

백두산 화산 위기

윤성효^{1)*} · 히로미추 타니구치²⁾ · 하이첸 웨이³⁾ · 지아치 류⁴⁾

1. 서론

우리 민족의 명산인 백두산(2750m)인 최근 들어 화산분화의 전조현상을 나타냄으로써 화산위기를 맞이하고 있다 본 논문에서는 백두산을 화산위기로 진단한 전조현상들과 백두산 화산분화(火山噴火)가 발생할 경우 예견되는 화산재해에 대하여 소개하고자 한다.

2. 본론

백두산은 장백산맥의 최고봉으로, 대략 3단계의 화산활동으로 만들어진 화산체이다. 제1단계는 신생대 제3기 약 28.4 Ma에 선캄브리아 시대의 변성암류와 중생대 화산암과 화강암을 기반암으로 하는 대륙열곡(틈새)을 따라 틈새분출한 현무암질 화산활동을 시작하여 용암대지를 형성하였고 제3기말(4.4~1.7Ma) 점차 화산활동의 중심이 천지 쪽으로 옮겨감에 따라 중심분출로 순상화산체를 형성하였다. 그 후 약간의 휴식기를 거치고 신생대 제4기 플라이스토세 말기인 60만년전(0.6Ma) 다시 제2단계 화산활동의 재개하여 1만년전(0.01Ma)까지 조면암 용암과 화성쇄설암을 교호로 분출하는 화산활동으로 백두산 복합화산체(성층화산체)를 형성하였으며, 제3단계는 홀로세인 약 4천만년전(4ka)과 약1천년전(1ka) 조면암질 내지 알칼리유문암질 부석을 위주로 하는 대폭발을 하여 성층화산 산정부가 폭발하고 함몰하여 천지 칼데라를 형성한 화산활동으로 구분할 수 있다.

백두산화산에 대한 명칭은 중국측에서는 창바이산(長白山)화산, 티안치(天池)화산, 일본에서는 백두산(Baegdusan)화산으로 명명하고 있다.

백두산 화산은 개마용암대지(蓋馬熔岩臺地)로 명명되어 있는 현무암 용암대지와 순상화산체를 하부로 하여, 그 상부에는 칼데라를 가지는 성층화산추(成層火山錐)로 구성되는 화산복합체이며, 백두산 일대 신생대 화산암류는 그 분포면적이 17,400km²에 달한다. 산정부의天池는 수심이 373 m, 호수면의둘레는 13.11 km, 수면의 해발고도는 2,189.1m이며, 호수를 둘러싸는 산들은 해발 2500 m 이상이며, 이들 중 최고봉은 2,950 m (장군봉)이다. 천지는 압록강, 두만강 및 송화강의 발원지이다.

백두산 화산의 역사시대 분출물은 조면암질 내지 유문암질 강하화산재(ash)와 부석(부석: pumice), 용결회유용회암(熔結灰流凝灰岩: ignimbrite or welded tuff), 그리고 흑요석(黑曜石: obsidian --유리질유문암) 및 소량의 현무암으로 구성된다. 백두산 화산의 역사시대 최대 분화는 약 1천 년 전으로 우리는 이를 밀레니엄분화(Millennium Eruption)이라고 부른다. 이때 천지 분화구가 확장되어 현재와 같은 칼데라 모습을 갖추었으며, 화산재는 백두산 주변부는 물론 멀리 동해를 건너 일본 본토와 태평양까지 날아갔다. 일본에서는 백두산에서 날아간 화산재를 백두산-토마코마이 화산재(B-Tm ash: Baegdusan-Tomakomai ash)라고 부른다. 이 B-Tm ash 보다 상위의 화산재층은 일천년 전(1ka) 이후에 분화한 것이며, 그 아래의 화산재

주요어: 백두산, 활화산, 화산위기, 전조현상, 화산재해

- 1) 부산대학교 사범대학 과학교육학부 (yunsh@pusan.ac.kr)
- 2) 일본 동북대학 동북아연구센터
- 3) 중국 국가지진국 지질연구소
- 4) 중국 과학원 지질학및지구물리학연구소

는 일천년 이전에 분화한 것으로 판단하는 열쇠가 되는 지층이다.

백두산 주변에는 약 일천년 전에 분화한 다량의 화성쇄설류(火碎流--화산회류(ash flow)가 대부분), 암설류(岩屑流), 화산이류(火山泥流)가 분포하는 데, 이들 지층에 대한 최근의 상세 연구(지층의 순서와 마그마의 성분 조성 차이)로부터 천년 전의 대분화 사건은 강하화산 회에 뒤이어 화쇄류가 발생한 2회의 플리니안 화산분화가 있었으며, 이들은 약간의 시간적인 간격을 가지고 있다. 즉 Phase 1: Unit B(강하부석퇴적물)+Unit C(화쇄류퇴적물)과 Phase 2: Unit D & E(강하부석퇴적물)+Unit F(화쇄류퇴적물), Unit G(기저서어지퇴적물)로 나눌 수 있으며, 이들이 바로 B-Tm ash이다. 이들 중 강하부석퇴적층은 그 분포로부터 분화 당시의 풍향을 알 수 있다. Unit B 분화시에는 북서풍, Unit D는 서풍(남서서풍), Unit E는 남풍이 불어 각각 그 반대쪽 방향으로 분포를 나타낸다. Unit G & F도 북-북서방향으로 분포축을 나타낸다.

일천년전 Phase 1과 Phase 2 화산분화작용으로 분출된 화산분출물의 총량은 83~117 km³으로 추정되며, 화학적 성분은 알칼리유문암질~조면암질이다. 이들 분화 사건시 보존된 탄화목의 C¹⁴ wiggle-matching 측정연대는 AD 960+9/-18년이다. 백두산은 과거 4000년전부터 간헐적으로 활발하게 활동하여 왔으며 10세기 직전의 분화사건은 발해의 쇠퇴에 영향을 준 것으로 사료된다. 그리고 10세기 대분화 사건은 요(遼)나라의 지배에 영향을 준 것으로 사료된다. 백두산의 밀레니엄 화산분화는 그 분출물의 양이 최대 117~150km³이며 화산폭발지수(VEI) 7.4 정도로 인류 역사상 최대의 화산분화 사건으로 해석된다.

백두산 화산은 최근 들어 분화의 징조 즉 전조(前兆)현상을 보임으로서 한중일북한 4개국 연구진의 화산학자들로부터 화산위기에 해당한다고 결론지어졌다. 백두산과 주변 화산의 분화는 많은 역사기록에서 발견되며, 특히 1668년, 1702년, 1903년은 천지 칼데라로부터의 분화한 것으로 알려졌다. 그러므로 백두산은 역사분출기록을 가진 활화산(活火山: active volcano)에 속한다.

일반적인 화산의 분출 전조현상으로는 1. 화산체 주변 암석의 자기장의 변화, 2. 화산체 주변의 전기저항의 변화, 3. 물리적 이상과 전조현상: - 지반 변형, - 분화구 호수, 우물물, 분기공 또는 열천(온천)의 온도 변화, - 지표에서의 열유량 변화, - 가스성분의 변화, - 국부적 지진활동의 활발화, 4. 마그마 챔버의 모델링(화산의 지하구조모델)의 감시를 통해 마그마방의 S파의 통과 유무를 통한 마그마의 상승 관찰 등을 들 수 있다.

최근 2002년부터 중국측과 북한측으로부터 관찰 보고된 전조현상은 지진활동의 활발화, 화산체내의 암석 붕괴(collapse--2003년), 사태 발생(avalanche), 깨짐(fracture--2003년 8월 23일 지진 규모 2.3 지진 발생 후 이도백하 상류 암석 단열발생), 수목의 고사(유독가스 CO₂의 방출) 등을 들 수 있다. 그리고 1999년 준공된 중국국가지진국 천지화산관측소(TVO)의 지진 기록, 수준계와 경사계 및 GPS를 통한 지각변동 관측, 온천의 성분 분석 등으로부터 마그마가 살아 움직인다는 것을 알게 되었다. GPS관측으로부터 2002년부터 2005년까지 산정부의 10cm 팽창 감지, 2002년 9월부터 2005년까지 천지 칼데라 주변의 지층의 7cm 이상 융기 감지, 천지 온천수에서 2002년부터 2003년까지 H₂와 He 함량의 이상적 증가, 2002년 이후 화산성 지진의 급증 등을 들 수 있다 특히 화산성지진의 진원은 지하 -2 km에서 -4 km에 집중되고 있으며, 일부는 지표면으로부터 2km(0 level)에 까지 도달하여 있다. 천지 일원에 집중된 진앙 분포는 천지를 중심으로 N50°W방향과 N10°W방향의 2조의 단층을 따라 집중 분포한다.

지진과 중 P파의 속도분포로 분석한 지진파토크그래피(tomography)에 따르면 천지 지하에는 -10km, -20km, -28km, -32km에 4개의 마그마방(chamber)이 인지되며, 이 중 위의 2개는 유문암질 내지 조면암질 마그마, 아래 2개는 현무암질 마그마로 추정된다. 아래쪽의 현무암질 마그마가 상승하여 상부의 조면암질~유문암질 마그마를 자극하면 유문암질~조면암질

마그마의 플리니안 대분화가 진행될 것임에 틀림없다. 러시아에서는 Terra인공위성 MODIS 화상을 통하여 2006년 10월 20일 백두산 천지로부터 뿜어져 나온 고온의 화산가스를 관측하였다고 보도하였다.

3. 결론

만약 백두산이 분화한다면 북한은 물론 중국과 일본에도 엄청난 재앙이 초래될 것이다. 화산 분화시 예상되는 직접적인 화산재해 위험은 ① 천지 칼데라 붕괴시 20억톤 물에 의한 홍수, ② 막대한 양의 고온의 화산회류에 의한 백두산 주변 50km 이내의 피해, ③ 엄청난 양의 강하 화산재(지상 약 35km 이상 상승한 화산재가 편서풍을 타고 멀리 동해를 건너 일본을 지나 태평양에 까지 도달하고 일부는 성층권내에 잔존 태양복사 차단 가능, 전 지구규모의 기후 한랭 예상), ④ 암설류(암석조각+홍수), ⑤ 화산이류(화산재+홍수), ⑥ 고온의 화산재와 분출물에 의한 삼림의 화재, ⑦ 관광객 및 거주자의 대피 등이 예상된다.

일본과 중국은 자국 내의 화산재해 피해를 최소화하기 위하여 연구진을 가동하여 대비책 마련에 돌입하였으며, 러시아는 인공위성과 지진관측을 통한 백두산 분화 감시를 시작하였다. 우리도 정부지원 하에 백두산 화산 분화의 정확한 예견을 위한 모니터링 연구 및 화산 분화시 예상되는 화산재해를 최소화하기 위한 연구를 진행하여야 할 것으로 사료된다.