

사례분석을 통한 화산재해지도 구성요소 도출 및 활용 방안

장은미* · 박 경** · 김은경***

The Finding Factors and Application Plans of the Volcanic Disaster Maps through Case Studies

Chang, Eunmi* · Park, Kyeong** · Kim, Eun Kyung***

요약 : 이 논문은 화산재해지도가 갖는 특성을 규명하고, 국내외 화산재해지도의 사례조사를 통해 유형화하였다. 저자들은 해외의 화산재해지도의 구성요소를 도출하여 백두산을 대상으로 활용방안을 모색하는 것을 목적으로 하였다. 국외 화산재해지도에 대해 세 가지 유형(Hazard Map, Risk Map, Damage Map)의 재해지도 분석틀을 통해 검토하고, 화산재해지도의 구성요소를 도출하였다. 도출된 화산재해지도 구성요소는 1) 과거이력 누적 지도, 2) 확률론적 위험지도, 3) 시나리오 기반 지도이며, 이를 바탕으로 활용사례별(피난활용형, 방재정보형, 방재교육형) 화산재해지도의 구성요소를 제시하였다.

주요어 : 화산재해지도, 화산위험지도, 화산피해지도

Abstract : This study aims to investigate the characteristics and to classify the foreign volcanic disaster maps. Authors try to extract the components of volcanic disaster maps and apply them to the Mt. Baekdu volcano that receives worldwide attention recently has been on an early stage in Korea. Internationally, volcano ash disaster maps are derived and reviewed through three analytical framework components: Hazard Map, Risk Map, and Damage Map. These derived components of volcano ash disaster mapping systems are: 1) cumulative map of past disaster records, 2) probabilistic risk map, 3) scenario-based map and case-by-case utilization maps (evacuation response type, emergency information type, disaster preparedness education type) based on this components are presented.

Key Words : Volcanic Disaster Map, Hazard Map, Risk Map, Damage Map

1. 서론

1) 연구배경 및 목적

2010년 8월 30일, 400여 년간 잠들어 있던 인도네시아 시나봉(Sinabung) 화산(2,460m)이 재분화하였다. 당시 화산재해에 따른 인적 피해는 2명 사망, 12,000여명이 안전지역으로 대피되었고, 그 이후 2013년 12월 31일, 또 다시 대규모 분화가 일어나 인근 주민 20,000여명을 대피시켰다(아시아투데이, 2013년 12월 31일자). 이처럼 400여 년 동안이나 화산 활동을 멈춰 안전한 휴화산으로 여겼던 시나봉 화산이 빈번하게 분화하면서, 불과 100년 전인 1903년 마지막 분화했다고 보고되는

백두산이 휴화산이라고 단정하기는 어려운 상황이 되었다(박경, 2013).

이 같은 대규모 인적, 물적 피해를 낳는 화산 분화에 의한 재해와 같은 자연 현상에 의해 일어나는 재해를 자연재해라고 한다¹⁾. 이들 자연재해 중 지진, 풍수해, 화산 분화에 의한 재해는 대규모 인명 피해나 재산의 손실을 낳는 대형 자연재해이다. 특히 화산 분화의 경우는 화산재, 라하르(이류), 화쇄류, 화산가스 등의 다양한 원인으로 복합적인 재해 결과를 보여 지진과 같은 단발적인 피해보다 훨씬 큰 재해에 속한다(Sigurdsson, *et al.* 2000).

2013년 12월, 소방방재청은 ‘국가지진위험지도’를 공포²⁾하여 위험지도라는 용어를 사용하기 시작

* (주) 지인컨설팅 대표이사(CEO, Ziin Consulting Inc.)(emchang21@gmail.com)

** 성신여자대학교 지리학과, 부교수, 교신저자(Associate Professor, Sungshin Women's university)(kpark97@sungshin.ac.kr)

*** (주) 지인컨설팅 부설연구소 책임연구원 / 서울대학교 국토문제연구소 객원연구원(Senior Researcher, Ziin Consulting Inc. / Visitor Researcher, Institute for Korean Regional Studies)(ekim328@naver.com)

하였다. 『지진재해대책법』 제14조 및 동법 시행령 제10조의 내진설계기준 설정 대상 시설의 내진설계기준 제정 및 개정 시 근간이 되는 ‘국가지진위협지도 및 지진구역·지진구역계수’를 활용토록 하기 위함이다.

국제적으로도 아시아재해저감센터(Asian Disaster Reduction; ADRC)에서는 세계재난데이터베이스³⁾(EM-DAT)의 재난 관련 정보를 이용해 아시아 지역의 자연재해에 대해 보고하고 있다. 2012년의 자연재해 정보에 따르면, 가장 두드러진 재해 형태가 홍수, 폭풍, 가뭄의 순으로 나타났지만 화산재해의 경우 재해 발생 1회당 인적·물적 피해량 평균이 매우 높은 것으로 나타난다. 즉, 세계재난 관련 기록에서도 화산 재해는 빈번하게 발생하는 재해는 아니지만, 단 한 번의 분화로 그 외의 다른 재해가 몇 차례 동안 기록한 피해 규모를 넘어선다.

본 연구에서는 이와 같은 화산재해에 대한 세계적인 관심과 백두산 화산의 활동 가능성을 감안하여 포괄적인 재해 정보를 담는 도구인 ‘지도’에 초점을 맞추어 분석하였다. 지도는 우리 생활 주변의 공간과 환경을 담아내는 그릇이며 의사소통의 도구이다(Muehrcke, 1978; Monmonier, 1996; 1997). 이에 본 연구는 여러 재해지도 중 화산재해지도가 갖는 특성을 규명하고, 국내외 화산재해지도의 사례조사를 통해 유형화 작업을 수행하고, 이를 바탕으로 화산재해지도의 구성요소를 도출하고 활용방안을 모색하는 것을 목적으로 한다.

2) 연구내용 및 방법

다양한 문헌 및 실무 매뉴얼에서 언급되고 있는 재해지도 유형을 분류하고, 국내에서 법 제도적으로 규정되어 있는 재해지도 현황을 검토하였다. 본 연구에서는 특히 화산재해에 관련된 재해지도에 초점을 맞추고, 국내에 소개된 화산재해지도를 분석하기 위해 국외 사례분석을 통해서 재해지도의 유형을 분류하였다. 이는 우리나라에서 법제도로 규정되어 있는 내용을 토대로 검토할 것이다. 다음으로 국내의 상황과는 달리 화산분화가 다소 빈번하게 발생하는 해외 사례를 중심으로 화산재해지도 관련 현황 및 연구에 대한 동향을 살

펴 시사점을 도출하였다. 이는 국내의 경우 화산관련된 내용이 교과서 등에서 제대로 논의되고 있지 않은 상황에서 이러한 지도를 작성할 필요가 다른 재해에 비해 상대적으로 낮은 것으로 판단하고 있는 까닭으로 보인다(박경, 2013). 마지막으로 화산재해지도의 구성 요소를 선정하여 활용 용도에 따른 작성 방안을 모색하고, 향후 추가적으로 논의되어야 할 사항을 제시하였다(그림 1).

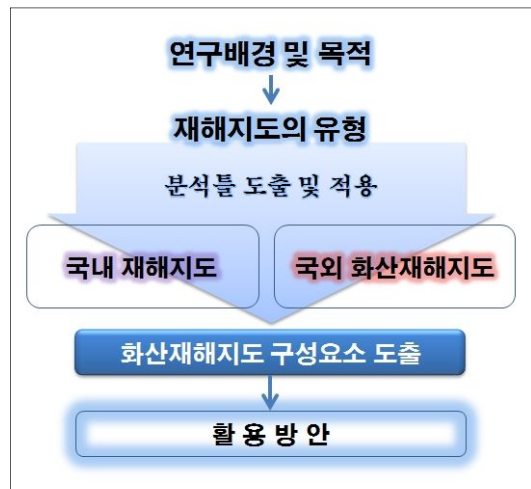


그림 1. 연구흐름도

2. 재해지도의 유형

‘재해’라는 용어가 매우 보편적인 의미를 담고 있듯이 ‘재해지도’라는 개념 또한 세 가지의 유형, 즉 Hazard Map, Risk Map, Damage Map으로 구분되어 사용되고 있는 것을 알 수 있다⁴⁾(그림 2). 이들에 대한 정의는 비교적 다양하게 사용되고 있으며 순전히 확률론적인 모델에 의한 Hazard map의 사례도 있는 것을 확인할 수 있다(USGS 지진재해). 논의의 단순화를 위해 저자들은 hazard와 risk를 동일한 의미를 갖는 것으로 보기보단 hazard map을 자연재해를 일으키는 현상에 관한 지도, risk map은 인간과 재산에 대한 피해까지를 포함하는 것으로 구분하여 용어를 사용하고자 한다(Lockwood and Hazlett, 2010).

첫째, Hazard map은 재해현황도라고 할 수 있다. 자연재해 현상 즉, 지진, 화산분화, 태풍 등이

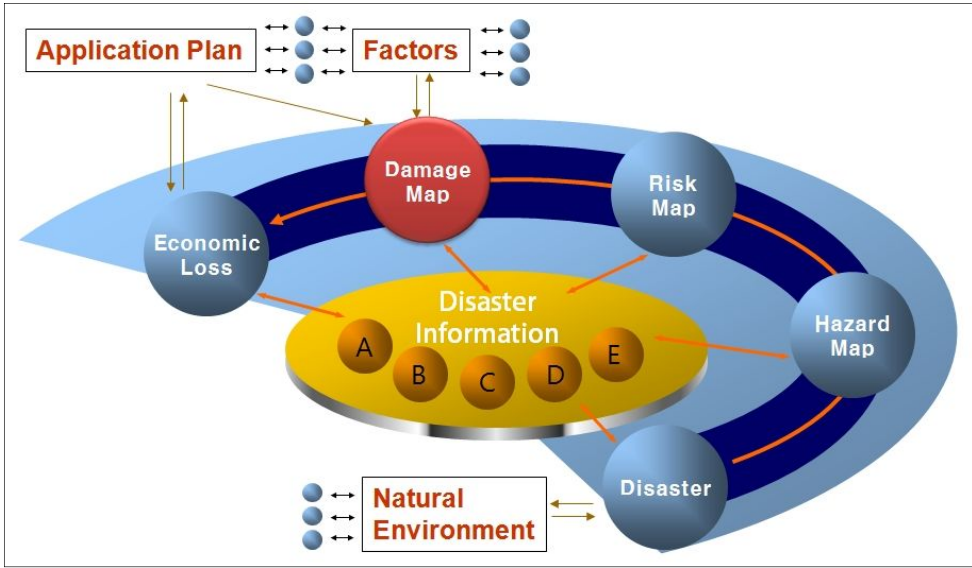


그림 2. 연구 분석의 틀

발생한 경우, 재해가 일어났거나 발생가능 지역에 대한 정보를 담는다. 대체로 각종 현상의 경로, 도달범위, 소요시간 등을 나타낸 지도에 해당된다.

둘째, Risk Map은 실제 현상에 대한 정보가 쌓인 후 hazard map에 기초하여 정보가 부족한 지역에 대하여 확률론적인 개념을 더한 것이다(FEMA). 즉, 재해예측도에 해당한다. 앞서 Hazard map과 동일한 조건하에 확률적으로 각종 재해의 위험도를 확인하는 것으로서 장차 Damage Map 작성의 근간이 되는 지도이다.

셋째, Damage Map은 인적, 물적 재해의 결과 및 예측을 복합적으로 나타낸 지도라고 할 수 있다. 또한 이 지도는 인명 피해 및 사회경제적 영향에 대한 내용을 종합적으로 판단할 수 있고 예비할 수 있기 때문에 중요하다. 과거에는 현상을 제대로 나타내는 것(Hazard Map)으로 충분하였겠지만, 최근에는 점차 대응을 위한 시스템에 대한 수요가 증가하고 관련된 기술이 발달하고 있다. 결국, 재난으로 발전하지 않도록 성공적인 방재를 하기 위해서는 1) 피해절감 및 예방, 2) 대비, 3) 대응, 4) 복구의 순서로 단계적인 재난관리를 실시한다. 그리고 이 같은 방재의 4단계 중요도는 삶의 질이 향상될수록 전자 특히 ‘피해절감 및 예방’에 대한 기대를 높이게 된다. 마지막으로 Damage

Map을 바탕으로 해당 재해별로 사회경제적인 해석을 이끌어낼 수 있는 금전적 Loss(손실)을 판단하고 분석할 수 있게 된다.

결국, 재해지도는 자연재해에 의해 발생하는 다양한 현상에 관한 지도라고 할 수 있는데, 각각의 정보가 어떻게 구성되는지에 따라 유형이 나뉜다. 또한 이들의 사용 목적에 의해서 활용방안이 달라질 것이다. 따라서 본 연구에서는 그림 2와 같은 연구 분석틀을 토대로 국내 재해지도와 국외 화산재해지도를 분석한 것이다.

3. 국내 재해지도 현황

국내에서는 『자연재해대책법』 제21조 및 동법 시행령 제19조에 의거하여 각 지방자치단체의 장이 재해지도를 작성·활용 및 유지 관리해야 하는 의무를 가지고 있다. 여기서 재해지도란 풍수해로 인한 침수흔적, 침수예상 및 재해정보 등을 표시한 도면이다(자연재해대책법 제2조 제12호).

동법 시행령 제18조에는 재해지도를 다음과 같이 세 가지로 구분한다. 첫째, 침수흔적도는 태풍, 호우, 해일 등으로 인한 침수흔적을 조사하여 표시한 지도이다. 즉, 앞서 구분한 Hazard Map에 해당한다. 둘째, 침수예상도는 현 지형을 기준으로

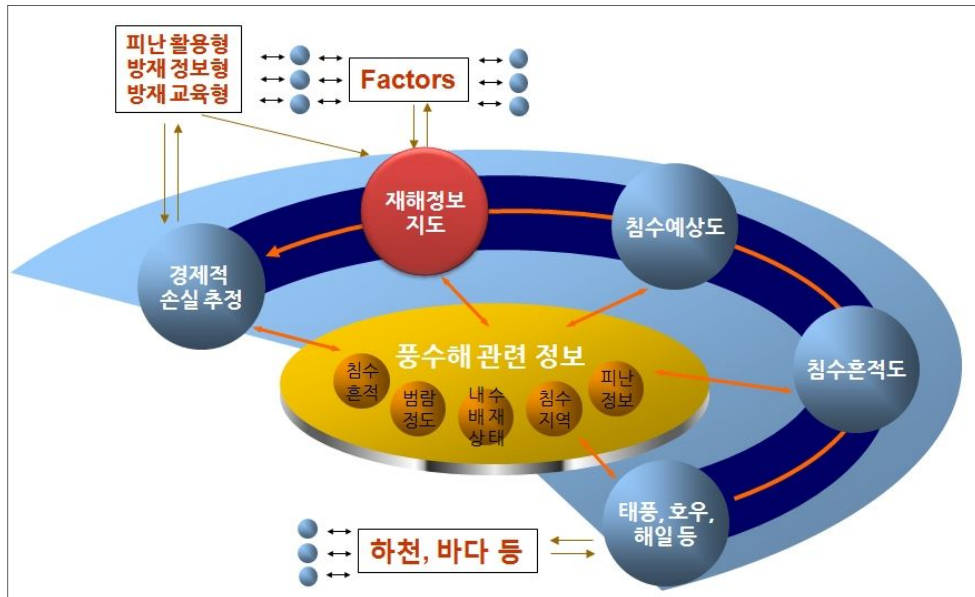


그림 3. 홍수해 재해지도

예상 강우 및 태풍, 호우, 해일 등에 의한 침수범위를 예측하여 표시한 지도로서, Risk Map에 가깝다. 셋째, 재해정보지도는 침수흔적도 및 침수예상도 등을 토대로 재해발생지 대피요령, 대피소 및 대피경로 등의 정보를 표시한 지도이다. 앞서 다양한 분석 결과 혹은 시나리오를 기반으로 완성될 수 있는 Damage Map이 이에 속한다. 이를 본 연구의 분석틀 기준으로 살펴보면 그림 3과 같이

나타난다. 또한 이들 각각의 자세한 사항은 표 1과 같다. 이처럼 국내에서는 홍수해에 의한 재해가 빈번하게 발생하기 때문에 법제도적인 기반 아래 세 가지 유형의 재해지도를 구성하고 있음을 확인할 수 있다.

소방방재청은 최근 지진재해와 관련한 재해지도인 ‘국가지진위험지도’를 개정 공표하였다. 애초 우리나라에는 국가지진위험지도가 1997년에 작성

표 1. 재해지도의 종류

재해지도 유형		내용
Hazard Map	침수흔적도	태풍, 호우, 해일 등으로 인한 침수흔적을 조사하여 표시한 지도
Risk Map	침수예상도	홍수에 의한 범람 및 내수배제 불량 등에 의한 침수지역을 예측하여 표시한 지도와 『하천법』 제21조 제1항 및 제5항에 따른 홍수위험 지도
	해안침수예상도	태풍, 호우, 해일 등에 의한 해안 지역의 침수지역을 예측하여 표시한 지도
Damage Map	재해정보지도	피난활용형
	방재정보형	재해발생시 대피요령, 대피소 및 대피경로 등의 피난에 관한 정보를 표시한 지도
	방재교육형	침수예측정보, 침수사실정보 및 병원 위치 등의 각종 방재정보가 수립된 생활지도
		재해유형별 주민행동 요령 등을 수록하여 교육용으로 제작한 지도

출처: 자연재해대책법시행령 제18조를 재구성함.

표 2. 대륙별 화산 분화 및 재해 현황(1900년~2013년)

구 분		화산 분화 수 (건)	사망자 (명)	화산재해영향 (명)	경제적 피해 (1,000 US\$)
아프리카	전체	17	2,218	511,353	9,000
	건당 평균	-	131	30,080	529
아메리카	전체	81	67,858	1,473,577	2,168,697
	건당 평균	-	838	18,192	46,774
아시아	전체	93	21,788	3,010,927	708,351
	건당 평균	-	234	32,376	7,617
유럽	전체	12	783	26,224	44,300
	건당 평균	-	65	2,185	3,692
오세아니아	전체	23	3,665	259,900	110,000
	건당 평균	-	159	11,300	4,783

출처: EM-DAT(2014), 2014년 1월 1일 기준.

되었지만, 지진위험도 평가기법이 발전하고 지진 발생자료가 추가적으로 축적됨으로써 ‘국가지진위험지도’의 개선이 요구되었었다. 이에 최근 3년간(2009년 3월~2012년 8월) ‘활성단층 지도 및 지진위험지도 제작’ 연구를 통해 새로운 ‘국가지진위험지도 및 지진구역·지진구역계수’를 공표⁵⁾한 것이다. 지진재해에 대한 정보가 누적되고 관련 기술이 발달함으로서 정보를 담고 있는 도구 즉, 지도 역시 변화에 대응한 것이다.

자연재해 관련 지도는 일부 논문에서 재해 현황 및 예측에 대한 정보를 지도로 보여주고 있다. 배선학(2007)은 2006년 인제군의 집중호우 원인을 분석함에 있어서 농경지와 집중강우에 의한 관계를 지도상에 표출하고 이에 대한 분석을 입체적으로 시도하였다. 유사한 연구로 황유정(2006)은 홍수에 의한 침수 취약지역 예측에 관한 연구에서 과거 홍수자료와 지형정보를 이용해 결과값을 침수예측 지역으로 나타낸 바 있다. 장은미(2011)는 지리정보를 활용한 재해관리시스템 구축의 일환으로 태풍 경로에 따른 풍속계산결과와 보험계약 종류 및 규모별 분

포지도를 제시한 바 있다. 화산재해 관련 지도로는 김남신(2011)의 연구에서 시뮬레이션에 의한 백두산 화산분출 영향범위를 표출한 바 있고, 김성욱 등(2013)는 백두산 분화에 따른 화쇄류, 화산이류, 화산성 홍수의 피해범위 예측을 위한 예비연구를 통해 화산재해지도 제작을 위한 기본 연구를 수행하였다. 또한 최근 박용재·장은미의 연구(2013)에서 화산재로 인한 경제적 피해 산정을 통한 Damage Map을 제작한 연구가 시도된 바 있다.



출처: USGS 사이트(<http://volcanoes.usgs.gov/>), 2014.1.1. 접속

그림 4. USGS에서 제공하는 화산 활동 현황지도

위의 연구들과 본 연구의 차별성은 재해지도라는 관점에서 1회적 시나리오로 모의를 해 본 결과를 제시한 기존 국내사례와는 달리 재해지도의 종류와 구성요소를 이론적 틀을 가지고 접근하여 분석하고 사례를 정리하여 향후 필요한 화산재해지도의 활용방안 등을 함께 모색하였다는 점이다. 본 연구에서 중점을 두고 있는 화산재해지도 자체에 대한 지도학적 연구는 극히 제한적이며, 국내 화산재해지도 관련 연구는 시작 단계에 있다. 이러한 연유에 의해 화산재해지도의 구성요소 도출이 필요하다고 판단하였다.

4. 국외 화산재해지도 현황

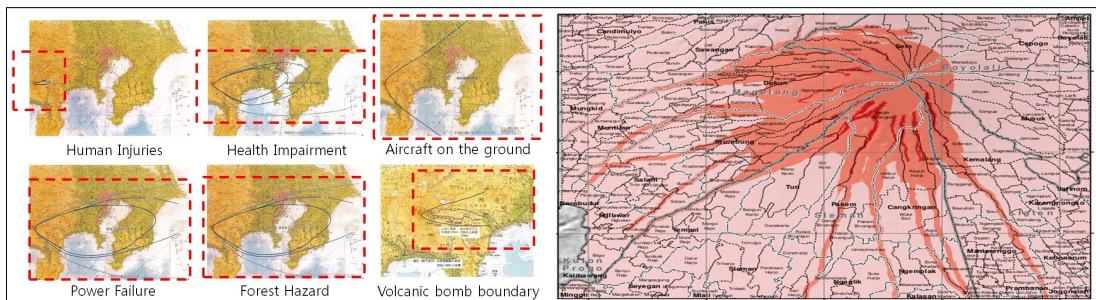
화산재해는 분화의 전조현상으로 지진 및 온천수의 온도 상승 등 다양한 물리적 변화가 관찰된다. 불규칙적인 전조 현상 끝에 이어지는 화산분화는 대체로 3단계의 재해 현상으로 나타난다. 1 단계에는 분화와 함께 분출되는 용암에 의해 주변이 매몰된다. 2단계부터는 화산 분화에 의한 분출물 관련 재해가 다양하게 나타나는데, 열에 의한 화재, 용암류와 화산이류(泥流)⁶⁾, 화산쇄설물, 테프라(Tephra)⁷⁾, 폭풍 등이 발생한다. 또한, 분화 전후에 일어나는 화산성 지진, 산사태, 지면의 균열, 해저분화에 수반되는 해일 또는 지진해일을 모두 2단계 재해라고 볼 수 있다. 마지막 3단계는 가벼운 물질이 화산재와 화산 가스에 의한 재해가 뒤따른다. 결과적으로 화산재해는 1단계부터 3단계에 이르는 동안 한 지역에 국한된 한 가지 형태의 피해를 보이지 않고 각 단계별로 피해 범위와 재

해 형태가 각기 다르게 즉, 표현되어야 하는 정보의 양이 많다는 것을 알 수 있다(Heneys, K. et al., 2007).

이처럼 단계별로 지역적인 범위와 재해발생 물질에 관한 다양한 정보를 담아야 하는 화산재해지도는 앞서 국내 재해지도로 살펴 본 침수 재해지도보다 많은 정보를 담아야 한다. 이러한 맥락에서 Newhall(2000)은 지도라는 도구가 화산학자들에게는 매우 유용하고 보편화된 도구이지만, 일반인들에게 정보를 제공해야 하는 화산재해지도의 경우는 지나치게 축약되거나 해석이 어려울 경우, 정보를 전달하는 도구로서 부적절하다는 점을 지적한 바 있다. 따라서 화산재해지도의 경우 여타의 자연재해로 인한 분석틀에 제시한 재해지도에 비해 더욱 세밀하게 작성할 필요가 있다.

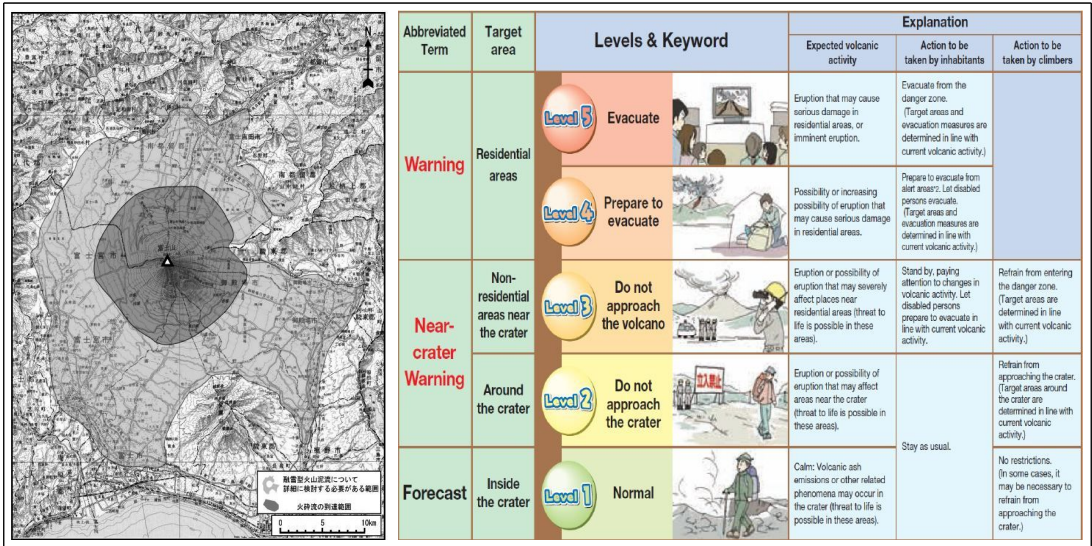
그림 4는 USGS(U.S. Geological Survey)에서 제공하는 화산재해지도이며, 이는 전 세계를 대상으로 대륙별 화산활동 정보를 제공하고 있다. 이는 재해지도의 유형상 재해 가능지역 혹은 관심지역에 대한 기본 상황을 알려주는 것으로서 Disaster Map이라고 할 수 있다. 이러한 정보를 필요로 하는 주이용자는 항공사 및 화산에 의해 영향을 받을 가능성이 높은 국가, 관계기관들이 해당된다.

EM-DAT에서 제공하는 재해 자료를 토대로 대륙별 화산재해에 대한 피해를 분석해 본 결과, 화산재해에 의한 피해는 대륙별로 다른 양상을 보이는 것을 확인할 수 있다(EM-DAT). 특히 최근 100여년 사이 아시아에서 93건의 화산 분화로 가장 높은 분화빈도를 나타냈고, 화산분화 건당 화산재해영향을 받은 사람 수 역시 가장 많은 것으



출처: 日本 内閣府(2002), Paripurno(2013).

그림 5. 아시아 국가의 화산재해지도(좌: 일본, 우: 인도네시아)



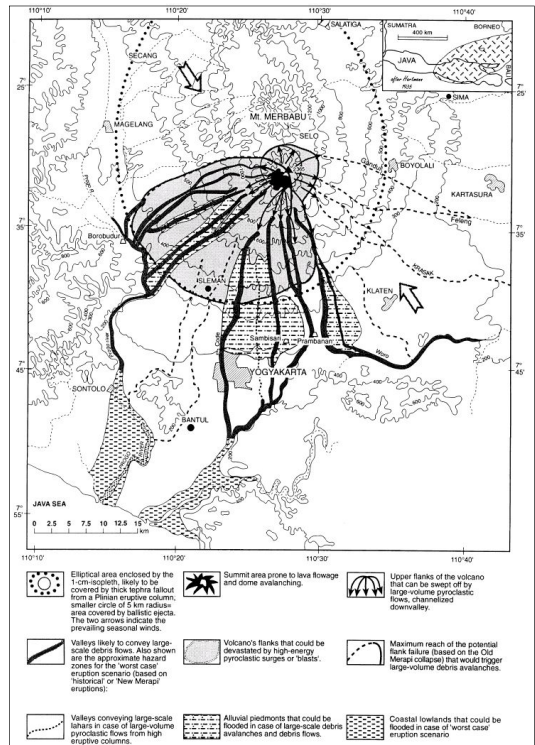
출처: Fujita, E.(2009)에서 재인용.

원 출처: (좌) Mt. Fuji volcanic disaster prevention measures, (우) S. Kitagawa(2008).

그림 6. 일본 후지산 분화 재해지도와 대응 지침

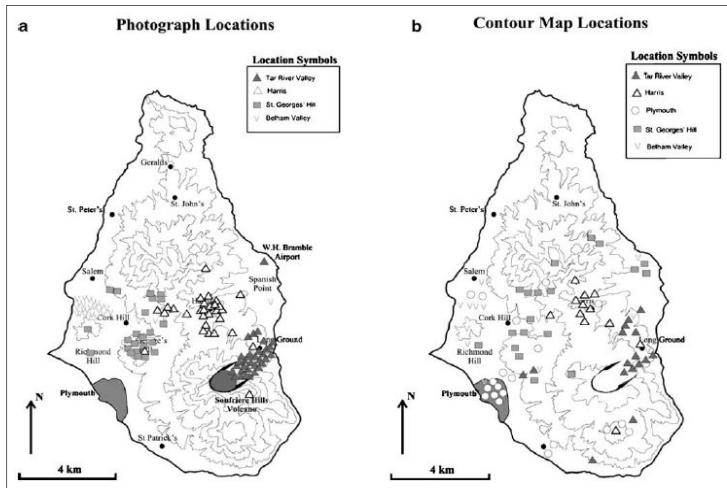
로 나타냈다(표 2).

이러한 현상을 반영하듯, 아시아 국가 중 화산 분화가 빈번한 일본이나 인도네시아에서는 자국의 환경과 정서에 맞는 재해지도를 제작, 배포, 활용하고 있다. 잦은 재해로 인해 대응 훈련이 체계적으로 갖추어진 양국의 경우, 최근까지도 종이로 된 낱장 지도(혹은 지도첩)를 배포하고 있다(그림 5). 일본 내각부에서 2002년 제작하고 배포한 일본 화산재해지도(그림 5의 좌측)의 경우, 하나의 화산이 분화한 경우라도 인적 피해예상 범위, 산림재해, 화산재의 경계 범위 등이 각각의 종이지도에 표현되어있다. 대응과 관련한 정보에는 그림 6과 같이 화산 주변의 재해예측도와 각 경우에 대한 등급별 행동 요령이 함께 제공된다. 반면, 인도네시아(그림 5 우측)의 경우는 용암이 흐르는 경로를 표시한 화산재해지도를 각 가정에 한 장씩 배포한다. 긴급 상황을 대비한 대피로를 평상시에 익히게 하는 것이 목적이다. 또한 Thouert, J.-C. 등(2000)의 연구에서는 인도네시아 메라피(Merapi) 화산을 대상으로 과거 이력을 누적하여 피해 예측 지도를 만들어내는 연구가 수행된 바 있다. 그림 7의 재해지도를 살펴보면, 각 화산재해 분출물에 따른 세부 영역이 달리 표출되고 있으며, 이는



출처: Thouert, J.-C. et al.(2000).

그림 7. 인도네시아 메라피(Merapi) 화산재해지도



출처: Haneys, K. et al.(2007).

그림 8. 영국령 몬세라트 화산의 사진(좌측)과 등고선(우측) 입지 대응 비교

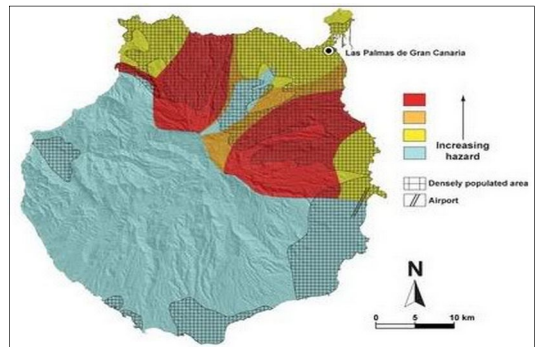
로 한 지도가 등고선 지도를 배경으로 한 경우보다 훨씬 정보가 독성을 높여주는 재해지도라는 것(그림 8)과 이와 유사한 기능을 발휘하는 것이 3D 지도인 점도 확인되었다. 또한 실제 화산분출시 몬세라트에 구조선이 정박할 수 있는 곳까지 1안, 2안으로 표시가 되고, 피난작업이 용이한 곳과 피난 대상인 관광객과 주거민의 인구분포까지 고려한 화산재해지도를 작성하여 활용하고 있다.

유사한 형태로 Rodriguez et al.(2009)의 연구에서는 스페인

1872년의 분화지수(VEI) 4의 규모를 근간으로 예측한 지도이다.

화산분화 빈도가 아시아보다는 낮은 편인 아메리카와 유럽에서는 경제적 피해에 관련한 확률론적 위험(Risk) 관리와 피해(damage)관점의 화산재해지도 연구가 다수 눈에 띈다.

Haneys, K. et al.(2007)의 연구에서는 가독성이 높은 재해지도 만들기 위해서 영국령 카리브해에 있는 몬세라트(Montserrat) 화산을 대상으로 3D 지도와 실제 사진을 통해 이용자들을 대상으로 실험하였다. 연구결과에 의하면, 위성영상을 배경으



출처: Rodríguez-González, A. et al.(2009).

그림 9. 스페인 Gran Canaria의 화산재해지도

표 3. 해외 화산재해지도의 유형 분석

구 분	사례 지도 [재해지도 유형]	도구	정보 내용	예상 이용자
전 세계 (대륙 기준)	USGS 화산활동현황지도 [Hazard Map]	정보제공용 웹 지도	화산 활동의 전조 파악 및 화산활동에 의한 국가 차원의 대비 측면 정보: 활동 정보, 화산분출지수(VEI) 등	항공사 및 화산관련 국제기구 등
국가 단위	영국령 섬 및 스페인 화산예측지도 [Risk Map, Damage Map]	예측용 전자지도	과거 재해정보 이력, 자연지리정보(지형, 지질 등), 이용자들의 가독성에 의한 지도 디자인 요소	정책 입안자 및 재난대응관리 기관
지역 단위	일본 화산재해지도 [Disaster Map]	대응용 종이지도첩	풍향, 분출물 종류, 분출물별 이동, 화산 정보 등	대응 관리자 및 지역 주민
화산 주변 마을 단위	인도네시아 [Disaster Map]	종이지도 날장	과거 재해정보 이력, 마을주민 거주지, 대피 위치 등	화산 주변지역 주민

의 Gran Canaria island 화산 분출을 홀로세 시기의 다수의 기록을 분석하여 화산재해지도를 만들었다(그림 9). 그림에서 볼 수 있는 것과 같이 분출 예측시기와 재해 강도를 과거의 데이터를 활용하여 확률적으로 제시하고 있는 결과로서 지역 혹은 마을 단위의 정보를 제공하여 거주지에 대한 결정을 도와주고 있다. 즉, 화산재해 확률이 낮은 지역에서는 거주 활동을 영위해도 무방하다는 결론을 내고 있다.

이처럼 화산재해지도의 경우, 재해를 알리고자 하는 대상, 재해의 유형, 재해정보, 공간적 범위 등에 따라 공간적 범위에 따라 다양한 형태로 지도가 제공되고 있음을 확인할 수 있다.

화산재해지도는 정보를 표출하는 공간의 범위에 따라서 표출되는 정보가 다르며, 해당 정보를 전달받는 수요자, 즉 이용자들의 용도에 따라서 쓰임이 달라진다. 앞서 화산재해지도 사례로 분석한 해외 화산재해지도를 이러한 틀로 분석해 보면 <표 3>으로 정리할 수 있다.

5. 화산재해지도 구성요소 도출 및 활용방안

다양한 재해 현상을 담아야하는 화산재해지도는 간략한 한 장의 지도로 표현하기에는 너무 어렵기 때문에 이를 극복하기 위한 다양한 연구 또한 수행되고 있음을 확인하였다. 본 연구에서는 국내외의 재해지도를 분석하여 화산재해지도의 구성요소로서 다음 세 가지를 도출하였다.

구성 요소 1: 과거이력 누적 지도

화산재해에 대한 과거 이력을 누적하여 표출한다. 관련 정보로는 화산분화에 의한 분출물, 각 분출물의 이동거리, 인명 피해, 경제적 피해 등의 정보를 화산을 기점으로 점, 선, 면의 데이터로 입력한다. 구성요소 1의 경우는 구성요소 2와 구성요소 3의 설정 값을 해석할 수 있는 '독립변수'와 같은 역할을 하기 때문에 화산 재해에 대한 정보가 충실할수록 풍성한 결과를 도출할 수 있다.

최근 국내외 연구를 통해서 과거이력 누적에 의한 결과는 단편적인 현상을 보여주기 위한 지도로 다수 제작되고 있다. 한 눈에 볼 수 있는 현상을 설명하는 지도로서 사람들에게 위험을 인식시키기

에 적절한 방식이다. 다만, 본 연구에서 주장하고자 하는 융합형 Damage Map이 적용되어야 하는 이유는 한 두 가지 현상만으로는 위협만 느끼게 할 뿐 적절한 방재 효과를 일으키지 못한다는 한계를 지닌다.

구성 요소 2: 확률론적 위험 지도

확률론적 위험 지도는 화산 분화가 일어나지 않은 상황의 공간적 조건을 고려하여 구성요소 1의 내용이 투영되었을 때 반영된 결과를 표출하는 것이다.

구성요소 2를 표출하기 위해서는 해당 지역에 대한 기본적인 공간 데이터가 많이 마련될수록 정밀한 예측위험지도를 생성할 수 있다. 구성요소 2가 제대로 구축되면 장점이 될 수도 있고 반대로 상세히 구축되지 못할 경우 단점이 될 수 있다. 또한 확률론적 위험은 과거자료의 이력 값이 투영된 결과가 지나친 왜곡을 유발할 수도 있다. 혹은 미래의 예상치 못한 재난 등은 과거이력을 확률로 변환시켜서 모의한 것에는 반영되기 힘들다는 점이다.

이러한 다양한 연구가 구성요소 1과 구성요소 2의 상관관계를 토대로 분석되고 지도가 작성되고 있으나 데이터를 확보하는 것이 지도 제작을 위한 가장 큰 관건이라고 하겠다.

구성 요소 3: 시나리오기반 지도

화산재해지도를 만드는 목적에 따라 활용되어야 하는 구성요소이다. 시나리오기반 지도는 구성요소 1과 구성요소 2가 충분히 작성되었을 때, 특정 상황별 시나리오를 가상하여 재난에 대비할 수 있는 지도를 생성할 수 있게 된다. 상황별 시나리오에 대한 것은 화산의 분화지수의 값, 또는 당시의 기상장의 특성, 화산의 지질학적 특성을 변수로 잡을 수 있으며 화산재해에 따라서 변수값이 달라지도록 모의하는 여러 화산재해 피해모델을 통해 생성될 수 있다. 본고에서는 각각의 모델을 정리하는 것을 목표로 하는 것이 아니라, 모델의 결과가 지도로 작성되어질 때 활용별로 재가공이 되거나 재해석 되어야하는 활용적 측면의 요소를 강조하고자 한다. 즉 극단의 슈퍼태풍과 같은 영향력의 가상의 시나리오가 교육적으로 의미를 갖도록

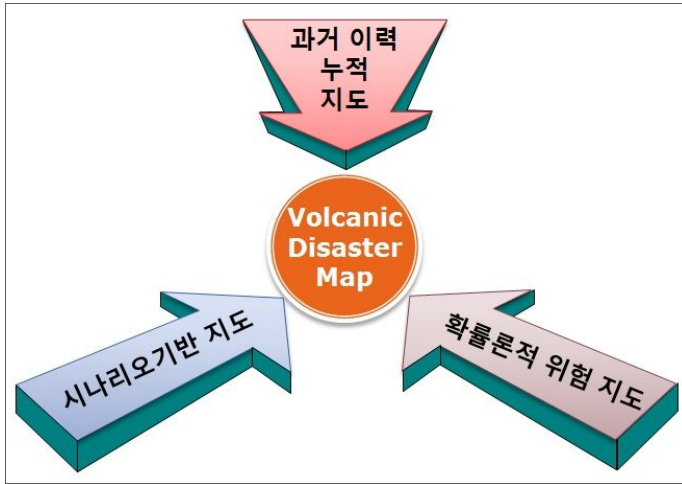


그림 10. 화산재해지도의 구성요소

하는 것과 정보제공의 측면에서 가능성을 열어 놓는 것, 실질적 대응까지 고려한 것 등의 목표치에 따라 시나리오 기반의 결과물이 다른 맥락에서 사용될 수 있다는 점이다.

결국 <그림 10>에서 볼 수 있는 세 가지 구성요소가 결합되어 Volcanic Disaster Map가 만들어진다. 앞서 설명되어진 것처럼 화산 재해 자체의 성격이 다양성, 불규칙성 등의 성질을 가지고 있기 때문에 이러한 융합형 재해지도를 고려해야 하는 것이다.

또한, 세 가지 구성요소의 데이터를 완벽하게 확보한다는 것은 매우 어려운 일이다. 현재 국내외 연구와 화산재해지도에서 담고 있는 정보가 이들 요소를 통합하여 보여주는 경우는 드물다. 이러한 면에서 앞서 국내 화산재해지도로 언급한 박용재·장은미(2013)의 연구결과는 이러한 구성요소가 담겨져 있는 것을 확인할 수 있다(그림 11).

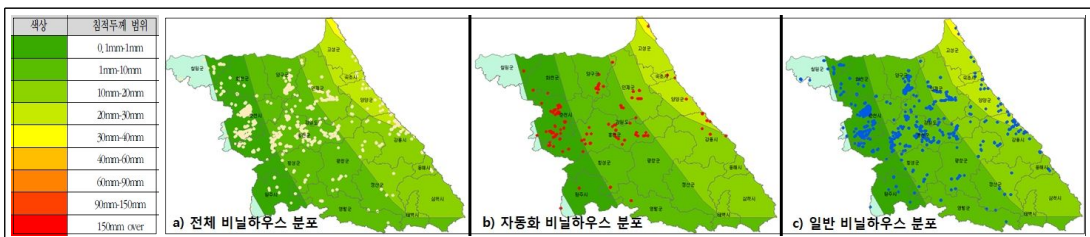
즉, 화산재로 인한(구성요소 1) 경제적 피해를 산정하여(구성요소 2) 이를 지도로 표출해 모델링의 결과와 경제적 피해산정의 결과가 모두 지역단위로 표출될 수 있도록 연결한 것이다(구성요소 3).

이처럼 앞으로 이들 세 가지 구성요소의 결합에 의한 화산재해지도는 다양하게 표출될 수 있을 것이다. 경우에 따라 각각의 지도 데이터들이 어떤 정보를 최소한으로 갖췄을 때 화산재해지도의 이해도와 활용성에 대한 효과분석 논의는 추후 연구과제인 셈이다.

화산재해지도를 활용하기 위해서는 공간적인 범위가 결정되어야 최적의 재해지도를 생성할 수 있게 된다. 즉, 국외 사례를 통해서 살펴보았듯이 공간적인 범위에 따라서 유사한 정보의 쓰임이나 정보 형태가 달라지며, 이용자 입장에서의 정보 해석 및 활용도가 판가름 나기 때문이다. 활용 형태별로 화산재해지도 구성을 구상해 보면, 크게 세 가지로 살펴볼 수 있다(표 4).

첫째, 피난활용형 화산재해지도는 과거이력 누적 Map의 재해 정보를 바탕으로 Risk map이 생성되고, 최종적으로 재해가 발생할 경우의 대피요령, 대피소 및 대피경로 등의 피난에 관한 정보가 담겨야 할 것이다. 특히 이 지도는 공간적인 범위가 화산주변 마을 단위에서부터 지역단위의 수준으로 제한되어야 적절한 정보일 것이다.

둘째, 방재정보형 화산재해지도의 경우 과거이력 누적map을 토대로 다양한 인문, 자연환경 요소를 포함하여 예측에 해당하는 Risk map을 생성



출처: 박용재·장은미(2013).

그림 11. 화산재로 인한 경제적 피해지도 사례

표 4. 활용에 따른 화산재해지도 구성요소

구 분	주 구성요소 (보조 구성요소)	공간적 범위	비 고
피난활용형 화산재해지도	과거이력 누적 Map 확률론적 위험 Map	화산주변 마을단위, 지역 단위	웹 지도보다 종이지도가 높은 실용성
방재정보형 화산재해지도	과거이력 누적 Map 확률론적 위험 Map	지방자치 및 국가 단위	방재대응관리 차원의 용도
방재교육형 화산재해지도	시나리오 기반 Map (과거이력 누적 Map 확률론적 위험 Map)	화산주변 마을단위, 전 세계	공간범위가 작을수록 보조 구성요소가 중요

한다. 이는 국가 차원 혹은 지방자치단체의 대응 관리기관이 유기적으로 협업하고 정보를 공유할 수 있도록 정보가 생성 및 제공되어야 할 것이다.

셋째, 방재교육형 화산재해지도가 제작, 배포될 수 있는데, 시나리오 기반 Map을 통해서 교육이 가능하다. 여기에서 과거이력 누적 Map이나 위험 예측에 의한 정보는 보조적으로 활용가능하며, 특히나 공간적인 범위가 작아질수록 이들 구성요소는 중요도가 높아져야 한다.

6. 토의 및 결론

기존의 재해지도 개념을 살펴보고, 국내외 재해지도 사례를 분석하여 화산재해지도의 구성 요소를 도출하였으나 본 연구에서도 논의되어야 할 사항이 있다.

첫째, 앞서 구상한 화산재해지도는 최첨단 정보통신기술의 발달에 의해 최첨단 기술을 활용하여 여러 정보를 중첩하여 표현할 수 있다. 하지만 기술적으로는 많은 양의 정보를 중첩하는 것이 가능하지만 실질적으로 가독성 및 정보전달력을 고려할 때 가장 최적의 정보량이 어느 정도일지는 추후 연구가 필요한 사항이다.

둘째, 누적된 이력을 바탕으로 한 시나리오 기반의 다양한 결과를 생산할 수 있더라도 대표 Map의 설정에 따라 결과 값들이 상이하게 나타날 것이다. 이를테면 화산분화지수(VEI) 3을 기준으로 한 지도를 대표 Map으로 선정하느냐 혹은 그 이하, 그 이상의 값을 대표 Map로 설정했을 때에는 지도상의 정보가 다르게 표출된다고 볼 수 있다. 따라서, 최선의 교육목적을 위해서 10단계의

화산분화숫자의 시나리오 결과로 10개의 지도가 만들어졌을 때, 교과서에는 어느 단계의 결과물 모의를 게재할 것인가에 대한 의사결정이 필요하다. 신문방송의 경우 극단의 사례를 통해 방재의식을 고취하기 위한 목적으로 영향력이 큰 시나리오를 선정하기가 쉽다. 실제 확률이 낮은 극단의 모의결과물을 배포하는 것은 재해에 대한 불안감의 상승을 유발하는 문제도 발생시킬 수 있으므로 가능성이 높은 수준에 근거하여 상, 중, 하 3단계 정도의 모의 결과를 나란히 제공할 것인가 등의 논의가 있어야 한다.

셋째, 피해지도 값은 결국 최종적으로 사용자에게 최적의 재해 정보, 즉 예방과 대응을 위한 정보를 제공하기 위한 것이다. 정보제공 도구로서 지도를 활용하는 경우 공간 단위는 매우 상이한 결과를 나타내거나 정보 전달력에 있어서 그 차이가 크다. 이러한 논의에 대해 교육용 Map에는 대륙이나 국가 단위의 분석용 Disaster Map이 요구될 것으로 판단되며, 대피용 Map으로는 화산 혹은 인근이 마을 단위, 대피소 기준 단위 등 소규모 단위의 상세 지도가 제공되어야 할 것이다.

본 연구는 다양한 재해지도의 국내외 활용사례를 분석하여 유형화하였으며, 이를 바탕으로 화산재해지도의 구성요소를 도출하고 활용방안을 모색하고자 하였다.

재해지도는 통상 Hazard Map, Risk Map, Damage Map으로 구분되는데, 이는 순서대로 재해현황도, 재해위험도, 재해피해지도라고 해석할 수 있다. 본 연구에서는 이들 세 가지 종류의 재해지도를 통해 국내 재해지도 현황을 살펴보고, 국외 화산재해지도에 대해 분석하였다. 국내에는

침수, 지진과 관련된 재해지도는 법·제도적으로 규정이 마련되어 있으나, 화산재해지도의 경우 연구단계에 그치고 있는 실정이다.

해외 화산재해지도의 경우, 대륙별, 국가별, 용도별 다양한 화산재해지도가 생성되고 있다. 일본의 경우, 하나의 화산이 분화한 경우라도 인적 피해예상 범위, 산림재해, 화산재의 경계 범위 등이 용도에 따라 나뉘어 종이 지도첩으로 제공된다. 같은 아시아 지역이지만 인도네시아의 경우에는 매우 작은 단위의 화산인근 주변 마을 정도의 공간정보를 기반으로 용암이 흐르는 경로를 표시한 지도를 각 가정에 한 장씩 배포한다. 그 외 유럽이나 아메리카 대륙의 경우, 분화빈도가 낮은 편이지만, 예측과 대응을 위한 지역별 재해지도 연구가 다수 진행되고 있음을 확인하였다.

최종적으로 본 연구에서는 화산재해지도가 세 가지 구성요소를 갖고 있으며, 활용 용도에 따라서 공간적인 범위가 함께 고려될 때 최적의 화산재해지도로 생성될 수 있음을 주장하였다. 하지만 이러한 논의는 앞으로도 꾸준히 다루어져야 하며, 다만 이번 연구는 화산재해지도의 구성요소를 도출하고, 이를 토대로 화산재해지도의 활용방안을 모색하였다는 점에서 연구의 함의를 갖는다.

감사의 글

본 연구는 소방방재청의 백두산화산대응기술개발사업인 ‘화산재해 대응 국제협력 네트워크 기반 구축’[NEMA-백두산-2012-4]과제의 지원으로 이루어졌습니다. 이에 감사드립니다.

주

- 1) 자연재해의 정의에 대해서 『자연재해대책법』 제2조 제2호에서 정의하고 있다. 즉, ‘자연재해’란 ‘태풍, 홍수, 호우, 강풍, 풍랑, 해일, 대설, 낙뢰, 가뭄, 지진, 황사, 적조, 조수, 그 밖에 이에 준하는 자연현상으로 인하여 발생하는 재해’를 말한다.
- 2) 소방방재청 공고 제2013-179호. 지진재해대책법 제12조에 따라 『국가지진위험지도 및 지진구역·지진구역계수』를 정하여 공고하였다.
- 3) 벨기에 루뱅대학 부설 재난역학연구센터(Centre for Reserach on the Epidemiology of Disasters, CRED)에서 생산하는 세계재난데이터베이스이다. <http://www.emdat.be> 에서 관련 정보를 구득할 수 있다.

- 4) 다만, 이들을 차별적으로 구분할 수 있는 한글 어휘가 부적절한 관계로 다음과 같은 영어단어로 표현하는 것이 아쉽다. 이들 세 가지는 앞서 ‘재해’라는 사건이 발생했을 때부터 그 이후 단계까지 설명할 수 있는 다의적 개념이라고 하겠다. 따라서 사용자에게 따라 의미의 경계도 불분명한 것이 현실이다. 본 연구에서 화산재해지도 작성을 위한 방안을 마련하는 대상은 바로 ‘재해’의 광의의 개념적 접근으로서 Disaster Map으로 포괄한다.
- 5) 주요 내용을 살펴보면, 국가지진위험지도(재현주기 50년, 100년, 200년, 500년, 1,000년, 2,400년)에 재현주기 4,800년 지도를 추가하였고, 지진구역은 2개 구역(I 및 II구역)으로 구분하되, 지진위험도 평가 결과에 따라 지진 II구역이던 전라남도 남서부지역을 지진 I구역으로 상향조정하였으며, 각 지진구역에 해당하는 지진구역계수 값(I구역 0.11g, II구역 0.07g)은 지진위험도 평가결과를 고려하여 현행대로 유지한다.
- 6) 화산회를 포함하는 화산쇄설물이 화산의 사면에 쌓여 있다가 호우가 발생하여 물로 포화되면서 점성이 약해지고 유동성이 커지면서 발생하는 현상이다. 특히 AD 79년 베수비오(Vesuvius) 화산분출 시 화산이류가 발생하여 산지의 서쪽 사면 밑에 있었던 허큘라니움(Herculaneum)마을을 뒤덮은 일이 있었다(한국지리정보연구회, 2006).
- 7) 분화 시에 방출되어 공중을 날아 퇴적한 화산재

문헌

- 김남신, 2011, 시물레이션에 의한 백두산 화산분출 영향범위 분석, 한국지역지리학회지 17(3), 348-356.
- 김성욱, 최은경, 정수정, 김상현, 이길하, 윤성효, 2013, 백두산 화산분화에 의한 화산이류 범람지역 예측 연구, 한국지구과학회지 34(6), 479-491.
- 김혜원, 박재은, 2013, 대형 화산재해 사례조사를 통한 방재대응 분석, 한국방재학회 13(2), 151-156.
- 박 경, 2013, 백두산 화산 관련 연구 동향-휴화산/활화산 논쟁과 관련하여-, 한국지형학회지 20(4), 117-131.
- 박용재, 장은미, 2013, 화산재로 인한 경제적 피해 산정: 피해지도 제작 및 산출 모델링 적용 방안, 한국지도학회지 13(3), 89-102.
- 배선학, 2007, 2006년 인제군 집중호우의 원인 분석, 한국지역지리학회지 13(4), 396-408.
- 윤성효, 2012, 백두산 대폭발의 날, HAEMAGEE.

- 윤성호, 2013, 백두산 화산분화에 의한 화산이류 범람지역 예측 연구, 한국방재학회 학술발표대회지.
- 장은미, 2005, 지리정보기반의 재해 관리시스템 구축(I)-민간 보험사의 사례, 태풍의 경우-. 대한지리학회지 40(7), 106-120.
- 한국지리정보연구회, 2006, 자연지리학사전, 한울 아카데미.
- 황유정, 2006, 홍수에 의한 침수 취약지역 예측에 관한 연구, 한국지역지리학회지 12(1), 172-178.
- Haynes, K., Barclay, J., Pidgeon, N., 2007, Volcanic Hazard Communication Using Maps: An Evaluation of their effectiveness, *Bulletine Volcanol*, 70:pp.123-138.
- Kitagawa, S., Operation of eruption alert levels and related efforts, Japan's new volcanic disaster prevention structure - eruption warnings, eruption alert levels and evacuation system in the event of an eruption, *Volcanological Society of Japan 2008 autumn convention publics symposium speech draft*.
- Lockwood J. P. and Hazlett, R.W., 2010, *Volcanoes Global Perspective*, Wiley-Blackwell.
- Monmonier, M., 1996, *How to lie with maps (second Edition)*, University of Chicago Press, Chicago.
- Monmonier, M., 1997, *Cartographies of danger: mapping hazards in America*. University of Chicago Press, Chicago.
- Mt. Fuji Volcanic disaster prevention measures. <http://www.bousai.go.jp/fujisan>
- Muehrcke, P. C. 1978, *Map use: reading, analysis and interpretation*, JP Publications, Madison, WI.
- Newhall, C. 2000, Volcano warnings. In: Sigurdsson H; Houghton B; McNutt S; Rymer H; Stix J (eds.) *Encyclopaedia of volcanoes*, Academic, New York, 1185-1197.
- Paripurno, E.T., 2013, Disaster Risk Assessment Methodologies for Community Level, Case Study from Merapi Volcano Eruption & Lahar Prone Area - Indonesia, *The 3rd International Workshop for Volcanic Disaster Preparedness*, 2013.11.3.~11.5., Volcanic Disaster Preparedness Research Center.
- Rodríguez-González, A; Fernández-Turiel, J. L; Pérez-Torrado, F. J; Hansen, A; Aulinas, M; Carracedo, J. C; Gimeno, D; Guillou, H; Paris, R; Paterne, M. 2009, The Holocene volcanic history of Gran Canaria island: implications for volcanic hazards, *Journal of Quaternary Science*, 24(7):697-709.
- Sigurdsson, H., Houghton, B. F., McNutt, S.R., Rymer, H., and Stix J. (ed.), 2000, *Encyclopedia of Volcanoes*, Academic Press.
- Thouret, J.-C., Lavigne, F., Kelfoun, K., Bronto, S., 2000, Toward a revised hazard assessment at Merapi Volcano, Central Java, *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 100, 479-502.
- 日本 内閣府, 2002, 富士山噴火による被害想定調査, 2002.03.
- EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database, Université catholique de Louvain, Brussels, Belgium.
- FEMA <http://www.fema.gov/risk-mapping-assessment-planning>
- http://www.emdat.be/result-disaster-profiles?disgroup=natural&period=1900%242014&dis_type=Volcano&Submit=Display+Disaster+Profile
- USGS 지진재해 <http://earthquake.usgs.gov/hazards/>
- 아시아투데이, 인도네시아 시나봉 화산, 대규모 분출 - 홍수까지 겹쳐 '최악', 2013년 12월 31일자. Accessed <http://www.asiatoday.co.kr/news/view.asp?seq=917451>
- 교신 : 박경(성신여자대학교 지리학과 부교수, kpark97@sungshin.ac.kr)
- Correspondence : Park, Kyeong (Associate Professor, Sungshin Women's university)(kpark97@sungshin.ac.kr)
- (접수: 2014.01.08, 수정: 2014.02.10, 채택: 2014.02.20)