

---

# 백두산은 폭발할 것인가?

---

김 주 환 (본회 부회장 · 동국대학교 교수)

## ∴ 머리말

백두산이 우리민족에게서 차지하는 비중은 실제 이상의 상징적이고 선연적인 의미를 갖는다고 볼 수 있다. 개국설화가 그렇고 옛 조상들의 활동무대였던 곳이기 때문이기도 하리라 생각된다.

1990년에 한국체육진흥회 주관으로, 1992년에는 사단법인 북한연구소의 협조로 백두산, 압록강, 두만강 등지의 국경부근을 몇차례 답사할 기회가 있었다. 여기서서는 특히 최근에 관심이 많은 백두산의 폭발 가능성에 관한 이해를 돕기 위해 기본적인 지질과 지형에 관한 이야기를 해보려고 한다.

백두산은 행정구역상으로 북한의 양강도 삼지연군(郡)과 중국 동북지방의 길림성 안도현 이도백하진(鎭)의 국경지대에 위치한 우리나라 최고봉의 산이다. 산의 북쪽으로는 장백산맥이 북동에서 남서방향으로 달리고 있으며, 백두산을 정점으로 하여 동남쪽으로는 마천령산맥이 여러 개의 2천m 이상의 연봉을 이루고 있으며 동쪽과 서쪽으로는 완만한 용암대지가 넓게 펼쳐져 있다.

## 1. 일반지질

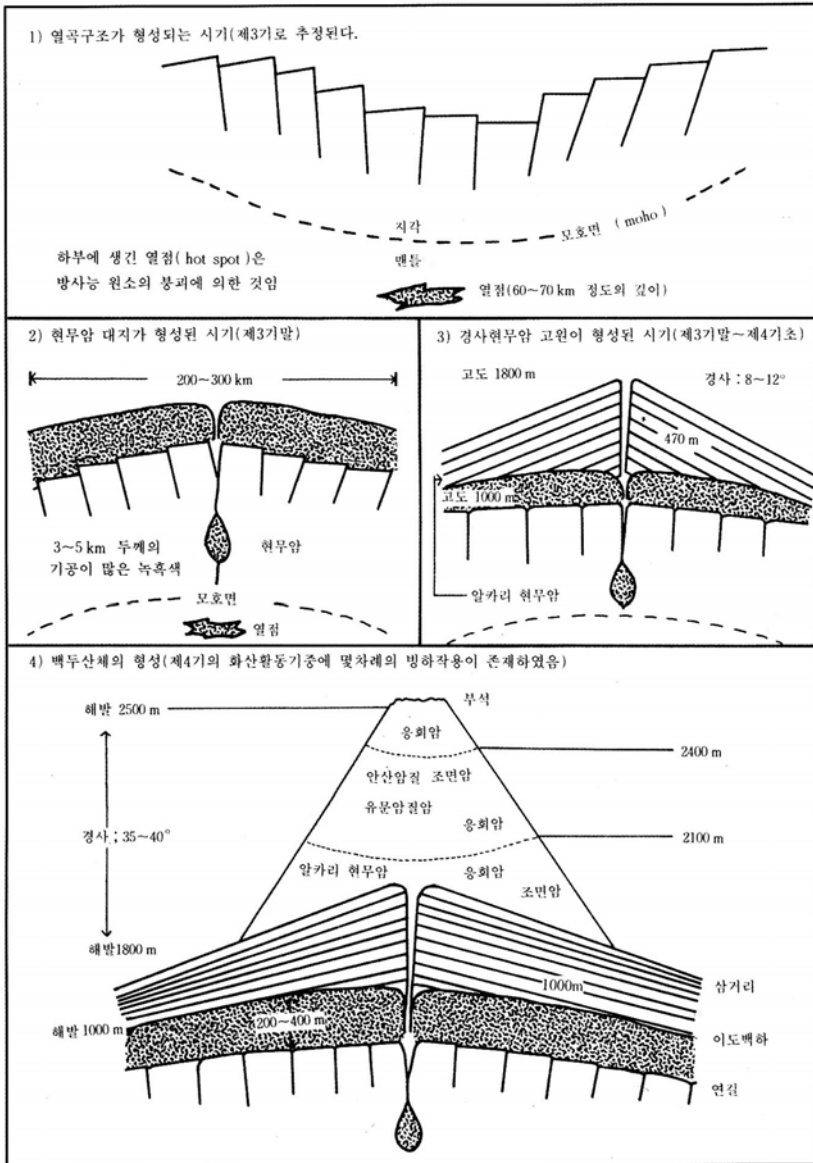
백두산의 형성시기는 신생대 제3기 말경인 260만 년 전에 있었던 화산

활동을 최초의 것으로 생각하는 것이 일반적인 견해이다. 이러한 화산활동이 있기 전의 백두산 일대는 매우 평평한 곳이였으며 지표면의 상대적인 고도 차이가 별로 크지 않았다. 지질학적인 여러 가지 증거로 보아 이 당시의 지표면 평균 고도는 1,500~1,800m 정도였을 것으로 추측된다. 그 후 현재와 같은 백두산의 모습을 보이는 화산체가 형성되었으며, 이때 가장 큰 현무암 대지를 형성하였고 시기는 신생대 제4기 초라고 생각된다. 일반적으로 백두산은 휴화산이라고 하여 화산활동이 중지되어 있다고 생각하기 쉬우나, 이는 잘못된 생각이라고 할 수 있다. 그 이유는 현재에도 최고 82℃ 정도의 온천이 상존하고 있고 노변에서 측정한 온천수의 온도도 56℃나 되었다. 또한 분기공에서는 간헐적이기도 하지만 가스가 분출되고 있으며, 소규모의 지진이나 산지사면의 붕괴 등과 같은 현상은 현재에도 화산작용이 계속 진행되고 있음을 말해 준다.

## 2. 백두산의 지형적 특색

연변에서 백두산까지의 지형은 몇 개의 단(段)으로 나누어서 생각할 수 있다. 즉, 하상면(河床面)과의 고도차에 의해서 분류하면 고도차이가 7~8m인 제1면, 15m 정도인 제2면, 40m 정도인 제3면, 100m 정도인 제4면, 140m 정도인 제5면으로 구분하는 것이 가능하다. 이 때 백두산저(白頭山底)에 해당하는 곳은 제3면이다. 이 백두산저를 기준으로 하여 상하면은 부정합(不整合)으로 되어 있다. 특히 700m 전후의 고도와 1,800m 전후의 고도에는 거의 평탄한 용암대지가 넓게 펼쳐져 있으며, 그 이상의 고도가 현재의 백두산 화산체에 해당한다고 볼 수 있다. 이러한 지형면들은 백두산체가 형성되기 이전의 백두산 주변이 어떤 상태로 되어 있었는가를 잘 나타내 주고 있다.

백두산에는 여러 형태의 지형이 나타난다. 즉 화산활동(火山活動)의 흔적이 남아 있는가 하면, 빙하지형(氷河地形)의 흔적들이 존재하고 구조현상(構造現象)과 관련된 지형들이 산재해 있다. 또한 하천에 의한 지형발달도 특

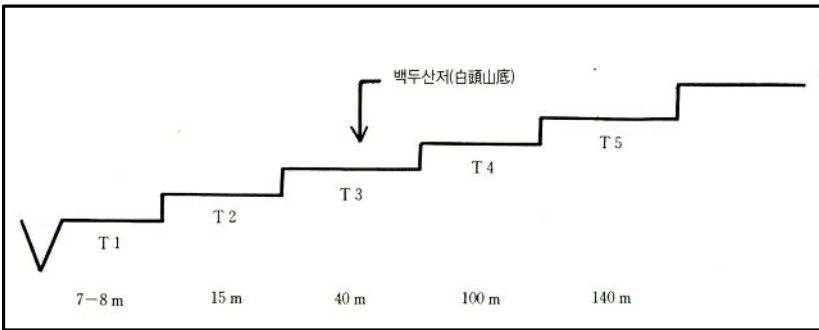


《백두산체와 용암대지의 형성》

이하다.

백두산의 천지 밑에 많은 온천(溫泉)이 존재하는 것으로 보아 거기에는 아직도 열을 공급하는 열원(熱源)이 존재함을 의미한다. 이 온천들의 생성은 백두산 천지에서 아직도 약 3~5km 밑에 존재할 것으로 예측되는 마그마 챔버(magma chamber)와 같은 열원으로부터 방출되는 고온의 가스가 지하순환수(地下循環水)를 만나서 뜨거워진 것이라고 할 수 있다.

천지의 외륜산(外輪山)에 해당하는 사면에는 빙식지형(氷蝕地形)의 흔적인 권곡(圈谷: kar) 등이 보인다. 권곡은 빙식을 받은 산지에 보편적으로 나타나는 지형으로 설선(雪線) 바로 위의 산사면에 발달하는 지형을 말한다. 또한 최근에는 1,670m 고도에서 빙하에 의한 퇴적물(堆積物)이 발견되었다. 따라서 백두산의 지형은 빙하지형 내지는 주빙하지형에 속하였던 지역이라고 생각할 수도 있고 용암류와 화산탄, 화산호, 화구등과 같은 지역적 특성을 고려한다면 화산활동과 관련하여 화산지형으로 분류할 수도 있다. 그러나 위의 내용을 종합하여 백두산의 지형을 고려하는 것이 합리적이라고 생각된다.



《연변에서 백두산까지의 지형면》

### 3. 백두산의 화산활동과 암석의 분포

백두산에서의 화산활동은 중심분출(中心噴出: central eruption)과 열하분출(裂罅噴出: fissure eruption)의 두 가지 방식의 용암분출에 의해 진행된다.

었다고 볼 수 있다. 중심분출은 화산활동이 고정된 화구를 통해 진행되는 것으로 가장 일반적인 분출양식이다.

백두산의 현무암대지(玄武岩臺地)는 만주지방에서 북동-남서 방향으로 연결되는 장백산맥의 일부이고 해발고도는 1,000m가량 되며 지방기복은 200m 내외이다. 용암대지의 면적은 약 30,000km<sup>2</sup>나 되며 그 중에 약 20% 정도는 북한 쪽에 분포하는데, 개마고원도 이 용암대지의 일부이다. 해발고도 약 1,000m인 이도백하(二道白河)에서 남쪽으로 백두산(白頭山)을 향하여 해발 1,800m까지 8°~12° 경사도를 가진 비교적 완만한 55km의 오르막길에는 기공상 녹회색 현무암이 존재한다.



《천문봉 주변의 부석층》

이 경사현무암 고원(傾斜玄武岩高原)은 제3기 말인 약 260~290만 년 전에 열하분출에 의하여 만들어졌다. 백두산체의 정상은 해발고도 1,800m 이상에서나 보이기 시작한다. 백두산의 제4기 화산활동은 폭발성이 큰 산성 용암을 분출한 것이다. 제3기의 암석은 알루미늄 및 알칼리 현무암인데 비해 후자는 모두 알칼리 현무암에 속한다. 고도 1,800m에서 2,100m까지는 다공질의 알칼리 현무암, 응회암, 조면암 등의 분포를 볼 수 있다. 2,100m에서 2,400m까지의 고도에서는 산성용암이 흐르면서 유동구조를 잘 보여주는 유문암질암, 알칼리 조면암 등이 분포한다. 2,500m 이상의 고도에서는 부석(浮石: pumice)들이 많이 나타난다.

#### 4. 장백폭포 주변의 지형

장백폭포 주변의 대표적인 지형은 유수지형(流水地形)과 구조지형(構造地形)이다.

하천유수에 의한 지형의 예로는 많은 폭포와 급류 등을 들 수 있다. 특히 장백폭포는 천지의 북쪽 끝이 열린 달문(達門)이라는 화구벽(火口壁)의 틈을 통해 높이 68m의 폭포가 되어 떨어지며 이 물줄기가 송화강(松花江)의 원류를 이루고 있다. 계곡의 형태도 보통 빙하지형에서 볼 수 있는 U자형의 계곡은 물론이거니와 이 지역에서는 수직절벽같은 하곡이 많이 발달되어 있다. 천지 호수사에서 장백폭포까지의 거리는 약 1.2km이다. 호수물이 흐르는 골짜기는 U자형으로 처음에는 넓다가 폭포 가까이 갈수록 점점 좁아진다.

특히 이러한 유로의 형성은 백두산의 강수 형태와도 밀접한 관계가 있으며, 하천유로에 막대한 영향을 미치는 구조현상(構造現象)과도 직결된다. 깎아 세운 듯한 산봉우리에는 백두산 용암이 흘러내렸던 방향에 수직으로 기둥모양의 주상절리(柱狀節理)가 잘 발달되어 있다.

천지에서 흐르는 물은 처음에는 조용히 그리고 유유히 흐르다가 경사가 큰 곳인 승차하(乘差河)에서는 갑자기 격류로 변하며 큰 낙차를 가진 폭포

가 된다. 장백폭포의 전체 폭은 약 2.5m이고, 처음에는 5줄기 그리고 4줄기가 되다가 나머지 거의 모든 구간은 3줄기의 물기둥이 되어 떨어진다. 장백폭포에서 온천들이 많다는 폭포 밑까지 우회하는 길에는 주상절리로 인하여 떨어진 조면안산암과 알칼리조면암의 애추사면(崖錐斜面)들이 많이 나타난다.



《애추사면》



《장백폭포 우측하단》



《장백폭포 우측하단》

장백폭포와 그 주변에는 단층운동(斷層運動)의 결과라고 볼 수 있는 절벽과 애추사면들이 많이 나타난다. 또한 이 지역에서 여러 방향으로 나타나는 단층군(斷層群)들은 그 지역이 침식에 약하게 하는 구조적인 조건으로 마련해 준다. 애추사면은 안식각(安息角)을 이루며 퇴적되어 가고, 이곳에는 식물이 잘 자라지 못하나, 식물이 자라면 애추의 이동을 막게 된다. 애추사면은 보통 35° 내외의 경사를 갖게 되며 직선사면을 이루는 경우가 많다. 일반적으로 애추는 주위의 암석보다 강해서 입상붕괴(粒狀崩壞)가 일어나는 것보다 괴상(塊狀)으로 무너져 내려 아래쪽에 쌓이고 또 이동이 된다.

## 5. 천지 주변의 지형

천지(天池)의 이름은 용담호(龍潭湖), 금호호(錦湖湖) 등으로 불리우며 호연

은 해발 2,155m, 남북 길이 4.85km, 동서 길이 3.35km이다. 수면 면적이 9.82km<sup>2</sup>, 평균 수심 213m, 최고 수심은 384m이다. 주변둘레가 14km이고 수원은 대기에서의 강수와 지하수이며 수심진폭이 1.67m이다.

천지는 화구가 용암의 급애(急崖) 밑으로 가라앉아 형성된 타원형의 호수이고 주변에는 깎아 내린 듯한 절벽들이 둘러싸여 있다. 천지는 5분의 3 정도가 북한 소유이고 5분의 2 정도가 중국의 소유인 것으로 알려져 있으며 주변에는 많은 부석(浮石)들이 존재한다.

지금까지 천지에 대해서 알려진 사실로는 천지가 단순히 하나의 분화구(噴火口)로 되어 있으리라고 생각하였다. 그러나 백두산의 화산폭발의 시기나 횡수 등을 고려할 때, 최소한 2~3개 이상의 화구가 연합되어 현재와 같은 천지의 모습으로 나타났다고 보는 것이 옳을 것이다. 그 이유는 천지 호수의 윤곽이 지극히 불규칙적이면서 용암류(溶岩流)의 방향, 화산 퇴적물들의 특성, 천지 주변의 여러 사항들을 종합해 볼 때, 그러한 결론이 가능하다.

백두산은 빙하작용(氷河作用)을 많이 받았다. 빙하의 흔적은 주로 천지 내벽에 있는 권곡(Kar)과 화산추체(火山錐體) 바깥쪽의 중국 경내에 있는 U자형 계곡에 있다.

천지 내벽에는 험준한 낭떠러지가 둘러 있으며 그 단애(斷崖) 위에는 많은 권곡이 발달해 있고, 그 위에는 빙설이 자리잡고 있으며 또 아래로 이동할 수 있는 요지(凹地)가 형성되어 있다.



《백두산 천지》



《천지 주변의 암석》





《빙식지형 kar》

백두산 주변에서 빙하에 의한 삭박 흔적이 가장 잘 남아 있는 곳은 장백 폭포에서 빙장(氷場)에 이르는 계곡으로, 이 거대한 빙하는 화산추체로부터 이도백하 상류계곡을 형성하였다. 이 U형 계곡은 지금 연변에서 백두산에 오르는 주요 등반로로 되어 있으며, 그 길이는 4km, 폭은 1km 정도이고, 하루로 내려갈수록 좁아지면서 소천지(小天池) 부근에 이르러서는 넓이가 겨우 0.5km<sup>2</sup> 정도이다.

호식지형(湖蝕地形)의 예는 천지 주변에서 찾아볼 수 있으며, 바람의 방향은 주로 서남·서풍이며, 북사면이 다른 사면보다 가파르다. 천지의 면적이 넓고 파도가 높을 때는 1.2m나 되며, 호안이 파식에 의하여 절벽을 이루었는데 북쪽 호안이 더욱 두드러진다.

## 6. 백두산의 기타 지형

백두산에서 볼 수 있는 또 다른 지형으로는 풍식지형(風蝕地形)의 예를 들 수 있다. 풍식(風蝕: wind erosion)이란 바람에 의한 침식작용으로 바람에 날린 모래가 불어올 때 일어나는 삭박작용(削剝作用: denudation)과 세립물질이 불려 날아가는 것에 의한 침식작용(侵蝕作用: erosion)을 말한다.

두 가지 다, 기계적 풍화작용(機械的風化作用: mechanical weathering)이나 유수작용과 비교하면 지형발달에 미치는 영향은 적지만, 건조지역이나 바람이 강한 지역에서는 특징적인 지형을 형성한다.

백두산 지역에서는 8급 이상의 바람이 월 27회 이상이나 불과 1초에 40m 이상의 강풍이 매달 여러 차례씩 불고 있어, 풍식공(風蝕孔), 풍식버섯(풍식주: 風蝕柱)와 같은 특이한 현상이 나타나고 그 대표적인 곳은 풍구(風口) 일대와 용문봉 북쪽에 있다.

백두산의 화산활동과 관련 있는 온천들은 천지 북쪽으로 약 1,000km<sup>2</sup> 면적에 100여 개의 온천군(溫泉群)이 있으며, 이도백하가 그 가운데를 지난다. 백두산의 온천수에는 황화수소, 칼슘, 마그네슘과 중탄산염이 함유되어 비눗물 이상으로 미끄럽고 부드럽다. 특히 피부병, 위장병, 관절염과 풍습병에 효험이 있다고 한다. 약 2,000m의 높은 고도에도 불구하고 높은 온도의 온천들이 많은 것은, 천지 밑에 열을 공급하는 열원(熱源)이 존재함을 시사한다. 특히 천지 표면은 겨울에 모두 꽁꽁 얼어붙지만, 세 군데만은 얼지 않는다. 이곳에서는 물이 얼지 않고 겨울에도 김이 나오는 정도이다.

또 여름철에도 천지 수면의 온도를 측정해보면 곳에 따라 차이가 나는 것은, 천지 밑에 지금까지도 뜨거운 온천수가 쉬지 않고 솟아나고 있음을 말해주는 증거라고 할 수 있다. 이 지역은 알칼리 조면암으로 되어 있으며, 온천 주위는 유황과 철분으로 인하여 온통 노랗고 붉게 착색(着色)되어 있다. 온천은 모두 13군데인데, 비교적 큰 것은 여섯 군데이고 온천물은 주야로 부단히 솟아 넘치며, 각 온천 안에서 솟아나는 물의 온도는 각기 다르다. 그중 가장 뜨거운 것은 섭씨 82℃에 달하며, 최저의 것은 37℃이다. 이러한 현상은 백두산 천지가 아직도 활동하고 있는 활화산이라는 의미가 된다.

## 7. 종합고찰

백두산은 일반적으로 휴화산이라고 생각하여 화산활동이 중지되었다고 생각하기 쉬우나 이는 잘못된 생각이다. 백두산은 신생대 제3기 말에서 제

4기에 걸쳐서 활발한 화산활동의 결과 형성된 장백산맥의 주봉이다. 백두산은 두만강과 압록강을 잇는 북동-남서방향과 그것에 직교하여 북서-남동방향으로 교차하는 지점에서 분출한 화구이며 대륙연변부 열곡구조환경에서 생성된 화산이라고 볼 수 있다.

백두산의 화산활동사는 지금부터 약 1990만 년 전부터 260만 년 전까지 제3기 말에 7번에 걸친 흐름성이 강한 염기성 화산분출로 800~1,000m 두께의 현무암대지 및 고원을 형성시켰다. 그리고 61만 년 전부터 최근 287년 전까지 제4기에 6번의 점성이 크고 폭발력이 강한 산성 화산활동으로 현재의 백두산 화산체를 형성하였다.

백두산의 천지 밑에 많은 온천이 존재하는 것으로 보아 거기에는 아직도 열을 공급하는 열원이 존재함을 의미한다. 이 온천들의 생성은 백두산천지에서 아직도 약 3~5km 밑에 존재할 것으로 예측되는 마그마첼버와 같은 열원으로부터 방출되는 고온의 가스가 지하순환수를 만나서 뜨거워진 것이라고 할 수 있다. 천지 남서쪽에서 73℃의 백두산 온천을 발견했다고 하니 천지 주위에는 역시 온천들이 많은 것으로 추측된다.

백두산의 꼭대기에 약 40~60m 두께로 덮여있는 회백색, 미황색, 백색의 부석은 백두산 화산활동의 가장 마지막인 1400년 전, 1000년 전, 그리고 300~400년 전의 화산분출의 결과이다.

백두산의 화산활동을 수직적으로 살펴보면 먼저 백두산 천지 밑 62~67km 깊이의 상부맨틀 암석 중 방사능 원소들이 붕괴되면서 발생하는 열에 의하여 암석들이 부분용융되어 지하 3~5km의 마그마 첼버에 모였다가, 자체 압력이 증가됨에 따라 열곡같은 약선대를 따라서 분출된 것이다. 백두산을 더욱 아름답게 만든 것은 제4기 동안에 여러 번에 걸친 빙하작용에 의한 것이라고 볼 수 있다.

백두산에는 여러 형태의 지형이 나타난다. 즉 화산활동의 흔적이 남아있는가 하면 빙하지형의 흔적들이 존재하고 구조현상과 관련된 지형들이 산재해 있다. 또한 하천에 의한 지형발달도 특이하다. 따라서 백두산의 지형은

종합적인 입장에서의 연구가 필요하리라고 생각된다. 특히 천지의 형성은 수차례의 화산폭발에 의한 화구에 연합되어 무너져 내린 흔적이 분명하다.

결론적으로 말하면 이미 언급한 바와 같이 백두산은 현재에도 화산활동을 하고 있는 것이 분명하다. 다만 그 활동이 활화산으로써 미비할 뿐이다. 우리가 조심해야 될 일은 지질시대의 축척으로 정리되어야 할 화산폭발의 가능성들을 인간의 수명과 같은 짧은 척도로 측정하려고 하는 오류를 범하지 말아야 할 것이다. 백두산은 지질 작용의 메카니즘에 의해 폭발과 휴식을 반복할 것이다.