

# 부산 백양산지역 백악기 화산-심성암류의 암석학적 연구

윤성효, 고정선, 김향수\*, 이정현, 최유종

부산대학교 대학원 지구과학과, 부산광역시 금정구 장전동 산30

(perfume99@hanmail.net)

## 1. 서론

본 연구에서는 유천소분지의 동남단에 위치하는 부산 백양산 일대의 백악기 화산암류 및 관입암류에 대한 암석학적 특징 및 성인 고찰을 목적으로 하였다. 야외조사시에는 백양산 정상부와 불태령 정상부를 가로지르면서 다양한 암상을 관찰할 수 있는 여러 방향의 행로를 택하여, 암석의 특징, 층서적 관계, 그리고 암상의 특징적 구조와 조직 등을 관찰하였고, 화산암의 암상을 구분하였다. 야외에서 채취한 표품은 실내에서 박편으로 제작하여 편광현미경하의 특징을 관찰하였고, 1차 편광현미경 관찰 결과, 각 암상별로 비교적 신선하다고 판단되는 시료를 선택하여 2000타의 점샘법을 이용하여 모우드 분석을 실시하였다. 암석 화학적 특징을 살펴보기 위해서 비교적 신선하다고 판단되는 대표적인 시료 14개에 대하여 전암 분석, 미량 원소 분석, 그리고 희토류 원소 분석을 실시하였다.

## 2. 일반지질

경상분지 내 유천소분지의 동남단에 위치하는 부산 백양산 일대에 분포하는 백악기 화산암류는 안산암질암류를 하위에 두고서 그 상부에 유문암질화성쇄설암류가 놓이며, 이들은 화강반암, 규장암, 흑운모화강암에 의해 관입되어 있는 화산-심성활동의 양상을 잘 보여준다.

## 3. 암석기재

중성 화산암류는 크게 안산암질 화성쇄설암과 안산암질 용암으로 구분되며, 그 상부를 피복하고 있는 산성 화산암류는 주로 데사이트질~유문암질 화성쇄설암류이다. 안산암질 용암은 노두에서 흑색 내지 암청색을 띠며, 치밀한 조직을 나타내는 비반상 용암과 중립의 사장석 반정을 가지며 반상조직을 뚜렷이 보이는 반상 용암으로 구별된다. 안산암질

화성쇄설암류는 안산암질 응회암(andesitic tuff), 안산암질 응회각력암(andesitic tuff breccia), 라필리응회암(lapilli tuff), 결정질응회암(crystal tuff) 등 다양한 양상으로 나타난다. 유문암질 화성쇄설암류는 화성쇄설회류응회암, 세립응회암, 라필리응회암으로 구성되며, 화성회류응회암의 경우 부분적으로 각력을 포함하기도 하나 대부분 라필리 크기의 암편(rock fragment)을 함유하면서 방향성을 나타낸다. 화성회류응회암 내 유상구조의 방향성(flowage)을 살펴 볼 때, 북동향(N15~65° W, 30~38° NE)과 남서향(N70~75° W, 55~85° SW)의 흐름이 잘 관찰되어진다. 이로써, 본 화산체 화구(vent)의 정확한 위치 파악은 어려우나, 화성쇄설회류응회암의 방향성을 통하여 대략적으로 본 역의 남부에 화구가 존재할 것이라 추측된다. 유리질응회암은 용결구조가 현저히 나타나는 전형적인 유리용결응회암(vitric densely welded ash-flow tuff)과 용결구조가 미약한 유리약용결응회암(vitric weakly welded tuff)이 있다. 유리응회암은 대부분 반상조직을 보여주며, 반정의 대부분은 사장석, 알칼리장석, 석영이다. 반정 광물의 크기는 1~2mm 로, 대부분 변질되지 않았으며, 파열되거나 부서져 반자형 내지 타형이다. 반정 광물의 대부분은 알바이트, 알바이트-칼스바드 쌍정을 보여주는 사장석과 칼스바드 쌍정이 현저하게 나타나는 알칼리장석이다. 일부 사장석 반정은 변질되어 불투명광물이나 견운모를 포함하기도 하며, 알칼리장석은 일부 점토광물로 변질되어 있다. 석영은 자형 내지 융식형을 나타낸다. 유색광물을 소량 함유하기도 한다. 유리질의 기질부에 소량의 인회석(apatite)과 흑운모 미립을 포함하면서, 유리쇄설 조직을 보여준다. 기질부는 유리샤아드와 부석편 등의 유리가 다양한 압착 정도를 보여주며, 일부시료에서는 부석편 내의 기공이 잔존하여 나타난다. 부석편들은 탈유리화된 된 경우가 많다. 아주 심하게 용결작용을 받은 응회암은 야외 산상에서 용결된 용결엽리와 신장된 뼈아메에 의한 신장선구조를 보여주며, 현미경하에서 기질부 내의 부석편과 유리는 탈유리화되어 작은 장석 광물과 실리카 광물로 재결정화되어 있으며, 경계부에는 미세하게 액시올라이트 조직이 발달한다. 그리고 흑색의 유리질용결응회암 내에는 방사상의 침상으로 실리카 광물이 성장하여 구과상 조직을 나타낸다. 일부 유리샤아드, 부석, 유색광물은 변질되어 녹니석화되어 나타난다.

#### 4. 암석화학

본 역의 화산암류는 주성분 원소에 의하면, 다소 분산되기는 하나 대부분 medium-K 또는 high-K의 안산암에서 유문암에 이르는 암형을 보이며, 데사이트 조성에 해당하는 암석의 불연속이 나타난다. 화산암류의 SiO<sub>2</sub> 함량은 52.4~75.4wt.% 의 넓은 조성 범위를 나타내는데, 암상별로 안산암질 용암, 유문암질 화성쇄설암류, 유문암질 화성쇄설암류 내에 관입되어 있는 안산암질 용암, 화강반암의 SiO<sub>2</sub> 함량은 각각 52.4~59.8wt.%, 68.5~75.4wt.%, 53.5~53.6wt.%, 68.5~72.5wt.% 이다. 안산암질 용암류는 현무암질 안산암, 안산암에 해당하며, 유문암질암류는 유문~데사이트와 유문암에 해당한다. SiO<sub>2</sub> 함량이 증

가함에 따라  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3^t$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$  등의 함량은 점진적으로 감소하며,  $\text{K}_2\text{O}$ 의 함량은  $\text{SiO}_2$  함량이 증가함에 따라서 함께 증가하고,  $\text{Na}_2\text{O}$ 는 다소 분산되나 미약하나마 증가하는 경향을 나타낸다. 그리고  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ 의 함량은 전반적으로  $\text{SiO}_2$  함량이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보이는 하나, 초기( $\text{SiO}_2$ , 50~57wt.%)에 다소 증가하다가 후기( $\text{SiO}_2$ , 57wt.% 이상)에 점진적으로 감소하는 경향을 나타낸다.

본 역 화산암류와 관입암류의 미량 원소 중에서 맨틀 광물에 대하여 불호정성인 미량 원소 성분을 평균 MORB값(Pearce, 1983)으로 표준화하여 나타낸 거미다이하그램에서 살펴보면, Sr, K, Rb, Ba와 Th은 다른 원소들에 비해서 상대적으로 높은 값을 가지며 MORB 값에 대하여 부화되어 있다. 한편, HFSE인 Ce, P, Zr, Hf, Sm, Y, Ti, Yb 등의 함량은 상대적으로 낮으며, MORB 값과 거의 같거나 조금 결핍되어 있다. 한편, Sr, K, Ba가 부화되면 일반적으로 경희토류 원소도 부화되어 나타나는데(Wilson, 1989), 이 역시 본 역 화산암류에서 잘 관찰된다.

희토류원소 함량을 콘드라이트값(Sun and McDonough, 1989)으로 표준화하여 도시한 다이하그램에서 살펴보면, 안산암, 유문암질 화성쇄설암, 화강반암에 대한 희토류 원소의 총량은 각각 93.6~157.7ppm (평균 120.5ppm), 159.6~214.0ppm(평균 183.7ppm), 173.3~186.3ppm (평균 179.8ppm)으로, 본 역 화산암류 및 관입암류들은 평균 운석에 비하여 희토류 원소가 부화되어 있으며, 경희토류 원소는 전체 콘드라이트에 비해서 약 30~200 배 정도 부화되어 있다. 전반적으로 REE 패턴에서 경희토류 원소는 부화되어 있고, 중희토류 원소는 다소 낮은 일반적인 경향을 나타낸다. 각 암상별로 비교해 보았을 때, 안산암, 유문암질 화성쇄설암, 그리고 화강반암의  $(\text{La}/\text{Yb})_N$  비는 각각 4.2~6.0, 4.1~6.8, 그리고 5.8~7.3이다. 화강반암에서의 기울기가 안산암과 유문암질 화성쇄설암에 비하여 다소 높기는 하나, 대체로 기울기가 거의 같으며, 평행한 배열을 보여준다. 유문암질 화성쇄설암과 화강암류는 Eu을 제외하고는 안산암에 비하여 대부분의 희토류원소가 소량 부화되어 있다. 안산암은 유문암질 화성쇄설암과 화강반암에 비하여 Eu의 부(-) 이상이 현저하지 않으나, 유문암질 화성쇄설암과 화강암류에서는 현저하게 나타난다.

미량원소와 희토류원소의 패턴, 조구조 판별도( $\text{Hf}/3\text{-Th-Nb}/16$ ;  $\text{Zr}/117\text{-Th-Nb}/16$ )는 본 역의 화산암류가 지판의 섭입과 관련되어 형성된 화성암류임을 시사해 주며,  $\text{Rb}/\text{Zr}$  vs.  $\text{Nb}$  성분도와  $\text{La}/\text{Yb}$  vs.  $\text{Th}/\text{Yb}$  성분도는 본 역의 화산암류가 공간적으로 화산호에 위치하고 이 중에서도 대륙연변부를 통과한 대륙호에 속함을 보여준다. 이 대륙호 가운데에서도 칼크-알칼리 계열 암석을 나타낸다.

## 5. 암석성인 고찰

본 역에서 가장 염기성에 가까운 현무암질 안산암류 마그마 기원이 상부 맨틀의 부분 용융일 가능성을 지시한다. 본 역의 안산암질 마그마는 섭입과 관련하여 상부 맨틀의 맨

를 웨지로부터 생성된 현무암질 초생 마그마로부터 분별정출작용에 의해 만들어졌을 가능성이 크다. 또한 지화학적으로 안산암류에서 유문암질암류와 화강반암으로 갈수록 불호정 원소의 증가, Sr, Ti, P, Sc, Ca, Al, Fe, Mg와 같은 호정성 원소의 감소, 희토류 원소 패턴에서 보이는 Eu의 부(-) 이상 등은 본 역의 유문암질(화강암질) 마그마가 안산암질 마그마로부터 분별정출작용에 의해 진화되었을 가능성이 크다는 것을 시사해 준다. 이에 Cox et al. (1979)에 의해 제시된 분별정출모델을 이용하여 본 역에 산출되는 현무암질 안산암과 안산암은 각기 어느 정도의 분별정출이 이루어졌는지 살펴보았다. 본 역 암석들의 경하 관찰 결과, 대부분 휘석, 사장석, 각섬석을 반정으로 가지므로, 본 역은 이러한 반정광물의 정출에 의해 분화가 이루어진 것으로 추측된다. 분별정출모델에 적용되는 광물의 조합은 모드 분석한 것을 바탕으로 하였다. 계산 결과, 현무암질 안산암(시료 509-12)에서 안산암(시료 326-7)으로의 분화는 약 28%의 분별정출에 의하여 단사휘석, 사방휘석, 사장석, 각섬석이 각각 11:10:42:37의 비율로써 정출된 것으로 해석된다. 한편, 안산암(시료 326-7)에서 유문암질암(시료 509-16)으로의 분화 과정은 약 20%의 분별정출에 의하여 단사휘석, 사방휘석, 사장석, 각섬석이 각각 10:10:76:4의 비율로써 정출된 것으로 추정된다. 그러므로, 본 역의 유문암질 마그마는 현무암질 안산암 마그마로부터 휘석과 사장석을 포함하는 분별정출작용을 통하여 진화하였음을 알 수 있다.

## 6. 참고 문헌

- Cox, K.G., Bell, J.D. and Pankhurst, R.J., 1979, The interpretation of igneous rocks. London George Allen & unwin., 450p.
- Pearce, J.A., 1983, The role of sub-continental lithosphere in magma genesis at destructive plate margins. *In* continental basalts and mantle xenoliths. C.J. Hawkesworth and M.J. Norry (ed.), 230-49, Nantwich: Shiva.
- Sun, S.S. and McDonough, W.F., 1989, Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *In* Magmatism in the Ocean Basins (Saunders, A.D. and Norry, M.J. Eds.). Geol. Soc. Spec. Publ., 42, 313-345.
- Wilson, M., 1989, Igneous petrogenesis. Unwin Hyman, London, 466p.