

# 김천 화강암류 주변부와 내측부의 암석 및 광물화학

윤현수 · 홍세선 · 유장한 · 양동윤<sup>1)</sup>

## 1. 서론

연구대상인 화강암류는 김천남부인 금릉군일대에서 북동향으로 넓게 분포하는 화강암류이다. 이 암류는 암석 및 광물학적으로 뚜렷한 차이를 보여 내측부와 그 양쪽 주변부로 구분될 수 있다. 이들의 지질시대는 각각 시대미상과 쥬라기로 조사보고된 바 있다.

이 연구에서는 주변부와 내측부 화강암류의 암석학적인 산출특성과 접촉관계 등을 조사하였다. 각 부에서 전반적으로 채취된 시료의 모우드 분석을 실시하여 암석명을 구하였다. 그리고 대표시료의 흑운모 연령측정(K-Ar)을 실시하였다. 채취된 대표시료의 연마편을 제작과 EPMA 분석을 통하여 주변부와 내측부의 사장석, 흑운모와 각섬석 등의 광물화학성을 비교하였다. 또한 주원소와 미량원소 등의 지구화학적 연구를 통하여 이들이 동일 또는 별개의 암체인지의 규명, 분화경향, 암석계열, 마그마 기원과 성인 등을 밝혔다. 그리고 대표시료의 희토류원소의 콘트라이트 표준화값 변화를 해석하였다.

이 연구에 이용된 시료의 주성분원소는 습식법과 XRF, 미량원소는 ICP, 희토류원소는 MS로, 그리고 K-Ar 흑운모 연령은 질량분석기로 우리 연구원에서 분석되었다. 광물의 화학조성은 전자현미 분석기기(JEOL JXA 8600)를 이용하여 얻어졌으며, 광물의 화학조성을 한 시료에서 2~4개의 입자를 선택하여 연변부에서 8~12점, 중심부에서 6~9점씩 측정하여 얻은 분석치들을 평균하여 구하였다.

## 2. 이론적 고찰

연구대상인 화강암류는 편마암류를 관입하며 연구지역의 중심부에서 대체로 북동향을 이루며 넓게 분포하며 구성광물, 암색 및 입도 등에 의해 양쪽 주변부와 내측부로 구분될 수 있다. 흑운모 연령(K/Ar)인  $197 \pm 3 \sim 207 \pm 3$  Ma로 미루어, 화강암류의 관입정지시기는 적어도 트라이아스기말일 가능성을 제시한다.

점이적 관계를 이루는 주변부와 내측부는 다소의 입도차이와 각섬석의 유무 외에는 거의 같은 구성광물과 산출상을 이룬다. 전자는 회색을 띠며 대체로 조립질이 우세하고 각섬석, 흑운모와 스펀을, 후자는 회색-담회색을 띠며 중립질이 우세하고 흑운모, 스펀 그리고 간혹 미립의 각섬석을 수반한다. 유색광물 밀집부는 그 산출빈도와 크기가 전자보다 후자에서 훨씬 감소한다. 모우드 분석과 구성광물에 의하면 각각 각섬석 흑운모 화강섬록암과 흑운모 화강암-화강섬록암에 주로 도시된다.

이 화강암류의 사장석은 거의가  $An_{39}$  이하의 함량을 가진다. An 함량은 입자의 연변부가 중심부보다 낮은 정상 누대구조를 보인다. 사장석은 주변부에서  $An_{27} \sim An_{43}$ 를, 내측부에서  $An_{19} \sim An_{49}$ 를 가져, 일부 입자(Sp. no 9) 외에는 대부분 주변부에서 An 함량이 증가한다. 주변부에서 사장석 중심부와 연변부의 An 함량 차이는 내측부에 비해 비교적 좁은 범위를

---

**주요어:** 주변부, 내측부, 단일 마그마기원

1) 한국지질자원연구원 지질연구부

보여 주변부에서 사장석의 결정화가 좀 더 짧은 시간간격을 갖고 일어났음을 지시한다.

사장석 중심부의 조성도 주변부가 내측부보다 약간 높은 조성상의 차이를 보인다. 이는 사장석이 정출될 때의 압력, 물분압과 같은 요인들에 의해 수습도 정도의 멜트온도의 차이가 있었을 가능성을 제시한다. 흑운모는  $Al_{total}$  대  $Fe/(Fe+Mg)$ 의 관계도에서 밀집되며 다소 구분되는 경향을 보인다. 내측부의 흑운모는  $Al_{total}$  2.667~2.850,  $Mg/(Fe+Mg)$  0.40~0.48의 값을, 주변부의 것은  $Al_{total}$  2.680~2.738,  $Mg/(Fe+Mg)$  0.49~0.54의 값을 가진다. 즉  $Al_{total}$ 은 내측부에서,  $Fe/(Fe+Mg)$ 은 주변부에서 그 값이 각각 약간 증가한다.  $Al_{total}$ -Mg의 그림에서 보면 주변부와 내측부는 모두 칼크-알칼리 계열로 분류되며, 암체의 분화가 진행됨에 따라 Al은 부화되고 Mg는 점차 감소하는 완만한 경사도를 갖는 경향을 나타낸다(Fig. 1). 이는 동일암체에서 분화된 화강암체의 경우 Al과 Mg는 동시에 분화될 것이므로 완만한 Al과 Mg의 성분 진화경로를 보일 것이며 급한 경사도를 보이는 경우는 단일 폐쇄계에서의 분별 작용에 의한 것으로 생각하기는 어렵다는 Nachit et al. (1985)의 설명과 일치한다.

각섬석은 주변부에서는 자형으로 다른 광물들과 비슷한 크기로 산출되며, 내측부로 올수록 거의 산출되지 않는 경향을 이룬다. 그러나 내측부에서 매우 소량의 각섬석이 한 두 시료에서 관찰되기도 하는데 세립질이며 박편에서 1~2 입자만 관찰될 정도로 산출빈도가 적어진다. IMA에 의한 각섬석 분류(Leake, 1997)에 따르면  $Ca_B \geq 1.50$ ,  $(Na+K) < 0.5$ ,  $Ca_A < 0.5$ 로서 모두 Ca 각섬석(calcic amphibole)에 속한다.  $Mg/(Mg+Fe)$ 비는 0.5~0.7 사이로 제한된 범위를 나타내며 Mgd와 Cgd 모두 magnesiohornblende 영역에 도시된다. Schmidt (1992)의 식에 의해 계산된 정치압력은 4.2 kb내지 5.4 kb (평균 5 kb : 18 km)의 비교적 고른 압력 분포를 보이고 있다.

이 화강암류의 주변부는 대부분 중성암에, 내측부는 산성암에 해당한다. 하커 다이어그램에서  $TiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3(t)$ ,  $MgO$ 와  $CaO$ 는 다소 급한,  $MnO$ 와  $P_2O_5$ 는 완만한 부의 경향을 이룬다.  $K_2O$ 와  $Na_2O+K_2O$ 는 미약한 정의 관계를 가진다. 주변부와 내측부는 AMF 관계도(Fig. 2)에서 칼크-알칼리 계열에 도시되고 선상으로 놓이며 전자보다 후자가 더 분화된 경향을 뚜렷이 가지며 A/CNK 몰비는 주변부보다 내측부에서 다소 더 과알루미나화된다. 미량원소는  $SiO_2$ 와의 관계도에서 정, 부 그리고 불규칙한 변화경향을 보인다. Ba-Sr-Rb의 관계에서 주변부는 섬록암-화강섬록암-석영섬록암, 내측부는 화강섬록암-석영섬록암에 도시되어 전반적으로 내측부가 더 분화된 양상을 보인다. 이러한 주원소와 미량원소의 암석화학적 특성 등으로 미루어 주변부와 내측부는 단일 화강암질 마그마기원의 분화산물로 보인다.

이들 암류는 각섬석, 스펀이 수반되며 각섬석과 흑운모내에 미립의 인회석이 함유되어 I-형에, (석영+알칼리장석) 대 불투명광물의 관계에서 대부분이 자철석계열에 속한다.  $K_2O$  대  $Na_2O$ ,  $Fe_2O_3$  대  $FeO$  그리고 ACF 관계도 등에서 모두 I-형에 속한다. 그리고  $Fe^3/(Fe^3+Fe^2)$ 는 주변부와 내측부가 각각 0.40과 0.49을 가져 모두 자철석계열에 해당한다.

K/Rb 대 Rb/Sr의 관계도 등으로 미루어, 이들 화강암류는 비교적 고정된 근원성분의 점진적 용융으로 형성된 산물로 해석된다. 콘드라이트값으로 표준화한 희토류원소 변화도에서 LREE에서 HREE로 갈수록 점진적으로 뚜렷이 결핍된다. Eu은 미약한 부이상을 보여 사장석의 분별결정작용이 내측부보다 주변부에서 다소 더 일어난 경향을 가진다. LREE는 거의 밀착된, 그리고 HREE는 내측부보다 주변부에서 다소 증가하는 경향을 보이며, 이러한 양상은 주변부에 더 많이 수반되는 각섬석과 스펀에 의한 것으로 보인다.

### 3. 결론

이들 화강암류는 석영, 사장석, 알칼리장석, 흑운모, ±각섬석, 인회석, 스펀, 저어콘, 갈염

석과 불투명광물 등으로 구성되어 각섬석 외에는 거의 같은 조성광물을 이룬다. QAP 모우드 삼각도에서 주변부는 각섬석 흑운모 화강섬록암에 그리고 내측부는 흑운모 화강암-화강섬록암에 주로 해당한다.

흑운모 연령(K/Ar)인  $197 \pm 3 \sim 207 \pm 3$  Ma로 미루어, 화강암류의 관입정치시기는 적어도 트라이아스기말일 가능성을 제시한다. 사장석은 주변부와 내측부가 좁은 간격의 An 함량 변화를 보여 결정화 작용이 좀 더 빨리 일어났음을 보여준다.  $Al_{total}$ -Mg의 관계도에서 주변부와 내측부는 모두 칼크-알칼리 계열로 분류되며, 분화가 진행됨에 따라 Al은 부화되고 Mg는 점차 감소하는 완만한 경사의 경향을 보인다.

사장석은 일부 입자 외에는 대부분 주변부에서 An 함량이 증가하며, 주변부에서 사장석의 결정화가 좀 더 짧은 시간간격을 갖고 일어났다. 사장석 중심부의 조성도 주변부가 내측부보다 약간 높은 조성상의 차이를 보여, 사장석이 정출될 때의 멜트온도의 차이가 있었을 가능성을 제시한다. 흑운모는  $Al_{total}$ 은 내측부에서,  $Fe/(Fe+Mg)$ 은 주변부에서 그 값이 각각 약간 증가한다.  $Al_{total}$ -Mg 관계에서 주변부와 내측부는 모두 칼크-알칼리 계열로 분류되며, 암체의 분화가 진행됨에 따라 Al은 부화되고 Mg는 점차 감소하는 완만한 경사도를 갖는 경향을 보여, 동일암체에서 분화된 화강암체로 해석된다. IMA에 의한 각섬석 분류에 따르면 모두 Ca 각섬석에 속하며, 모두 magnesiohornblende 영역에 도시된다. 그리고 정치압력은 4.2~5.4 kb (평균 5 kb : 18 km)의 비교적 고른 압력 분포를 보이고 있다.

주변부는 대부분 중성암에, 그리고 내측부는 산성암에 해당한다. AMF 관계도에서 켈크-알칼린 계열에 도시되고 선상으로 놓이며 내측부에서 더 분화된 경향을 가진다. A/CNK 물비는 주변부보다 내측부에서 다소 더 과알루미나화 된다. Ba-Sr-Rb의 관계도에서 주변부는 섬록암-화강섬록암-석영섬록암 영역에, 내측부는 화강섬록암-석영섬록암에 도시된다. 이들로 미루어 주변부와 내측부는 단일 화강암질 마그마기원의 분화산물로 해석된다.

이들 암류는 광물학적 산상, (석영+알칼리장석) 대 불투명광물,  $K_2O$  대  $Na_2O$ ,  $Fe_2O_3$  대  $FeO$ , ACF 관계도 그리고  $Fe^3/(Fe^3+Fe^2)$  등으로 미루어 I-형 또는 자철석계열에 해당한다. K/Rb 대 Rb/Sr 관계로 미루어 비교적 고정된 근원성분의 점진적 용융으로 형성된 산물로 보인다. 콘드라이트값으로 표준화한 희토류원소 변화도에서 LREE에서 HREE로 갈수록 점진적으로 뚜렷이 결핍된다. HREE는 내측부보다 주변부에서 다소 증가하며 이는 주변부에 더 많이 수반되는 각섬석과 스펬에 의한 것으로 해석된다.

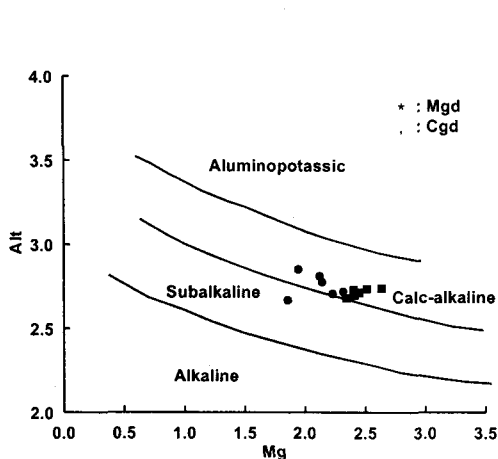


Fig. 1.  $Al_{total}$  vs. Mg diagram for biotites.

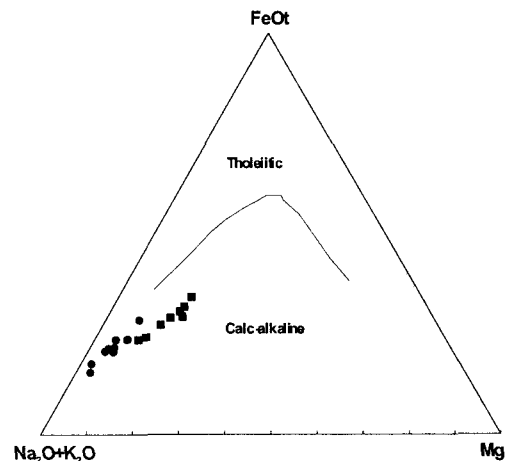


Fig. 2. AFM diagram of the granites. Symbols as same in Fig. 1.