

백두산 화산분화에 대처하기 위한 계획과 전략

이길하^{1,*} · 김성욱²

¹대구대학교 토목공학과, 712-714, 경상북도 경산시 진량읍 대구대로 201

²주식회사 GI, 611-839, 부산광역시 연제구 중앙대로 1048번길 11

Plan and Strategy for Probable Volcanic Eruption of Mt. Baekdusan

Khil-Ha Lee^{1,*} and Sung-Wook Kim²

¹Department of Civil Engineering, Daegu University, Gyeongbuk 712-714, Korea

²GI Co. Ltd., Busan 611-839, Korea

우리민족의 영산으로서 백두산(Fig. 1)은 지리산까지 이르는 백두대간의 시발점으로서 한반도 모든 산맥들의 중심점이다. 백두산은 특히 우리민족의 모태인 단군신화의 얼이 서려있는 성지로 신성시 되어 왔으나, 이는 여진족에게도 마찬가지로 숭배의 대상이었다.

활화산인 백두산은 약 200만 년 전부터 화산 활동이 약화되면서 지금의 산세를 형성했는데, 고생대에서 신생대에 이르는 여러 시대의 지층들이 분포한다. 특히 중생대와 신생대의 구조운동으로 단열구조, 파열 구조, 단층들이 발달해있다. 기후는 전형적인 고산 기후이며 기후 변화가 한국에서 가장 심한 곳 중의 하나인 것으로 알려져 있다. 연 평균 기온은 6-8°C이며 최고 기온은 18-20°C이다. 연평균 상대습도는 74%이며, 여름에 높고 겨울에 낮은 전형적인 한반도 특성을 보인다. 북서풍과 남서풍이 강하게 불고 최대 풍속은 40 m s⁻¹에 달하고 연중 강풍일수는 약 270일이며 천지 부근에서는 강한 돌풍이 자주 발생한다(www.doopedia.co.kr).

백두산은 북위 41.98°, 동경 128.08°에 위치하며 해발고도는 2,750 m이고 천지의 최고 수심은 373 m이

다, 최고 수심에서 저수지 면적은 9.2 km²로 표면수위의 해발고도는 2,192 m이다. 저수지 수면에서 가장 높은 칼데라(caldera) 측면은 558 m이고, 16개의 봉우리에 의해 둘러 싸여져 있는데 이 안에 저장된 수량은 약 20억 톤으로 추정한다. 백두산 천지에는 북쪽으로 해발고도가 두드러지게 낮은 지점이 있는데 이 지점으로 물이 흘러나가 이도백하(Erdaobaihe River)를 거쳐 높이 100 m 길이 1,080 m에 이르는 송화담(Songhua lake reservoir)으로 유입된다(Bao et al., 2011). 이 유역은 경사가 0°에서 73°에 이르는 산과 삼림으로 이루어진 매우 가파른 지형을 이루는데 이 때문에 유속이 매우 빨라 해발고도가 410-2,740 m가 되는 고지대임에도 불구하고 연중 내내 얼지 않고 흐름이 유지되는 특성을 가지고 있다(Bao et al., 2011).

여진족의 전설은 기원전 1000년경에 백두산에서 화산활동이 있었다고 전하고 있으며, 조선왕조실록에는 1668년, 1702년, 1903년에 소규모 분화를 했다고 기록되어 있다(Wei et al., 2003). 정확한 연대는 불명하지만 약 1000년 전에 ‘Millennium eruption’이라고 부르는 대규모 화산활동이 일어났는데(Cui et al., 2000; Horn and Schmincke, 2000), 이는 지난 2000년 동안 지구상에서 일어난 가장 강한 화산활동이라고 한다(이는 중국 논문의 주장인데, 저자들이 뉴질랜드의 루아페후(Ruapehu) 화산관측소를 방문했을 때 그곳의 화산학자는 이 루아페후 화산이 세계에서 최대 규모의 화산활동을 일으킨 화산이라고 알려주었다). 과거 백두산의 화산분화는 그 규모가 워낙 방대해서 일본 북해도에서까지 화산재 흔적이 나타나는데,

*Corresponding author: klee@daegu.ac.kr

Tel: +82-53-850-6522

Fax: +82-53-850-6529



Fig. 1. Scenic view of Mt. Baekdusan.

떨게는 전 세계적으로 환경적인 영향을 미쳤을 것으로 보인다. 이에 대한 연구는 현재 우리나라보다 중국과 일본에서 더 활발하게 진행되고 있는 실정이다.

중국 지진국 활화산 연구소(Department of Active Volcano Research, Institute of Geology)의 조사 분석(Stone, 2010)에 의하면 백두산 화산 활동은 2003-2005년도에 들어서 활발해졌는데 평소에는 약 100회 년⁻¹ 미진이 있었던 것이 2003년도에 들어서는 1293회 년⁻¹의 미진으로 늘어났다. 이 미진과 동시에 해발고도는 약 6.8 cm 상승했고 헬륨-3: 헬륨-4의 비율이 거의 두 배 상승했다. 헬륨-3은 발생지가 맨틀이므로 흔히 이 두 원소의 비율이 마그마 활동의 척도로 이용된다. 2006년도 이후에는 비교적 소강국면이 되었으나 다시 2010년에 들어 1월 한 달에 58회의 미진이 관측되었다. 중국 지진국 활화산 연구소장 Xu (Dr. Jiandong Xu, 許建東)는 향후 몇 년 안에 백두산이 활동기에 접어들 수 있다고 전망했으며, 일본 지진 전문가 미야모토도 차기 분출이 Millennium eruption보다 규모가 작을 수는 있어도 활동이 재개할 가능성이 있다고 했다(Stone, 2006, 2010). 이에 대해서는 국내의 지진 전문가들도 일반적으로 동의하고 있어 백두산의 화산분화가 향후 몇 년 또는 십 수 년 안에 실제로 우리의 눈앞에서 일어날 가능성은 충분해 보인다.

화산, 지진, 지진해일, 태풍 등의 자연재해에 대해서 현재의 과학기술로 재해(hazard) 규모를 줄일 수는 없으나, 위험(risk)을 효과적으로 관리함으로써 피해를 경감시킬 수 있다. 2000년 이후 자연재해는 국경을 초월한 국제적인 문제가 되었고, 재해의 규모와 피해를 예측하는 기술의 필요성이 요구되고 있다. 같은 규모의 재해라 하더라도 시설과 대응 능력이 떨어지는 동남아시아 국가에서 더 큰 피해가 생기는 것을 보면 자연재해도 국가의 경제규모에 따라 반비

례한다고 하겠다. 특히 과거에는 자연재해에 대한 대응 방안이 주로 사후복구 위주의 행정에 집중되었으나, 현재는 자연 현상을 이해하고 위험을 사전에 관리하여 피해 규모를 축소하는 선제적 방재로 변화하고 있고 이에 대한 기술 개발을 해야 하는 것이 현실이다. 현재의 방재기술은 재해의 발생이 복합적인 양상인 데 반해서 대응 방안은 대부분의 자연재해 유형에 대해 일괄적으로 작성되어 있어서 예측과 실제 발생하는 재해의 정도가 상이한 경우가 많다. 특히 화산 활동과 같이 특수한 유형의 자연현상은 상황에 따라 발생 확률과 이에 적합한 예측기술의 개발이 중요하다. 자연재해 예측기술의 가치는 정확한 분석에 기초한 신뢰성에 있는 바, 이를 위해서는 활동성 화산에 대한 선행 자료의 분석과 이에 기초한 합리적인 분화 시나리오의 구축이 요구된다. 예측기술의 가치는 정확한 적중률에 있으나 우리나라는 화산 분화에 관하여 축적된 자료(DB)가 거의 없는 실정이다. 이러한 상황을 극복하면서 화산분화 예측기술을 발전시키기 위해서는 신뢰성 있는 자료 구축과 이에 기초한 예측시스템 기술의 개발이 중요하다. 또한 화산재해와 같이 복합적인 재해에 대응하기 위해서는 다양한 분야의 융합적인 연구가 필수적이다. 화산분화 대응기술은 지질, 지형, 수리수문, 대기, 지진, 방재, 지반공학, 유체역학, 생태, 환경 등의 공학 및 자연과학의 영역과 더불어 사회, 문화, 경제학 영역의 융합적인 연구와 관련 산업의 연계적인 발전이 요구된다. 또한 화산의 분화와 피해의 추정에 관한 연구결과들을 통합하고 직접 실무에 사용할 수 있는 시스템을 구축하여 화산활동을 감시하는 기술을 증대시키고 이를 운영하는 전문인력의 양성도 필요하다. 또한 백두산의 약 3/4은 중국이 그리고 1/4은 북한이 차지하고 있는 바, 북한보다 정치적으로 접근이 쉬운 중국의 긴밀한 협조를 얻어내야 할 것이다.

끝으로, 화산분화에 따른 경제산업적인 측면에서의 피해를 살펴보자. 우선 동아시아에는 많은 수의 신생대 활화산들이 위치하는 바, 대표적으로 세계 화산의 6분의 1이 집중된 인도네시아에서는 19세기에 탐보라 화산과 카라카타우 화산에서 초대형 화산분화가 일어났다. 이로 인해 7만 명이 사망하고 북반구의 여름기온이 평균 0.5°C가 떨어지는 기후변화가 유발되었다. 1991년 6월 14일에는 필리핀 마닐라 서북방 90 km 지점에서 피나투보 화산이 분화해서, 170여명의 사망자와 11만 여명의 이재민이 발생했다. 유럽에서는 2010년 3월 20일에 아이슬란드의 에이야프랄라요쿨 화산이 분화했는데, 이때 분출된 화산재는 영국을 포함해서 북해와 동구권 대다수 국가들에 직접적인 피해를 주었고 러시아에서까지 화산재 피해가 일어났다. 화산재가 본격적으로 분출하기 시작한 2010년 4월 14일 부터 4월 16일까지의 3일 동안 유럽 전역에서 5만여 편의 항공기 운항이 취소되었고, 화산이 분화한 직후인 2010년 3월 20일 부터 4월 20일까지 한 달여간에 세계 항공사들이 입은 손해액은 10억 달러를 넘었으며, 유럽 전체의 관광수익 피해액은 30억 달러를 넘는 등 경제 전반에 걸쳐 막대한 손실이 일어났다. 이러한 직접 피해 외에도 화산 분출물의 확산에 따른 항공기의 엔진과 연료 계통의 문제, 정밀산업의 오차율 증가, 대기질 악화에 따른 공중보건의 문제, 기후 변화에 따른 농축산업의 문제 등으로 다양한 산업사회가 영향을 받았다. 사회문화적 측면에서도 화산재의 확산은 주거지를 포함한 사회기반 시설물에 막대한 피해를 초래할 수 있으며 아울러 사회전반에 걸쳐서 불안요소로 작용할 가능성이 높다. 특히 백두산의 상징성을 생각한다면 백두산의 분출은 정서적으로 대다수 국민에게 강도 높은 사회적 불안감을 줄 수 있다는 것을 알 수 있다.

그러면 백두산 화산분출에 대한 연구로써 기대되는 연구결과는 무엇이 되어야 하고 또 이것은 어떻게 활용되어야 하는가? 우선 백두산의 화산분출을 예지할 수 있는 관측 시스템을 구축해야 한다. 그리고 화산폭발에 대한 여러 시나리오가 구축되어야 하고 그 피해를 예측해야 한다. 그리고 가시적인 화산폭발 시나리오별로 화산재, 화쇄류, 화산성 홍수, 화산 이류의 피해 예측 프로그램과 이에 연계된 자연재해 피해 저감 방안이 도출되어야 한다. 그러면 이들은 정부에서 수행하는 각종 재난 관련 대피 훈련에서 교육과 홍보 자료로 활용할 수 있을 것이다. 아울러 세

계 수준의 국내 인터넷 인프라를 활용하면 온라인 방재교육 및 홍보시스템의 기반을 마련할 수 있을 것이다.

무엇보다도 중요한 것은 관측자료, 확률론적 예측 프로그램, 화산 분화에 대응한 예측시스템이 방재시설 계획 수립을 위한 기초 자료가 된다는 것이다. 백두산의 폭발적인 화산분화로 인한 화산재 오염물질에 따른 인명, 환경, 사회기반시설 피해 중심의 종합 피해 예측을 통해서 대응시나리오를 마련할 수가 있다. 또한 선진국에 비해 미진한 화산활동 연구에 대한 저변 확대와 관련분야 전문가 양성을 유도하며, 예측 기술의 적용과 보급에 민간 산업체를 참여시켜 자연재해에 대응한 방재산업의 활성화에도 기여할 것이다.

감사의 글

본 연구는 소방방재청의 백두산화산대응기술개발사업인 ‘화산재해 피해예측 기술개발’[과제번호(NEMA-백두산-2012-1-2)]과제의 지원으로 이루어 졌습니다. 이에 감사드립니다.

References

- Bao, K., Wang, G., Lu, X., and McLaughlin N.B., 2011, A potential flood hazard caused by Tianchi volcano eruption in Changbai Mountain, Northeast China. *Journal of Mountain Science*, 8, 677-681.
- Cui, Z., Jin, D., and Li, N., 2000, The historical record discovered and its significance for the 1199-1200AD large eruption of Changbaishan Tianchi Volcano. *Acta Petrologia Sinica*, 16, 191-193 (in Chinese).
- Horn, S. and Schmincke, H.U., 2000, Volatile emission during the eruption of Baitoushan volcano (China/North Korea, ca. 969 AD). *Bulletin of Volcanology*, 61, 537-555.
- Stone, R., 2006, A threatened nature reserve breaks down Asian borders. *Science*, 313, 1379-1380.
- Stone, R., 2010, Is China's riskiest volcano stirring or merely biding its time?. *Science*, 329, 498-499.
- Wei, H., Sparks, R.S.J., Liu, R., Fan, Q., Hong, H., Zhang, H., Chen, H., Jiang, C., Dong, J., Zheng, Y., and Pan, Y., 2003, Three active volcanoes in China and their hazards. *Journal of Asian Earth Science*, 21, 515-526.

2013년 9월 23일 접수
2013년 10월 3일 수정원고 접수
2013년 10월 7일 채택