

## 포항 북서부 죽장 일대에서 발견되는 성층화산의 조성변화와 그 성인

황상구 · 김무현

안동대학교 자연과학대학 지구환경과학과 (hwangsk@andong.ac.kr)

### 1. 서 언

경상분지 내에서 화산지역은 크게 의성소분지 동부지역과 유천소분지 일대로 구분할 수 있다. 현재까지 경상분지 백악기 화산암류에 대한 암석학적 및 지화학적 연구는 여러 연구자에 의해 진행되어왔는데, 이들 연구 결과를 정리해보면 대부분 전체적으로 혹은 지역적으로 암석성인과 마그마 진화를 고찰한 것들이었다.

그러나 넓은 지역에서 화산암류의 다양한 암상은 거의 같은 시기의 분출물이라도 여러 마그마챔버에서 별도의 마그마 진화로부터 일어난 조성변화를 나타낼 수도 있고, 하나의 마그마챔버에서 진행된 조성변화에 의한 것일 수도 있다. 즉 화산암류의 마그마 진화에 대한 연구는 공시적(synchroic) 물질이라도 여러 화산체간에서 나타나는 공간간의 분화상에 의한 것인지 혹은 하나의 화산체내에서 단일 공간내의 분화상에 의한 것인지를 명확히 해야 한다. 그러므로 지금은 정확한 지질조사를 통해 하나의 단일 화산체라는 것이 입증된 하나의 단일 마그마계만을 추려서 마그마 진화의 연구를 진행하는 것이 논리 전개와 명확성에 있어서 더 바람직하다.

그래서 포항 북서부 죽장 일대에서 하나의 성층화산을 발견하고 이 성층화산을 이루는 중성 화산암류만을 추려서 이에 대한 마그마 진화를 유추하는 것이 주요 목적이다.

### 2. 지질개요

본역은 경상분지 동부 의성소분지 남동부인 포항시 북서부에 위치한다. 본역은 1994년부터 수년에 걸쳐서 용암과 화성쇄설암과 관입암 등의 암상에 따라 층서를 구분하여 지질도를 작성하였다.

그 결과는 기저부에 퇴적암류가 놓이고 있고, 이 상위에 성층화산체가 용암과 화성쇄설암의 교호에 따라 8개의 암층으로 구분된다. 이 성층화산의 층서는 유문암질 내지 안산암질 응회암(rhyolitic to andesitic tuff(A)), 안산암질 용암(andesitic lava(B)), 안산암질 응회암(andesitic tuff(C)), 안산암질 용암(andesitic lava(D)), 층회암(tuffite), 현무 안산암질 응회암(basaltic andesitic tuff(E)), 현무 안산암질 용암(basaltic andesitic lava(F)), 현무 안산암질 응회암(basaltic andesitic tuff(G)), 현무 안산암질 용암(basaltic andesitic lava(H))순으로 놓인다.

그리고 안산암관입체, 유문암질 응회암, 유문암이 놓이고, 마지막으로 이들을 심성암 관입체와 소규모 암맥이 관입하였다. 본역은 북동-남서방향의 자양천단층의 연장선이 있고, 북서서-남동동의 금천단층과 가음단층의 동쪽 연장선이 나타나고 있다.

### 3. 암석화학

본 연구에서는 층서상 하부지역인 죽장면 봉계리에서 수석봉을 지나 기계면 남계리로 연결되는 횡단선을 따라 21개의 암석 시료를 채취하였고, 유문암관입체에서 3개의 암석 시료를 채취하였다. 이 시료는 XRF로 주원소를 분석하였고, ICP-MS를 이용하여 미량원소와 희토류 원소를 분석하였다.

### 3.1. 화학적 성질

본역 성층화산체는 TAS 도에서 현무안산암, 안산암과 데사이트 영역에 도시된다. 또한  $\text{SiO}_2$  함량은 하부층에서 상부층으로 갈수록 감소하는 경향을 볼 수 있는데, 이는 하부가 산성마그마에서 분출되어 형성되고 시간이 흐를수록 중성마그마로부터 분출되어 상부층을 형성하였음을 보여주고 있다.

이 성층화산체는 모두 하부에서 상부로 진행할수록  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 의 성분이 감소하는 비알칼리 계열로 구분된다. 이 계열은 AFM 삼각도에서 칼크알칼리 계열에 속하며, 고-K와 중-K 조산대에 속하고 La/Th 구분도에서도 고-K 조산대에 도시된다. 이 성층화산체는 미량원소에 의하면 모두 화산호 영역에 도시되고 있다.

이 성층화산체는  $\text{Ce}_n/\text{Yb}_n$ 와  $\text{Ce}_n$  관계도에서 마그마 기원을 알아보면 각섬암 용융선에 밀집되어 나타나는데, 이는 이 화산체의 기원 마그마가 하부지각의 각섬암의 용융으로부터 유래된 것으로 판단된다.  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ca}_2\text{O}+(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ 의 몰비와  $\text{SiO}_2$ 의 관계도에서는 대부분 I-type 영역에 도시되므로 기원 마그마를 일으킨 각섬암은 화성기원이라는 것을 말해준다.

### 3.2. 화학적 변화

이 성층화산체에서 주원소는  $\text{SiO}_2$ 에 대하여 기타 주원소 함량이 대체로 점진적 연속 변화를 보인다. 이는 아마도 마그마 분화에 의한 것일 수도 있고 혹은 마그마 혼합에 의한 것일 수도 있다. 그러나 이 화산체의 암석들은 노두에서나 경하에서 혼합을 나타내는 불균질 혹은 불평형의 증거가 관찰되지 않기 때문에 그 원인이 아마도 전자의 가능성인 것을 암시한다. 또한 이 주원소 조성은 층서에 따라 살펴보면  $\text{K}_2\text{O}$ 와  $\text{Na}_2\text{O}$ 를 제외한 기타 주원소 조성이 하부에서 상부로 진행할수록 증가하는 경향을 나타낸다. 이는 주성분 원소가 하부에서 상부로 갈수록 산성에서 중성 조성으로 변화된다는 것을 보여주고 있다.

이를 통해 볼 때 이 성층화산체는 하나의 마그마챔버에서 분출되었음을 전제로 하면 챔버에서 마그마는 분화에 의해 상하로 조성누대를 형성했다는 것을 지시한다. 즉 챔버의 상부에 유문암질 마그마가 놓이고 그 밑으로 데사이트질 마그마, 안산암질 마그마와 현무안산암질 마그마 순으로 조성누대되었음을 지시한다. 이 화산체는 이러한 조성누대 마그마로부터 순차적으로 분출되어 하부로부터 상부로 가면서 유문암질에서 현무안산암질로 구성되는 성층화산을 형성했음을 알 수 있다.

미량원소들도  $\text{SiO}_2$ 의 함량 증가에 따라 Y, Hf 등이 뚜렷한 반비례적인 변화를 보여주고 Rb, Be, U, Pb, Th, 등이 정비례적인 변화를 나타낸다. 이들 미량원소의 함량변화는 관련 주원소 및 조암광물의 조성변화와의 일치된다. 이들 미량원소는 변화 경향이 다소 분산적으로 배열되어 있지만, 대체로 층서에 따라 Be, Rb, Cs, Pb, Th, U 등 원소는 상부로 갈수록 거의 연속적으로 감소하는 경향을 보이고 Y, Hf 원소들은 연속적으로 증가하는 경향을 나타내므로써, 주원소와 비슷하게 점진적인 변화를 나타낸다.

희토류원소의 REE 패턴은 대부분 LREE가 심하게 부화되고 HREE가 결핍되며 작은 Eu의 부 이상치를 나타내면서 여러 암층이 큰 차이가 없이 거의 평행하다. Eu의 부 이상치는 대체로 하부층으로 갈수록 더 현저하게 나타나고 상부층으로 갈수록 더 작아지는 경향을 보인다. 이는 하부층일수록 사장석의 분별작용이 더 강하게 일어나 제거되었음을 반영하는 것으로 분별작용이 진행될수록 커졌음을 나타낸다. 또한 REE 패턴의 평행한 배치는 대체로 하부층일수록 낮게 놓이고 상부층일수록 보다 높은 곳에 놓인다. 각 암상에서 REE 패턴의 평행한 배치는 동원 마그마에서 유래되었다는 것을 지시하고 분포 차이는 조성구배를 의미한다. 그러므로 전술한 바와 같이 이 조성구배도 아마도 분출되기 전에 마그마의 분별결정

작용에 의한 분화로부터 유래되었음을 시사한다. 그러나 응회암의 시료는 일반적인 패턴에서 다소 이탈되는 경우도 있는데, 이러한 현상은 응회암 내에 퇴적암 등의 외래암편이 들어있는 경우로 생각된다.

#### 4. 토 의

본역 중성 화산암류는 다운회 화산을 형성하기 때문에 휴지기를 가지면서 장기간에 걸쳐 형성되었다고 할 수 있다. 본역은 초기에 회류가 대규모로 일어났고 중기 이후부터 용암류와 화쇄류가 반복적으로 일어나 성층화산을 형성하였다. 다시 말하면 이 성층화산은 폭발과 분류가 반복적으로 일어나는 4운회의 분출동안에 형성된 화산체로서 지금 일부가 남아있는 상태이다.

그러면 이 성층화산 내에서 화학적 조성변화는 대체로 마그마챔버 내에서 분별결정작용으로 설명된다. 먼저 마그마는 휘석과 각섬석 결정의 소량 정출되면서 액체의 조성변화를 일으키고 결정의 낙하로 위치에 따른 조성변화도 일으켰다. 마찬가지로 고철질 광물에 쉽게 들어간 호정성 미량원소도 고철질 광물의 이동으로 조성변화를 일으켰다.

결정의 자형 형태는 이 결정의 대부분이 마그마의 용융물에서 정출되었음을 암시한다. 그러나 A암층에서 석영과 정장석의 산출은 마그마챔버 상부에서 정출되어 있었던 결정으로 생각된다. 왜냐하면 A암층은 이 결정들이 부석편 등의 본질편에서 발견되고 또한 결정 내에 얼룩진 핵부를 가질 수 있는 마그마 혼합작용이나 동화작용의 흔적이 나타나지 않기 때문이다.

이 화산체 내에서 층서에 따른 수직적인 조성변화는 이들이 분출될 때 마그마의 조성과의 관계를 결정지어준다. 그래서 이러한 관계를 설명하기 위해서는 앞에서 제기되었던 분별결정작용이 매우 중요하다. 분별결정작용 동안에 일어나는 초기 결정의 하방낙하는 이 암층간의 조성변화를 해석하는데 있어 매우 중요한 기구라 할 수 있다. 즉 챔버에서 마그마는 적어도 초기에 결정화된 무거운 고철질 광물은 아래로 가라앉았을 것이다. 중력에 의한 결정의 낙하는 보다 규장질이 풍부한 용융물과 휘발성분을 위쪽으로 이동시켜 결정이 축적되는 곳으로부터 약간의 위치 변동을 일으키게 한다. 이때 결정분리로 용융물 내에는 호정성원소가 고갈되고 동시에 불호정성원소가 농집될 것이다. 따라서 분출전 마그마에서 결정의 하방낙하와 용융물의 상방이동으로 인하여 아마도 챔버에서 수직적 조성누대를 형성했을 것이다. 이러한 조성누대로부터 연속적인 마그마 출조로 인하여 이 성층화산체에서 역순의 조성변화를 의미하는 층서를 나타내는 것으로 판단된다.

#### 5. 결 론

본역 화산암류는 크게 하부의 중성 화산암류와 상부의 산성 화산암류로 구분할 수 있다. 중성 화산암류는 층후가 최고 약 3,000m이고 응회암(혹은 층회암)과 용암이 4차례 반복적으로 교호되어 8개 암층으로 구분되며, 이러한 반복적인 교대는 4차례 다운회 성층화산의 일부를 가리킨다.

이 성층화산체는 화학조성상으로 칼크알칼리 계열의 유문암, 안산암, 현무안산암 영역에 도시되며, 화학적 성질이 조구조적으로 대륙주변부의 화산호 영역에 들어가고, 섭입대의 지각 하부에 존재하는 화성기원 각섬암의 부분용융에 의해 생성된 동원한 마그마로부터 유래되었음을 지시한다.

이 성층화산체의 주원소, 미량원소, 희토류원소 조성은 연속적인 점진적 변화를 보이며,

이는 마그마챔버의 모마그마가 분별결정작용으로 인하여 마그마챔버 지붕으로부터 하부로 유문암질, 안산암질, 현무안산암질 마그마로의 조성누대를 의미한다. 이러한 조성누대의 마그마챔버의 상부로부터 마그마가 차례로 분출한 것으로 유추할 수 있다.