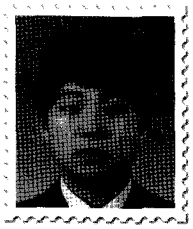
백두산 화산 폭발이 우리에게 미치는 영향



박 창 열
고려대학교 공과대학
건축사회환경공학부 박사수료
changyeol@korea.ac.kr

유 철 상
고려대학교 공과대학
건축사회환경공학부 교수
envchul@korea.ac.kr

1. 서론

지구환경은 이상기후, 잦은 지진과 화산 폭발 등으로 점점 악화되고 있다. 이러한 사실은 최근 언론 보도를 통해 자주 접하게 된다. 이상기후의 진행 속도는 다양한 기후인자의 변화를 파악하여 어느 정도 예측해 볼 수 있다. 그러나 지진과 화산 분화의 발생시기와 그 규모를 예측하는 일은 현실적으로 매우 어렵다. 얼마 전 일본에서 발생한 진도 9.0의 대지진에서도 볼 수 있듯이 대규모의 지진은 크고 작은 여진과 지진해일 등과 같은 2차 피해 징후를 수반한다. 사실 뉴스를 통해 일본의 소식을 접하면서, 백두산과 같은 대규모의 화산이 폭발한다면 우리에게 어떠한 영향을 미칠지 의문이 들었다. 이는 화산 폭발이 전 지구적 기상이변 현상뿐만 아니라 대규모의 지진과 지진해일을 수반하는 엄청난 규모의 피해를 초래할 수 있기 때문이다. 사실 역사적으로도 초대형 화산 분출은 인류의 중대한 위기를 초래하였었다.

전 세계적으로 재난 상황을 불러오기에 충분했던 초대형 화산 폭발은 매 10만년마다 한번 정도 발생하였다. 이는 초대형 화산 분출로 인해 지구상의 인류가 중대한 위기에 처할 수 있음을 뜻한다. 지난 수백 년 동안 대형 화산 분출로는 Tambora(1815년), Krakatoa(1883년), Pinatubo(1991년) 화산 등이 있었으며, 이로 인해 엄청난 인명피해와 장기간에 걸쳐 기상이변 현상이 발생하였다. 이보다 더 큰 규모의 초대형 화산이 폭발한다면, 그 영향은 훨씬 심각할 것으로 보인다. 아시아에서 발생한 화산 폭발의 영향으로 북미대륙의 땅이 황폐화될 수도 있으며, 화산 분출 후 지구의 기후는 심각한 변화를 가져올지도 모른다.

2010년 4월 아이슬란드의 에이야프얄라요쿨

(Eyjafjallajokull) 화산 폭발 이후 백두산의 폭발 시기에 대해 각종 언론 매체에서 심심치 않게 보도하고 있다. 이는 지난 몇 년 동안 백두산 천지 아래에서 중·소규모의 지진 발생 빈도가 증가하고 있고, 그 규모도 확대되고 있기 때문이다. 실제로 백두산 일대에서는 1999년 이후 최근까지 모두 3,000여 차례 이상의 지진이 발생했으며, 그 빈도도 높아지고 있다(윤성효, 2010). 2010년 2월 북한과 중국, 러시아의 접경지역에서 진도 6.7의 강진이 발생했으며, 그 진앙지와 백두산과의 거리는 불과 200km이였다. 2009년 8월 5일에는 지린성 바이산시 징위현과 푸송현 경계 지역에서 규모 4.6의 지진이 발생했다. 더욱 빈번해지는 지진 활동이라든지 주변의 수목이 말라죽는 현상은 화산 활동의 조짐으로 볼 수 있다. 이러한 현상이 백두산 주변에서 발견됨에 따라 화산 폭발의 우려는 당연해 보인다.

현재 우리나라에서도 백두산 화산 폭발에 대한 관심이 급증함에 따라 국가재난기구, 전문연구기관에서 그 대처 방안에 대한 관련 연구를 계획 및 추진 중에 있다. 먼저 2011년 1월 31일 국립환경과학원은 올해 역점 연구과제로 백두산 화산 폭발 환경영향 연구를 추진할 계획이라고 밝혔다. 관계자에 의하면 백두산 천지가 형성된 1,000여 년 전과 같은 폭발 규모를 가정해 화산이 폭발할 때 이산화황과 오존 등 한반도 대기 질과 온도가 어떻게 변하는지는 예측하고, 이를 기반으로 체계적인 대응 방안을 마련할 것이라고 전한 바 있다. 환경과학원은 지난 2009년 백두산 폭발 사전연구를 실시해 그 결과를 공개한 바 있다. 이에 따르면 50km^3 이상의 화산재가 분출한 것으로 알려진 1,000년 전의 폭발이 현재 재연될 경우 황산화물이 8km 이상 수직 상승한 후 북미, 그린란드 대륙까지 일주일 내에 번지는 것으로 나타났다. 특히 하늘로 퍼진 황산화물은 햇빛을 광범위하게 반사하면서 한반도 등 동아시아 일대의 기온이 2개월여간 2도 가량 하락시킬 것으로 전망됐다. 이 경우 농산물 작황은 물론 국민 보건과 산업에 직접적인 타격을 미치게 될 것이다. 이에 환경과학원측은 앞으로 2년간 실제 백두산이 폭발할 경우 화산재 이동범위, 한반도 대기 질과 기후변화, 국가산업에 미치는 영향을 정밀하게 분석할 계획이다.

한·중·일의 국가재난기구에서는 화산 폭발과 지진, 해일 등의 재해가 초미의 관심사로 부각되면서, 기술교류·자료공유와 같은 국가적 협력 체계를 구축하고, 지진 해일과 백두산 주변의 지진 관측에 대한 공동연구를 진행하고 있다. 아울러 백두산 주변에서 나타나고 있는 여러 징후들이 화산 폭발을 암시하고 있는 가운데 백두산의 화산 폭발은 전 세계인의 관심사로 부각되었다. 이에 본 원고에서는 화산 폭발의 의미와 화산 폭발의 시기를 정밀히 예측할 수 없는지 살펴보고, 화산 폭발의 영향이 과연 어느 정도인지 정리하였다. 아울러 전 세계적으로 초대형 규모인 백두산이 폭발한다면, 우리에게 어떠한 영향을 미치게 될지 정리하였다.

2. 화산 폭발 가능성과 그 피해 규모

2.1 화산 분화와 폭발 시기 관측

화산의 화구를 통해 마그마가 지표로 나오는 현상을 화산 분화(eruption)라고 한다(윤성효, 2010). 이러한 화산 분화는 마그마의 물성에 따라 분출(extrusive eruption)과 폭발(explosive eruption)로 구분된다. 다시 말해 화산 분출은 화구로부터 마그마가 액체 상태로 조용하게 뿜어져 나와 화구 주변의 낮은 지형이나 골짜기를 따라 흘러가는 현상을 말하고, 화산 폭발은 마그마가 화도를 통해 산산이 부서지거나 조각나 고체 상태로 화구에서 격렬하게 뿜어져 나오는 현상을 일컫는다(윤성효, 2010).

화산 폭발을 예측하는 시스템은 화산 분화의 요체인 마그마를 근거로 하며, 마그마의 움직임을 얼마나 정밀하게 관측하느냐가 그 핵심이 된다. 이를 관측하기 위한 방법은 직접 관찰과 간접 관찰이 있는데, 간접적인 관찰의 예로 지진파를 이용하는 방법을 들 수 있다. 즉, 지상에서 지진

파를 발사하여 마그마의 상태를 확인하는 것이다. 지진파는 액체인 마그마를 만나면 고체인 암석과 다른 진행 경로를 보이게 된다. 이와 같은 방법으로 마그마의 상태를 간접적으로 확인할 수 있다. 그 두 번째 방법으로는 위성 GPS(Global Positioning System)와 지상의 위치 정보 측정 장치를 결합한 DGPS(Differential GPS)로 해당 지점의 지형 변화를 읽어 내는 것이다. 마그마가 지하에서 부풀어 지상의 산을 들어 올릴 때 DGPS를 사용해 땅속의 마그마 변화를 간접적으로 알 수 있다. 위성을 사용한 또 다른 관측 도구로는 합성영상 레이더(SAR: Synthetic Aperture Radar)가 있다. 합성영상 레이더는 가시광선보다 파장이 긴 마이크로파를 사용한다. 인공위성에서 합성영상 레이더를 사용해 마이크로파를 지상으로 보내면 마이크로파는 지하 수 m까지 내려가 땅속 정보를 위성에 전달한다. TV보다 파장이 긴 전자기파를 사용하는 라디오 방송을 TV가 나오지 않는 지역에서도 들을 수 있는 것과 유사하다.

사실 화산 폭발 시기를 보다 정밀히 예측하기 위해서는 간접 관찰에 비해 직접 관측 방법이 확실하다. 즉, 땅속 수 km까지 뚫고 들어가서 마그마의 상태를 직접적으로 관찰하는 것이다. 일례로 일본 규에 있는 운젠 화산은 1991년 용암이 분출하여 1995년에 화산 활동이 멈췄다. 이후 유네스코는 운젠 화산의 상태를 예측할 수 있는 국제 연구를 10여 년 전부터 시추를 통해 진행 중에 있다. 이를 위해 운젠 화산 주변에 시추공을 지하 2km까지 뚫고, 이를 통해 획득한 시추공으로 지하수, 암석의 온도 변화를 측정해 마그마의 움직임을 살펴보고 있다. 최근 국내 학계에서는 백두산의 화산 폭발 가능성을 제대로 평가하기 위해 북한과 중국과의 협력을 통해 백두산 주변의 시추 작업과 지진 관측의 필요성을 제기하고 있다.

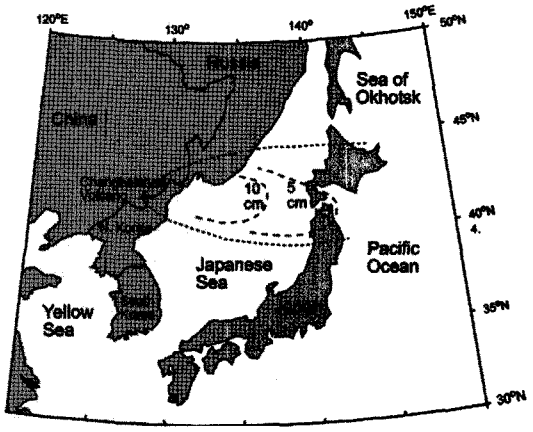
2.2 화산 분화에 의한 피해규모

현재 지구상에는 약 600여 개의 활화산이 존재하는 것으로 알려져 있다. 이런 추정치는 과거에 분출된 적이 있는 화산의 경우만 포함한 것이다. 더욱 놀라운 사실은 지구상에서 평균적으로 매년 50-60 개의 화산이 분출되고 있다는 점이다. 화산들은 각각의 특성을 갖고 있으며, 분출에 따른 그 피해도 다르다. 지구상에서 큰 피해를 초래한 주요 화산들의 폭발년도와 분출물, VEI(Volcanic Explosivity Index) 지수와 특징을 요약하면 다음 표와 같다.

(표-1) 지구상 화산 분출 사례

년도	국가	화산명	VEI	주요 분출물	주요 피해
79	이탈리아	베수비오	5	화산재	약 16,000여명 사망
1169	이탈리아	에트나	-	용암	약 15,000여명 사망
1669	이탈리아	에트나	-	용암	약 10,000여명 사망
1792	일본	운젠	-	용암	약 15,000여명 사망, 인근해안에서 지진해일 발생, 화산 붕괴로 인한 피해 속출
1815	인도네시아	탐보라	7	화산재	약 92,000여명 사망, 북반구 그해와 지구평균기온 0℃ 감소, 향후 1년간 여름이 없는 지역 속출
1883	인도네시아	크라카타우	7.1	화산재, 가스	약 36,000여명 사망, 인근해안에서 지진해일 발생
1902	마르티니크	몽펠레	-	화산쇄설류	약 30,000여명 사망, 분출된 화산쇄설류 범람
1902	과테말라	산타마리아	6	화산재	약 5,000여명 사망
1912	미국	노바럽타	6	용암, 화산재	약 15km3의 화산물질 분출
1985	콜롬비아	루이스	-	용암, 화산재	약 25,000여명 사망, 녹은 만년설로 인한 홍수 발생, 주변 하천범람 및 산사태 속출
1991	필리핀	피나투보	6	용암, 화산재	약 900여명 사망, 약 250,000명 이재민, 향후 2년간 지구평균기온 1℃ 감소
2010	아이슬랜드	에이야프얄라요쿨	4	화산재	전 세계적 항공교통 대란

작년에 발생한 아이슬란드의 에이요프얄라요쿨 화산이 큰 피해를 준 것은 강하화산재에 의한 피해로서 항공기 결항에 따른 경제적 손실이었으며, 화산재는 인간의 건강에도 큰 영향을 미친다. 화산재는 바람을 타고 광역적으로 확산되기 때문에 그 피해는 더욱 확대된다. 과거 백두산 화산 폭발로 인해 발생한 화산재가 일본 지역에서도 발견되었다(Machida et al., 1983). 그림 1은 과거 백두산에서 폭발한 화산재가 일본 북부까지 퇴적된 범위를 나타낸 것이다. 과거 해상에서 자료추출이 쉽지 않아 확인하기 어려웠지만 시추를 통한 조사 결과 백두산에서 분화한 화산재와 성분이 똑같았으며, 일본에서 발견되는 화산재 층에서



〈그림 1〉 1000년 전 백두산 화산 폭발 당시 화산재의 영향 범위 (Zou et al., 2010)

도 백두산 화산재의 성분과 똑같음이 입증되었다. 이러한 명백한 증거들은 당시 백두산 화산 폭발이 엄청난 규모였으며, 폭발로 인한 화산재가 얼마나 멀리 이동하였는지 보여준다.

일부 학자들은 북한의 핵실험이 백두산의 화산 활동을 촉발한다는 우려의 목소리를 높이고 있다. 북한은 지난 2009년 진도 규모 4.5의 핵실험을 감행하였었다. 연세대 홍태경 교수는 "핵실험 장소와 백두산과의 거리를 고려할 경우 만약 진도 6.5 이상 규모의 핵실험을 한다면 화산 활동에 충분한 영향을 미칠 수 있다"고 말했다(조선비즈, 2010). 진도 규모 4.5와 6.5는 에너지 단위로는 1,000 배라는 큰 차이가 있기 때문이라고 설명한다. 특히 핵실험과 자연 지진이 맞물린다면 백두산 화산 활동에 더 큰 영향을 미칠 수 있다.

만약 백두산이 폭발한다면 최대 반경 수십 km가 초토화되는 것은 물론 간접피해도 상상을 초월할 것이라는 게 전문가들의 예상이다. 백두산 지하에 있는 마그마는 점성이 매우 높은 유문암질과 조면암질로 구성되어 있다. 점성이 낮은 마그마는 가스를 붙잡아두는 힘이 약해 소규모 폭발이 일어나는 반면, 점성이 높은 마그마는 최후의 순간까지 화산 가스를 억제하여 대규모 폭발로 이어지게 된다(시사저널, 2010). 다시 말해 한참 흔든 탄산음료의 뚜껑을 갑자기 열었을 때와 유사하게 강력한 폭발을 유발할 수 있다는 것이다.

아름다운 풍광을 선사하는 백두산 천지는 화산 폭발 시 폭발력을 증폭시키는 촉매제가 될 것이다. 마그마가 천지의 바닥을 뚫고 나오면 끓는 기름에 물을 부은 격으로 다량의 수증기와 화산재가 수십 km 상공까지 올라가 계절풍을 타고 지구 전역에 피해를 줄 수도 있다. 이러한 경우 항공기의 운항 차질은 물론이고 일조량 감소로 인한 대기근 위험도 점쳐진다. 고려 초기 백두산의 대폭발 당시 화산재는 25km 상공까지 올라갔고, 이로 인해 농작물 피해가 극심해졌을 뿐만 아니라 발해의 멸망으로 이어졌다는 주장도 역사학계 등에서 제기된 바 있다(소원주, 2010).

백두산의 화산 폭발을 기록한 사실들은 조선왕조실록에도 잘 나타나있다. 실록을 찾아보면, "세종 2년(1420년) 5월 천지의 물이 끓더니 붉게 변했다. 소떼가 크게 울부짖었고 이러한 현상은 열흘 이상 지속됐다. 검은 공기는 인근지역으로 가득 퍼졌다"라고 적혀있다. 이어 "현종 9년(1668년) 4월에 한양과 함경도 등 일대에 동시에 검은 먼지가 하늘에서 쏟아져 내렸다"고 적혀 있다. 또 "숙종 28년(1702년) 6월 한낮에 함경도 지역 일대가 갑자기 어두워지며 비린내가 나는 황적색 불꽃이 날아왔다. 같은 날 인근 지역 현성에서는 연기가 가득한 안개가 갑자기 북서쪽 지역에서 몰려들어 사방에 생선 썩는 냄새가 나 사람들을 놀라게 했다. 눈송이 같이 날라 다니던 재는 1촌(약 3cm) 두께로 쌓였고, 재는 마치 나뭇조각 같았다"고 적혀 있다. 이와 같이 실록에 나타난 기록들을 보면, 1413년, 1420년, 1597년, 1668년 그리고 1702년에 천지를 중심으로 화산재와 가스를 내뿜었거나 이를 추정할 수 있게 하는 표현들이 수록되어 있다. 백두산은 이후 1903년 마지막으로 분화한 후 100여 년 넘게 화산활동을 멈춘 상태이다.

2.3 백두산의 화산 분화 가능성

중국 지진국은 2002년 6월 말 두만강 하류 북부의 중국 왕청 지역에서 진도 7.3의 강진이 발생한 이후 백두산 주

변에서 중·소규모의 지진이 급증했다며 폭발 우려가 있다고 밝혔다. 주변 지역에서 발생한 지진의 진동이 백두산 지하의 마그마 층에 전달돼 화산 활동이 촉발된다는 것이다. 실제로 화산성 지진의 빈도는 최근 급증하고 있는 추세이다. 그 발생횟수만 볼 때 1985년 연간 3회였던 것이 2000년에는 102회, 왕청 지진이 일어난 2002년에 747회, 이듬해인 2003년에는 1,139회를 기록했다. 게다가 백두산 정상부가 매년 1-4cm 씩 솟아오르는 것도 심상치 않다. 백두산 정상부의 표고는 2000년대 들어 10cm나 높아졌으며, 이는 밑에 끓고 있는 마그마가 가득 차올라 압력이 증가하면서 지각을 밀어 올리고 있기 때문이다. 이러한 사실은 일본 지구자원 탐사위성이 1992년 9월부터 1998년 10월까지 측정한 데이터와 최근 사진을 분석한 결과이다(시사저널, 2010). 국내에서 중국 정부의 인공위성 사진을 입수하여 분석한 결과, 백두산 정상을 중심으로 표고가 높아지기만 한 것이 아니라 백두산 주변이 풍선처럼 부풀기까지 한 것으로 나타났다.

화산 폭발의 징후는 주변 지역의 지진 발생빈도뿐만 아니라 주변 지역의 온천수 성분에서도 나타난다. 이화여자대학교 김규한 교수는 "최근 용출되는 온천수에서 나트륨과 칼륨이 증가하고 있다는 건 지하 마그마 활동이 활발해지면서 암석에 있는 성분들이 녹았기 때문"이라고 해석했다(한국일보, 2010). 폭발의 도화선이 되는 마그마가 지층 바로 아래까지 올라와 있음을 방증하는 것이다. 고온의 화산가스 방출량이 늘어난 것도 화산 분출 가능성을 뒷받침하는 징표로 꼽힌다. 이 때문에 백두산 일대 나무가 쩍쩍 벌어지고, 나무껍질과 잎 등이 말라비틀어지는 현상도 발견되고 있다. 그리고 화산성 지진의 진앙과 진원을 분석한 결과, 진앙은 대부분 천지 칼데라 호수와 그 주변에 두 방향으로 집중돼 있었고, 진원은 해수면 아래 2~5km에 몰려 있었다. 일부는 천지 호수면(해발고도 2189m)의 지하 1km까지 근접한 것으로 나타났다(매일경제, 2010b).

〈그림 2〉 백두산 주변에서 화산성 지진의 진앙과 진원지 분석 결과 (매일경제, 2010b)

3. 화산폭발이 미치는 영향

3.1 경제적 측면

작년 4월 아이슬란드의 에이야프얄라요쿨 화산 폭발로 분출된 화산재는 두 달 가까이 항공편 결항이나 지연을 유발하면서 지구 반대편의 우리나라에도 유럽 수출 물동량 운송에 차질을 빚었다. 당시 전 세계 항공편의 29%가 결항했으며, 하루 120만 명의 승객이 피해를 입은 것으로 나타났다. 이로 인한 항공업계의 손실만 따져도 하루에 2억 달러에 달한다(매경이코노미, 2010).

전문가들은 백두산 화산의 폭발 규모가 유럽의 항공대란을 야기한 에이야프얄라요쿨 화산 보다 1,000배 이상 클 것으로 예상하고 있다(한국일보, 2010). 백두산 화산이 폭발할 경우 화산 폭발지수(Volcanic Explosivity Index)가 6-7에 달할 것으로 추정된다. 화산 폭발지수는 화산 폭발의 지속시간, 화산재 등 분출물의 높이와 양 등을 종합해 화산 폭발 강도를 나타내는 수치이다. 폭발지수가 1이면 소규모, 2~3이면 중규모, 4 이상이면 대규모 폭발로

분류되는데, 참고로 에이야프얄라요쿨 화산은 화산 폭발 지수가 5였던 것으로 나타났다.

다행스러운 것은 백두산 화산이 겨울철에 폭발하지 않는다면, 우리나라는 화산재에 의한 피해가 발생할 가능성이 크지 않다는 것이다. 동절기 분화가 아니라면, 화산재는 편서풍 및 제트기류를 타고 북한의 함경북도, 러시아의 블라디보스토크, 일본의 홋카이도 방향으로 이동할 것으로 예상된다. 따라서 화산재가 유럽 항로에 미치는 영향이 거의 없을 것으로 보이며, 북미 항로의 경우도 태평양 항로 등 대체 항로를 이용할 수 있기 때문에 항공기를 이용한 수출에 큰 차질이 없을 것으로 분석되고 있다(매경이코노미, 2010).

하지만 겨울에 백두산이 분화한다면 얘기는 달라진다. 겨울에는 화산재가 북풍 또는 북서풍을 타고 우리나라에도 영향을 미칠 수 있으며, 이 경우 수출의 약 25%를 차지하는 항공수출에 차질이 발생할 우려가 있다. 항공기 운항이 열흘만 중단된다고 가정하면, 수출은 약 25억 달러가 줄어들 것으로 예상된다(세계일보, 2010). 또한 화산재의 영향으로 야외활동이 위축됨에 따라 여행 등 서비스업의 생산과 소비가 위축될 가능성이 있다. 그리고 화산재가 하늘을 가려 이상 저온현상도 야기될 것으로 보인다. 백두산 화산의 분화 규모에 따라 달라질 수 있겠지만, 화산재가 기류를 타고 확산됨에 따라 태양에너지를 반사하면서 아시아 지역에 저온현상이 유발될 것으로 우려된다.

3.2 기후적 측면

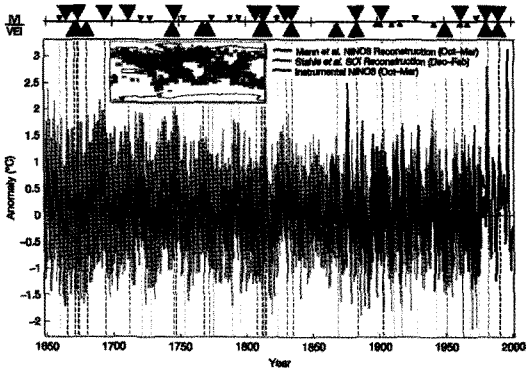
대규모 화산의 폭발은 화쇄류, 화산 이류와 같은 직접적인 피해 이외에도 지구기후에 급격한 변화를 초래하게 된다. 화산 분화로 인해 엄청난 화산재와 이산화황이 하늘을 뒤덮으면, 이러한 물질들이 마치 지구의 덮개처럼 작용하여 햇빛을 차단하기 때문에 지표 온도가 내려가게 만드는 것이다. 지난 10,000년 사이에 발생한 화산 폭발 가운데 최대 규모였던 1815년 인도네시아 탐보라 화산의 경우 폭발 뒤 몇 년간 지구 기후가 변화했고, 그 해 영국과 독일 등에선 농작물이 자라지 못했을 정도였으며, 화산 폭발 다음 해엔 여름이 없을 정도였다.

백두산이 대규모 폭발을 일으켜 화산재와 아황산가스가 성층권까지 진입할 경우 향후 3년 안팎의 기간 동안 지구의 기온이 1~2도 까지 낮아질 수 있다. 고체인 화산재는 비교적 빨리 지표면에 도달하는 반면, 아황산가스는 대기 중의 수증기와 결합하여 강한 황산 에어로졸 형태로 수년에 걸쳐 성층권에 남아 있을 수 있기 때문이다. 이러한 황산 에어로졸은 햇빛을 반사시켜 지구의 온도를 떨어뜨려 한랭화를 가져올 수 있는데, 예상치 못한 기상이변으로 여름에도 눈이 오는 일이 발생할 가능성도 있다.

지구의 온도가 1~2도 정도 떨어지는 것을 대수롭지 않게 여길 수도 있지만 최근 지구온난화로 지구상에 갖가지 기상이변이 발생하는 것과 대조해 보면 그렇게 쉽게 생각할 문제는 아니다. 지구온난화를 말할 때 지구의 상승 온도가 1도가 채 되지 않기 때문이다. 문제는 이 한랭화가 생태계에 심대한 타격을 주면서 기근으로 이어질 수 있다는 점이다. 심지어 1883년 인도네시아에서 발생한 크라카토아 화산 폭발 이듬해에는 여름이 아예 사라졌었다고 한다.

주목해야 할 기후 문제는 화산 폭발이 자연적 기후의 동요를 두 배나 증가시킨다는 사실이다. 홍수와 화재, 기근을 가져오는 주기적인 기후의 큰 변동인 엘니뇨가 화산 폭발에 의해 유발될 수 있다는 사실이 새롭게 보고되었다(Adams et al., 2003). 17세기까지 거슬러 올라간 기후와 화산 폭발의 기록에 따르면, 큰 화산 폭발은 그 이후 겨울에 엘니뇨 현상의 발생 가능성을 두 배로 증가시키는 것으로 나타났다.

엘니뇨는 대략 3년에서 11년 주기로 일어나는 지구 기후의 자연적 변동 중에서 가장 극적인 양상을 보인다. 일반적으로 엘니뇨의 시작은 서부 아열대 태평양에서 해수면 온도의 상승에 의해 나타난다. 엘니뇨 현상이 지속되는 동안 남부 아프리카 같은 지역은 날씨가 건조해지고, 동태평양 쪽은 평균보다 더 습해진다. 어획량, 농산물의 수확



〈그림 3〉 화산 폭발 시기와 ENSO의 장기간 거동 관계 (Adams et al., 2003)

량, 화재와 질병의 발생, 폭풍우와 보험 지급 요구 등이 엘니뇨에 의해 변화하게 된다. Adams et al.(2003)은 화산 폭발과 엘니뇨 현상에 대한 350년 동안의 자료를 수집하여 두 현상의 뚜렷한 관계를 찾아냈다(그림 3 참조).

기본적으로 화산 폭발에 의해 발생하는 먼지 장막은 지구 표면을 식힐 것이다. 그러나 Adams et al.(2003)에 따르면 화산 폭발은 기후 순환의 차가운 상태가 아니라 따뜻한 상태를 유발시킨다. 즉, 화산 폭발은 지구 냉각화 뿐만 아니라 지구 온난화에도 영향을 주게 되는 것이다. 이는 화산 폭발 과정에서 메탄이나 이산화탄소 같은 온실 가스가 대량으로 배출되기 때문이다. 따라서 화산 폭발은 지구 온난화와 지구 냉각화 모두에 영향을 미치는 양면성을 함께 갖고 있음을 인지할 필요가 있다.

3.3 생태적 측면

화산 폭발은 많은 양의 이산화황을 성층권으로 내보낸다. 그 곳에서 이산화황은 연무상태(에어로솔)의 황산물로 바뀌고, 이는 태양빛을 반사시키는 역할을 하게 된다. 다시 말해 대규모 화산 폭발로 인한 기상이변 현상의 주원인이 된다. 사실 이산화황은 대기로 들어오려는 태양에너지를 차단하기도 하지만, 더욱 심각한 것은 하늘에서 황산물방울이 강한 산성비가 되어 내리기 때문에 식물을 고사시키거나 토양을 산성화로 만들어 식물 생장에 치명적인 피해를 준다는 점이다. 이로 인해 인간의 주요 식량인 갖가지 농작물 작황도 큰 피해를 입어 식량난에 직면할 수도 있다. 경상대학교 손영관 교수는 "강이건 개천이건 상당히 오래 기간 동안 흙탕물만 흐를 것이다. 화산재를 사람이 인위적으로 치울 수는 없는 노릇이다. 물론 이 화산재가 토양의 일부분이 돼서 식물이 다시 자란 후에는 상황이 달라지겠지만 이렇게 생태계가 복원되기까지 상당히 오랜 시간이 걸릴 것이다"고 지적하였다(뉴스한국, 2010).

농작물 재배가 어려워지면 자연히 식량가격이 상승하게 되고, 이로 인해 세계경제가 큰 타격을 받을 것으로 예상해볼 수 있다. 특히 다른 나라로부터 식량 원조를 받고 있는 아프리카와 같은 지역은 화산 분출로 인한 직접적인 영향을 받지 않더라도 기근으로 인해 상당한 수의 사망자가 발생할 수도 있다. 북한도 예외는 아니다. 일부 전문가들은 백두산 폭발이 식량난에 허덕이는 북한에 미칠 영향력이 엄청날 것으로 예측하기도 한다(매일경제, 2010b).

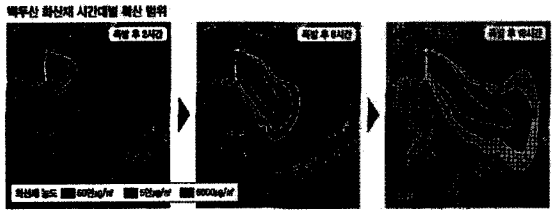
3.4 인간의 건강에 미치는 영향

화산이 분화하면 인간에게 많은 피해가 예상된다. 반경 50km 내외를 초토화시키는 화쇄류, 화산재와 물이 섞여 강과 계곡을 따라 흐르는 화산이류 그리고 상공으로 치솟은 화산재와 아황산가스가 주요 인자가 된다. 먼저 화쇄류는 화산 쇄설물의 흐름이라는 뜻으로 화산 폭발과 함께 뿜어져 나온 화산재와 쇄설물이 뜨거운 가스와 섞여 뭉개구름처럼 퍼지는 것이다. 일반적으로 화쇄류는 공기보다 밀도가 높기 때문에 바닥으로 낮게 깔리면서 빠른 속도로 확산된다. 뿐만 아니라 화쇄류의 온도가 섭씨 700-800도의 고온을 유지하기 때문에 화쇄류가 휩쓸고 지나간 자리는 말 그대로 초토화된다. 나무나 건축물은 그 자리에서 순식간에 불타버리고, 만약 사람이 있다면 죽음을 인지하기도 전에 사망하게 될 것이다.

화쇄류의 위력은 서기 79년에 발생한 이탈리아 폼페이의 베수비오 화산을 통해 확인할 수 있다. 그 해 8월 24일 화산이 폭발하면서 뿜어져 나온 화쇄류가 순식간에 폼페이를 덮쳤고, 일상생활을 하고 있던 주민들은 갑작스럽게

타 죽게 되었다. 이후 발굴 작업을 거치는 과정에서 고고학자들이 빈 공간 사이에 석고를 삽입해 원형을 복원하면서 당시 화산 폭발의 치명적인 위력을 목도했다. 백두산이 폭발할 경우에도 이 같은 화쇄류의 공격이 반드시 있을 것으로 예상된다. 현재 백두산의 식생이 울릉도보다 더욱 단순화 된 것도 1,000년 전 백두산의 대폭발로 인한 화쇄류가 일대의 산림을 완전히 파괴하였기 때문이다.

화산 폭발이 두려운 또 다른 이유는 화쇄류, 화산 이류와 같은 직접적인 피해 이외에도 예측 불가능한 간접 피해가 극심하기 때문이다. 전문가들이 백두산에 주목하는 이유도 이 같은 간접 피해의 규모 때문이다. 이러한 간접 피해의 주원인으로 화산재(volcanic ash)를 들 수 있다. 이는 화산이 분출될 때 나오는 용암의 부스러기 가운데 크기가 0.25~4mm 정도의 작은 알갱이들을 의미한다. 화산재에는 유해물질인 카본 탄소 실리카 등이 포함될 수 있는데, 이는 상황에 따라 천식, 만성기관지염, 폐기종과 같은 만성호흡기 질환자에게 치명적일 수 있다. 경상대학교 손영관 교수는 "화산재가 성층권에 도달하면 '백두산'이라는 이름을 들어보지 못한 아프리카 오지의 주민들까지 피해를 입을 수밖에 없다"고 지적한다(뉴스한국, 2010). 이는 폭발로 인해 상공으로 치솟은 화산재와 아황산가스가 대기를 통해 가까이는 일본과 중국뿐만 아니라 멀리는 아프리카까지 그 영향력이 확대되기 때문이다. 화산재의 크기는 우리가 흔히 접하는 황사 입자보다 1/10 또는 1/100의 크기이기 때문에 코에서 섬모운동으로 걸러지지 않고 폐로 바로 들어갈 수 있다는 것이 전문가들의 지적이다. 이로 인해 만성폐쇄성 폐질환(COPD) 환자들은 기관지 수축이나 감염과 같은 2차 위험이 있을 수 있다는 것이다. 아울러 전문가들은 화산 폭발 사례들을 살펴볼 때 화산 피해로부터 벗어나기 위한 국가 차원의 집단 이주를 강행하는 상황도 염려하고 있다. 더구나 화산의 직접적인 영향권에 있는 북한의 경우 이주 문제를 놓고 국제사회가 논의를 진행할 필요가 있을 만큼 까다로운 문제가 될 전망이다.



〈그림 4〉 겨울철 백두산 분화로 치솟은 화산재의 시뮬레이션 모습 (국립방재연구소 제공, 세계일보(2010))

3.5 수자원에 미치는 영향

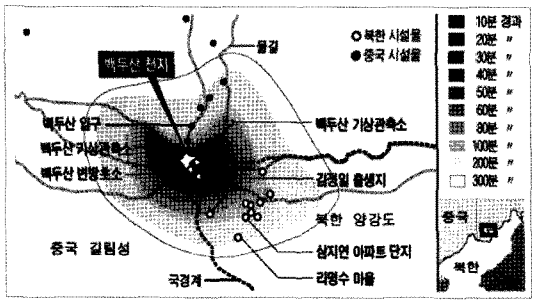
화산 폭발이 수자원 분야에 미치는 영향은 크게 식수 오염과 주변 하천의 범람, 하천제방 붕괴 등과 같은 대홍수를 들 수 있다. 먼저 식수 오염 문제에 대해 살펴보면, 그 원인은 화산이류 때문이다. 화산재가 물과 섞이면서 걸쭉한 찰흙의 형태로 흘러내리는 것을 화산이류라 한다. 전문가들에 의하면 화산재와 함께 가장 위험한 요소로 보고 있는 것 중에 하나이다. 경상대학교 손영관 교수는 "화산이류가 압록강과 두만강을 따라 흐르면서 강 주변 도시에 영향을 줄 수 있는데 화산재가 섞인 물이 흐르면서 식수부족 문제가 생길 수 있다"며 "오염된 물을 마심으로 인해 각종 질병이 발생하는 경우도 무시할 수 없다"고 우려했다(뉴스한국, 2010).

백두산 화산 분화시에 주변 지역은 엄청난 규모의 대홍수가 발생할 가능성이 매우 높다. 천지 칼데라 내에서는 마그마의 갑작스런 출현으로 쓰나미가 발생하여 물이 칼데라 외륜산을 부수면서 흘러넘칠 수도 있으며, 이때 대홍수가 발생하고 토석류, 화산이류 등도 발생하여 주변 지역을 매몰하면서 초토화시킬 수도 있을 것이다. 뿐만 아니라 이로 인해 도로, 댐, 전기 등의 국가적 SOC 기반 시설을 마비시키고, 생태계의 변란, 토양 침식 등의 악순환을 초래할 가능성이 높다.

천지 칼데라의 직경은 평균 12km에 이르고 평균 깊이가 213m에 달하며, 이의 저수량은 소양강댐 저수량의 무려 75% 수준인 20억 톤에 달한다. 2010년 9월 29일 기획재정부가 발표한 '거시경제안정보고서'에 따르면, 백두산 화산이 분화할 경우 천지 칼데라 호수에서 지진해일(쓰나

미)이 일어나면서 주변 지역에 대홍수가 발생할 것으로 예상하고 있다. 이로 인한 피해는 두만강, 압록강, 쑹화강 유역인 북한의 양강도와 함경북도 그리고 중국의 지린성 지역에서도 발생할 것으로 보인다.

국립방재연구소에서 백두산 화산 분화에 의한 유출해석 결과를 분석한 결과, 화산 폭발로 넘친 천지 칼데라 호수의 물은 분화 1시간 후 천지 인근 압록강과 두만강 유역부터 침수시키고, 1시간 20분 이내에 김정일 출생지(양강도 삼지연군 백두산 밀영)까지 도달하며, 3시간 20분 이내에 홍수가 천지 반경 약 30km 거리까지 도달하여 북한 측의 백두산 주변 호텔 · 병원 · 마을 등을 침수시킬 것으로 나타났다. 이후 홍수는 112시간 만에 두만강을 따라 66.9km 까지, 128시간 30분 만에 압록강을 따라 127.5km 까지 영향을 끼친다. 또 100억 m^3에 이르는 용암과 화산재 등이 분출돼 화산재는 25km 상공까지 올라가고, 유황 · 아황산가스 등 유독성 가스도 분출돼 주변 식생을 전멸시킬 것으로 분석되었다(조선닷컴, 2010).



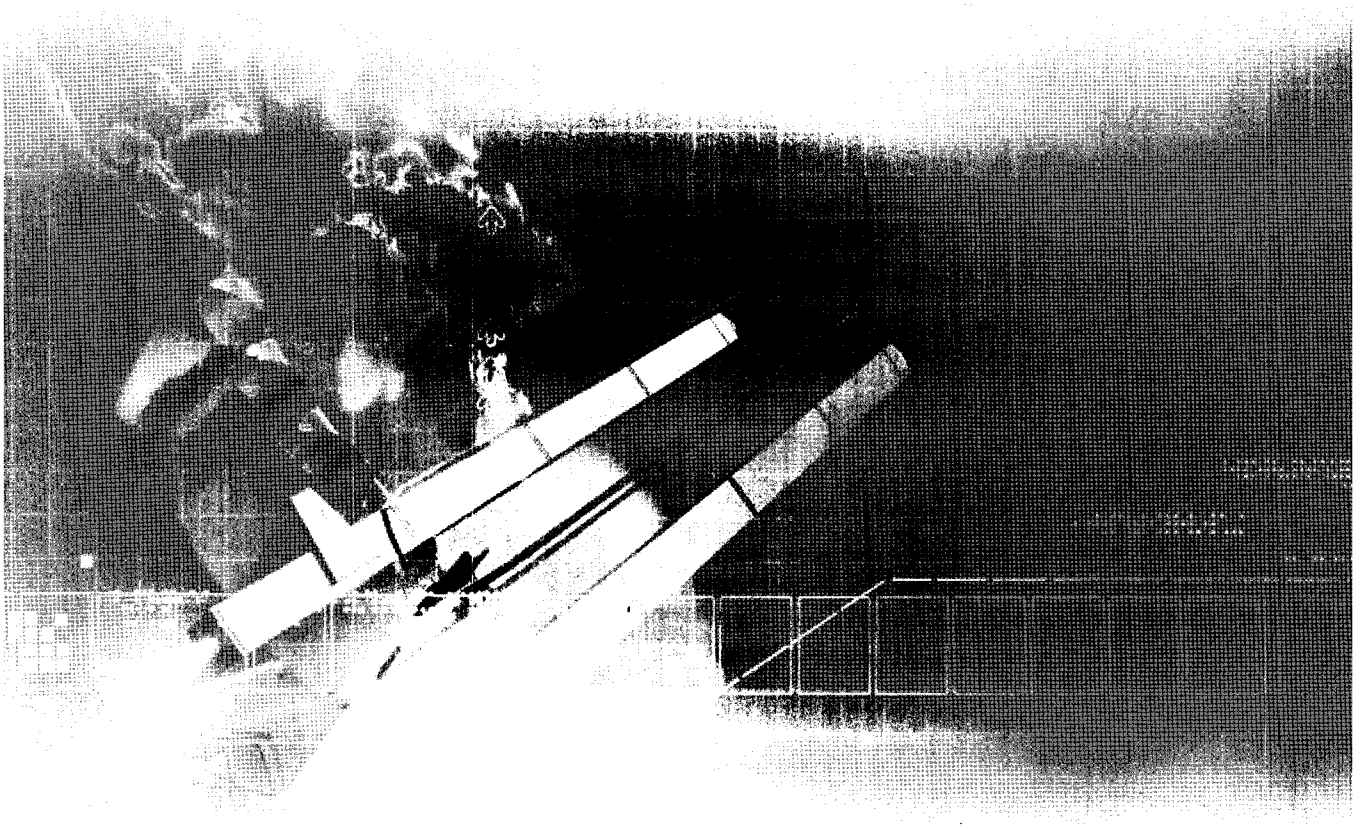
〈그림 5〉 백두산 화산 폭발 후 홍수 확산 과정 (조선닷컴, 2010)

4. 결언

인간은 어떤 식으로든 화산 분화 자체를 막을 수는 없다. 그러나 화산 분화를 예측하고 화산재해로 인한 인명피해를 최소화할 수는 있을 것이다. 이는 지진의 전조현상을 모니터링하면 어느 정도 예측이 가능하기 때문이다. 가장 시급한 것은 백두산 주변 지역의 지질조사를 통해 화산재해 예상도를 작성해 놓는 것이다. 이를 통해 화쇄류와 강하화산재의 분포, 토석류와 화산이류의 분포 등을 파악하고, 어떤 종류의 피해가 어느 장소에서 발생할지 파악하여 미리 대비함으로써 재해를 최소화시킬 수 있을 것이다. 이를 위해선 기본적으로 북한의 협력도 필요할 것이고, 무엇보다 한국 · 중국 · 일본의 국제적 협력 체계가 구축되어야 할 것으로 보인다.

아울러 발생 가능한 화산재해에 대비하여 백두산 화산 분화에 대한 과학적인 예측뿐만 아니라 국민들에게 화산재해에 대한 교육을 실시하는 등의 실질적인 대책을 세워야 할 것이다. 1991년의 피나투보 화산 분화 전에 60,000명의 사람이 대피하였던 것이 성공적이었던 이유는 정부가 미리 사람들에게 암설류를 동반한 격렬한 화산 분화의 위험성에 대해 교육하였으며, 이에 대한 대피 훈련이 선행되었기 때문이다. 이번 일본의 동북부 대지진 참사를 보면서, 21세기 인류가 재앙이 몰아칠 날을 대비하는 지혜를 가져야 할 이유가 분명해졌다. 특히 우리나라는 경제의 대외의존도가 높을 뿐만 아니라 북한의 급변사태에도 대비해야 하는 특수 상황에 놓여있다. 따라서 우리는 향후 백두산 화산 분화에 관한 동향을 주시하면서 이에 대한 대응방안을 마련함으로써 그 피해를 최소화해 나가야 할 것이다.

참고문헌

1. 기획재정부는 '2010년 거시경제안정보고서'
2. 뉴스한국 (2010) "백두산 화산 폭발, 천지 고인 20억 톤 물을 주목하라." 8월 13일.
3. 매경이코노미 (2010) "백두산 화산 폭발 경제적 피해: 겨울철 분화하면 화산재 피해 더 커진다." 11월 3일.
4. 매일경제 (2010a) "백두산 수년내 분화, 위기 대응 시급하다." 6월 18일.
5. 매일경제 (2010b) "백두산 화산 폭발 가능성 '화산위기' 규정, 곧 닥칠 수도." 11월 3일.
6. 윤성효 (2010) "백두산 화산 폭발 가능성과 이에 따른 영향 및 대응방안." 경영계, 한국경영자총협회, 통권 제376호, pp. 32-33.
7. 세계일보 (2010) "백두산 화산 겨울 폭발 땐 '자연 대재앙'

온다." 10월 26일.
8. 시사저널 (2010) "밑에서 끓는 휴화산 '백두' 폭발 임박?." 6월 16일.
9. 소원주 (2010) 백두산 대폭발의 비밀, 사이언스북스.
10. 조선비즈 (2010) "'백두산 화산 폭발 알려면 '마그마 시추'가 답이다." 11월 9일.
11. 조선닷컴 (2010) "백두산 화산 폭발하면 북한 삽시간에 물바다." 9월 27일
12. 한국일보 (2010) "화산재 · 천지 범람 등 반경 수십 ㎞ 초토화." 6월 19일.
13. Adams, J.B., Mann, M.E., and Ammann, C.M. (2003). "Proxy evidence for an El Nio-like response to volcanic forcing." Nature, Vol. 26, pp. 274-278.
14. Machida, H., and Arai, F. (1983) "Extensive ash falls in and around the Sea of Japan from large late Quaternary eruptions." Journal of Volcanology and Geothermal Research, Vol. 18, pp. 151-164.
15. Zou, H., Fan, Q., and Zhang, H. (2010) "Rapid development of the great millennium eruption of changbaishan(Tianchi) Volcano, China/North Korea: Evidence from U - Th zircon dating." Lithos, Vol. 119, No. 3-4, pp. 289-296.