

## 부산-양산지역에 분포하는 화강암류의 지화학적 분화

황병훈\*, 이준동, 양경희

부산대학교 지구환경시스템학부 지질환경과학전공(bhhwang@pusan.ac.kr)

### 1. 서론

경상분지 남동부 부산-양산지역에는 다양한 암상의 화강암류들이 분포하고 있으며, 이미 이들 화강암류의 성인에 관하여 많은 연구가 진행되어 왔다(차문성 외, 1972; 진미정, 1998; 진미정 외, 2000; 황병훈 외, 2003, 2004; 황병훈, 2004; Lee, 1991). 연구지역 화강암류는 광물함량 및 조직에 근거하여, 화강섬록암, 포유암 함량이 많은 반상화강암, 포유암 함량이 적은 반상화강암, 등립질화강암, 미문상화강암의 다섯 암상으로 분류가 되며, 이들 중 화강섬록암과 포유암 함량이 많은 반상화강암, 포유암 함량이 적은 반상화강암은 MME와 염기성 광물 집합체를 함유하고 있어서, 염기성 마그마의 주입에 의한 마그마 혼합의 영향을 잘 나타내고 있다(진미정 외, 2000). 하지만, 이들을 관입한 등립질화강암과 미문상화강암에는 이러한 마그마 혼합의 영향이 거의 나타나지 않는다. 그러므로 이들 다섯 암상의 성인이 마그마 혼합과정을 포함하는 하나의 마그마 분화과정을 통하여 형성되었다고 보기는 어렵다고 판단된다. 이미 연구지역 화강암류에 대한 암상별 암석기재적 연구, 암석지화학적 연구, 그리고 Sr-Nd 동위원소 연구가 진행되었으며(황병훈, 2004), 마그마 혼합의 영향을 받은 세 암상을 그룹 I로, 나머지 두 암상(등립질화강암, 미문상화강암)을 그룹 II로 구분하여, 그룹별로 절대연령 추정 및 근원물질 추정을 하였다. 그 결과, 그룹별로 관입 시기 및 근원물질이 다른 것으로 관찰되었다. 본 연구에서는 이 다섯 암상에 대한 미량성분원소의 지화학적 거동을 통하여, 그룹별로 마그마 과정을 살펴보고, 이들의 성인관계를 검토하였다.

### 2. 화강암질 마그마의 형성 및 진화과정

연구지역 화강암류와 MME를 대표하는 신선한 시료를 선별하여, 미량성분원소를 분석하였으며, 분석치를 다양한 변화도표에 도시하여 지화학적 진화과정을 살펴보았다.

그림 1(a)의 Sr에 대한 Rb의 변화도에서, 연구지역 전체 화강암류들은 대체로 사장석의 분별경향을 따르는 것처럼 보이지만, 암상별로 더 세분하여 관찰하면, 그룹II의 등립질화강암과 미문상화강암은 정장석의 분별경향을 따르는 것으로 나타난다. 그림 1(b)의 Sr에 대한 Ba의 변화도에서 좀더 확실한 차이를 볼 수 있으며, 특히 MME들은 흑운모의 분별 경향을 따르는 것으로 보인다. 따라서 마그마 혼합의 증거가 나타나는 그룹I의 세 암상은 염기성 마그마 주입에 의한 혼합이 있는 후, 사장석의 분별과정을 따르게 되고, 주입된 염기성 마그마는 MME를 형성하는데, 이들은 사장석 보다는 흑운모의 분별작용이 있었던 것으로 판단된다. MME는 침상의 흑운모가 밀집되어 있는 부분과 그렇지 않은 부분으로 누대가 나누어 지는데, 이런 암석기재적 특징이 흑운모의 분별과정을 지시해 주는 증거라 할 수 있을 것이다. 그리고 그룹I을 관입한 그룹II의 두 암상은 이들과는 다른 정장석의 분별작용을 겪었던 것으로 보이므로, 따라서 이들 그룹들은 다른 마그마 과정을 겪었던 것으로 판단된다.

그림 2에서 보여주는 REE 패턴의 기울기 변화에서, SiO<sub>2</sub> 함량변화에 따른 La/Yb 비는

암상별로는 군집을 이루지만, 규칙적인 변화양상은 보이지는 않는다(그림 2a). 하지만 La에 대한 La/Yb 비는 뚜렷한 두 개의 기울기 변화를 나타낸다(그림 2b). 그룹 I의 화강암류들은 A의 기울기 변화를 따르고, 그룹 II는 B의 기울기 변화를 따른다. 만약 이들이 분별결정작용 또는 마그마 혼합작용 등을 포함하는 일련의 마그마 과정의 산물이라면, 아마도 기울기 변화는 규칙적인 하나의 경향만을 나타내어야 할 것이다. 따라서 그룹 I의 화강암류와 그룹 II의 화강암류들은 성인적으로 달랐음을 시사해 준다.

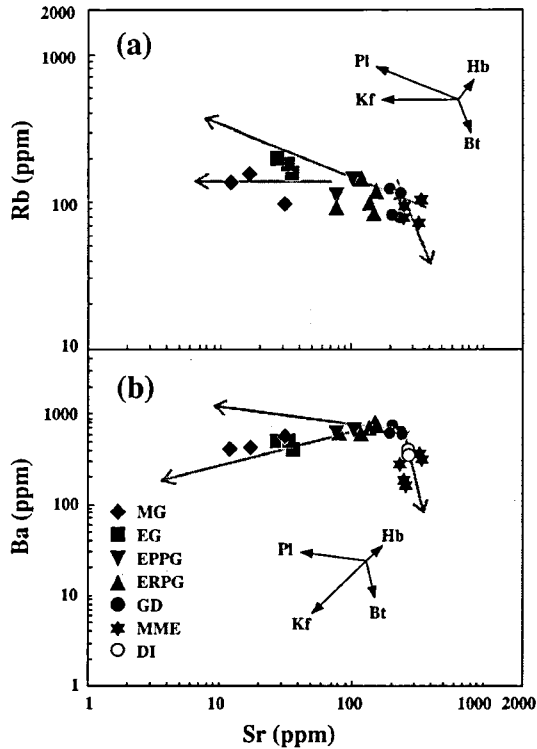


Fig. 1. Logarithmic plots of Rb and Ba vs. Sr concentration.

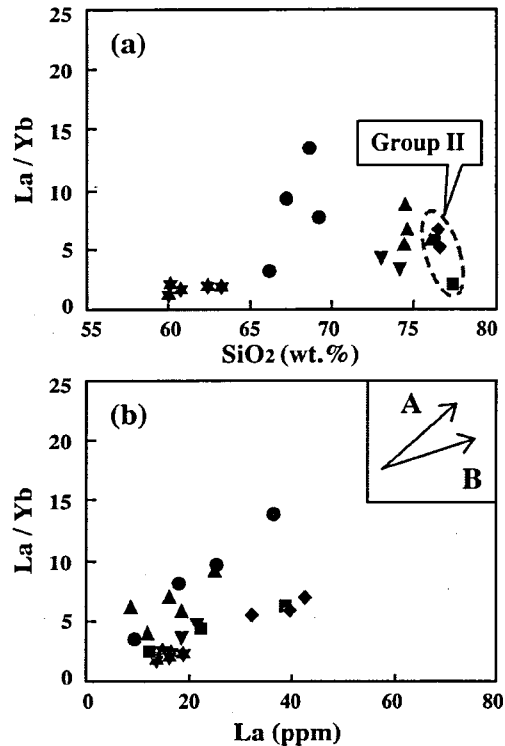
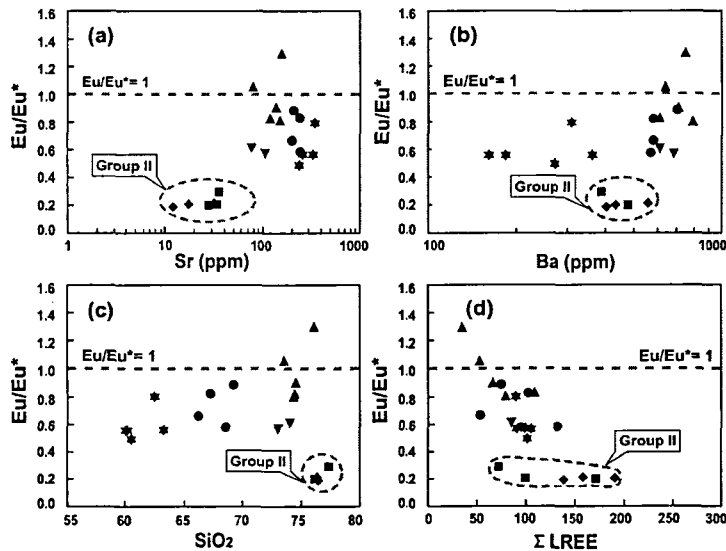


Fig. 2. Plot of La/Yb vs. SiO<sub>2</sub> (a) and La/Yb vs. La (b).

한편 장석의 분별을 지시하는 척도인 Eu/Eu\* 비를 Sr, Ba, SiO<sub>2</sub>, 그리고 ΣLREE 함량에 도시해보면(그림 3), 그룹 I의 화강암류들은 대부분의 그림에서 분산되어 나타나지만, 그룹 II의 화강암류들은 Eu/Eu\*의 값이 0.2~0.4의 영역에 군집된 양상을 보인다. Eu 부의 이상의 정도는 포유암 함량이 많은 반상화강암을 제외하면, MME, 화강섬록암, 포유암 함량이 적은 반상화강암, 등립질화강암, 미문상화강암의 순으로 비교적 체계적으로 변화하는 양상을 보여 장석의 분별작용을 포함하는 일련의 분화과정을 겪은 것으로 생각되기도 한다(그림 3a, 3b, 3c). 하지만 그림 3d에서 그룹 II 화강암류들은 ΣLREE의 넓은 함량변화에도 불구하고 일정한 값의 Eu/Eu\* 비를 보이므로, 그룹 I과 동일한 마그마 작용을 겪지는 않았던 것으로 판단된다.

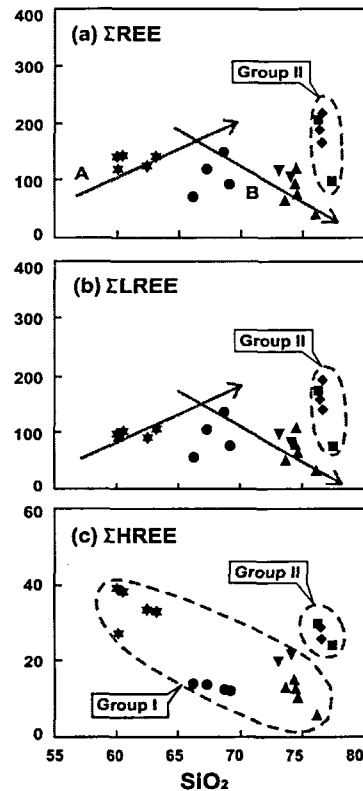
또한, 주어진 SiO<sub>2</sub> 함량에 대한 각 시료들의 ΣREE 함량을 도시해보면(그림 4a), 그룹 I

화강암류들은 대체로 증가하다가 감소하는 두 개의 기울기 변화양상을 보인다. 첫 번째 기울기 변화선(A)은 MME의 분화양상을 나타내며, 두 번째 기울기 변화선(B)은 MME와 모화강암과의 혼합양상을 나타낸다(Poli and Tomasini, 1991). 또한 그룹 II 화강암류들은 주어진 SiO<sub>2</sub> 함량에서 세로로 분산된 양상을 띠는데 이것은 LREE와 같은 유동성(mobile) 원소의 거동과 관련된 것으로 사료된다(Rollinson, 1993). 그림 4(b)에서 보는 바와 같이, ΣREE 함량의 변화패턴과 ΣLREE 함량의 변화경향은 거의 동일하다. 반면, 그림 4(c)에 나타나는 ΣHREE 함량은 그룹별로 뚜렷이 구분되며, HREE는 상대적으로 비유동성(immobile) 원소이므로, 마그마의 진화과정에서 큰 변화를 보이지 않으며, ΣHREE 함량은 마그마의 초기 성분을 의미하는 것으로 볼 수 있을 것이다. 따라서 연구지역 화강암류에 적용시켜 보면, 그룹 I 과 그룹 II가 뚜렷이 구분되므로(그림 4c), 이들은 서로 다른 마그마였음을 알 수 있다. 그러므로 마그마혼합의 산성질 단성분(end member)은 그룹 II의 화강암들이 아닐 것으로 판단되며, 이들의 성인에 대하여 더 많은 연구가 필요할 것으로 생각된다.



▲ Fig. 3. Eu anomaly discrimination diagrams.

▶ Fig. 4. REE discrimination plots of total REE contents vs. SiO<sub>2</sub>.



### 3. 결론

이상에서 살펴본 바에 의하면, 연구지역 화강암류는 분별결정작용 또는 마그마혼합 작용 등과 같은 한가지의 마그마과정을 통하여 형성된 것이 아니고, 적어도 둘 이상의 지화학적 분화과정을 겪었던 것으로 판단된다. 따라서 암체의 연령측정이나 성인연구에 있어서 적어도 그룹별 구분을 고려해야 할 것으로 판단된다.

#### 4. 참고문헌

- 진미정, 1998, 양산시 원효산 남부의 화강암질암체에 대한 암석학적 연구. 부산대학교 석사 학위논문, 61p.
- 진미정, 김종선, 이준동, 김인수, 백인성, 2000, 양산시 원효산 화강암에 산출되는 포획암에 대한 암석학적 연구. 암석학회지, 9(3), 142-167.
- 차문성, 김정진, 윤선, 1972, 부산시 일원(언양-동래지역)의 화성활동과 광화작용에 관한 연구. 광산지질, 5, 151-162.
- 황병훈, 김종선, 손문, 양경희, 김인수, 이준동, 2003, 경상분지 화강암류의 성인과 지구조적 연관성: 1. 양산단층 남부에 의해 규제되는 화강암질암체의 암석학적 및 동위원소 연구. 대한지질학회 추계학술발표회 논문집.
- 황병훈, 이준동, 양경희, 2004, 양산단층 주변에 분포하는 화강암질암의 암석학적 연구: 양산 단층의 수평 변위량. 지질학회지, 40(2), 161-178.
- 황병훈, 2004, 경상분지 남부지역의 화강암질암에 대한 암석학, 동위원소 및 성인. 부산대학교 박사학위논문, 309p.
- Lee, J. I., 1991, Petrology, mineralogy and isotopic study of the shallow-depth emplaced granitic rocks, southern part of the Kyeongsang basin, Korea: Origin of micrographic granite. Ph D. Thesis, University of Tokyo, 197p.
- Rollinson H., 1993, Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. Longman Group UK Ltd., 352 p.
- Poli, G.E., and Tommasini, S., 1991, Model for the origin and significance of microgranular enclaves in calc-alkaline granitoids. J. Petro., 32, 657-666.