

## 보현산 화강암체의 지구화학적 특징과 마그마 불균질 혼합에 대한 고찰

김건기, 좌용주

경상대학교 지구환경과학과 (dry-season@hanmail.net)

### 1. 서언

화강암질 조성의 펠식한 마그마 챔버에 보다 매퓌한 마그마가 주입될 때, 두 마그마의 상대적인 온도, 조성, 점성, 그리고 주입되는 양적 비율에 따라 혼합의 양상은 매우 다양하게 나타난다(Poli et al., 1996). 이들의 차이가 적을 경우에는 완전한 혼합(mixing)에 의한 혼염된 마그마(hybrid magma)를 형성할 것이고, 역으로 차이가 클 경우에는 불균질한 혼합(mingling)에 의한 매퓌 미립 포획암(Mafic Microgranular Enclave: MME)들을 형성하게 된다. 따라서 펠식 마그마와 매퓌 마그마 사이의 혼합과정에 대하여 역학적인 면과 화학적인 면의 양쪽에서 고찰하여야 한다. 이 논문에서는 마그마 불균질 혼합 정도에 따른 지구화학적 특징을 통하여 혼합과정을 살펴보고자 한다.

### 2. 일반 지질

보현산 화강암은 경상분지의 의성소분지 중앙부에 위치하며, 남동에서 북서에 걸쳐 암주상으로 산출된다. 1:5만 지질 도폭으로 구산동, 신령, 기계, 도평에 걸쳐 분포한다.

연구지역은 하부로부터 하양층군의 함안층, 대구(반야월, 춘산)층, 화산(신양동)층이 넓게 분포하고 있으며, 구성 암석으로는 사암과 셰일이 있다. 이들 퇴적암은 화강암류에 관입 접촉하고 있으며, 열변성에 의한 접촉변성작용을 받아 대부분 혼펠스화 되었다. 그 위에는 유천층군의 산성~중성의 화산암류가 분출·피복하고 있으며, 유문암질 화산암류는 연구지역의 서부와 북부에 주로 분포하고, 안산암질 화산암류는 연구지역의 동서로 넓게 분포하고 있다. 그리고 불국사 화강암류가 이들을 관입 분포하고 있으며, 매우 다양한 크기와 조성의 매퓌 포획암을 포함하고 있다.

### 3. 암석 기재

보현산 화강암체는 화강암과 화강섬록암으로 주 구성된다. 이 화강체의 뚜렷한 특징중의 하나는 매우 다양한 크기의 매퓌 포획암이 발견되는 것이다. 이 포획암은 대개 석영 섬록암에서 섬록암 조성을 띠며, 크기 분포를 보면, 화강 섬록암에서는 0.3~30cm 정도의 작은 크기를 가지며, 흑운모 화강암에서는 0.3~200cm 정도의 매우 다양한 크기를 가진다.

매퓌 포획암은 흔히 매퓌 미립 포획암으로 불리는 것으로 그 형태와 조성에 따라 유색광물

군집, 석영섬록암, 섬록암으로 구분된다. 산출의 형태를 살펴보면 화강암체 내에 독립적인 포획체로 나타나기도 하고, 주입 암맥(injected or feeder dyke) 또는 끊어진 형태의 암맥(dismembered dyke)으로 나타난다. 이러한 산출형태의 다양성은 화강암질 마그마 챔버와 그곳에 주입되는 매픽 마그마 사이의 물리화학적인 차이로부터 기인된다.

때때로, 펠식 마그마와 매픽 마그마의 경계부에서는 두 단성분의 혼합에 따른 중간 조성의 암상(hybrid)이 나타나기도 한다.

한편, 포획암에 나타나는 과냉각대, 석영과 장석 주위에 발달한 매픽 광물의 망토조직, 정장석 주위를 사장석이 둘러싸고 있는 라파키비 조직, 석영 내부의 각섬석-흑운모 영역, 석영 또는 장석 내의 포이킬리틱 조직, 그리고 침상의 각섬석 등은 두 마그마사이에 혼합을 지시하는 기재적인 증거들이다(좌용주와 김진기, 2000).

#### 4. 마그마 불균질 혼합 정도에 따른 지구화학적 특징

마그마 불균질 혼합 정도에 따른 암석화학 및 동위원소 특징을 고찰하기 위해, 주성분 원소에 대한 화강암질 마그마와 보다 매픽한 섬록암질 마그마의 혼합정도를 2성분 혼합 테스트 모델을 이용하여 계산을 하였다(Fourcade and Allegre, 1981). 그 결과 가장 매픽한 화강섬록암질의 경우 섬록암질 마그마 조성의 약 65%정도 혼합되었고, 화강암은 평균 19%, 화강섬록암은 평균 51% 정도의 섬록암질 조성이 혼합된 것으로 나타났다. 한편, 포획암의 평균 조성은 약 25% 정도의 화강암질 조성이 혼합된 결과이다.

펠식 마그마와 매픽 마그마 사이의 혼합 정도는 화강암류와 포획암의 주성분 원소, 미량성분 원소, 희토류 원소, 그리고 동위원소 등에서 검증된다. 주성분 원소의 변화 경향은  $\text{SiO}_2$  함량 변화에 대하여 선적인 변화 경향을 매우 잘 나타내준다. 이것은 두 마그마의 혼합 정도에 따른 양적인 변화경향 때문이다. 하지만, 미량성분 원소의  $\text{SiO}_2$  함량 변화에 대해 세 가지 변화경향을 나타낸다. 우선 결정/마그마에 대한 분배계수(D)가 1보다 큰 미량원소(예; Sr, Y)의 경우 매픽 단성분의 함량이 펠식 단성분의 함량보다 많으며,  $\text{SiO}_2$  함량이 증가할수록 이 미량원소의 함량은 감소하는 경향을 보인다. 다음으로 D가 1보다 작고, 펠식 단성분에서 함량이 높은 경우에는  $\text{SiO}_2$  함량이 증가할수록 이 미량원소의 함량은 증가한다(예; Rb, Th). 마지막으로 D가 1보다 작고, 펠식과 매픽의 단성분에서 함량이 비슷할 경우에는  $\text{SiO}_2$  함량에 대한 미량원소의 함량변화는 위로 볼록한 bell-shaped 경향을 나타낸다(예; Ba, Nb, 희토류원소). 이러한 세 가지 변화경향은 Poli et al.(1996)에 의해 제안된 변화경향과 잘 일치한다.

희토류 원소를 콘드라이트에 표준화한 도표에 나타난 결과 경희토류 원소가 중희토류 원소에 대해 부화되어 있으며, 화강암과 포획암에서의 기울기는 거의 동일하다. Eu의 경우 사장석 결정분화에 의한 부의 이상을 보여주며, 마그마가 혼합될 당시 화강암질 마그마에서는 분별정출작용이 일어나고 있었음을 나타내 준다. 이러한 결과들은 서로 혼합된 두 마그마사이에 주성분 원소, 미량성분 원소, 희토류 원소들에 대하여 화학적 평형이 성립되었음을 보여준다.

한편, Sr 동위원소에 있어서도 두 마그마 사이에 화학적 평형이 성립된 것으로 보인다. 보현산 화강암체의 Sr 동위원소비에 따른 전암 등시선 연대는  $56.8 \pm 1.2\text{Ma}$ 를 나타내고, 그 초생값은  $0.70485 \pm 6$ 이다. 포획암의 동위원소비는 화강암체 등시선의 내삽 위치에 도시되며, 화강암체와 포획암을 모두 포함시켜 계산한 등시선 연대는  $59.1 \pm 2.6\text{Ma}$ , 초생값은  $0.70472 \pm 9$ 이다. 이 결과는 매픽 마그마가 동시-심성 암맥(syn-plutoic dyke)로 주입되었을 가능성을 지시하는 것이다.

## 5. 결론

보현산 화강암체에 대한 2 성분 혼합 테스트, 주성분 원소, 미량성분 원소, 희토류 원소, 그리고 동위원소들을 이용하여 혼합과정을 고찰하여 보았다.

보현산 화강암체의 형성은 지하 얇은 곳에 있던 화강암질 마그마 챔버에 보다 매픽한 섬록암질 마그마가 주입됨으로서 이루어진 것으로 보인다. 화강암질 마그마 챔버는 부분적으로 석영과 장석 등의 결정들이 정출된 상태였을 것으로 생각된다. 보다 저온이며 고점성인 화강암질 마그마 챔버에 보다 매픽한 마그마가 여러 차례 주입되었다. 고온이며 저점성인 매픽 마그마는 챔버 내에 주입되어 들어가고, 경계부는 온도 차이로 말미암아 과냉각 된다. 매픽 마그마의 계속된 주입으로 화강암질 마그마 챔버 내부의 온도가 상승하게 되면, 매픽 마그마와 화강암질 마그마 사이의 물리·화학적 혼합은 가속화된다. 이러한 연속적인 혼합과정에서 두 단성분의 여러 중간 조성들이 만들어지게 되며, 또한 두 마그마 사이에 화학적 평형이 성립되었을 것으로 생각된다.

## 6. 참고문헌

- 좌용주, 김건기, 2000, 의성분지 보현산 일대 화강암류와 포획암에 대한 암석학적 연구. 암석학회지, 9, 187-203.
- Fourcade, S. and Allegre, C.J., 1981, Trace element behavior in granitic genesis: a case study, the calc-alkaline plutonic association from the Querigut Complex, Pyrenees, France. Contributions to Mineralogy and Petrology, 76, 177-195p.
- Poli, G., Tommasini, S., Halliday, A.N., 1996, Trace element and isotopic exchange during acid basic magma interaction processes. Trans. R. Soc. Edinb. 87, 225-232p.