

## 제주도 남동부 태흥리용암류에 대한 암석학적 연구

윤성효, 고정선, 박정미\*, 임성아

부산대학교 대학원 지구과학과 부산광역시 금정구 장전동 산30번지  
(yunsh@hyowon.pusan.ac.kr)

### 1. 서론

본 연구는 제주도 남동부 남원지역의 해안 절벽에 분포하는 태흥리용암류를 주 대상으로, 지표조사를 통하여 화산 층서를 확립하고, 각 용암류의 주성분, 미량성분 및 희토류 원소의 함량 조성 등의 특성을 파악하여 용암류의 지구화학적 특징과 지체구조의 위치 그리고, 암석 성인에 대해서 연구하고자 한다.

### 2. 일반지질

본 연구지역은 제주도 남부 남원지역의 해안가 절벽에 위치하며, 지표 지질은 태흥리 용암에 해당한다. 연구지역을 구성하는 화산암은 Lee(1982)에 의하면 제주 화산활동 중 제2분출기 (0.70Ma~0.41Ma)인 용암대지 형성기에 해당한다. 본 역의 화산암류를 1:100,000 지질도(농업진흥공사, 1971)에서는 침상장석감람석현무암 (Feldspar Olivine Basalt: FOB)으로, 원종관(1976)에 의해 표선리현무암으로 명명되었으며, 1:50,000 표선지질도(원종관 외, 1995)에서는 태흥리 용암으로 구분하여 기재되어 있다. 태흥리 현무암의 K-Ar연대는  $0.60 \pm 0.03\text{Ma}$ (윤상규 외, 1987)로 알려져 있다.

### 3. 암석기재

본 연구지역의 용암류는 반정 광물의 종류 및 조직에 따라 크게 침상장석감람석현무암과 비현정질현무암으로 구분할 수 있다.

침상장석감람석현무암은 약간 어두운 회색을 띠며 전체적으로 다공질이며 기공의 크기가 구상 또는 길게 늘어진 것이 특징이다. 반정으로 사장석과 감람석이 소량 나타난다. 미반정으로 사장석이 24~42% 정도 함유되어 있으며, 감람석은 약 7~12% 미만으로 관찰된다. 현미경 하에서는 입간(intergranular) 조직을 보인다.

비현정질현무암은 육안 관찰에서 전체적으로 밝은 회색을 띠며 치밀하다. 현미경하에서 반정으로 사장석과 감람석이 소량 나타나고, 감람석의 미반정이 10% 미만으로 함유되어 있으며, 단사회석이 1.5% 미만으로 극소량 관찰된다. 감람석은 열극을 따라 이딩사이트로 변질된 것도 있다. 비교적 크기가 큰 감람석 결정은 대부분 갈색의 반자형에서 타형을 가지는데, 한 방향 혹은 두 방향의 벽개가 발달한 것과 균열조직을 가지는 것도 관찰된다. 석기는 주로 목편상의 사장석으로 구성되어 있으며 0.1mm 이하의 감람석과 휘석, 그리고 불투명 광물로 구성되어 있다. 석기를 이루고 있는 목편상의 사장석은 인터서탈 조직을 보인다.

#### 4. 광물조성

본 연구의 광물 분석에 사용된 암석 시료는 6개의 대표 시료를 선정하였다. 분석된 주요 조암 광물은 감람석, 단사회석, 사방회석, 사장석, 불투명 광물이다. 사장석은  $An_{49\sim 51}$ 이고, 감람석은 Fo함량이 0.83(미반정)~0.71(반정)이다. 단사회석은  $Wo_{40\sim 42}En_{41\sim 46}Fs_{15\sim 19}$ 로서 보통회석 영역에 도시되고, 불투명광물은 자철석, 티탄철석을 포함하며,  $TiO_2$ 값이 높게 나타나는 티탄자철석 영역에 도시된다.

#### 5. 암석화학

##### 5-1 주성분 원소

본 연구 지역의 화산암의 분류와 명명은 TAS분류도에 근거하면, 알칼리 계열인 현무암과 서브알칼리 계열인 현무암으로 구분된다. 용암류 내의  $Al_2O_3$  (wt.%)에 대한 알칼리 지수(alkali index)에 의한 서브알칼리 현무암의 구분도(Middlemost, 1972)에서 본 역의 서브알칼리 현무암은 쏘레이아이트 현무암(TH)의 영역에 도시된다. 연구지역의 현무암 용암류는 알칼리 현무암과 쏘레이아이트 현무암으로 구분되어질 수 있다. 본 연구 지역의 현무암류는  $SiO_2$  성분이 48.3~51.4wt%의 범위를 나타낸다. 쏘레이아이트 현무암(TH)은 알칼리 현무암(AB)에 비하여 동일한 MgO에서  $SiO_2$ , CaO는 높은 값을 가지고,  $TiO_2$ ,  $FeO^T$ , MnO,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $P_2O_5$ 는 낮은 값을 가진다. 알칼리 현무암은 MgO가 9.5(wt%)에서 5.5(wt%)로 감소함에 따라 즉, 분화가 진행될 때  $TiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $FeO^T$ ,  $Na_2O$ 는 증가하는 경향이고,  $K_2O$ ,  $P_2O_5$ 는 8.2(wt%)까지는 증가하나, 이후는 급격하게 감소한다. 그러나, CaO는 8.2(wt%)까지 감소하다가 이후 증가한다. 쏘레이아이트 현무암은 MgO가 8.5(wt%)~7.5(wt%)에 밀집 도시되므로 특징적인 증감의 경향은 뚜렷하지 않다.

##### 5-2. 미량성분원소

쏘레이아이트 현무암은 알칼리 현무암에 비하여 동일한 MgO에서 Co, Ta, La가 낮게, 그리고 Ni과 Cr은 높게 나타나는 경향을 보인다. 알칼리 현무암에서 MgO 함량이 9.5~5.5wt%로 감소함에 따라 Ni과 Cr은 감소하는데 이것은 감람석이나 단사회석과 같은 광물이 초기 단계에서 정출하였음을 반영하고 있다. 또한, 쏘레이아이트 현무암의 호정성 원소 함량은 알칼리 현무암에 비하여 MgO 함량의 차이는 있으나 호정성 원소 Ni, Cr의 변화는 정(+)의 상관성을 가진다.

Nb에 대한 불호정성 미량원소에 대한 변화 경향을 보면, 알칼리 현무암은 쏘레이아이트 현무암에 비하여 동일한 Nb에 대하여 Ta, La, Ba, Rb 값이 모두 높게 나타나며, 15(wt%)~45(wt%) 범위 내에서 선상의 증가를 보이는 정(+)의 상관성을 보인다. 쏘레이아이트 현무암의 불호정성 원소의 함량은 알칼리 현무암의 것에 비해 적게 나타나며, Nb이 15(wt%)~23(wt%)에 밀집되어 도시되므로 특징적인 증감의 경향은 뚜렷하지 않다.

희토류 원소의 함량을 콘드라이트 값(Nakamura, 1974)으로 표준화하여 그 비를 나타내면  $(La/Yb)_N$  값이 5.97~11.97정도이고, HREE에 비해 LREE가 더 부화된 패턴을 가진다. HREE 중 Lu의 함량이 알칼리 현무암이 0.23~0.30 ppm, 쏘레이아이트 현무암이 0.20~0.30 ppm으로 거의 같은 값을 가진다. HREE에 비해서 LREE가 부화되는 것은 잔류 용체

상으로 석류석을 가지는 맨틀 근원물질이 비교적 적은 정도의 부분용융이 일어날 때의 산물임을 시사한다.

미량성분 원소의 조성 특징을 원시맨틀(primitive mantle) 값으로 규정한 거미 성분도에서 고찰해 보면, Ba 및 Rb과 같은 LIL 원소는 부화된 반면, 석류석에 호정적인 Y가 감소하여 감람석과 휘석에 호정성이 있는 Ni과 Cr은 원시맨틀 성분에 비하여 조성이 매우 낮다. 알칼리 현무암과 쏘레이아이트 현무암은 그 함량의 차이는 약간 있으나, 변화 경향은 서로 나란한 변화 패턴을 보인다. 이러한 변화 패턴은 석류석-페리도타이트 맨틀이 부분용융되어 형성되었음을 의미한다.

## 6. 조구적 위치

Ti-Zr-Y 함량비에 의한 조구적 위치 판별도에서 D영역 WPB(지판 내부 현무암) 영역에 도시된다. Hf-Th-Nb 성분비에 의한 현무암과 분화물들의 조구적 위치 판별도에서는 C영역 WPB(지판 내부 현무암)과 B영역 쏘레이아이트 WPB에 구분되어 도시된다.

## 7. 암석성인 고찰

본 연구지역의 화산암류에서 MgO에 대한 Zr/Nb 비는 알칼리암류 간에는 거의 유사하지만, 알칼리암과 쏘레이아이트 간에는 차이를 보인다. 이는 동질의 석류석-페리도타이트의 부분용융의 정도가 달랐음을 의미한다. 그리고, MgO에 대한 Y/Nb를 보면, 알칼리 현무암이 쏘레이아이트 현무암보다 낮은 값을 나타낸다. 그리고, K/Ba 비는 맨틀 근원물질의 불균질성(mantle heterogeneity)에 민감한 지시물로서, 일반적으로 OIB(~28)는 MORB(20~160)에 비하여 K/Ba 비가 낮은 것으로 알려져 있다. 이 지역의 쏘레이아이트 현무암은 알칼리 현무암에 비하여 그 함량은 낮으나, K/Ba 비는 알칼리 현무암과 거의 같다.

이러한 사실은 이들의 모마그마가 동질의 맨틀 근원물질에서 부분용융의 차이로 형성되었음을 시사한다. 또한, 이 지역 용암류의 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>와 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 값은 좋은 상관성을 보이는데, 쏘레이아이트 현무암류는 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 비가 45~60, 알칼리 현무암류는 30~40을 보인다. 쏘레이아이트 현무암류의 비가 알칼리 현무암류보다 높은 것은 쏘레이아이트의 부분용융 정도가 더 컸음을 의미한다.

## 8. 참고문헌

- 원종관 (1975) 제주도의 형성과정과 화산활동에 관한 연구. 건국대 이학논집, p.7-42  
원종관, 이문원, 윤성효, 이동영, 고보균 (1995) 표선도폭(1:100,000) 지질설명서. 건설부/제주도, 수자원공사.  
윤상규, 한대석, 이동영 (1987) 제주도 남부 지역의 제4기 지질조사 연구. 동력자원연구소 지질보고서, KR-86-2-(B)-2, p. 223-278  
Nakamura, 1974, Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrite, *Geochim. Cosmochim. Acta.* 38, 757-773.  
Sun, S.S., 1982, Chemical composition and origin of the earth's primitive mantle. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 46, 179-192.