

금산지역에 분포하는 화강암류의 암석지구화학

진호일* · 민경원** · 전효택* · 박영석***

Petrogeochemistry of Granitic Rocks Distributed in the Geumsan District, Korea

Ho-Il Chin*, Kyoung-Won Min**, Hyo-Taek Chon* and Young-Seog Park***

ABSTRACT: The Mesozoic Geumsan granitic rocks of various composition are distributed in the Geumsan district, the central part of the Ogcheon Fold Belt. About 40 ore deposits of $\text{CaF}_2 \pm \text{Au} \pm \text{Ag} \pm \text{Cu} \pm \text{Pb} \pm \text{Zn}$ are widely distributed in this district and are believed to be genetically related to the granitic rocks. Based on their petrography and geochemistry, the granitic rocks in this district can be classified into two groups; the Group I (equigranular leucocratic granite, porphyritic biotite granite, porphyritic pink-feldspar granite, seriate leucocratic granite) and the Group II (seriate pink-feldspar granite, equigranular alkali-feldspar granite, equigranular pink-feldspar granite, miarolitic pink-feldspar granite, equigranular biotite granite). Interpreted from their isotopic dating data and geochemical characteristics, the Group I and the Group II are inferred to be emplaced during the Jurassic (~184Ma), and the Cretaceous to the early Tertiary period (~59Ma), respectively. Both Group I and Group II generally belong to magnetite-series granitoids. The Cretaceous granitic rocks of Group II are more highly evolved than those of the Jurassic Group I. The Rb-Sr variation diagram suggests that the granitic rocks of the Jurassic Group I and of the Cretaceous Group II be evolved mainly during the processes of fractional crystallization and partial melting, respectively.

서 론

육천습곡대의 중심부에 위치하고 있는 금산지역에는 소위 “금산화강암체”로 알려져 있는 저반상의 화강암체가 북동에서 남서 방향으로 넓게 관입 분포하고 있다. 금산화강암체는 다양한 암상으로 이루어져 있으며, 그 관입시기는 일부 암상들에 대한 연대측정 자료와 주변암과의 접촉관계만을 근거로 중생대 쥐라기와 백악기로 구분되어져 왔다(이대성, 남기상, 1969; 김정환, 이인기, 1973; 홍승호, 최위찬, 1978; 김동학 등, 1978; 홍승호 등, 1980; 이상만 등, 1980; 진명식 등, 1994). 또한 금산지역에는 중생대 화강암체를 중심으로 그 주변에 약 40개의 형석 및 금, 은, 동, 연, 아연 등의 광상이 화강암체와 공간적으로 가깝게 분포하고 있는데, 이러한 광상은 주로 석회암과 반암류 및 화강암을 모암으로 하는 열수충진과 열수교대의 형태로 배태되어 있다(지정만, 계정, 1971; 지정만, 1975; 이대성 등, 1980). 따라서 이들 광상들과

화강암체의 관입간에는 성인적으로 밀접한 관계가 있을 것으로 추측되어져 왔으나(지정만, 1975), 일부 형석 및 금, 은 광상을 대상으로한 광상성인화적인 연구만이 이루어졌으며(지정만, 1975; Kim, 1986; 최선규, 위수민, 1992), 화강암체와 주변광화작용과의 관련성에 대한 체계적인 연구는 아직 수행된 바 없다.

본 연구의 목적은 금산지역에 분포하는 화강암체를 대상으로 암석학적, 지구화학적 및 지질 연대학적 연구를 통해 연구 지역내에서 다양하게 나타나고 있는 화강암류들에 대한 지구화학적 특징과 상호 관련성을 규명하고, 화강암류의 성인 및 정치시기와 그 분화과정을 추정하는데 있으며 주변광화작용, 특히 형석광화작용과의 관련성에 대한 생산성 심성암체로서의 가능성에 대한 규명은 다음 논문(진호일 등, 1995)에서 다루기로 한다.

지질 개요

본 연구 지역은 주로 선캄브리아기의 변성퇴적암류를 기저로 하여 시대미상의 변성퇴적층과 고생대 퇴적층이 분포하며, 이를 중생대 화강암류가 관입한 후 중생대 퇴적층과 화산암 및 반심성암이 그 상부를 덮고 있으며, 이를 반암류가

* 서울대학교 자원공학과 (Dept. of Mineral and Petroleum Eng., Seoul National Univ. Seoul 151-742, Korea)

** 강원대학교 자원공학과 (Dept. of Mineral and Petroleum Eng., Kangwon Nat. Univ., Chunchon 200-701, Korea)

*** 조선대학교 자원공학과 (Dept. of Mineral and Petroleum Eng., Chosun Univ., Kwangju 501-759, Korea)

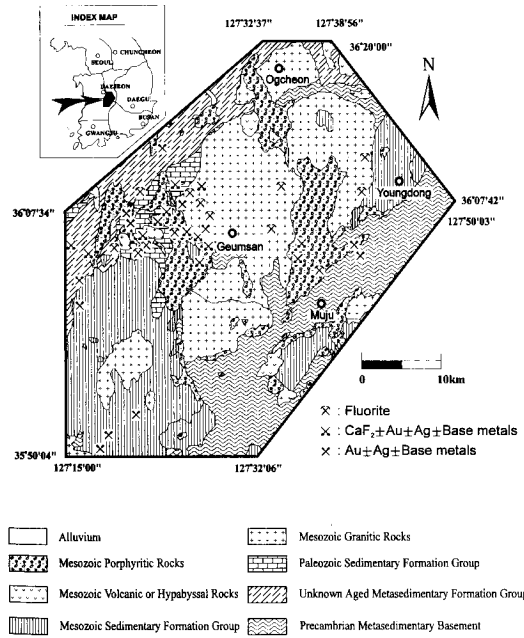


Fig. 1. Simplified geologic map and mine locations of the Geumsan district.

다시 관입하고 있다(Fig. 1). 선캄브리아기의 변성퇴적암류는 주로 편암과 화강편마암 및 호상편마암으로 구성되어 있는 서산층군과 소백산 편마암복합체로 이루어져 있으며, 옥천층군으로 알려져 있는 시대미상의 변성퇴적층은 주로 녹니석 편암, 천매암, 규암, 흑색 슬레이트, 결정질 석회암 및 석회 규산염암 등으로 구성되어 있다. 또한 연구지역의 좌측부에 분포하며 고생대로 추정되는 퇴적층은 영월층군과 대비되는데, 그 암상은 주로 호상 석회암과 결정질 석회암으로 구성되어 있으며 대석회암층군과 관련되어 있다. 또한 저반 및 암주상으로 북동에서 남서 방향으로 대상 분포하고 있는 중생대 화강암류는 암상이 다양하며, 일부 암상들에 대한 전암 및 몇몇 조암광물(흑운모, 백운모, 스피, 저어콘, 인회석)들의 Rb-Sr법 및 K-Ar법, 피선트랙(Fission Track: FT)법을 이용한 연대측정 자료(김동학 등, 1978; 진명식 등, 1994)와 야외에서 암상들간의 접촉관계를 근거로 주라기와 백악기로 구분하고 있으나, 아직 확실하지 않은 실정이다. 진안층군과 능주층군 등으로 대비되는 중생대 퇴적층은 주로 역암, 사암, 셰일 등으로 구성되어 있으며, 화산암과 반침성암은 대부분 유문암질 응회암과 석영안산암, 유문암 등으로 이루어져 있다. 또한 연구지역의 전역에 걸쳐 광범위하게 분포하고 있는 반암류는 주로 석영반암과 규장반암, 미문상반암등으로 1~2mm 정도 크기의 석영내지 장석 반정을 가지며, 이들 반암류의 관입시기는 피선트랙(FT)법의 저어콘과 인회석 연령에

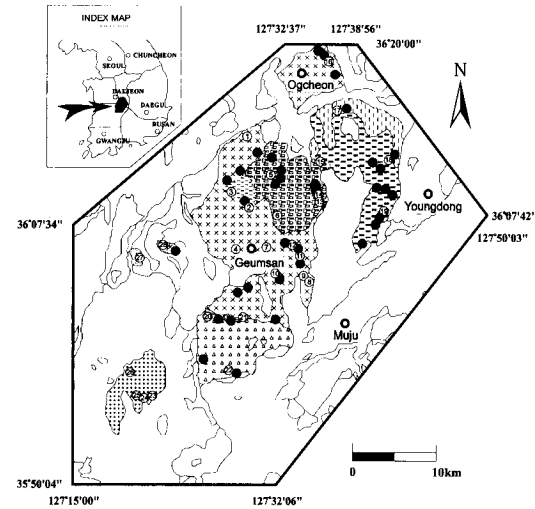


Fig. 2. Sampling sites and granitic rock types of the Geumsan district.

의해 약 66Ma에서 75Ma로 보고된 바 있다(진명식 등, 1994).

화강암류의 암석기재

본 연구를 위한 시료는 주로 도로변의 노두와 하천변에서 채취 가능한 신선한 화강암을 대상으로 하였으며 총 73개를 체계적으로 채취하였다(Fig. 2). 시료 채취시에는 현지에서 휴대용 대자율측정기로 대자율을 측정하였고 채취한 각각의 시료는 세척-건조후 시료의 일부로 암편과 박편을 제작하여 육안 및 현미경 관찰을 하였다.

금산지역에 분포하는 화강암류는 몇몇 연구자들에 의해 일부 암상에 대한 관입시기가 알려진 것도 있으나, 관입연대를 근거로 전체 암상을 구분하여 기재하기에는 아직 어려운 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 금산 지역에서 다양하게 나타나는 화강암류를 야외에서의 산출상태와 조암광물들의 육안 및 현미경하에서의 조직과 함량, K-장석류의 색과 상대적인 함량 등에 따라 분류하였다. 이러한 기준에 의하면 금산지역에 분포하는 화강암류는 크게 등립 우백질화강암, 반상 흑운모화강암, 반상 홍색장석화강암, 세리에이트(se-riate) 우백질화강암, 세리에이트 홍색장석화강암, 등립 알카리장석화강암, 등립 홍색장석화강암, 미아몰리 홍색장석화강암, 등립 흑운모화강암 등 9가지로 구분할 수 있다(Fig. 2).

금산을 중심으로 남북 방향에 걸쳐서 주로 분포하는 등립

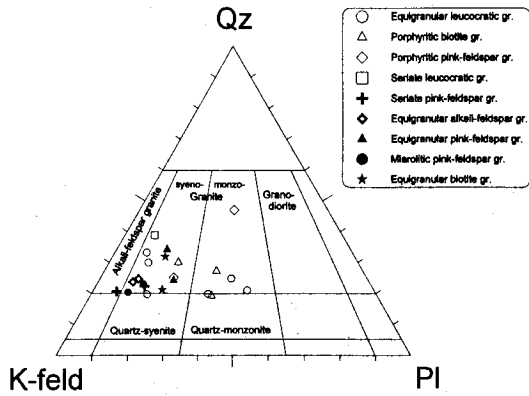


Fig. 3. Modal abundances of quartz, plagioclase and potassium feldspar for the granitic rocks plotted for with IUGS classification scheme.

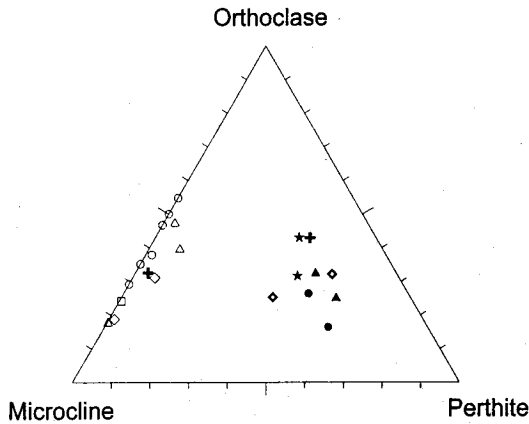


Fig. 4. Modal abundances of orthoclase, microcline and perthite for the granitic rocks. Symbols are same as in Fig. 3.

우백질화강암(ELG)은 금산의 북쪽 지역에서 K-Ar 혹은도 연령이 약 122Ma, 금산의 동쪽과 서쪽부에서 117Ma와 109 Ma의 K-Ar 혹은도 연령과 피션트랙(Fission Track; FT) 스피인 연령이 발표된 바 있다(진명식 등, 1994). 이러한 연령은 금산화강암체와 가깝게 분포하고 있는 옥천화강암체(K-Ar법의 혹은도 연령-163 Ma, 김옥준, 1971; 김동학 등, 1978)와 청산화강암체(K-Ar법의 혹은도 연령-164Ma, 김동학 등, 1978; Rb-Sr 전암 연령-258 ± 12 Ma, 주승환, 김성재, 1985)의 관입연대 뿐만 아니라, 연구 지역내 후기 화성활동으로 인한 동위원소계의 교란으로 K-Ar법의 혹은도에 대한 폐쇄온도 (280 ± 40°C ; Harrison, McDougall, 1980)에 따른 연령 감소 현상을 고려할 때, 그 관입시기가 주라기 초에 해당하는 약 200 Ma 전후일 것으로 보고된 바 있다(진명식 등, 1994). 금산을 중심으로 북쪽 방향에서는 혹은도와 각섬석 등 유색 광물의 양이 비교적 많이 함유되어 있으며, 남동 방향의 금산군 제원면 저곡리 일대와 불이면 예미리 일대에서는 백운모가 육안으로 관찰되고 유색광물의 양이 비교적 적어 북운모화강암이라고 따로 명명하기도 한다(진명식 등, 1994). 그러나 이러한 암상들 간의 상호관계는 점이적이며(홍승호 등, 1980), 입자의 크기와 조직으로 볼 때 분화 차이에 의한 결과로 생각되어 본 연구에서는 이러한 북운모화강암도 등립 우백질화강암의 범주에 포함하였으며, 옥천을 중심으로 분포하는 암주상의 화강암체도 소위 “옥천혹운모화강암”으로 명명되어(김동학 등, 1978) 금산지역에 분포하는 화강암류와는 다르게 구분되어 왔으나, 그 관입시기와 조암광물들의 조직 및 조성이 서로 유사하므로, 본 연구에서는 등립 우백질화강암으로 함께 분류하였다. 또한 금산 북부의 추부면 장대리 일대에는 그 암상이 외형적으로 보아 홍색을 띠고 있으나, 입자의 크기와 조직에 있어서 다른 등립 우백질화

강암 시료들과 유사하며, 화강암체내에 암맥들의 발달이 거의 관찰되지 않는 점 등으로 미루어 분화말기 암상으로 판단되어 같은 화강암류의 영역에 포함하였다. 등립 우백질화강암은 주로 중립질의 입상조직을 보이고 있으며, 장석의 색깔이 거의 백색을 나타내고 IUGS 분류에 있어서 화강암의 영역과 화강암-석영섬장암의 경계부, 화강암-석영몬조니암의 경계부에 산재되어 도시되고 있다(Fig. 3). 주구성광물은 석영, 정장석, 사장석, 미사장석, 혹은도 등이며 지역에 따라 백운모 또는 각섬석을 함유하기도 하고, 스피인, 갈럼석, 인회석, 불투명 광물 등을 수반하기도 하며, 견운모와 녹니석 등 2차광물이 산출되기도 한다. 특히 K-장석은 주로 미사장석과 정장석이고 퍼어사이트로서는 산출되지 않거나 최소한 정도이다(Fig. 4). 반상 혹은모화강암(PBG)은 금산을 중심으로 북동부 일대에 주로 분포하고 있으며, 금산 남쪽부의 금산군 남이면과 남이면 일부 지역에서도 소규모로 산출되고 있다. 반상은 대개 정방형의 자형 K-장석으로 직경이 약 2 cm 이상의 거정 반정이 관찰되기도 하며, 금산 남쪽부의 금산군 남이면 구석리 부근 노두에서는 장경이 약 3 cm 이상되는 K-장석 반정이 반자형의 거정상(megacrystic)으로 산출되고 있다. 정방형의 K-장석을 반정으로 갖는 반상 혹은모화강암을 대상으로 피션트랙(FT)법의 스피인 연령이 약 104Ma로 측정된 바 있는데(진명식 등, 1994), 이러한 연대 측정결과를 근거로 동위원소 교란으로 인한 연령감소 현상을 고려하여 이 지역 화강암류의 관입시기는 약 200 Ma 전후의 주라기일 것으로 보고된 바 있다(진명식 등, 1994). IUGS 분류에 의하면 반상 혹은모화강암은 화강암의 영역에 해당되고 있으며(Fig. 3), 석영, 사장석, 정장석, 미사장석, 퍼어사이트, 혹은도, 백운모 등이 주구성광물로 나타나고 불투명광물, 녹니석, 갈럼석, 인회석, 녹렴석 등을 수반한다. 또한 누대 구조를 보이는 사장석도

관찰되며, K-장석은 퍼어사이트에 비해 미사장석이 우세하다(Fig. 4).

반상 홍색장석화강암(PPFG)은 영동 서쪽부 일대에 분포하며 홍색의 K-장석을 반정으로 갖는다. 화강암의 관입시기는 야외에서의 산출상태와 주변암과의 접촉관계를 근거로 그동안 백악기로 기재되어 왔으나(김동학 등, 1978; 홍승호 등, 1980), 최근 진명식 등(1994)은 야외조사 결과 자료와 주변 백악기 퇴적암류와의 접촉관계 등을 근거로 하여 유라기에 관입한 암체일 것으로 보고한 바 있다. 반상 홍색장석화강암의 대표 시료에 대한 IUGS 분류에 의하면 화강암의 영역에 도시된다(Fig. 3). 전반적으로 많은 양의 흑운모가 녹니석화되어 있고, 사장석이 견운모화 되어 있어 비교적 상당한 변질을 받은 것으로 보인다. 주구성광물은 석영, 미사장석, 사장석, 정장석, 견운모, 녹니석 등이며 대체로 북쪽 지역의 시료들에는 백운모가 함유되어 있고, 남쪽 지역의 시료들에는 스펀이 함유되어 있다. 또한 K-장석은 미사장석이 퍼어사이트보다 우세하다(Fig. 4).

세리에이트 우백질화강암(SLG)은 옥천의 남동부에 분포하고 있으며 장석류의 색이 약간 녹색을 띠고 있다. 화강암의 관입시기는 야외에서의 산출상태와 주변암들과의 접촉관계를 근거로 유라기로 보는 견해(진명식 등, 1994)와 백악기로 보는(김동학 등, 1978) 견해가 있다. 또한 조사자에 따라서는 인근의 반상 홍색장석화강암과 같은 암상으로 기재하고도 있으나, 두 암상간의 접촉관계가 접이적이라고 보기 어렵고 K-장석류의 색이 뚜렷이 구분되고 있기 때문에 본 연구에서는 따로 구분하였다. IUGS 분류에 의하면 화강암의 영역에 해당되며(Fig. 3), 주구성광물은 석영, 미사장석, 정장석, 사장석, 흑운모 등이고 불투명광물과 녹니석, 인회석 등을 소량 함유하고 있다. 특히 K-장석중 미사장석이 퍼어사이트보다 우세하게 산출된다(Fig. 4).

금산을 중심으로 남쪽부 일대에 분포하는 세리에이트 홍색장석화강암(SPPFG)은 비교적 조립질의 K-장석이 홍색을 띠고 있다. 화강암의 관입시기는 야외에서의 산출상태와 주변암과의 접촉관계를 근거로 백악기로 기재되어 왔다(이대성, 남기상, 1969; 김정환, 이인기, 1973). 대표시료에 대한 IUGS 분류 결과 화강암의 영역에 해당되고(Fig. 3), 석영, 퍼어사이트, 정장석, 사장석, 미사장석, 흑운모 등이 주성분광물로 나타나며, 녹니석, 갈럼석, 저어콘 등이 수반 또는 2차광물로 산출된다. 본 화강암체의 북부 경계부에서는 K-장석이 퍼어사이트보다는 미사장석이 우세하며, 남쪽부에서는 퍼어사이트가 우세하게 산출된다(Fig. 4).

등립 알카리장석화강암(EAFG)은 금산의 남서부에서 암주상으로 분포하고 있으며, 금산 지역의 다른 화강암류들에 비해 비교적 알카리장석이 많이 함유되어 있고, 중립질의

입상조직을 나타내며 둥근 모양의 투명한 석영 입자가 특징적으로 나타난다. 화강암에 대한 연대 측정자료는 아직 발표된 바 없으나, 그 관입시기는 화강암체와 주변암과의 상호 접촉관계를 근거로 하여 백악기로 기재되어 왔다(김정환, 이인기, 1973). 등립 알카리장석화강암은 시료에 따라 미문상 조직이 육안으로 관찰되기도 하며, IUGS 분류에 의하면 화강암의 영역에 해당된다(Fig. 3). 주성분광물은 석영, 퍼어사이트, 정장석, 사장석, 미사장석, 흑운모 등이고 불투명 광물과 인회석이 소량 수반되어 나타나고 있다. 또한 K-장석의 대부분은 퍼어사이트와 정장석이며 미사장석은 비교적 희소하다(Fig. 4).

금산을 기준으로 북부 일대에서 암주상으로 분포하고 있는 등립 홍색장석화강암(EPPFG)은 중립내지 조립질의 입상조직을 보이고 장석의 색깔로 인해 암석 전체가 거의 홍색을 띤다. 또한 등립 홍색장석화강암을 등립 우백질화강암과 같은 암상으로 기재한 연구결과(진명식 등, 1994)도 있으나, 두 암상간에는 조암광물의 조직과 크기, 장석류의 색 등이 서로 다를 뿐만 아니라, 등립 홍색장석화강암은 암체내 암맥들의 발달 정도가 비교적 많이 관찰된다는 점 등으로 미루어, 두 암상을 같은 근원의 분화차이에 의한 결과로 생각하기에는 어려울 것으로 판단된다. IUGS 분류에 있어서 화강암의 영역에 도시되며(Fig. 3), 주구성광물은 석영, 퍼어사이트, 사장석, 정장석, 미사장석, 흑운모 등이고 K-장석은 미사장석보다 퍼어사이트가 우세하다(Fig. 4).

미아롤리 홍색장석화강암(MPPFG)은 금산을 중심으로 서쪽부에서 작은 2개의 암주상으로 나타나고 있다. 이중 동북쪽에 있는 것은 암주상의 등립 우백질화강암과 서로 접촉하고 있는데, 미아롤리 홍색장석화강암이 등립우백질화강암의 포획암을 함유하고 있다는 야외조사 결과가 보고된 바 있다(홍승호, 최위찬, 1978). 미아롤리 홍색장석화강암체에는 자형의 비교적 큰 방해석 결정과 작은 석영 및 정장석 결정의 정동이 잘 발달되어 있는데, 이는 화강암체가 비교적 지하 천부에 관입하여 급속히 냉각된 것임을 추측할 수 있다. 화강암의 관입시기는 퍼션트랙(FT)법의 저어콘 연령으로 두 암주중 북동쪽에 분포하는 것은 약 60Ma, 서쪽에 있는 것은 약 66Ma로 백악기말 내지는 제 3기초에 해당하는 아주 젊은 화강암의 연령으로 보고된 바 있다(진명식 등, 1994). 미아롤리 홍색장석화강암은 IUGS 분류에 있어서 화강암의 영역과 화강암-석영섬암의 경계부 영역에 도시되며(Fig. 3), 주구성광물은 석영, 퍼어사이트, 정장석, 미사장석, 사장석, 흑운모 등인데 부분적으로 석영이 알카리장석과 동시에 정출되었음을 지시하는 미문상 조직이 관찰된다. K-장석의 대부분은 퍼어사이트로 산출되며(Fig. 4), 불투명광물과 녹염석, 리이베카이트, 저어콘 등을 부성분 또는 수반광물로 함유하고

Table 1. Major elements oxides(in wt. %) and trace elements analyses(in ppm) for the granitic rocks in the Geumsan district. Sampling sites in parenthesis.

Equigranular leucocratic granite										
	(1)	(4)	(7)	(8)	(9)	(10)	(12)	(11)	(16)	(21)
SiO ₂	67.0	65.4	67.0	72.7	74.8	72.4	72.2	73.6	70.5	75.9
TiO ₂	0.69	0.74	0.75	0.25	0.09	0.38	0.30	0.24	0.50	0.04
Al ₂ O ₃	17.0	17.8	16.4	14.9	13.5	15.2	15.3	15.1	15.2	13.7
Fe ₂ O ₃	2.03	1.74	1.47	0.51	0.36	0.83	0.54	0.59	1.17	0.28
FeO	1.76	2.64	2.70	1.27	0.44	1.52	1.48	1.17	2.14	0.47
MnO	0.03	0.05	0.05	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.04	0.02
MgO	1.33	1.67	1.48	0.36	0.12	0.53	0.41	0.35	0.85	0.05
CaO	3.92	4.42	4.15	1.53	1.62	1.75	1.65	1.73	2.82	0.47
Na ₂ O	3.82	3.30	3.26	3.44	3.30	3.00	3.24	2.92	3.33	3.72
K ₂ O	2.50	2.38	2.65	4.19	4.13	3.73	3.67	3.73	3.19	5.06
P ₂ O ₅	0.21	0.24	0.22	0.09	0.09	0.13	0.09	0.08	0.16	0.04
F	560	570	580	790	600	460	800	720	630	120
Cl(wt.%)	0.020	0.010	0.030	0.010	<0.010	0.010	0.010	0.020	0.010	<0.010
Rb	91.0	91.5	103.9	143.6	211.9	135.9	137.9	173.7	133.2	179.4
Sr	653.5	754.3	598.2	345.1	146.2	426.0	374.6	332.5	451.6	54.0
Ba	672.3	1020.8	777.1	881.1	656.7	1062.3	925.9	735.8	619.6	19.7
Ce	73	95	90	82	45	110	96	83	65	15
Co	10	11	10	3	1	4	4	3	6	<1
Cr	130	130	53	91	88	75	60	68	77	87
Cs	3	4	3	1	4	4	3	5	4	1
Cu	4	12	11	5	2	2	3	54	9	6
Eu	1.3	1.6	1.6	1.0	0.4	1.3	1.0	1.0	1.2	<0.2
Hf	7	7	6	6	3	7	6	5	6	3
La	39	53	50	49	24	66	57	48	38	7
Li	9.2	20.7	24.1	18.7	10.5	25.9	29.2	36.4	51.6	3.1
Lu	0.12	0.15	0.12	0.08	0.10	0.08	0.08	0.16	0.13	0.43
Nd	30	39	33	24	15	41	32	29	26	7
Ni	38	42	23	29	27	25	21	21	24	26
Pb	6	<5	12	20	10	23	9	23	19	32
Sc	6.1	5.9	5.7	2.8	2.2	4.0	3.4	2.9	4.1	2.6
Sm	4.7	6.4	6.3	4.8	3.6	6.7	5.6	5.0	4.7	2.0
Tb	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	0.6	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	0.8
Th	13	11	12	14	11	21	13	16	14	6
U	2.0	2.2	3.2	<0.5	1.3	2.6	4.8	1.9	5.3	2.5
V	49	58	54	9	2	14	10	9	29	2
Y	6	11	11	4	6	5	5	5	8	10
Yb	0.8	0.9	1.0	0.6	0.7	0.7	0.7	1.2	1.1	3.2
Zn	33	91	90	63	29	63	65	75	71	14
M.S.*	0.30	0.11	1.48	0.10	0.05	0.11	0.10	0.09	0.16	0.07

*M.S.=Magnetic Susceptibility($\times 10^{-3}$ SI unit).

있다.

금산을 중심으로 북동부에서 암주상으로 나타나고 있는 등립 흑운모화강암(EBG)은 아직 연대 측정이 수행된 바 없으며 단지 야외 관찰 결과를 근거로 중생대 백악기 화강암으로 추정하고 있을 뿐이다(진명식 등, 1994). 이 지역에 분포하는 화강암류는 중립질의 입상조직을 보이고 있는데, 특징적으로 녹색의 작은 형석 입자가 육안으로 잘 관찰된다. 본 화강암체의 남쪽부에는 현재 석재 채석장이 가행중에 있으며, 석재 개발을 위해 절단해 놓은 암체의 단면에서는 부

분적으로 자형의 석영과 정장석의 정동이 관찰된다. 또한 암체의 절단면과 시추 코아시료를 조사해 본 결과 암석의 조직과 입도 및 구성광물에는 거의 차이가 없으나, 단지 장석류의 색깔이 홍색인 화강암과 우백색인 2가지 암상의 화강암이 혼재되어 산출되고 있었는데, 이들 두 암상간의 상호 관계는 아직 밝혀진 바 없다. 우백색과 홍색의 화강암 시료는 모두 IUGS 분류에 있어서 화강암의 영역에 해당되는데(Fig. 3), 우백색의 시료가 더 많은 석영을 함유하고 있다. 주구성광물은 석영, 피어사이트, 정장석, 사장석, 미사장석, 흑운모 등이며

Table 1. continued.

	Porphyritic biotite granites		Porphyritic pinkfeldspar granites			Seriate leucocratic granites	Seriate pinkfeldspar granites	
	(5)	(6)	(15)	(18)	(19)	(17)	(20)	(22)
SiO ₂	70.2	71.7	73.5	71.8	70.5	71.0	74.3	74.0
TiO ₂	0.37	0.41	0.31	0.44	0.45	0.46	0.14	0.16
Al ₂ O ₃	15.5	15.3	15.0	14.7	15.5	15.3	14.2	13.8
Fe ₂ O ₃	1.24	1.09	0.74	1.22	1.29	1.06	0.84	0.73
FeO	1.28	1.36	1.17	1.42	1.71	1.60	1.04	1.33
MnO	0.05	0.04	0.02	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05
MgO	0.73	0.76	0.48	0.67	0.86	0.73	0.13	0.15
CaO	2.11	2.77	1.44	1.90	2.49	2.73	0.13	0.15
CaO	2.11	2.77	1.44	1.90	2.49	2.73	0.44	1.09
Na ₂ O	4.64	3.22	3.15	3.59	3.52	3.33	3.30	3.44
K ₂ O	2.53	2.89	3.84	3.37	3.89	3.31	5.00	4.88
P ₂ O ₅	0.12	0.13	0.09	0.12	0.14	0.12	0.02	0.03
F	540	400	640	480	590	600	350	660
Cl(wt.%)	<0.010	0.010	<0.010	0.020	<0.010	0.010	0.010	<0.010
Rb	112.4	86.0	139.9	122.4	78.4	121.6	162.6	165.0
Sr	360.7	513.0	367.5	494.4	395.6	462.6	87.8	122.8
Ba	834.3	758.6	762.8	633.5	493.5	638.7	496.4	706.8
Ce	70	61	73	68	67	56	83	97
Co	6	5	4	5	6	5	2	2
Cr	120	71	85	110	110	80	95	98
Cs	2	3	5	5	3	6	2	1
Cu	2	5	5	9	10	8	7	3
Eu	1.0	1.0	1.1	1.1	1.1	1.0	1.2	1.3
Hf	5	5	5	5	6	5	8	8
La	39	33	42	39	39	33	59	54
Li	9.0	13.7	28.9	23.1	32.8	24.7	8.2	18.1
Lu	0.10	0.12	0.07	0.13	0.12	0.10	0.61	0.40
Nd	26	25	25	30	22	39	35	
Ni	41	25	30	38	36	32	29	31
Pb	<5	8	16	11	12	9	16	15
Sc	3.3	3.2	2.3	3.7	4.0	3.7	5.3	5.3
Sm	4.5	4.4	4.3	4.5	4.5	3.7	7.9	6.6
Tb	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	1.2	1.0
Th	14	10	13	16	12	12	22	20
U	3.7	2.1	2.1	2.4	2.3	3.3	3.6	3.4
V	22	28	13	27	30	26	2	2
Y	6	7	4	5	6	6	14	16
Yb	0.8	0.8	0.4	0.8	0.8	0.7	4.4	3.0
Zn	36	63	59	63	62	88	45	47
M.S.*	0.24	3.45	1.52	3.58	4.05	0.13	1.78	1.74

*M.S.=Magnetic Susceptibility($\times 10^{-3}$ SI unit).

형석과 불투명광물, 리이베카이트 등이 수반 광물로 나타나고, 검은모와 소량의 백운모, 녹니석 등이 2차광물로 산출된다. 또한 K-장석은 미사장석보다 퍼어싸이트가 우세하다(Fig. 4).

암석지구화학

본 연구를 위하여 주성분원소 11개와 미량원소 27개 등

총 38개의 원소를 분석하였다(Table 1). 분석 원소중 SiO₂, FeO, Fe₂O₃, Na₂O 등 4개의 원소는 습식 중량법으로, Al₂O₃, CaO, TiO₂, K₂O 등 4개 원소는 XRF(X-Ray Fluorescence Spectrometer), Ba, Sr 등 2개 원소는 ICP(Inductively Coupled Plasma Spectrophotometer), 그리고 Rb, Li 등 2개 원소는 원자흡광분광광도계(Atomic Absorption Spectrometer)로 분석하였다. 또한 이외의 원소들은 캐나다의 ACTLABS(Acti-

Table 1. continued.

	Equigranular alkali-feldspar granites				Equigranular pink-feldspar granites		Miarolitic pink-feldspar granites		Equigranular biotite granites	
	(23)	(24)	(25)	(26)	(2)	(3)	(27)	(28)	(13)	(14)
SiO ₂	77.1	77.2	77.7	78.1	77.9	77.3	76.1	75.3	77.4	77.7
TiO ₂	0.08	0.07	0.09	0.07	0.05	0.06	0.07	0.07	0.05	0.05
Al ₂ O ₃	12.6	12.8	13.2	13.0	12.7	13.1	13.3	13.3	12.7	12.6
Fe ₂ O ₃	0.79	0.73	0.85	0.71	0.29	0.70	0.95	0.75	0.41	0.39
FeO	0.45	0.48	0.61	0.58	0.51	0.42	0.45	0.77	0.74	0.76
MnO	0.03	0.04	0.04	0.03	0.01	0.04	0.02	0.04	0.04	0.04
MgO	0.03	0.04	0.05	0.07	0.02	0.03	0.05	0.03	0.02	0.02
CaO	0.42	0.26	0.13	0.55	0.21	0.28	0.64	0.55	0.50	0.48
Na ₂ O	3.44	3.44	3.00	3.00	3.26	3.41	3.30	3.52	3.30	3.44
K ₂ O	4.46	4.34	3.58	3.37	4.25	4.28	4.34	4.52	4.10	3.91
P ₂ O ₅	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
F	640	310	130	920	400	700	710	930	1700	1800
Cl(wt.%)	0.020	0.010	0.010	0.030	0.010	0.010	0.030	0.020	0.010	<0.010
Rb	186.5	175.9	181.4	175.0	207.4	227.5	131.6	142.8	278.2	279.9
Sr	17.3	21.4	24.3	29.8	17.3	15.1	22.2	14.5	11.3	7.7
Ba	89.3	80.1	109.2	124.9	59.8	65.4	81.5	73.2	12.6	15.2
Ce	61	60	67	67	42	44	70	80	39	38
Co	2	<1	2	1	<1	<1	1	<1	2	<1
Cr	95	78	84	89	125	88	83	94	93	90
Cs	3	2	3	2	2	2	1	2	4	5
Cu	7	3	3	3	7	6	5	3	6	7
Eu	0.4	0.3	0.3	0.4	<0.2	<0.2	0.3	0.3	<0.2	<0.2
Hf	7	6	7	6	7	6	5	8	7	7
La	30	28	30	33	16	17	36	42	14	14
Li	9.6	10.8	4.4	5.9	7.3	9.1	3.8	4.4	27.8	39.3
Nd	27	25	31	26	18	20	36	32	16	20
Ni	30	24	22	22	27	30	26	24	29	30
Pb	16	24	14	10	22	19	13	15	27	30
Sc	3.0	3.1	3.4	3.1	2.8	3.1	5.0	5.4	2.8	2.6
Sm	6.8	6.0	5.9	6.4	5.4	6.1	6.2	6.6	7.2	6.7
Tb	1.4	1.0	1.1	1.1	1.2	1.4	0.9	1.1	1.6	1.5
Th	26	21	23	23	28	29	15	17	35	35
U	4.0	3.3	4.0	3.0	3.6	3.2	1.7	3.0	6.1	7.4
V	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
y	24	17	19	19	17	18	22	20	30	35
yB	5.8	4.5	4.8	4.8	4.2	4.8	3.7	4.5	6.7	6.2
Zn	25	38	30	24	18	41	35	42	47	50
M.S.*	2.18	0.51	0.81	1.59	0.35	1.23	0.69	1.61	1.161	2.34

*M.S.=Magnetic Susceptibility($\times 10^{-3}$ SI unit).

vation Laboratories Ltd.)에서 Mn, Mg, P, Cu, Pb, Zn, Ni, V, Y 등 9개 원소는 ICP(Inductively Coupled Plasma Spectrophotometer)에 의해 Co, Cr, Cs, Hf, Sc, Th, U, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Cl 등 16개 원소는 INAA(Instrumental Neutron Activation Analysis)로 분석하였고, F은 특성이온전극(Specific Ion Electrode)으로 분석하였다.

주성분원소

본 연구 지역에 분포하는 9가지 화강암류들을 구분하여

주성분원소들의 평균 함량에 대한 도수분포를 도시해 본 결과(Fig. 5) TiO₂, P₂O₅, MgO, CaO 등의 원소는 ELG, PBG, PPF, SLG 등의 암상에서 비교적 높은 값을 보이고 있는 반면에 SPFG, EAFG, EPFG, MPFG, EBG 등의 암상에서는 비교적 낮은 함량을 나타내고 있다. 본 지역의 화강암류를 CIPW norm 값에 의한 normative 석영-정장석-사장석의 관계도(Fig. 6)에 도시해 보면, 9가지의 화강암류중 ELG, PBG, PPF 등은 화강섬록암의 영역으로부터 화강암의 영역까지에 걸쳐 분포하며, SLG는 화강섬록암의 영역에 도시되고 있는 반면에 SPFG, EAFG, EPFG, MPFG, EBG 등은 화강암의 영

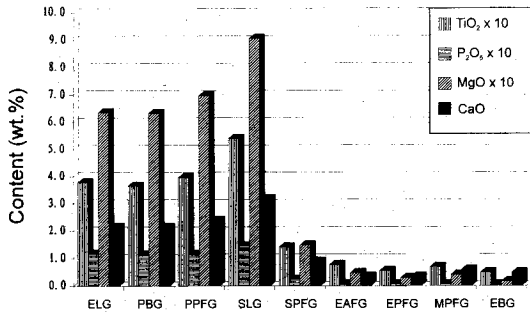


Fig. 5. Average contents of some major elements for the granitic rocks.

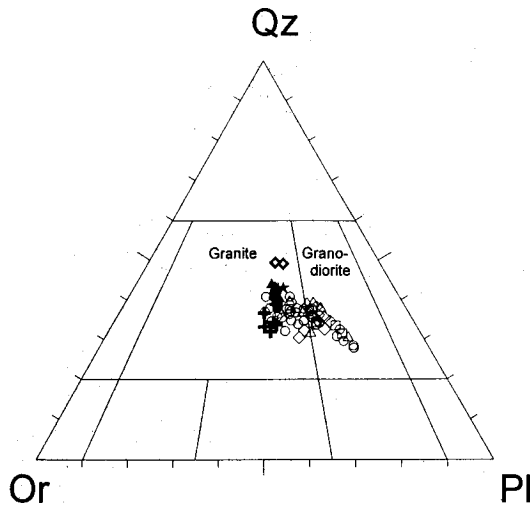


Fig. 6. Ternary diagram of normative quartz-orthoclase-plagioclase for the granitic rocks. Symbols are same as in Fig. 3.

역에 해당되고 있다. SiO₂ 함량에 대한 주성분 원소들의 변화도(Fig. 7)에서 보면 SiO₂ 함량이 증가함에 따라 Al₂O₃, Fe₂O₃, FeO 등의 함량은 9가지의 암상에 구분없이 비교적 규칙적으로 감소하고 있으나, TiO₂, MgO, CaO, MnO, P₂O₅ 등의 함량은 SiO₂ 함량이 증가함에 따라 ELG, PBG, PPF, SLG 등이 한 그룹이 되어 감소하는 경향과 SPFG, EAFG, EPFG, MPFG, EBG 등이 또 다른 한 그룹이 되어, 전체적으로 두가지 형태의 감소 경향을 보이고 있다. 또한 K₂O 함량의 경우 SiO₂ 함량이 증가함에 따라 ELG, PBG, PPF, SLG 등의 그룹은 점차 증가하는 반면에 SPFG, EAFG, EPFG, MPFG, EBG 등의 그룹은 점차 그 함량이 감소하는 경향을 보이고 있다. 이와같이 연구지역에 분포하는 9가지 암상의 화강암류는 주성분원소들의 평균함량 및 변화양상을 근거로 할 때 크게 2가지 Group으로 구분되는데, 편의상 ELG, PBG, PPF, SLG 등의 4가지 암상을 Group I, SPFG, EAFG, EPFG, MPFG,

EBG 등의 5가지 암상을 Group II로 명명하여 서술하고자 한다(Fig. 7).

AFM 관계도(Fig. 8)에서 연구지역의 화강암류는 전체적으로 calc alkali암 계열의 분화특징을 보여 주고 있으며, 대체로 Group II의 화강암류가 Group I에 속하는 화강암류보다 좀 더 분화되어 있는 경향을 보여 주고 있다. 또한 화강암질 마그마의 특성을 추정하기 위해 사용되는 SiO₂와 알카리와의 관계도(Fig. 9)에서 연구지역의 화강암류는 모두 비알카리(subalkaline) 계열에 해당되며, 알루미늄 포화지수 값에 의한 구분법(Shand, 1947)에 있어서는 모두 peraluminous 화강암에 해당된다(Fig. 10).

미량원소

미량원소의 평균함량에 대한 도수분포를 도시해 본 결과(Fig. 11) Sr, Ba, V, Eu 등은 전반적으로 Group I의 화강암류가 Group II의 화강암류보다 높은 값을 보이고 있는데, 특히 Ba와 Eu의 경우 Group II의 SPFG는 오히려 Group I의 화강암류와 비슷한 경향을 나타내고 있다. 또한 Y, Yb, Lu 등의 평균함량은 Group II가 Group I의 화강암류보다 높은 값을 보이고 있다. SiO₂ 함량에 대한 미량 원소들의 변화도(Fig. 12)에서 연구지역의 화강암류는 SiO₂ 함량이 증가함에 따라 두 Group에서 모두 Rb, Th 등의 함량은 점차 증가하는 반면에 Zn, Sc 등은 점차 감소하는 경향을 보이고 있다. 특히 Sc는 SiO₂ 함량이 증가함에 따라 두 Group이 구분되어 감소하는 경향을 나타내는데, Group II의 화강암류가 좀 더 급격한 감소 경향을 보이고 있다. 또한 Sr, Ba, V 등의 함량은 SiO₂가 증가함에 따라 Group I의 화강암류만이 점차 규칙적으로 감소하는 반면에 U와 Y은 Group II의 화강암류만이 점차 증가하는 경향을 보이고 있다. 미량원소들간의 상호관계를 살펴보면 Rb과 Sr의 관계도(Fig. 13)에서 Group I과 Group II의 화강암류는 대체로 모두 Sr의 함량이 증가함에 따라 Rb의 함량은 점차 감소하는 경향을 보여주고 있으며, Rb/Sr 비값에 대한 SiO₂ 관계도(Fig. 14)에서는 Group I의 경우 SiO₂ 함량이 증가에 따라 Rb/Sr 비값은 거의 변화를 보이지 않으나, Group II는 전반적으로 SiO₂ 함량이 약 75wt.% 이상에서 급격히 증가하고 있다.

본 연구를 위해 분석한 8가지의 희토류 원소들중 Tb은 대부분의 시료(55개)에서, Eu은 6개의 시료에 있어서 각각 측정 한계값인 0.5 ppm과 0.2 ppm 이하로 측정되었으나, 각 암상에 대한 전체적인 REE 분산양상을 검토하기 위하여 측정 한계값의 절반 값을 부여해 사용하였다. 화강암류에 대해 콘드라이트(Haskin et al., 1968)로 정규화한 REE 분산패턴(Fig. 15)에서 Group I에 속하는 화강암류는 작은 Eu 이상

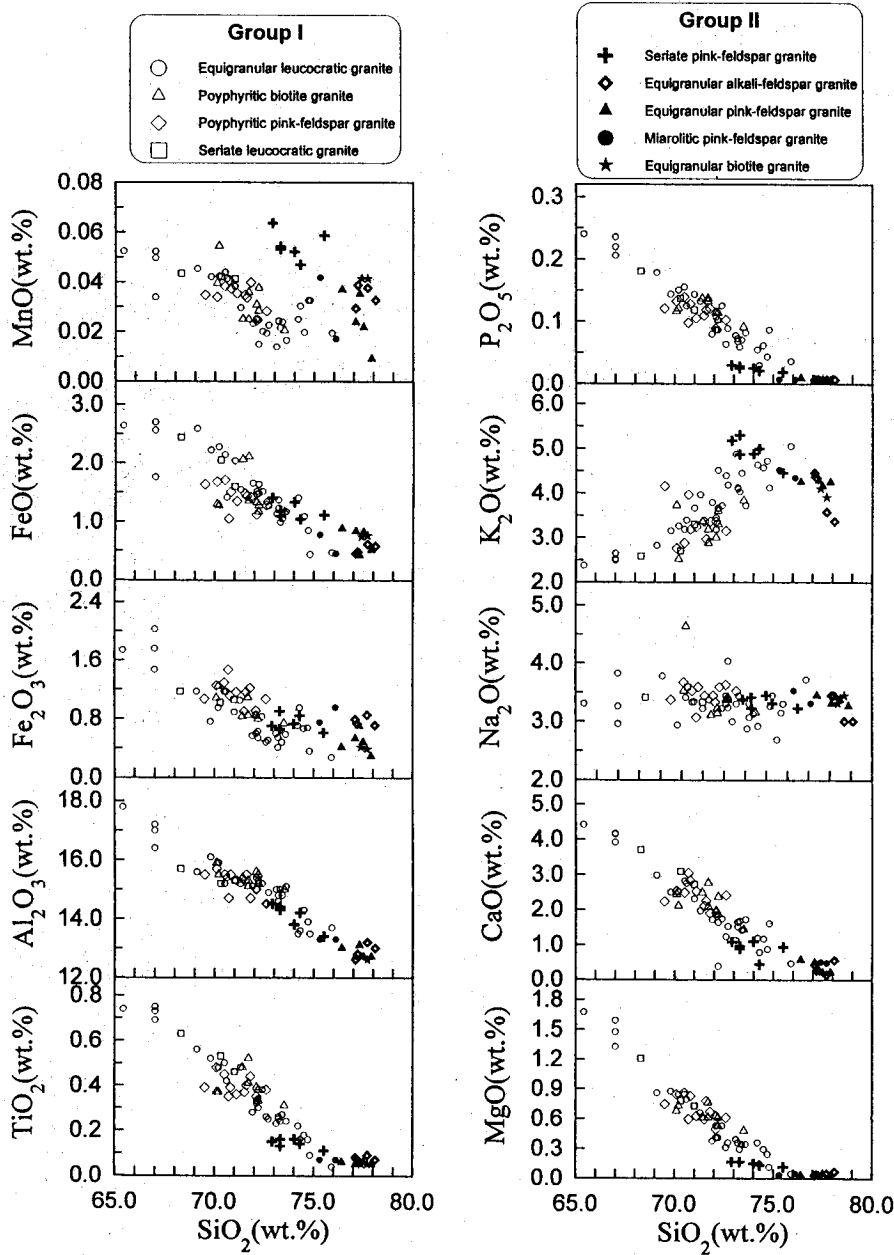


Fig. 7. Abundances of some major elements plotted against SiO₂ contents for the granitic rocks.

값($Eu/Eu^*=0.75-0.93$)을 보이며 HREE에 비해 LREE가 부화된 경향($(La/Lu)_{CN}=33.53-52.67$)을 보여주고 있다. 이와 반면에 SPFG를 제외한 Group II의 화강암류는 음의 Eu 이상값($Eu/Eu^*=0.04-0.16$)이 크게 나타나고 거의 편평한 V자 모양의 패턴을 나타내고 있는데, 이는 옥천습곡대에 분포하며 백악기 화강암류로 알려져 있는 월악산화강암과 속리산화

강암, 문경화강암의 REE 분산패턴(김규한, 신윤수, 1990; Na, 1994) 등과 매우 유사하다. 한편 Group II에 속하는 SPFG는 HREE의 분산패턴은 Group II에 속하는 다른 화강암류와 비슷하나 LRRE의 분산패턴은 Group I과 유사하며, Eu 이상값($Eu/Eu^*=0.57$)에 있어서도 Group I과 Group II의 중간적인 경향을 보이고 있다(Fig. 15).

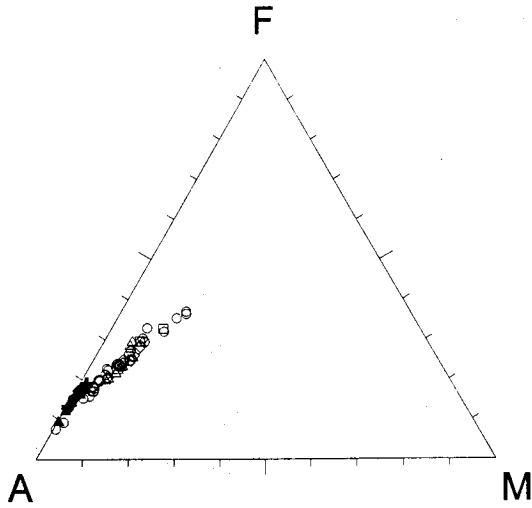


Fig. 8. AFM diagram for the granitic rocks. Symbols are same as in Fig. 7. (A=Na₂O+K₂O, F=FeO+0.9Fe₂O₃, M=MgO)

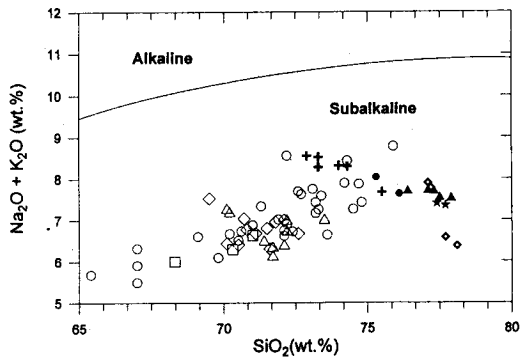


Fig. 9. Plot of (Na₂O+K₂O) versus SiO₂ for the granitic rocks. Symbols are same as in Fig. 7.

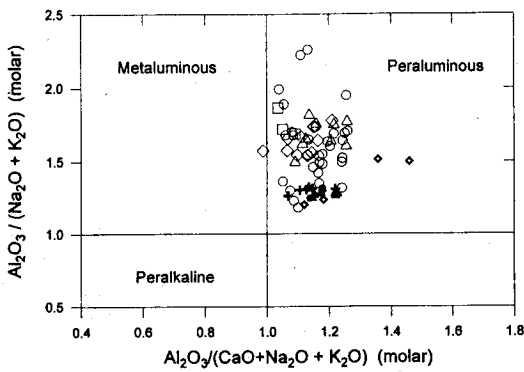


Fig. 10. Molar Al₂O₃/(CaO+Na₂O+K₂O) [A/CNK] versus Al₂O₃/(Na₂O+K₂O) [A/NK] diagram for the granitic rocks. Symbols are same as in Fig. 7.

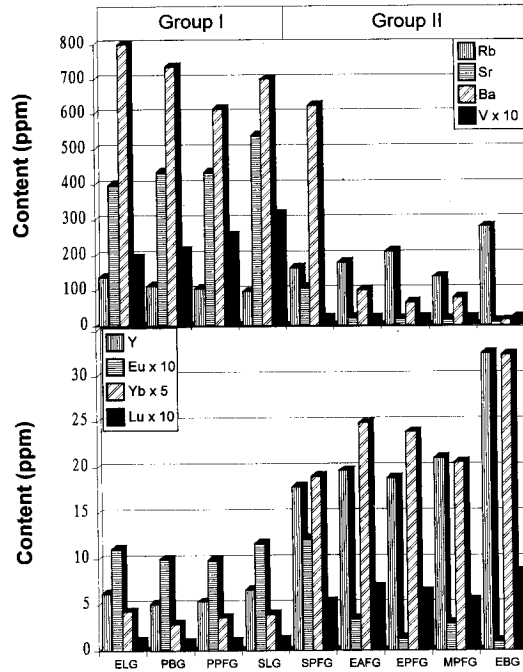


Fig. 11. Average contents of some trace elements for the granitic rocks.

Rb-Sr 연대측정

본 연구 지역에 넓게 분포하며 일부 한정된 지역의 연대 측정값을 근거로 중생대 쥐라기로 기재하고 있는 Group I에 해당하는 등립 우백질화강암(ELG) 중 주로 금산을 중심으로 남동 방향에 분포하며, 백운모를 함유하는 6개의 ELG 시료와 연구지역 남서 방향에 암주상으로 분포하며, 아직 연대측정이 수행된 바 없는 Group II에 해당하는 4개의 등립 알카리장석화강암(EAFG) 시료를 대상으로 Rb-Sr법의 전암 분석을 통해 연대측정을 실시하였다(Table 2; Fig. 16). 두 화강암체에서 모두 이상적인 아이소크론이 잘 그려지지 않았는데, 이는 진명식등(1994)에 의해 지적된 바와 같이 본 연구 지역에서 다양한 화성활동으로 인한 동위원소계의 교란에 기인하는 것으로 해석된다. 연대측정 결과 Group I에 속하는 등립 우백질화강암(ELG)은 0.718의 ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 초생값을 가지며 약 184Ma의 쥐라기에 해당하는 연대를 보여 주었는데(Fig. 16), 이는 대체로 진명식 등(1994)의 연구 결과와 일치한다. 또한 Group II에 속하는 등립 알카리장석화강암(EAFG)은 0.715의 ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 초생값을 보이면서 약 59Ma의 백악기 말 내지는 제 3기초에 해당하는 연대로 측정되었다(Fig. 16).

고찰

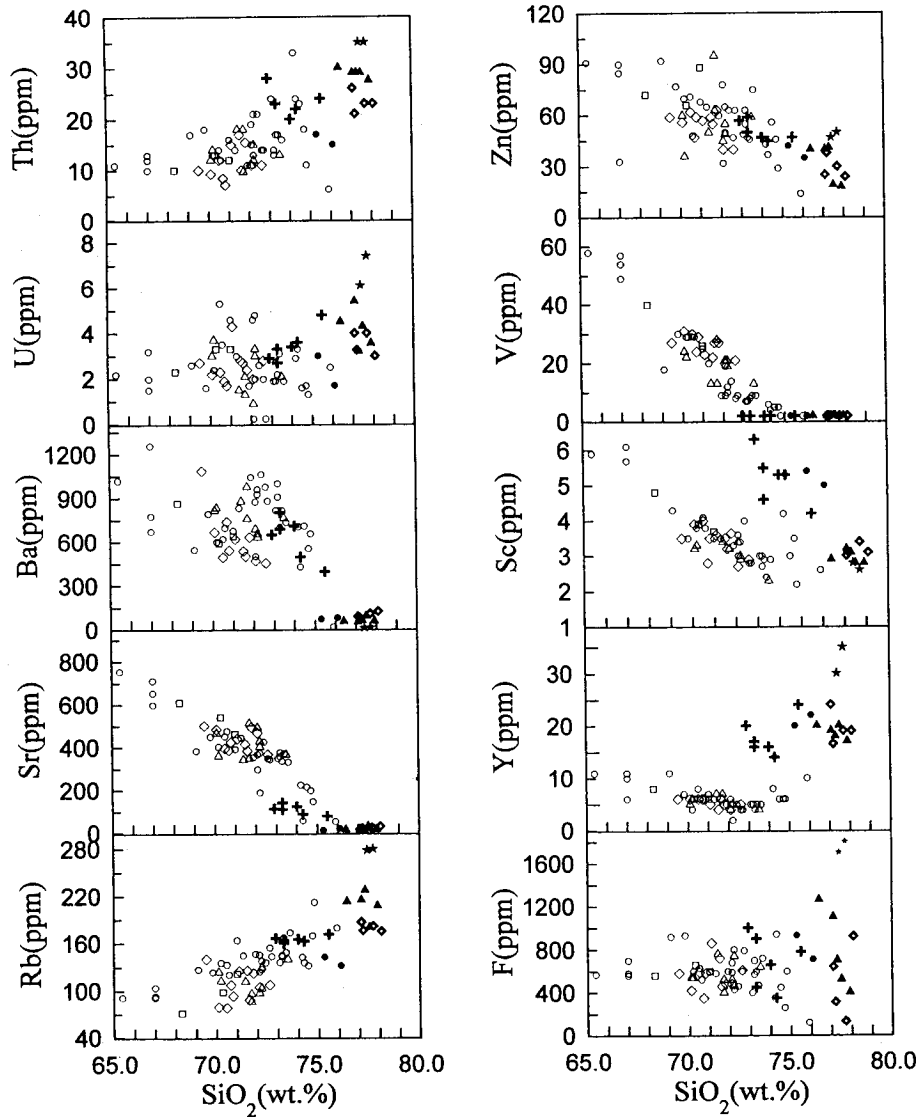


Fig. 12. Trace element concentrations plotted against SiO₂ contents for the granitic rocks. Symbols are same as in Fig. 7.

남한에 분포하는 중생대 화강암류중 유라기 화강암류는 주로 저반상으로 분포하고, 보다 심부에서 느린 속도로 냉각 고결되었기 때문에 K-장석이 퍼어사이트보다는 미사장석으로 많이 산출되며, 백악기 화강암류는 대개 암주상으로 나타나고, 보다 천부에서 빠른 속도로 냉각 고결되었기 때문에 K-장석이 미사장석보다는 주로 퍼어사이트로 산출된다고 알려져 있다(Jin, 1986; Hong, 1987). 금산 지역에 분포하는 9가지 화강암류중 ELG만이 저반상으로 산출되며, 나머지 화강암류는 암주의 형태로 나타나고 있다(Fig. 2). 또한 Group I의 ELG, PBG, PPF, SLG 등은 K-장석이 퍼어사이트보다는

미사장석으로 많이 산출되고 있으며(Fig. 4), Group II의 EAFG, EPFG, MPFG, EBG 등은 K-장석이 미사장석보다는 주로 퍼어사이트로 산출되고 있다. 그러나 예외적으로 Group II에 속하는 SPFG의 경우, 북쪽의 주변암과 비교적 인접한 곳에서 채취한 시료에서는 미사장석이 퍼어사이트보다 우세하게 나타나고 있으며, 남쪽부에서는 퍼어사이트가 우세하게 산출되고 있다.

연구 지역의 9가지 화강암류들에 대한 본원마그마의 상호 유사성을 추정하기 위해 각각의 화강암류들에 대한 주성분 원소들의 평균 함량을 근거로 Q-모드 군집분석을 수행하였

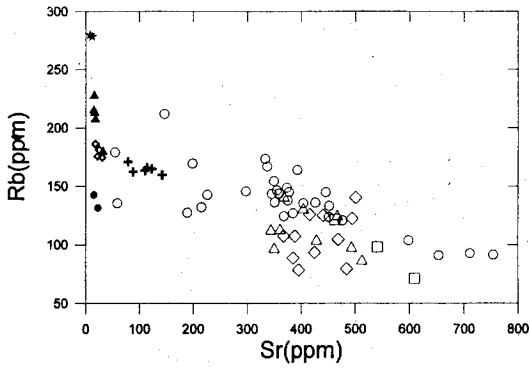


Fig. 13. Plot of Rb versus Sr for the granitic rocks. Symbols are same as in Fig. 7.

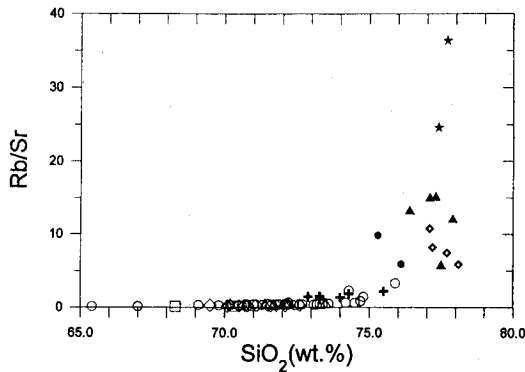


Fig. 14. Plot of Rb/Sr versus SiO₂ for the granitic rocks. Symbols are same as in Fig. 7.

다(Fig. 17). 그 결과 연구 지역에 분포하는 9가지 화강암류들은 상대적인 길이가 약 6인 지점을 기준으로 크게 2가지 집단으로 구분되고 있는데, 이는 앞에서 구분한 Group I과 Group II와 같다. 즉 마그마의 근원물질에 관계없이 마그마가 생성된 후 고결될 때 까지 폐쇄계(closed system)를 유지했다고 가정하면 ELG, PBG, PPF, SLG 등은 그 본원마그마의

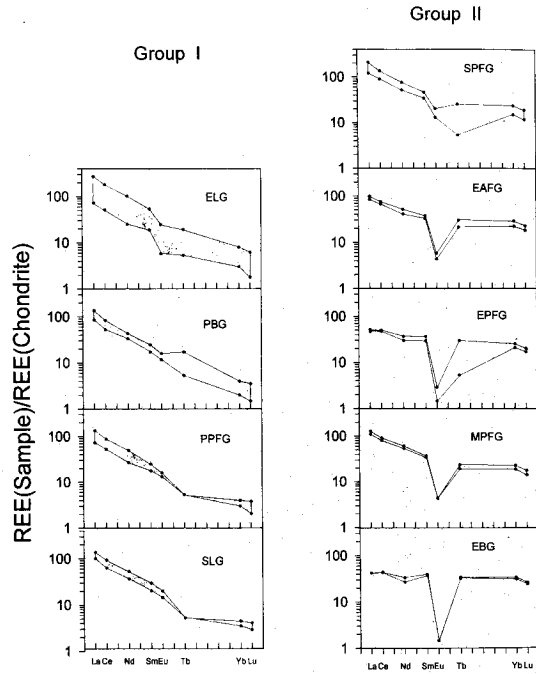


Fig. 15. Chondrite-normalized REE pattern ranges for the granitic rocks.

초기성분이 서로 유사했으며, 또한 EPFG, EBG, EAFG, MPFG, SPFG 등도 서로 그 본원마그마의 초기 성분이 비슷했을 것으로 추정된다.

지금까지 언급한 야외에서의 산출상태 뿐만 아니라 암석학적 및 지구화학적 특징과 동위원소 연대측정 결과를 근거로 할 때 연구 지역에 분포하는 화강암류중 Group I에 속하는 화강암류는 주라기, Group II에 속하는 화강암류는 백악기에 각각 정치된 것으로 추정되며, Group II의 SPFG는 정치시 주변부에서 ELG를 포함한 일부 주변암에 의해 약간 오염된

Table 2. Rb-Sr whole rock isotopic data for the equigranular leucocratic granite and equigranular alkali-feldspar granite in the Geumsan district.

Rock Types	Sample No.	Rb(ppm)	Sr(ppm)	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr
Equigranular leucocratic granite	10	135.9	426.0	0.835	0.720773±0.000202
	12	137.9	374.6	0.963	0.720106±0.000099
	8	143.6	345.1	1.089	0.722195±0.000172
	11	173.7	332.5	1.367	0.720727±0.000095
	9	211.9	146.2	3.797	0.729135±0.000202
Equigranular alkali-feldspar granite	21	179.4	54.0	8.715	0.742454±0.000070
	26	175.0	29.8	15.38	0.72894±0.00022
	25	181.4	24.3	19.57	0.73389±0.00023
	24	175.9	21.4	21.55	0.73558±0.00029
	23	186.5	17.3	28.27	0.73973±0.00056

*A normalized to ⁸⁸Sr/⁸⁶Sr=8.37521(⁸⁶Sr/⁸⁸Sr=0.1194)

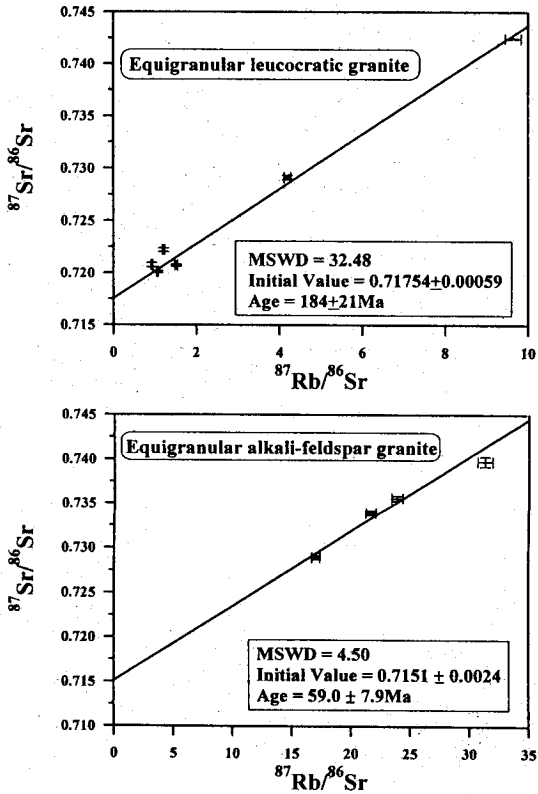


Fig. 16. Isochron plots for the equigranular leucocratic granite and the equigranular alkali-feldspar granite in the Geumsan district.

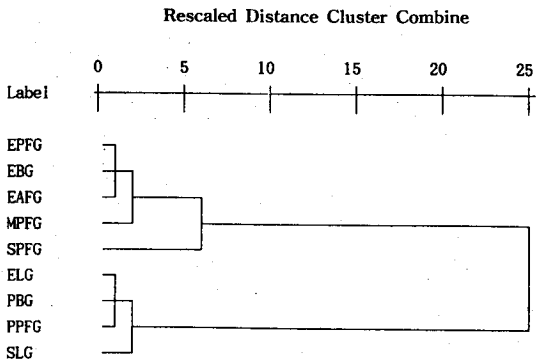


Fig. 17. Q-mode cluster analysis using major element contents of the granitic rocks. ELG; Equigranular leucocratic granite, PBG; Porphyritic biotite granite, PPFPG; Porphyritic pink-feldspar granite, SLG; Seriate leucocratic granite, SPFG; Seriate pink-feldspar granite, EAFG; Equigranular alkali-feldspar granite, EPPG; Equigranular pink-feldspar granite, MPFG; Mirolitic pink-feldspar granite, EBG; Equigranular biotite granite.

것으로 추정된다.

Rb-Ba-Sr의 관계도(Fig. 18)에서 백악기의 Group II에 해

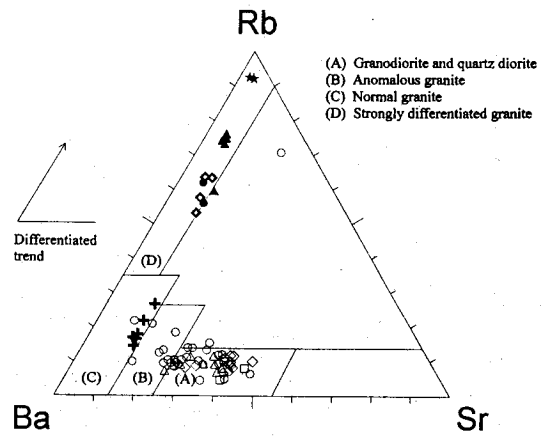


Fig. 18. Ternary diagram for Rb-Ba-Sr. Symbols are same as in Fig. 7.

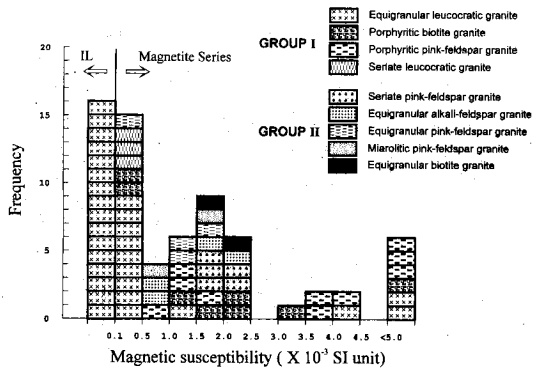


Fig. 19. Frequency distribution of magnetic susceptibility for the granitic rocks.

당하는 SPFG는 정상화강암의 영역에 도시되며 나머지 Group II의 화강암류는 몹시 분화된 화강암의 영역에 도시되고 있다. 또한 주라기에 해당되는 Group I의 화강암류는 화강섬록암과 석영섬록암의 영역으로부터 이상화강암과 정상화강암의 영역까지 다양한 분화 양상을 보여주고 있는데, 예외적으로 ELG에 속하는 화강암체의 주변부에서 채취한 하나의 시료만이 Rb이 몹시 부화되어 있는 영역에 도시되고 있다. 즉 Group II의 화강암류가 Group I의 화강암류보다 더 분화되어 있는 특징을 보이고 있으며, 이러한 경향은 AFM 관계도(Fig. 8)와 Rb/Sr 비값에 대한 SiO₂ 관계도(Fig. 14)에서도 잘 나타나고 있는데, 특히 Group II의 EBG가 가장 많이 분화된 특징을 보이고 있다. 또한 시료 채취시 현지에서 측정된 대자율 값에 의하면 Group I의 ELG중 특히 백운모를 함유하는 시료들을 제외한 대부분의 시료가 0.1×10⁻³SI unit 이상의 값을 보여주고 있어(Fig. 19), Ishihara(1981)에 의한 화강암류 분류법으로는 자철석계 화강암류에 해당되고 있다.

금산지역의 남동부에 분포하는 등립 우백질화강암은 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 의 초생값이 0.718을 나타내어(Fig. 16) 지각물질로 부터 마그마가 유래되었음을 시사하고 있는데, 이는 남한의 주라기 화강암류의 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 초생값이 0.711~0.718의 범위에 해당한다는 기존의 연구 결과(Hong, 1987 ; Jin, 1986 ; 1980)와 잘 일치하고 있다. 그러나 금산의 남서방향에서 비교적 작은 저반상으로 나타나고 있는 등립 알카리장석화강암은 0.715의 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 의 초생값을 보이고 있는데(Fig. 16), 이는 경상분지 내의 백악기 화강암류가 0.704~0.707 범위의 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 초생값을 나타내고 있다는 연구 결과(Jin, 1986)와 다소 차이를 보이고 있다.

일반적으로 화강암질 마그마에서 Rb은 분화과정이 진행되어감에 따라 잔류마그마에 농축되는 반면에 Sr은 분별 결정작용중 사장석과 K-장석과 같은 광물에 허용 또는 포획되어 비교적 초기에 소모됨으로 잔류마그마에는 상대적으로 그 함량이 감소되는 경향을 갖는다(Arth and Reston, 1976 ; Hanson, 1978). 또한 Ba은 분별 결정작용중 초기에 생성되는 조암광물의 종류와 그 함량에 따라 잔류마그마에 농축될 수도 있고 또는 결핍되기도 한다. 본 연구 지역에서는 분화과정이 진행되어감에 따라 SPFG를 제외한 Group II의 화강암류는 Ba의 함량이 뚜렷한 변화경향 없이 낮은 값을 보이고 있는 반면에 Group I의 화강암류는 비교적 규칙적으로 감소하는 경향을 나타내고 있는데(Fig. 12), 이는 Ba에 대해 6이상의 높은 분배계수 Kd 값(Philpotts and Schnetzler, 1970)을 갖는 흑운모와 K-장석 등이 대체로 초기에 분별결정되면서 분화되었음을 암시해 주고 있다. Rb-Sr 관계도(Fig. 13)에 있어서 Group I의 화강암류는 incompatible 원소인 Rb의 함량 변화는 비교적 작은 반면에 compatible 원소인 Sr의 함량은 Rb의 5배정도 큰 변화를 보여주고 있는데, 이는 금산지역에 분포하는 주라기 화강암류의 주된 분화과정은 부분용융에 의해 서라기 보다는 분별결정작용에 의한 결과임을 시사해 주고 있다(e.g. Hanson, 1978). 또한 Group II에 해당하는 화강암류는 각각의 화강암류에 속하는 시료수가 적어서 개개 암상의 분화과정 요인을 설명하기는 어려우나, 전체적으로 백악기 화강암류의 주된 분화과정을 추정해 본다면, Rb-Sr 관계도(Fig. 13)에 있어서 주라기 화강암류와는 달리 Rb의 함량 변화는 크고, compatible 원소인 Sr의 함량은 작은 변화를 보임으로서 금산지역에 분포하는 백악기 화강암류의 주된 분화과정은 분별결정작용에 의한 결과라기 보다는 부분용융에 의한 결과로 추정된다.

결 론

지금까지 금산지역에 분포하는 화강암체를 대상으로 수

행한 암석학적, 지구화학적 및 지질 연대학적 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 금산지역에 분포하는 화강암류는 야외에서의 산출상태와 조암광물들의 육안 및 현미경하에서의 조직과 함량, K-장석류의 색과 상대적인 함량 등에 따라 크게 등립 우백질화강암(ELG), 반상 흑운모화강암(PBG), 반상 홍색장석화강암(PPFG), 세리에이트 우백질화강암(SLG), 세리에이트 홍색장석화강암(SPPFG), 등립 알카리장석화강암(EAFG), 등립 홍색장석화강암(EPPFG), 미아롤리 홍색장석화강암(MPPFG), 등립 흑운모화강암(EBG) 등 9가지로 분류할 수 있다.

2) 모드분석 결과에 따르면 연구 지역의 화강암류는 비교적 K-장석이 부화되어 있는 화강암의 영역에 해당되고 있으며, CIPW norm 값에 의한 분류에 따르면 ELG, PBG, PPFG 등은 화강섬록암에서 화강암의 영역에 속하고, SLG는 화강섬록암에 해당되는 반면에 SPFG, EAFG, EPPFG, MPFG, EBG 등은 화강암에 해당된다. 또한 연구지역의 화강암류는 비알카리 계열의 peraluminous 화강암의 특징을 보이며, 전체적으로 calc alkali암 계열의 분화 특징을 나타내고 있다.

3) 연구 지역에 분포하는 9가지 화강암류는 몇몇 주성분 원소들의 평균함량(e.g. TiO_2 , P_2O_5 , MgO, CaO) 및 분화에 따른 변화양상 등을 고려할 때 크게 ELG, PBG, PPFG, SLG 등의 Group I과 SPFG, EAFG, EPPFG, MPFG, EBG 등의 Group II로 구분할 수 있는데, 이러한 두 Group은 몇몇 미량원소들(e.g. Sr, V, Y, Yb, Lu)의 평균함량 뿐만 아니라 희토류 원소들의 분산양상에 있어서도 잘 구분되고 있다. 그러나 Group II의 SPFG는 Ba, Eu 등의 평균함량은 Group I과 비슷하고, REE의 분산패턴에 있어서도 HREE의 분산패턴은 Group II에 속하는 다른 화강암류와 비슷하나 LRRE의 분산패턴은 Group I과 유사하며, Eu 이상값에 있어서도 Group I과 Group II의 중간적인 경향을 보이고 있다.

4) Group I에 해당하는 화강암류중 등립 우백질화강암(ELG)과 Group II에 속하는 화강암류중 등립 알카리장석화강암(EAFG)을 대상으로 Rb-Sr법의 전암 분석을 통해 연대 측정을 실시한 결과 등립 우백질화강암(ELG)은 0.718의 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 초생값을 가지며, 약 184Ma의 주라기에 해당하는 연대를 보여 주었고, Group II에 속하는 등립 알카리장석화강암(EAFG)은 0.715의 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 초생값을 보이면서 약 59 Ma의 백악기 말 내지는 제 3 기초에 해당하는 연대로 측정되었다.

5) 연구 지역의 9가지 화강암류들에 대한 본원마그마의 상호 유사성을 추정하기 위해 각각의 화강암류들에 대한 주성분 원소들의 평균 함량을 근거로 Q-모드 군집분석을 수행한 결과 크게 2가지 집단으로 구분되고 있는데, 이는 앞에서 구분한 Group I과 Group II와 같다. 즉 마그마의 근원물질에 관계없이 마그마가 생성된 후 고결될 때 까지 폐쇄계(closed

system)를 유지했다고 가정하면 ELG, PBG, PPF, SLG 등은 그 본원마그마의 초기성분이 서로 유사했으며, 또한 EPFG, EBG, EAFG, MPFG, SPFG 등도 서로 그 본원마그마의 초기 성분이 비슷했을 것으로 추정된다.

6) 금산 지역에 분포하는 화강암류들의 야의 산출상태 뿐만 아니라 암석학적 및 지구화학적 특징과 동위원소 연대측정 결과를 근거로 할 때 Group I에 속하는 화강암류는 주라기, Group II에 속하는 화강암류는 백악기에 각각 정지된 것으로 추정되며, Group II의 SPFG는, 정치시 주변부에서 ELG를 포함한 일부 주변암에 의해 약간 오염된 것으로 판단된다.

7) 금산 지역에 분포하는 화강암류는 주라기 등립 우백질화강암의 일부 시료들을 제외한 대부분이 자철석 계열의 화강암에 해당되며, 백악기 화강암류가 주라기 화강암류보다 더욱 분화되어 있는 특징을 보이는데, Rb-Sr의 관계도에 의하면 주라기 화강암류의 주된 분화과정은 분별결정작용에 의해 이루어졌으며, 백악기 화강암류의 주된 분화과정은 부분용융에 의한 결과로 추정된다.

사 사

본 연구는 한국과학재단 연구수행과제 (KOSEF 93-0400-005-2)의 일부이며, 또한 전라광물자원연구소의 일부 연구비 지원에 의해 수행되었다. 시료의 XRF에 의한 주성분원소 분석에 협조해 준 쌍용중앙연구소 기초화학실험실과 쌍용자원개발주식회사 김성범 사장께 감사드리며, 아울러, Rb-Sr 동위원소 분석에 편의를 제공해 준 조선대학교 공과대학 공동실험실에 심심한 감사를 드린다.

참고문헌

김규환, 신운수(1990) 충주-월악산-제천 화강암류의 암석화학적 연구. 광산지질, 23권, p. 245-259.
 김동학, 장태우, 김원영, 황재하(1978) 한국지질도(1:50,000), 옥천지질도폭설명서, 자원개발연구소, 21p.
 김육준(1971) 한국의 신기 화강암류의 관입시기와 지각변동. 광산지질, 4권, p. 1-9.
 김정환, 이인기(1973) 한국지질도(1:50,000), 용담지질도폭설명서, 국립지질광물연구소, 25p.
 이대성, 남기상(1969) 한국지질도(1:50,000), 장기리지질도폭설명서, 국립지질조사소, 33p.
 이대성, 지정만, 이대운(1980) 옥천지향사대에서 화성활동에 의한 광화작용의 유형에 관한 연구. 광산지질, 13권, p. 167-184.
 이상만, 김형식, 나기창(1980) 한국지질도(1:50,000), 대전지질도폭설명서, 자원개발연구소, 26p.
 주승환, 김성재(1985) Rb-Sr법에 의한 영남육괴 연대 측정 연구 (I). 국토기초지질조사연구 85-24. 한국동력자원연구소, p. 7-40.

지정만(1975) 남한의 형석광상의 성인에 관한 연구. 광산지질, 8권, p. 25-56.
 지정만, 계 정(1971) 남한의 형석광상. 지질광상조사연구보고, 제 13호, p. 1-367.
 진명식, 신성진, 김성재, 주승환, 지세정(1994) 옥천습곡대 중서부 지역 화강암과 반심성암의 동위원소연대와 화성활동사. 동위원소지질연구 KR-93-1G-2, 한국자원연구소, 54p.
 진호일, 민경원, 전효택(1995) 금산지역에 분포하는 형석광화작용 관련화강암류의 지구화학적 특징(투고중). 자원환경지질, 28권.
 최선규, 위수민(1992) 에렉트립의 화학조성과 관련된 한국 중부 지역 금은광상의 성인적 특성. 지질학회지, 28권, p. 196-217.
 홍승호, 이병주, 김원영(1980) 한국지질도(1:50,000), 무주지질도폭설명서, 자원개발연구소, 28p.
 홍승호, 최위찬(1978) 한국지질도(1:50,000), 금산지질도폭설명서, 자원개발연구소, 29p.
 Arth, J. G. and Reston, Va. (1976) Behavior of trace elements during magmatic processes - A summary of theoretical models and their applications. Jour. Research U. S. Geol. Survey, v. 4, p. 41-47.
 Hanson, G. N. (1978) The application of trace elements to the petrogenesis of igneous rocks of granitic composition. Earth Planet. Sci. Lett., v. 38, p. 26-43.
 Harrison, T. M. and McDougall, I. (1980) Investigations of an intrusive contact, northwest Nelson, New Zealand-I. Thermal, chronological and isotopic constraints. Geochim. Cosmochim. Acta, v. 44, p. 1985-2003.
 Haskin, L. A., Haskin, M. A., Frey, F. A. and Wildeman, T. R. (1968) Relative and absolute terrestrial abundances of the rare earths, in Ahrens, L. H., ed., Origin and Distribution of the Elements, 1 : Pergamon, Oxford, p. 889-911.
 Hong, Y. K. (1987) Geochemical characteristics of Precambrian, Jurassic and Cretaceous granites in Korea. Jour. Korean Inst. Mining Geol., v. 20, p. 35-60.
 Ishihara, S. (1981) The granitoid series and mineralization. Econ. Geol., 75th Anniversary vol., p. 458-484.
 Jin, M. S. (1980) Geological and isotopic contrasts of the Jurassic and the Cretaceous granites in south Korea. Jour. Geol. Soc. Korea, v. 16, p. 205-215.
 Jin, M. S. (1986) Ca, Na, K, Rb, Zr, Nb and Y abundances of the Cretaceous to early Tertiary granitic rocks in southern Korea and their tectonic implications. Memoirs for Prof. Sang Man Lee's Sixtieth Birthday, p. 195-209.
 Kim, W. J. (1986) Metallogeny on Gold-Silver in South Korea. Jour. Korean Inst. Mining Geol., v. 19, p. 243-264.
 Na, C. K. (1994) Genesis of Granitoid Batholiths of Okchon Zone, Korea and Its Implication for Crustal Evolution. Tsukuna Univ., 154p.
 Philpotts, J. A. and Schnetzler, C. C. (1970) Phenocryst-matrix partition coefficients for K, Rb, Sr and Ba, with applications to anorthosite and basalt genesis. Geochim. Cosmochim. Acta, v. 34, 307p.
 Shand, S. J. (1947) Eruptive rocks. Their Genesis, Composition, Classification, and their Relation to Ore-Deposits. 3rd ed., J. Wiley & Sons, New York, 488p.

1995년 1월 10일 원고접수