
South East Asia	Philippines	Mayon	71	3.4
South East Asia	Indonesia	Kelut	55	2.6
East Asia	Japan	Aira	55	2.6
South East Asia	Indonesia	Soputan	47	2.2
South East Asia	Indonesia	Merapi	42	2.0
East Asia	Japan	Ontake	41	2.0
North America	United States	Pavlof	39	1.9
South America	Chile	Villarrica	37	1.8
East Asia	Russia	Klyuchevskoy	37	1.8
South East Asia	Indonesia	Karanteng	35	1.7
East Asia	Russia	Bezymianny	34	1.6
Europe	Italy	Etna	32	1.5
South America	Peru	Ubinas	30	1.4
South America	Costa Rica	Turrialba	27	1.3
South America	El Salvador	San Miguel	26	1.2
Atlantic Ocean	Cape Verde	Fogo	24	1.1
South America	Guatemala	Pacaya	22	1.0
North America	United States	Veniaminof	22	1.0
East Asia	Russia	Sheveluch	22	1.0
South America	Colombia	Galeras	21	1.0
South America	Ecuador	Tungurahua	21	1.0
South America	Mexico	Popocatepetl	20	1.0
East Asia	Japan	Aso	20	1.0
North Atlantic Ocean	Iceland	Bardarbunga	20	1.0

최다 표출건수를 기록한 상위 25개 화산체 중 지역별 화산체 및 표출건수는 South East Asia (6개, 392건), East Asia (6개, 209건), South America (8개, 204건) 등 3개 지역에서 표출건수가 높은 것으로 나타났다. 해양에서 분화한 화산체를 제외한 23개 화산체에 대하여 6대주로 구분하여 나타내면 Asia (12개, 601건, 66.9%), South America (8개, 204건, 22.8%), North America (2개, 61건, 6.8%), Europe (1개, 32건, 3.6%) 순이다. 화산재해 관련 자료의 표출건수가 많은

지역은 Asia, South America 순이며, 2개 지역의 노출 빈도는 전체 화산체 중 89.6%를 차지한다.

4. 인명피해

4.1 인명피해 관련 발생빈도

1,645건 사례의 인명피해 유형은 이재민(236건, 14.3%), 사망(221건, 13.5%), 부상(65건, 4.0%), 실종(22건, 1.3%), 질병(10건, 0.6%) 순으로 조사되었다(Table 6).

Table 6. Specification of Human Loss (ref. Table 1)

Main Classification	Middle Classification	Frequency (N)	Percentage (%)
Human loss	Unrecorded	1,091	66.3
	Victims	236	14.3
	Death	221	13.5
	Injury	65	4.0
	Lost	22	1.3
	Disease	10	0.6
Total		1,645	100.0
The number of damages	Over 1000 cases	202	32.4
	100-999 cases	66	4.0
	Less than 99	265	16.1
	Unrecorded	1,112	67.6
Total		1,645	100.0

4.2 지역별 인명피해 발생빈도

전 세계 1,645건의 화산재해로 인한 인명피해 사례에 대하여 분류한 14개 지역에 따른 빈도를 분석한 결과는 Table 7과 같다. 이를 해양에서 분화한 화산체를 제외한 1,579건에 대하여 6대주로 구분하여 나타내면 Asia (876건,

Table 7. Regional Frequency of Volcanic Disasters with Human Loss

Region	Frequency (N)	Percentage (%)
South East Asia	534	32.4
South America	431	26.2
East Asia	333	20.2
North America	123	7.5
Europe	76	4.6
Oceania	63	3.8
North Atlantic Ocean	25	1.5
Atlantic Ocean	18	1.1
Pacific Ocean	14	0.9
Middle Asia	9	0.5
North Mariana	8	0.5
East Africa	6	0.4
Central Africa	4	0.3
Antactica	1	0.1
Sum	1,645	100

55.5%), South America (431건, 27.3%), North America (123건, 7.8%), Europe (76건, 4.8%), Oceania (63건, 4.0%), Africa (10건, 0.6%) 순이다. 화산재해 관련 자료의 표출건수가 많은 지역은 Asia, South America 순이며, 2개 지역의 노출 빈도는 전체 화산체 중 82.8%를 차지한다.

4.3 주요 인명피해 발생화산

전 세계 1,645건의 인명피해 표출건수 중 최다 표출 화산으로는 Sinabung (시나봉, 124건), Mayon (마온, 64건), Kelut (켈루트, 49건), Ontake (온타케, 42건), Merapi (메라피, 38건) 순으로 조사되었다. 인명피해 발생화산 중 20건 이상의 화산 재해 표출대상 화산체에 대해 조사한 결과는 Table 8과 같다.

Table 8. Incident Frequency of Volcanic Disaster with Human Loss from Regionally Representative Volcano

Region	Nation	Volcano	Frequency	Percentage
South East Asia	Indonesia	Sinabung	124	7.5
South East Asia	Philippines	Mayon	64	3.9
South East Asia	Indonesia	Kelut	49	3.0
East Asia	Japan	Ontake	42	2.6
South East Asia	Indonesia	Merapi	38	2.3
East Asia	Japan	Aira	33	2.0
South East Asia	Indonesia	Soputan	31	1.9
South America	Ecuador	Tungurahua	31	1.9
South America	Peru	Ubinas	31	1.9
East Asia	Russia	Bezymianny	27	1.6
North America	United States	Pavlof	27	1.6
East Asia	Russia	Klyuchevskoy	27	1.6
South America	El Salvador	San Miguel	22	1.3
South America	Chile	Villarrica	22	1.3
South East Asia	Indonesia	Karangetang	21	1.3
South America	Colombia	Huila, Nevado del	21	1.3

최다 표출건수를 기록한 상위 16개 화산체 중 지역별 표출건수를 6대주로 구분하여 나타내면 Asia (10개, 456건, 74.8%), South America (5개, 127건, 20.8%), North America (1개, 27건, 4.4%) 순이다. 화산재해 관련 자료의 표출건수가 많은 지역은 Asia, South America 순이며, 2개 지역의 노출 빈도는 전체 화산체 중 95.6%를 차지한다.

4.4 인명피해 종류별 상관도 분석

인명피해 항목은 사망·부상·실종·이재민·질병의 세부 항목으로 나누어 피해인원에 대한 추가 조사를 실시하였고, 사망·부상·전체 인명피해에 대하여 화산별 피해도에 따른 상위 10위를 Table 9와 같이 정리하였다. 또한 인명피해 전체 현황에 대하여 VEI / 분연주 높이에 관한 상관관계를 그래프로 표현하면 Fig. 3과 같다.

Table 9. Detail Data for Human Loss

Human loss type	Volcano	Number of people	VEI	Ash plume height (km)
Human Loss	Pinatubo	1,000,000	6	25
	Merapi	410,388	4	
	Kelut	200,000	4	20
	Tengger Caldera	200,000	3	
	Mayon	74,000	1	0.8
	Soufriere Guadeloupe	70,000	2	
	Sinabung	30,000	2	2.6
	Popocatepetl	26,000	3	0.2
	Slamet	24,000	2	
	Aira	23,000	4	
Injury	Nevado del Ruiz	5,000	3	
	Vesuvius	300	4	13
	Merapi	277	4	
	Tokachidake	207	3	
	Pinatubo	184	6	25
	Kelut	157	4	
	Tungurahua	65	3	10
	Ontakesan	60	3	
	Fogo	20	2	
	Izu-Tobu	18	1	
Death	Nevado del Ruiz	23,000	3	
	Etna	20,000	3	
	Mayon	12,000	4	
	Awu	8,000	4	
	Kelut	5,100	4	
	Galunggung	4,011	3	
	El Chichon	2,300	5	
	St. Helens	2,100	3	
	Soufriere St. Vincent	1,680	4	
	Oshima-Oshima	1,500	4	
Lost	Rinjani	400	2	2
	Nevado del Huila	150	3	
	Tungurahua	60	3	
	Ontakesan	32	3	
	Villarrica	31	3	8
	Pinatubo	23	6	25
	Sangeang Api	14	3	17
	Karangetang	4	3	9.1
	Sinabung	3	2	15.2
	Gamalama	1	2	2
Victims	Pinatubo	1,000,000	6	25
	Merapi	410,388	4	
	Kelut	200,000	4	20
	Tengger Caldera	200,000	3	
	Mayon	74,000	1	0.8
	Soufriere Guadeloupe	70,000	2	
	Sinabung	30,000	2	2.6
	Popocatepetl	26,000	3	0.2
	Slamet	24,000	2	
	Aira	23,000	4	
Disease	Ubinas	40	2	4.5
	San Cristobal	38	2	4.3
	San Miguel	2	2	9.7

(a) human loss vs VEI

(b) Human damage vs Ash Plume

Fig. 3. Correlation Between Human Loss and VEI

인명피해 전체 피해현황과 VEI · 분연주 높이에 대한 상관도 분석 결과 각각 0.79 · 0.82로 비교적 높은 상관도가 나타났다. 하지만 데이터의 부족으로 일반화하기는 어려우며, 하나의 결론으로 단정 지을 수 없음을 확인했다. 이는 후행연구를 통해 각 화산체의 인명피해 관련 DB를 축적하여 화산재해로 인한 인명피해 전체 현황과 VEI · 화산거리 · 분연주 높이와의 연관성 분석을 수행할 수 있을 것으로 사료된다.

5. 시설피해

5.1 시설피해 관련 발생빈도

1,559건의 시설피해 유형은 교통(152건, 9.7%), 주거(49건, 3.2%), 공공(25건, 1.2%), 환경(11건, 0.7%), 라이프라인(7건, 0.4%), 보건(1건, 0.1%) 순으로 조사되었다(Table 10). 이는 화산이 분화할 경우 화산재가 확산됨에 따라 미세먼지가 증가하면서 교통 및 운송관련 산업 전반에 영향을 미치게 되고, 특히 항공기 운항 관련 시설피해가 크기 때문인 것으로 사료된다.

Table 10. Specification of Structural Damage (ref. Table 1)

Main Classification	Middle Classification	Frequency (N)	Percentage (%)
Structure type	Unrecorded	1,314	84.7
	Transportation	152	9.7
	Housing	49	3.2
	Public service	25	1.2
	Environment	11	0.7
	Lifeline	7	0.4
	Health	1	0.1
Total		1,559	100
Unrecorded		1,319	84.6
Transportation	Flight	122	7.8
	Road	21	1.3
	Railway	9	0.6
Lifeline	Electricity	6	0.4
	Waterworks	1	0.1
Public service	School	13	0.8
	Culture	6	0.4
	Public building	1	0.1
Health	Medical treatment	1	0.1
Environment	Water pollution	8	0.5
	Sewer	3	0.2
Housing	Housing	49	3.1
Total		1,559	100
Type of Structural Damage	Unrecorded	1,313	84.2
	Flight cancel	64	4.1
	Route closure	52	3.3
	Facility failure	39	2.5
	Damaged	37	2.4
	Facility closure	24	1.5
	Etc	20	1.3
	pollution	10	0.7
Total		1,559	100

5.2 지역별 시설피해 발생빈도

전 세계 1,559건의 화산재해로 인한 시설피해 사례에 대하여 분류한 14개 지역에 따른 빈도를 분석한 결과는 Table 11과 같다. 이를 해양에서 분화한 화산체를 제외한 1,494건에 대하여 6대주로 구분하여 나타내면 Asia (815건, 54.6%), South America (408건, 27.3%), North America (123건, 8.2%), Europe (71건, 4.8%), Oceania (58건, 3.9%), Africa (19건, 1.2%) 순이다. 화산재해 관련 자료의 표출건수가 많은 지역은 Asia, South America 순이며, 2개 지역의 노출 빈도는 전체 화산체 중 81.9%를 차지한다.

5.3 주요 시설피해 발생화산

전 세계 1,559건의 시설피해 표출건수 중 최다 표출 화산으로는 Sinabung (시나붕, 110건), Mayon (마운, 51건), Kelut (켈루트, 44건), Aira (아이라, 33건) 순으로 조사되었다. 시설피해 발생화산 중 20건 이상의 화산재해 표출대상 화산체에 대해 조사한 결과는 Table 12와 같다.

Table 11. Regional Frequency of Volcanic Disasters with Structural Damage

Region	Frequency (N)	Percentage (%)
South East Asia	493	31.6
South America	408	26.1
East Asia	299	19.2
North America	123	7.9
Europe	71	4.5
Oceania	58	3.7
North Atlantic Ocean	26	1.6
Middle Asia	23	1.5
East Africa	18	1.2
Atlantic Ocean	15	1.0
Pacific Ocean	15	1.0
North Mariana	8	0.5
Central Africa	1	0.1
Antactica	1	0.1
Sum	1,559	100

Table 12. Incident Frequency of Volcanic Disaster with Structural Damage from Regionally Representative Volcano

Region	Nation	Volcano	Frequency	Percentage
South East Asia	Indonesia	Sinabung	110	7.1
South East Asia	Philippines	Mayon	51	3.3
South East Asia	Indonesia	Kelut	44	2.8
East Asia	Japan	Aira	33	2.1
South East Asia	Indonesia	Merapi	32	2.1
South East Asia	Indonesia	Soputan	31	2.0
South America	Peru	Ubinas	30	1.9
East Asia	Japan	Ontake	30	1.9
East Asia	Russia	Bezmyanny	27	1.7
East Asia	Russia	Klyuchevskoy	27	1.7
North America	United States	Pavlof	26	1.7
South America	El Salvador	San Miguel	22	1.4
Middle Asia	Yemen	Jebel at Tair	22	1.4
South America	Chile	Chaiten	21	1.3
South America	Ecuador	Tungurahua	21	1.3
South America	Chile	Villarrica	21	1.3
East Asia	Japan	Aso	21	1.3
South East Asia	Indonesia	Karanteng	20	1.3

최다 표출건수를 기록한 상위 18개 화산체 중 지역별 표출 건수를 6대주로 구분하여 조사한 결과 Asia (12개, 448건, 76.1%), South America (5개, 115건, 19.5%), North America (1개, 26건, 4.4%) 순으로 나타났다. 화산재해 관련 자료의 표출건수가 많은 지역은 Asia, South America 순이며, 2개 지역의 노출 빈도는 전체 화산체 중 95.6%를 차지한다.

6. 산업피해

6.1 산업피해 관련 발생빈도

1,403건 사례의 산업피해 유형은 농업(46건, 3.3%), 축산업(25건, 1.8%), 임업(7건, 0.5%), 수산업(1건, 0.1%), 건설업

(1건, 0.1%) 순으로 조사되었다(Table 13). 이는 분화한 화산 재가 기상장을 타고 지속적으로 화산 및 퇴적됨에 따라 농업과 관련된 산업시설 전반에 영향을 미치게 되고, 특히 다량의 화산재로 인해 농작물 및 농업시설 피해가 크기 때문인 것으로 사료된다.

Table 13. Specification of Industrial Damage

Main Classification	Middle Classification	Frequency (N)	Percentage (%)
Industry type	Unrecorded	1,323	94.2
	Agriculture	46	3.3
	Livestock	25	1.8
	Forestry	7	0.5
	Fishery	1	0.1
	Construction	1	0.1
	Total	1,403	100
Unrecorded		1,323	94.2
Agriculture	Crops	25	1.8
	Agricultural facilities	14	1.0
	Farmland	7	0.5
Livestock	Livestock	21	1.5
	Livestock Facility	4	0.3
Forestry	Forest	7	0.5
Fishery	Fisheries facility	1	0.1
Construction	Construction facility	1	0.1
Total		1,403	100
Type of industrial damage	Unrecorded	1,323	94.3
	Damaged	58	4.1
	Dead	8	0.6
	Evacuation	8	0.6
	Facility breakage	5	0.4
	Pollution	1	0.1
Total		1,403	100.1

6.2 지역별 산업피해 발생빈도

전 세계 1,403건의 화산재해로 인한 산업피해 사례에 대하여 분류한 14개 지역에 따른 빈도를 분석한 결과는 Table 14와 같다. 이를 해양에서 분화한 화산체를 제외한 1,364건에 대하여 6대주로 구분하여 나타내면 Asia (772건, 56.6%), South America (373건, 27.3%), North America (114건, 8.4%), Europe (46건, 3.4%), Oceania (45건, 3.3%), Africa (14건, 1.0%) 순이다. 화산재해 관련 자료의 표출건수가 많은 지역은 Asia, South America 순이며, 2개 지역의 노출 빈도는 전체 화산체 중 83.9%를 차지한다.

6.3 주요 산업피해 발생화산

전 세계 1,403건의 시설피해 표출건수 중 최다 표출 화산으로는 Sinabung (시나봉, 96건), Mayon (마운, 49건), Ubinas (우비나스, 38건), Kelut (켈루트, 34건) 순으로 조사되었다. 시설피해 발생화산 중 20건 이상의 화산재해 표출대상 화산체에 대해 조사한 결과는 Table 15와 같다.

Table 14. Regional Frequency of Volcanic Disasters with Industrial Damage

Region	Frequency (N)	Percentage (%)
South East Asia	453	32.3
South America	373	26.6
East Asia	307	21.9
North America	114	8.1
Europe	46	3.3
Oceania	45	3.2
North Atlantic Ocean	21	1.5
Middle Asia	12	0.8
East Africa	10	0.7
Atlantic Ocean	9	0.6
Pacific Ocean	4	0.3
North Mariana	4	0.3
Central Africa	4	0.3
Antactica	1	0.1
Sum	1,403	100

Table 15. Incident Frequency of Volcanic Disaster with Industrial Damage from Regionally Representative Volcano

Region	Nation	Volcano	Frequency	Percentage
South East Asia	Indonesia	Sinabung	96	6.8
South East Asia	Philippines	Mayon	49	3.5
South America	Peru	Ubinas	38	2.7
South East Asia	Indonesia	Kelut	34	2.4
South East Asia	Indonesia	Merapi	31	2.2
South East Asia	Indonesia	Soputan	31	2.2
East Asia	Russia	Bezymianny	29	2
East Asia	Japan	Ontake	29	2
North America	United States	Pavlof	27	1.9
East Asia	Russia	Klyuchevskoy	27	1.9
South America	El Salvador	San Miguel	21	1.5
South America	Chile	Villarrica	21	1.5
East Asia	Japan	Aira	21	1.5
South East Asia	Indonesia	Karanteng	20	1.4
South America	Ecuador	Tungurahua	20	1.4

최다 표출건수를 기록한 상위 15개 화산체 중 지역별 표출건수를 6대주로 구분하여 나타내면 Asia (10개, 367건, 74.3%), South America (4개, 100건, 20.2%), North America (1개, 27건, 5.5%) 순이다. 화산재해 관련 자료의 표출건수가 많은 지역은 Asia, South America 순이며, 2개 지역의 노출 빈도는 전체 화산체 중 94.5%를 차지한다.

7. 결 론

현재까지 파악된 화산체에 대한 화산재해 정보 Data Base를 구축하고, 2017년 12월 31일까지 발생한 화산재해에 대하여 지역별, 화산별 화산재해 일반사항 등의 데이터를 수집하

여 DB를 구축하였고, 화산재해 유형 및 발생년도, 주요 화산체와 발생년도, 인명피해, 시설피해, 산업피해 관련 자료의 통계 현황을 통계 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 화산분화로 인한 재해유형 중 화산재로 인한 피해가 압도적으로 높았다. 이는 용암류, 마그마 등 근접 화산재해보다 화산재 흩날림 같은 광역 화산재해로 인한 피해가 크다는 것을 알 수 있다.

둘째, 인명피해 DB 분석결과 이재민으로 인한 인명피해가 가장 많았고, 사망으로 인한 피해가 그 뒤를 따랐다, 이는 빈도가 높은 자연재해는 아니지만 한 번 분화하면 화산체 인근 지역에서는 생명과 직결되는 인명피해를 야기하며, 대형 국가 재난사고로 이어질 가능성이 크다는 것을 나타내고 있다. 또한 인명피해 전체 현황과 VEI, 분연주 높이에 대하여 상관도 분석결과 VEI, 분연주 높이와는 상관도가 비교적 높게 나타난 반면, 화산거리와 피해인원과의 분석은 데이터 부족으로 아직 하나의 결론으로 단정 지을 수 없음을 확인했으며, 추후 화산 분화에 대한 자료 및 지역적 특성(인구 밀도, 재난대비시설 보유현황, 대피요령 숙지도)을 반영할 수 있는 자료가 추가된다면 화산분화지수와 재산피해액 등의 연관성 분석을 수행할 수 있을 것으로 판단된다.

셋째, 시설피해 DB 분석결과 화산재해로 인하여 교통과 관련된 시설피해 비중이 높게 나타났으며, 이는 화산재 피해로 인해 발생하는 교통 및 수송관련 등의 2차 피해가 많이 발생하였고, 그로 인해 시설피해 자료 건수가 높은 것으로 판단된다.

넷째, 산업피해 DB 분석결과 농업, 농작물 관련 피해가 가장 높은 것으로 나타났으며, 이는 화산재가 상공으로 올라가 햇빛을 차단하여 저온 현상이 발생하고, 이로 인해 농작물 생산량이 줄어들기 때문인 것으로 보인다.

다섯째, 화산재해 피해관련 자료들은 Asia 지역이 가장 높은 빈도로 표출되었고, South America 지역이 뒤따랐다. 두 지역의 자료도출 건수는 전체 자료 중 81.9~95.6%에 달하는 것으로 나타났으며, 이는 화산재해 빈도가 높고 화산 분화 위험에 자주 노출 되는 것으로 사료된다.

이렇게 조사한 통계내용은 자료 수집에 있어 공신력 있는 전문기관의 공식발표가 아니며, 정보 제공자의 주관적인 의견이 반영될 수 있기 때문에 통계자료의 정확성은 다소 떨어질 수 있다. 하지만 국제적으로 부족한 화산재해 정보들이 분산 관리되고 있고, 효과적인 검색조차 용이하지 않았던 화산재해 관련 자료들을 DB로 통합하였으며, 이를 통해 전 세계적으로 발생하는 화산재해 관련 자료들에 대한 경향 분석의 기초자료를 구축하는 데 의미를 두고 있다.

감사의 글

본 연구는 정부(행정안전부)의 재원으로 재난안전기술개발사업단의 지원을 받아 수행된 연구이며[MOIS-재난-2015-07], 행정안전부 방재안전분야 전문인력양성사업의

연구비 지원 및 광운대학교 2014년도 교내학술연구비 지원에 의해 연구되었음.

References

- Alam, M., and Kimura, M. (2004) Statistical Analysis of Time-distance Relationship between Volcanic Eruptions and Great Earthquakes in Japan. *Earth Planets Space*, Vol. 56, pp. 179-192.
- Budd, L., Griggs, S., Howarth, D., and Ison, S. (2011) A Fiasco of Volcanic Proportions? Eyjafjallajökull and the Closure of European Airspace. *Mobilities*, Vol. 6, No. 1, pp. 31-40.
- Caldela, J. and Wirasinghe, S.C. (2014) Analysis and Classification of Volcanic Eruptions. *10th International Conference, The International Institute for Infrastructure Resilience and Reconstruction (I3R2)*, pp. 128-133.
- Kinvig, H.S., Wilson, A., and Gottsmann, J. (2010) Analysis of Volcanic Threat from Nisyros Island, Greece, with Implications for Aviation and Population Exposure. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, Vol. 10, pp. 1101-1113.
- Lee, S.S., Yun, S.H., Ham, H.J., and Yi, W.H. (2017) *Development of Advanced Volcanic Disaster Response System Considering Potential Volcanic Risk Around Korea*. Report of Disaster Forecasting and Reduction Research Projects.
- Siebert, L., Simkin, T., and Kimberly, P. (2011) *Volcanoes of the World: Third Edition*. University of California Press, pp. 217-327.
- Smithsonian Institution. *National Museum of Natural History Global Volcanism Program*. Retrieved from <http://volcano.si.edu/>
- USGS. *VDAP Relevant Data*. Retrieved from <https://volcanoes.usgs.gov/vdap/>
- VDPEIA(Volcanic Disaster PEDIA). Retrieved from <http://www.vdpedia.org>
- Xu, J., Liu, G., Wu, J., Ming, Y., Wang, Q., Cui, D., Shangguan, Z., Pan, B., et al. (2012) Recent Unrest of Changbaishan Volcano, Northeast China: A Precursor of a Future Eruption? *Geophysical Research Letters*, Vol. 39, L16305, doi:10.1029/2012GL052600

Received	March 14, 2018
Revised	March 15, 2018
Accepted	March 26, 2018