

포천 - 기산리 일대에 분포하는 쥐라기 대보화강암류의 암석 및 암석화학

윤현수* · 홍세선 · 이윤수

한국지질자원연구원 지질연구부

Petrology and petrochemistry of the Jurassic Daebo granites in the Pocheon-Gisanri area

Hyun Soo Yun*, Sei Sun Hong and Youn Soo Lee

Geology Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources,
30 Kajungdong Yuseongku, Daejeon 305-350, Korea

요 약: 1/5만 포천-기산리도폭에 넓게 분포하는 쥐라기의 대보화강암류는 선캄브리아기의 편마암 복합체를 관입한다. 이들은 모우드 분석결과 거의가 몬조화강암에 해당하며, 구성광물특성상 흑운모화강암(Gb), 석류석흑운모화강암(Ggb) 그리고 복운모화강암(Gtm)으로 구분된다. 주변지역의 야외조사와 K-Ar 운모류 연령해석에 의하면 Ggb가 Gb를 관입하였으며 Gtm은 가장 후기로 해석된다. 연구대상인 Gb와 Ggb는 서브알칼린과 칼크알칼린 계열의 산성암류이다. SiO₂ 증가에 따라 주 원소의 대부분이 완만한 부의 경향을 뚜렷히 가지나, TiO₂, MgO 및 CaO 등은 두 개의 다소 다른 선상분포를 이룬다. 이와 더불어 선상의 분포경향을 이룬 AMF, Sr 대 Ba 그리고 Rb-Ba-Sr 관계 등으로 미루어, 이들은 동일마그마에서 기원되었으며 Ggb가 Gb보다 분화후기의 산물로 해석된다. Sr 대 CaO와 Sr 대 K₂O는 모두 정의 관계를 이루나, Sr이 알칼리장석보다 사장석의 분별결정작용에 보다 더 관여한 경향을 이룬다. 콘드라이트 값으로 표준화한 변화도에서 이들은 LREE에서 HREE로 갈수록 점진적으로 뚜렷이 결핍된다. 그러나 Ggb의 한 개 시료는 HREE가 잠이적 증가경향을 이루며, 이는 석류석의 수반에 의한 것으로 해석된다. Eu 부의 이상으로 미루어 Gb에 비해 Ggb에서 사장석의 분별결정작용이 매우 강하게 일어난 것으로 보인다. (Qz + Af) 대 Op의 모우드 상관도에서 Gb는 거의가 자철석 계열에, Ggb는 모두 티탄철석 계열에 속한다. 모우드 분석과 대자율 역산에서 Gb와 Ggb의 대자율은 각각 339.3 μ SI와 2.3 μ SI로써 뚜렷이 구분되며, 이는 각각 자철석과 흑운모가 주도하는 것으로 분석된다. Gb와 Ggb의 SiO₂는 각각 높은 함량과 좁은 범위값을, K₂O/Na₂O는 각각 1.29와 1.27을, 그리고 A/CNK 몰비는 거의가 1.05 이상의 값을 가진다. 그 밖에 ACF도와 대자율값에서도 모두 S-형에 속하는 암석성인적 특성을 보인다.

핵심어: 흑운모화강암(Gb), 석류석흑운모화강암(Ggb), 분화후기산물, 석류석, S-형

Abstract: The study area is mostly composed of Precambrian Gyeonggi gneiss complex, Jurassic Daebo granites, Cretaceous tonalite and dykes, and so on. On the basis of field survey and mineral assemblage, the granites can be divided into three types; biotite granite (Gb), garnet biotite granite (Ggb) and two mica granite (Gtm). They predominantly belong to monzo-granites from the modes. Field relationship and K-Ar mica age data in the surrounding area suggest that intrusive sequences are older in order of Gtm, Ggb and Gb. Gb and Ggb, major study targets, occur as medium-coarse grained rocks, and show light grey and light grey-light pink colors, respectively. Mineral constituents are almost similar except for opaque in Gb and garnet in Ggb. Gb and Ggb have felsic, peraluminous, subalkaline and calc alkaline natures. In Harker diagram, both rocks show moderately negative trends of TiO₂, MgO, CaO, Al₂O₃, Fe₂O₃ (t), K₂O and P₂O₅, as SiO₂ contents increase. Among them, TiO₂, MgO and CaO show two linear trends. From the trends and the linear patterns in AFM, Sr-Ba and Rb-Ba-Sr relations, it is likely that they were originated from the same granitic magma and Ggb was differentiated later than Gb. REE concentrations normalized to chondrite value have trends of parallel LREE enrichment and HREE depletion. One data of Ggb showing a gradually enriched HREE trend may be caused by garnet accompaniment. Ggb have more negative Eu anomalies than Gb, suggesting that plagioclase fractionation in Ggb have occurred much stronger than that

*Corresponding author: Tel. 82-42-868-3130, E-mail. hyuns@kigam.re.kr

in Gb. In modal (Qz + Af) vs. Op, Gb and Ggb belong to magnetite-series and ilmenite-series, respectively. From the EPMA results, opaques of Gb are magnetite and ilmenite, and those of Ggb are magnetite-free ilmenite or not observed. Bimodal distribution of magnetic susceptibility reveals two different granites of Gb (332.6 μ SI) and Ggb (2.3 μ SI). Based on the paleomagnetic analysis as well as modal analysis, the main susceptibilities of Gb and Ggb reside in magnetite and mafic minerals, respectively. They belong to S-type granite of non-magnetic granite by susceptibility value. In addition, SiO₂ contents, K₂O/Na₂O, A/CNK molar ratio and ACF diagram support that they all belong to S-type granites.

Key words: biotite granite (Gb), garnet biotite granite (Ggb), differentiated, garnet, S-type

서 언

연구대상 화강암류는 서울-의정부-포천북부 일대에 걸쳐 북동향으로 대규모 분포를 이루며 주변의 경기편 마암 복합체를 관입한 대보화강암질 저반의 중부에 위치한다. 1/5만 도폭상으로 포천(미발간)-기산리(미발간) 일대에 걸쳐 넓게 분포하는 주라기 화강암류이다(Fig. 1).

이 암류는 야외조사와 암석광물학적 차이에 의하여 흑운모화강암, 석류석흑운모화강암 그리고 복운모화강

암으로 분대된다. 구성광물은 야외조사와 경하관찰을 통하여 그 차이를 비교하였다. 가능한 신선한 암석 시료를 택하여 주원소, 미량원소와 희토류원소 성분을 분석하였으며 불투명광물의 동정을 위하여 대표시료를 택하여 EPMA 분석을 하였다. 모우드분석이 실시된 시료에 대하여는 정밀한 대자율 측정을 병행하였으며, 모우드분석 결과와 연계하여 구한 이론값과 비교하여 연구하였다. 그리고 이들로 부터 암석명, 암석화학적 차이, 성인적 특성, 희토류원소의 변화비교와 지구조적

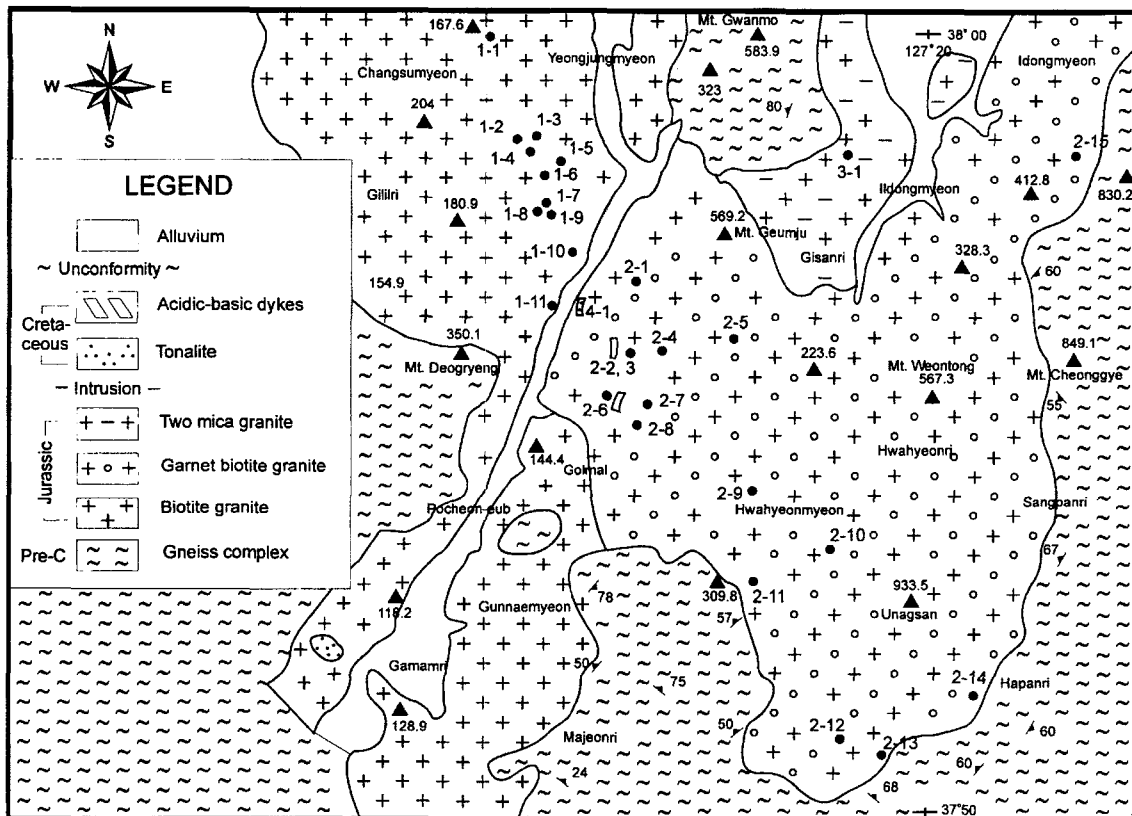


Fig. 1. Geologic map and sampling sites in the Pocheon-Gisanri area.

생성환경 등을 해석하였다.

이 대보화강암질 저반에 관련된 연구로는 Kwon *et al.*(1999)에 의한 Rb-Sr과 Sm-Nd 동위원소 연구, Kwon and Sagong(1998)에 의한 의정부일대의 환상구조, 윤현수(1995)에 의한 포천-의정부일대 화강암류의 산상과 암석화학, Kwon *et al.*(1994)에 의해 저반 전체를 다룬 암석학 및 지구화학연구 등이 있다. 그러나 포천-기산리일대에 대한 야외조사와 암석분대 등에 의한 상세한 암석학적 기재 및 암석화학적 연구는 미비한 편이다. 이 연구에서는 넓은 지역에 분포하는 흑운모 화강암과 석류석흑운모화강암을 주요 대상으로 하였다.

주 원소성분 중에서 FeO는 습식법으로, 나머지 성분은 XRF로 분석하였다. 미량원소성분 중에서 Rb은 INAA(HANARO)에 의해 그리고 기타 성분은 ICP-AES(Labtest 3000)로 분석되었다. 그리고 희토류원소(REE)는 ICP-MS로 분석되었다. 중량대자율 측정(Bartington MS 2)은 박편 및 분석용 시료와 동일한 것을 사용하였고, 더 정밀한 값을 알기 위해 μ SI로 측정하였다. 불투명광물은 EPMA(JCXA 8800)로 분석하였다. 이 중에서 화학성분과 대자율은 지질자원연구원에서, EPMA 분석은 충남대학교에서 수행되었다.

암석 개요

포천-기산리 일대의 구성암은 선캠브리아기의 편마암류와 편암류, 쥬라기의 흑운모화강암(Gb)과 석류석흑운모화강암(Ggb)과 복운모화강암(Gtm), 백악기의 토날라이트와 산성-염기성 암맥류, 그리고 제 4기의 충적층이다(Fig. 1).

이 곳은 광주산맥의 지맥에 해당하며 동부에는 청계산(849.1 m)과 운악산(935.5 m), 북부에는 관모봉(583.9 m), 서부에는 종현산(588.5 m)과 국사봉(754 m), 그리고 남부에는 585.5 m 봉이 고지를 이루어 험준한 지형을 이룬다. 대체로 동부의 Gb와 Gtm 그리고 북부와 서부의 변성암류는 높은 지형을, 그리고 북서부와 남서부의 포천천 주변의 Gb와 일부 Ggb는 다소 낮은 지형을 이룬다.

편마암복합체

선캠브리아기의 편마암과 편암류로서 연구지역의 동부, 서부와 남부일대에 분포한다. 구성암은 호상편마암, 안구상 호상편마암, 화강암질 편마암, 반상변정 화강암질 편마암, 흑운모 편암 등이다. 이 암류는 경기육괴의 기반암인 편마암복합체에 해당한다(GMIK, 1973; Na,

1978, 1979).

동부일대에는 호상편마암, 반상변정 화강암질 편마암, 화강암질 편마암, 흑운모 편암 등이, 서부일대에는 호상편마암과 반상변정 화강암질 편마암이 분포한다. 그리고 동부의 309 m 고지 일원에 분포하는 흑운모 호상편마암 내에는 석탄박층이 빈번하게 협재되기도 한다. 이들 반상변정 화강암질 편마암에는 규암, 석영장석질 편마암과 흑운모 편암 등의 포획체가 산출된다(윤현수, 1995). 남부일대에는 호상편마암, 화강암질 편마암 등이 분포하며, 일부에서는 후자가 호상편마암을 관입 또는 포획한다.

쥬라기 화강암류

이 화강암류는 구성광물의 특성과 분포지역에 따라 서부-남서부의 흑운모화강암(Gb), 동부의 석류석흑운모화강암(Ggb) 그리고 북동부의 복운모화강암(Gtm)으로 구분될 수 있다(Fig. 1). 이 중에서 전자 둘은 넓은 분포지역을 이루나 후자는 소규모로 분포한다.

흑운모화강암(Gb)

Gb는 담회색 또는 미약한 담홍색의 중-조립질암으로 포천천의 서부와 남서부에서 넓게 분포하며 다소 낮은 지형을 이룬다(Fig. 1). 석영-알칼리장석-사장석(QAP) 모우드 삼각도에서 심장-몬조화강암 영역에 걸치나, 그 대부분이 후자에 속한다(Table 1; Fig. 2). Gb, Ggb와 Gtm의 경계부는 대부분 점이적인 관계를 이루며 풍화토로 피복되어 있으나, 주변지역에서의 기존연구로 그 선후관계를 해석할 수 있다.

즉, 1/5만 의정부 도폭(미발간)의 중부인 고장산 서측에서는 남북방향의 담홍색 중립질 화강암맥이 약 2 m 폭으로 흑운모화강암을 관입한다. 이 암맥은 포천-의정부사이에서 반월형의 천보산맥을 이룬 석류석흑운모화강암에서 뻗은 지맥이 그 서측의 흑운모화강암을 관입한 것으로 해석된다. 이 흑운모화강암의 K-Ar 흑운모연령은 166 ± 7 Ma로서 쥬라기 중기로 보고된 바 있으며(윤현수, 1995), 연구지역의 Gb는 그 북부의 연장암체로 해석된다.

Gb는 거사리 등 일부지역에서는 교차된 열극을 따라 차별적 풍화작용으로 인하여 형성된 타포니(Twindale, 1982)가 수 m의 크기로 발달되기도 한다. 경하 상에서 Gb와 Ggb는 불투명광물의 유무에서 큰 차이를 보인다. 즉 전자에서는 미립질의 불투명광물이 반드시 수반되나, 후자에서는 흔적을 이루거나 관찰되지 않는다.

Table 1. Modes of the Jurassic granites in the Pocheon-Gisanri area.

Sp.no	Rock type	Qz	Af	Pl	Bt	Mu	Ch	Ap	Sp	Zr	Gt	Ep	All	Op
1-1	Gb	37.8	37.1	23.9	1.1	tr	-	tr	-	-	-	-	-	0.1
1-2	"	44.2	25.6	27.2	2.2	tr	0.1	tr	tr	tr	-	tr	0.1	0.6
1-4	"	28.4	41.4	27.3	2.5	tr	-	tr	-	tr	-	-	tr	0.4
1-5	"	43.2	25.1	29.5	1.9	tr	-	tr	-	-	-	-	tr	0.3
1-6	"	44.6	25.5	27.9	1.7	tr	-	-	-	-	-	-	tr	0.3
1-7	"	43.1	27.2	26.9	1.8	tr	-	tr	-	tr	-	-	0.1	0.9
1-8	"	51.2	20.0	27.6	0.9	tr	-	-	-	tr	-	-	tr	0.2
1-9	"	53.5	18.6	25.7	1.6	tr	-	tr	-	tr	-	tr	0.1	0.5
1-10	"	30.6	48.2	19.9	1.2	tr	-	tr	-	-	-	tr	0.1	tr
1-11	"	39.1	36.3	24.0	0.5	-	-	tr	-	-	-	-	0.1	tr
2-1	Ggb	47.1	23.1	28.2	1.5	tr	tr	-	-	tr	-	-	-	-
2-3	"	34.4	29.6	33.3	1.4	0.3	0.4	-	-	tr	0.3	-	-	-
2-4	"	41.4	29.3	27.5	1.6	0.2	-	-	-	tr	-	-	-	-
2-5	"	28.7	30.7	34.8	5.4	0.2	0.2	-	-	tr	tr	-	-	-
2-6	"	38.0	26.3	31.0	2.1	1.2	1.3	-	-	tr	-	-	-	tr
2-7	"	50.9	24.1	21.9	2.9	tr	-	-	-	0.1	tr	-	-	0.1
2-8	"	42.4	27.9	27.0	0.4	1.0	1.2	-	-	tr	-	-	-	-
2-11	"	34.0	31.8	33.1	0.4	0.3	-	-	-	tr	0.3	-	-	-
2-12	"	44.2	28.0	25.8	2.0	tr	-	-	-	tr	tr	-	-	tr
2-13	"	56.8	18.1	22.2	2.8	0.1	-	-	-	tr	-	-	-	-
2-14	"	42.0	28.7	27.7	1.5	tr	-	tr	-	tr	-	-	-	tr
2-15	"	48.1	26.4	21.1	4.0	0.1	0.2	tr	-	tr	-	-	-	-

Qz: quartz, Af: alkali feldspar, Pl: plagioclase, Bt: biotite, Hb: hornblende, Mu: muscovite, Ch: chlorite, Ap: apatite, Sp: sphene, Zr: zircon, Gt: garnet, Ep: epidote, All: allanite, Op: opaque, tr: trace, Gb and Ggb are biotite granite and garnet biotite granite, respectively.

석류석 흑운모화강암(Ggb)

Ggb는 회색, 담회색, 담홍색의 중-조립질 암으로 Gb와 달리 대부분 높은 지형을 이룬다. 전반적으로 미립의 석류석이 산출되고, QAP 모우드 삼각도에서 몬조화강암에 해당한다(Table 1; Fig. 2). 곳에 따라 유색광물이 밀집된 포획암(mafic enclave)이 발달하여, Ggb의 서측인 지현리에서는 수-30 cm 정도의 크기를 이룬 것들이 타원형으로 종종 수반된다.

한편 연구지역의 남서부인 포천-외정부 사이에 분포하는 석류석흑운모화강암의 흑운모 연령(K-Ar 법)이 165 ± 2 Ma로 보고된 바 있으며(윤현수, 1995), 연구지역의 Ggb도 같은 시기의 암체로 해석된다.

Ggb는 그 남동부인 하판리에서 주변의 변정질 호상편마암을 맥상으로 관입하며, 그 접촉부에서는 보다 세립질화 되기도 한다. 그리고 연구지역의 남동단인 신상리에서 주변의 화강암질 편마암을 관입한 맥상의 Ggb에서는 미약한 엽리구조가 발달되기도 한다.

복운모화강암(Gtm)

Gtm은 금주산 동측에서 북동향으로 분포하는 소규모의 암체로서, 대부분 높은 고지대를 이루며 그 서측에서 안구상의 호상편마암을 관입한다. 이 암은 그 동측에서 석영과 장석이 반정을 이루며, 간혹 유색광물이 군집된 포획암이 수 cm 크기로 발달한다. 회색의 중-조립질암으로 흑운모와 백운모를 수반함이 특징이며, 모우드 분석결과 몬조화강암에 해당한다(Table 1; Fig. 2).

Gb, Ggb와 Gtm의 암석학적인 선후관계는 다음과 같이 해석된다. Gb와 Ggb의 K-Ar 흑운모 연령 외에, 연구지역의 북동부인 1/5만 화천도폭(박기화 외, 1997)에서는 복운모화강암의 백운모 연령(K-Ar 법)이 151 ± 4 Ma로 보고된 바 있다. K-Ar 법에서 백운모와 흑운모의 폐쇄온도는 각각 $350^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$ 와 $300^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$ 로 보고된 바 있으므로(Jäger, 1979), 이를 고려하더라도 Gtm은 이들 세 화강암류 중에서 가장 후기의 관입하여 정지된 것으로 해석된다.

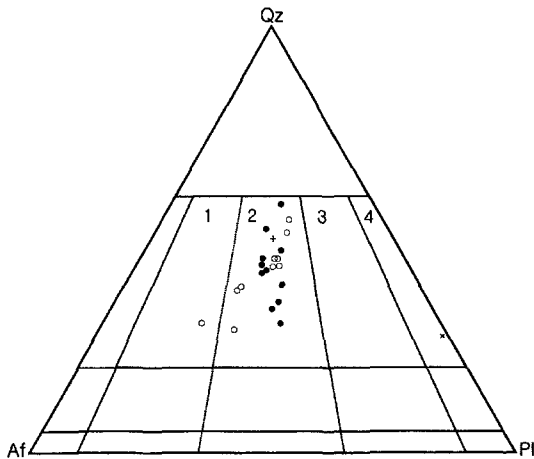


Fig. 2. Triangular diagram of modes for the Jurassic granites. Biotite granite(Gb) and garnet biotite granite(Ggb) are opened and closed circles, respectively. Two mica granite and tonalite are plus and cross, respectively.

한편 연구지역의 서부와 동부에 분포하는 쥐라기 화강암류의 Rb-Sr 전암연령은 각각 ~168 Ma와 170 ± 5.2 Ma(Kwon *et al.*, 1999)로 보고된 바 있다. 이 연령은 각각 Gb와 Ggb의 것으로 해석되나, 오차범위내에서 일치하기 때문에 이들의 선후관계는 파악할 수 없다.

백악기 토날라이트와 암맥류, 제 4기층

백악기 관입암류에는 토날라이트와 암맥류가 있다. 전자는 암흑색을 띠는 중-조립질암으로서 모우드 분석 결과 토날라이트에 해당한다(Table 1). 이 암은 포천천 주변 특히 서측의 여러 곳에서 맥상, 암주상으로 Gb와 Ggb를 관입하여, 그 지질시대는 백악기로 추정된다. 맥상은 화현면 신평리, 군내면 마산리 등에서 북북동향으로 발달한다. 암주상은 포천읍 선단리, 화현면 기지리 등에서 소규모로 분포한다. 이 암은 Kwon *et al.* (1994)에 보고된 석영섬록암-토날라이트류로 보인다.

암맥류는 산성과 염기성암류로서 도처에서 산출된다. 전자는 장석반암, 석영-장석반암, 규장암, 페그마타이트, 반화강암과 석영맥 등이다. 후자는 치밀질암으로서 휘석과 각섬석 등의 반정이 발달되기도 한다. 제 4기층은 중북부 일대에서 저지대를 형성하며, 특히 포천천 주변을 따라 길게 분포하는 총적층이다.

광물조성

흑운모화강암(Gb)

Gb는 석영, 알칼리장석, 사장석, 흑운모, 백운모, 녹

니석, 인회석, 스펀, 저어콘, 갈염석 및 불투명광물 등으로 구성된다. 부분적으로 미르메카이트나 문상조석이 발달한다. 주성분광물의 모우드 값(%)은 석영 31.0~54.7, 알칼리장석 19.0~48.8, 사장석 20.2~30.2로서 전자 둘이 넓은 변화폭을 가진다(Table 1).

석영은 파동소광 그리고 부분적으로 줄무늬소광(shadowy extinction)을 이룬다. 이 광물은 최대 장/단경이 7/4 mm의 크기를 이루며, 미립의 백운모를 함유하기도 한다. 알칼리장석은 미사장석, 퍼다이트와 일부 마이크로 퍼다이트로 구성되며, 간혹 칼스바드 쌍정을 이룬다. 최대크기는 5/4 mm 또는 6/2.5 mm를 이룬다. 사장석은 알바이트, 칼스바드-알바이트, 그리고 일부 페리크린 쌍정을 이룬다. 최대크기가 5/2.5 mm에 이르며 부분적으로 동심원상의 누대구조가 발달하며, 입자 전체가 미립의 산점상으로 변질되기도 한다. 소광각은 4°~10°로서 알바이트에 해당한다.

흑운모는 담-암갈색을 띠며 일부에서는 입자의 일부 또는 쪼개짐 면을 따라 녹리석화 된다. 백운모는 대부분 석영과 사장석과 알칼리장석 내 또는 입자간극에 미립질로 발달하여, 이차적인 산물로 해석된다. 인회석과 저어콘은 흑운모 내에 미립으로 함유되며 후자에서는 방사성 색현상이 자주 수반된다. 스펀은 국부적으로 산출되며 반자형을 이룬다. 갈염석은 타형-자형의 미립질로 종종 발달하고 대체로 누대구조를 이룬다. 불투명광물은 타형-자형으로 경하에서 항상 관찰되며, 최대크기가 0.8/0.2 mm에 이른다. 이 광물은 대체로 단일형의 세립질을 이루나, 일부 집괴형을 이루기도 한다.

석류석흑운모화강암(Ggb)

Ggb는 석영, 알칼리장석, 사장석, 흑운모, 백운모, 녹니석, 인회석, 저어콘, 석류석과 불투명광물 등으로 구성된다. 일부에서는 미르메카이트와 문상조석이 발달한다. 주성분광물의 모우드 값(%)은 석영 30.5~58.5, 알칼리장석 18.6~32.6, 사장석 22.9~37.0으로서, 전자가 넓은 변화폭을 가진다(Table 1).

석영은 최대크기는 7/4 mm에 달하며, 미립질의 백운모를 함유한다. 대체로 파동, 모자이크 소광을 이룬다. 염리상의 줄무늬소광이 종종 수반되어, 국부적으로 미약한 변형작용을 받은 것으로 해석된다. 알칼리장석은 미사장석, 퍼다이트와 마이크로 퍼다이트로 구성된다. 이들은 종종 칼스바드 쌍정을 이루며, 최대 6/3 mm의 크기를 이룬다. 사장석은 알바이트, 칼스바드-알바이트 그리고 일부 페리크린 쌍정을 이룬다. 최대크기는 5/2 mm에 이르며, 소광각은 5°~12°로서 알바이트-올리코크 레이스에 해당한다.

Table 2. Major (wt. %) and trace element (ppm) compositions of the Jurassic granites in the Pocheon-Gisanri area.

Sp.no	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	1-7	1-8	1-9	1-10	1-11	*S19	*S20	*S21	2-1	2-2	2-3
SiO ₂	74.10	74.94	74.35	74.46	75.04	72.38	74.45	76.26	72.38	74.60	73.47	73.25	72.92	74.82	76.15	75.22	74.88
TiO ₂	0.15	0.10	0.15	0.16	0.06	0.13	0.16	0.14	0.79	0.15	0.25	0.15	0.19	0.12	0.04	0.04	0.04
Al ₂ O ₃	13.97	14.77	13.56	13.89	14.35	15.22	13.68	13.07	14.97	13.71	13.81	14.76	14.80	13.96	12.90	13.23	13.62
Fe ₂ O ₃	0.72	0.50	0.53	0.53	0.56	0.77	0.83	0.72	0.67	0.70	0.73	0.89	0.79	0.33	0.24	0.45	0.90
FeO	0.38	0.95	0.58	0.83	0.85	1.27	0.30	0.26	1.46	0.23	1.06	0.47	0.48	0.56	1.02	0.91	0.26
MnO	0.07	0.06	0.06	0.10	0.06	0.05	0.06	0.06	0.08	0.05	0.10	0.06	0.05	0.05	0.07	0.10	0.08
MgO	0.17	0.21	0.16	0.22	0.33	0.21	0.20	0.18	0.71	0.17	0.37	0.26	0.33	0.17	0.03	0.02	0.02
CaO	0.91	1.01	1.24	0.97	1.01	1.01	1.01	0.86	1.16	0.88	1.29	1.13	1.39	1.10	0.67	0.61	0.63
Na ₂ O	3.81	3.64	4.23	3.68	3.48	3.68	3.61	3.56	3.16	3.59	3.62	3.80	3.63	3.65	3.65	3.78	3.89
K ₂ O	4.81	4.22	4.92	4.88	4.12	4.55	4.92	4.49	4.12	5.08	4.72	5.08	5.25	4.48	4.70	4.72	4.73
P ₂ O ₅	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03	0.05	0.03	0.02	0.04	0.02	0.05	0.01	0.02	0.00	0.02	0.02	0.02
LOI	0.38	0.08		0.26	0.09	0.53	0.25	0.18		0.32	0.33	0.66	0.69	0.83	0.55	0.44	0.47
Sum	99.50	100.52	99.81	100.01	99.98	99.85	99.50	99.80	99.52	99.50	99.80	100.52	100.54	100.07	100.04	99.64	99.54
Ba	598	482	533	584	443	424	509	367	379	459	552	894.0	860.0	621.0	29	11	4.5
Be	1.6	1.3	1.8	2.2	1.3	2.1	1.3	1.5	1.2	1.3	2.7	2.2	2.1	2.2	1.2	1.5	1.4
Co	<1	9.3	6.4	5.2	8.5	5.6	3.0	2.3	8.6	<1	6.4	1.2	1.9	1.2	5.8	5.8	<1
Sr	141	122	123	129	114	87	125	85	105	120	165	183.0	238.0	150.0	26	7.7	5.4
Rb	543	307	307	332	326	305	393	383	303	430	288	153.0	157.0	158.0	306	411	466
V	6.5	14	13	12	13	13	8.2	6.7	13	5.8	20	9.0	14.0	7.0	5.4	5.7	<1
Pb	24	35	36	34	38	32	22	24	28	23	28				30	38	24
Cu	10	4.3	6.3	6.0	6.7	6.8	47	8.8	19	49	14	2.0	1.0	0.8	3.8	15	31
Zn	27	26	22	29	28	30	32	24	31	23	33	31.0	30.0	21.0	34	45	40
Nb	21	21	13	14	17	15	11	12	19	13	15	11.3	11.7	11.2	19	25	18
Zr	41	25	22	34	22	27	22	33	27	32	21	145.0	120.0	97.0	53	53	41
Li	118	63	45	91	118	86	101	97	112	85	76				56	149	101
Sc	1.7	1.9	1.8	1.7	1.9	1.9	1.7	1.6	1.9	1.3	1.9	2.2	2.1	2.0	2.4	3.4	3.0
Y	4.0	5.9	5.0	8.6	5.3	5.8	2.8	3.1	4.6	2.0	10	8.0	9.0	5.0	5.5	21	9.6

Sp. no 1-1~S21: biotite granite, Sp. no 2-1~S33: garnet biotite granite, *: Kwon *et al.* (1994).

Table 2. (continued).

Sp.no.	2-4	2-5	2-6	2-7	2-8	2-9	2-10	2-11	2-12	2-13	2-14	2-15	*S6	*S24	*S26	*S27	*S33
SiO ₂	75.28	72.74	75.02	74.96	76.81	74.16	73.23	75.54	75.23	75.61	78.67	73.38	74.50	73.62	74.26	74.34	75.44
TiO ₂	0.04	0.16	0.02	0.10	0.02	0.10	0.14	0.04	0.15	0.05	0.05	0.14	0.00	0.08	0.07	0.04	0.00
Al ₂ O ₃	13.00	13.78	14.43	13.43	12.58	13.74	14.02	13.52	13.31	13.16	11.44	13.59	14.11	14.26	14.14	13.98	13.77
Fe ₂ O ₃	0.47	0.60	0.01	0.57	0.18	0.25	0.45	0.25	0.69	1.02	0.72	1.00	0.32	0.74	0.27	0.44	0.34
FeO	0.98	1.51	1.20	0.76	0.87	1.06	1.36	0.98	0.38	0.30	0.70	0.68	0.64	1.09	0.92	0.50	0.58
MnO	0.05	0.11	0.06	0.05	0.06	0.08	0.09	0.11	0.06	0.05	0.05	0.04	0.05	0.09	0.06	0.04	0.10
MgO	0.03	0.25	0.19	0.16	0.08	0.17	0.27	0.03	0.20	0.03	0.03	0.19	0.00	0.24	0.08	0.02	0.00
CaO	0.70	1.00	0.62	0.85	0.70	0.80	0.92	0.43	0.96	0.69	0.61	1.10	0.68	1.07	0.91	0.70	0.43
Na ₂ O	3.51	3.70	3.64	3.68	3.76	3.73	3.70	3.99	3.56	3.60	3.10	3.27	4.16	3.85	3.85	3.82	4.08
K ₂ O	4.81	4.69	4.48	4.71	4.38	4.98	4.80	4.66	4.78	4.90	4.22	5.18	4.55	4.12	4.86	5.07	4.56
P ₂ O ₅	0.02	0.06	0.01	0.03	0.04	0.03	0.05	0.02	0.03	0.02	0.01	0.04	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00
LOI	0.54	0.68	0.28	0.32	0.32	0.65	0.49	0.42	0.27	0.38	0.42	0.39	0.64	0.91	0.55	0.66	0.56
Sum	99.54	99.45	99.96	99.62	99.48	99.87	99.52	100.02	99.62	99.81	99.62	99.45	99.65	100.08	99.98	99.61	99.86
Ba	66	323	11	129	8.6	177	296	15	437	42	63	501	5.0	303.0	302.0	266.0	12.0
Be	1.4	1.8	1.5	1.8	1.6	1.4	2.1	1.7	1.3	1.2	<1	1.1	2.9	3.6	3.2	2.4	3.1
Co	5.8	5.9	6.4	2.3	7.2	4.0	5.3	4.0	2.3	<1	<1	1.9	0.3	0.9	0.9	0.8	0.2
Sr	26	75	11	32	8.1	52	87	8.4	99	30	36	119	6.0	80.0	71.0	60.0	11.0
Rb	335	427	353	442	436	440	492	458	397	435	368	369	218.0	215.0	219.0	197.0	223.0
V	5.0	11	6.5	7.5	7.7	5.6	10	2.4	6.7	<1	<1	7.3	1.0	11.0	4.0	3.0	<1
Pb	30	31	41	22	34	31	27	25	22	23	20	23					
Cu	8.9	5.1	2.4	6.4	9.8	4.6	2.7	1.2	6.2	5.1	7.7	10	<0.5	3.0	1.0	0.5	<0.5
Zn	38	43	29	33	39	38	41	34	28	39	33	33	33.0	61.0	28.0	29.0	30.0
Nb	23	22	23	16	26	15	22	18	13	15	12	12	18.2	23.4	17.2	12.3	17.5
Zr	38	42	51	53	50	36	40	48	25	63	72	63	63.0	111.0	95.0	100.0	68.0
Li	100	159	78	73	144	81	133	37	130	64	46	51					
Sc	2.5	3.8	2.9	2.9	3.2	2.3	3.3	2.6	1.6	2.0	1.9	2.3	3.2	5.2	3.7	2.8	3.5
Y	7.8	12	14	6.3	11	11	8.0	21	3.1	3.1	1.6	2.6	28.0	70.0	26.0	19.0	32.0

Sp. no 1-1~S21: biotite granite, Sp. no 2-1~S33: garnet biotite granite, *: Kwon et al. (1994).

Table 3. REE (ppm) composition of the representative granites.

Sp. no	1-5	1-10	2-3	2-13
La	25.1	20.0	13.2	23.3
Ce	46.9	41.1	31.0	50.4
Pr	4.18	3.59	3.48	5.38
Nd	13.9	12.8	14.5	22.6
Sm	1.73	1.71	3.76	4.33
Eu	0.38	0.40	0.07	0.23
Gd	1.40	1.35	3.01	2.88
Tb	0.27	0.31	0.85	0.60
Dy	1.09	1.26	4.48	1.99
Ho	0.23	0.26	1.10	0.37
Er	0.80	0.96	4.06	1.17
Tm	0.11	0.13	0.62	0.15
Yb	0.93	1.11	4.87	1.26
Lu	0.14	0.17	0.67	0.16

Sample no. as in Table 1.

흑운모는 갈색-암갈색과 녹갈색을 띠며, 부분적 또는 전체적으로 심하게 변질되어 종종 녹니석화 된다. 백운모는 대부분 중립질을 이룬 흑운모와 유사한 크기를 보이기 때문에 마그마기원의 일차광물(Miller *et al.*, 1981)로 해석된다. 인회석은 흑운모내에 미립으로, 저어콘은 흑운모나 녹니석 내에서 암흑색의 색흔을 이루며 자주 함유된다. 석류석은 담갈색을 띠는 타형-자형으로서 사장석 내에 자주 함유되며, 그 크기가 1 mm 정도에 이르기도 한다. 불투명광물은 대체로 수반되지 않으며, 간혹 흑운모의 쪼개짐면을 따라 미립질의 흔적상태로 발달된다.

암석화학

분석된 주원소와 미량원소 시료수는 Gb 11개 그리고 Ggb 15개로서 모두 26개이다. 그리고 Kwon *et al.*(1994)에 연구보고된 해당암체의 관련자료를 이용하였다. Gb와 Ggb에서는 각각 2 개씩의 대표시료를 택하여 희토류원소(REE)를 분석하였다(Tables 2, 3).

주원소

Gb와 Ggb는 SiO₂ 함량이 각각 72.38~76.26(평균 74.35) wt.%와 72.74~78.67(평균 74.95) wt.%를 가져 산성암류에 해당하며, 평균함량이 후자에서 약간 증가한다. Al₂O₃는 각각 13.07~15.22(평균 14.18) wt.%와 11.44~14.43(평균 13.50) wt.%로 전자에서 그 함량이 다소 증가한다. MgO는 각각 0.16~0.71(평균 0.26) wt.%와 0.00~0.27(평균 0.10) wt.%을, CaO는 각각 0.86~1.29(평균 1.07) wt.%와 0.43~1.10(평균 0.75)

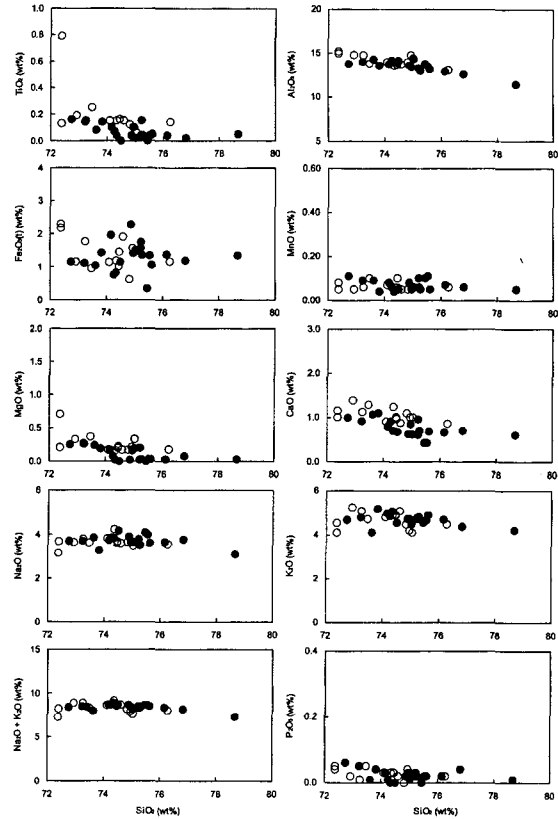


Fig. 3. Harker diagram of major element compositions for the granites. Symbols as in Fig. 2.

wt.%을, 그리고 F₂O₃(t)는 각각 0.95~2.67(평균 1.52) wt.%와 0.99~2.28(평균 1.40) wt.%를 가진다. 이들은 모두 후자에서 그 함량이 감소하여 Ggb가 Gb보다 분화후기의 산물일 가능성을 제시한다. Na₂O는 각각 3.16~4.23(평균 3.65) wt.%와 3.10~4.16(평균 3.72) wt.%, 그리고 K₂O는 각각 4.12~5.25(평균 4.69) wt.%와 4.12~5.18(평균 4.70) wt.%로서 거의 비슷한 함량을 가진다. TiO₂는 각각 0.19 wt.%와 0.07 wt.%을, 그리고 P₂O₅는 각각 0.03 wt.%와 0.02 wt.%의 미량으로 함유된다.

Gb와 Ggb는 SiO₂ 증가에 따라 TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃(t), MgO, CaO, K₂O와 P₂O₅는 전체적으로 완만한 부의 경향을 뚜렷히, 그리고 MnO, Na₂O와 Na₂O+K₂O는 별다른 변화경향을 보이지 않는다(Fig 3). 이 중에서 TiO₂, MgO와 CaO는 두 개의 선상으로 분포하여 Gb와 Ggb가 다소 다른 분화과정의 산물일 것으로 해석된다.

A/CNK(Al₂O₃/(CaO+Na₂O+K₂O)) 몰비는 각각

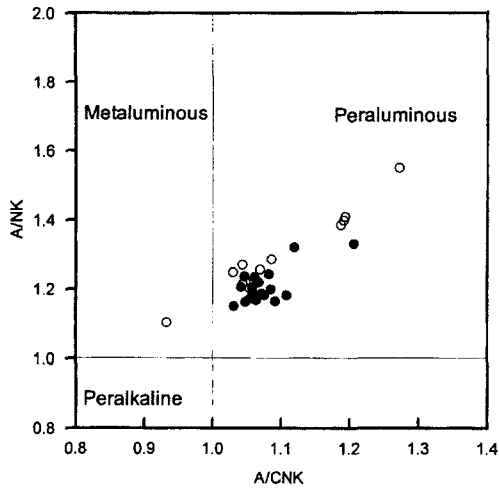


Fig. 4. Molecular A/CNK vs. A/NK(A=Al₂O₃, C=CaO, K=Na₂O+K₂O) for the granites. Symbols as in Fig. 2.

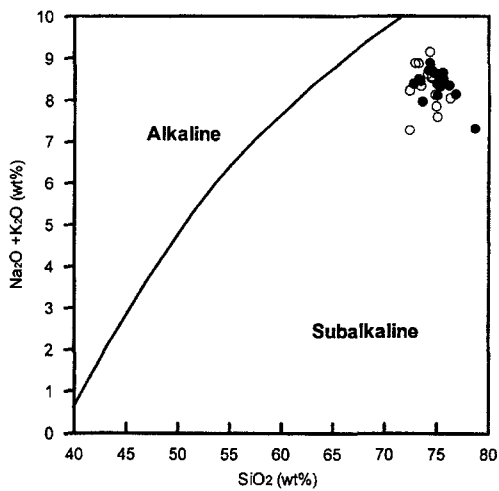


Fig. 5. Relationship in terms of silica and total alkalis. Symbols as in Fig. 2.

0.93~1.27(평균 1.09)과 1.03~1.21("1.07)로서, Gb의 한 개 시료 외에는 모두 과알루미나암질에 해당한다(Fig. 4). 이들 화강암류는 SiO₂ 대 (Na₂O+K₂O)의 관계(Irvine and Barager, 1971)에서 서브알칼리에, 그리고 AFM(Na₂O + K₂O, Fe₂O₃(t), MgO) 삼각관계도에서 켈크알칼리 계열에 속하며 분화말기에 해당하는 경향을 이룬다(Fig. 5와 Fig. 6).

미량원소와 희토류원소

미량원소와 희토류원소의 암석화학적 특성은 다음과

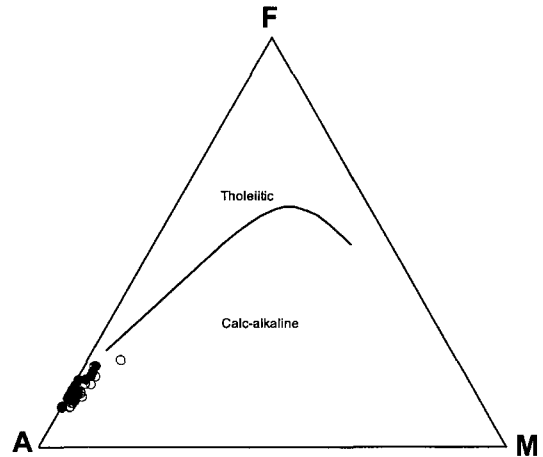


Fig. 6. Triangular diagram of AFM(Na₂O+K₂O, Fe₂O₃(t) MgO). Symbols as in Fig. 2.

같다(Fig. 7; Table 2). 친석원소인 Ba는 Gb와 Ggb가 각각 367~894(평균 550) ppm과 5~437(평균 150) ppm을 가져 전자에서 그 함량이 크게 나타난다. 이는 양이온 중에서 K만을 치환하는 Ba이 초기에 분화된 Gb내 알칼리장석과 흑운모 내에 보다 많이 포획되었기 때문(Mason and Moore, 1982; Taylor, 1965)으로 해석된다. Gb와 Ggb 내 알칼리장석은 각각 30.5 %와 27 %의, 그리고 흑운모는 각각 1.5 %와 2.2 %의 모우드 값을 가지며 이들의 합이 Gb에서 더 증가한다(Table 1).

Rb은 Gb와 Ggb가 각각 157~543 (평균 313) ppm과 197~492 (평균 360) ppm의 값을 가져 후자에서 그 함량이 약간 증가한다.

Sr은 각각 85~238(평균 135) ppm과 5.4~119(평균 43) ppm을 가져 후자에서 그 함량이 감소한다. 그리고 Sr 대 CaO는 뚜렷이 선상으로 밀집된 정의 관계를, 그리고 Sr 대 K₂O는 다소 분산된 정의 관계를 이루어(Fig. 8), Sr이 K-장석보다 사장석의 분별결정작용(Mason and Moore, 1982)에 보다 더 관여한 것으로 보인다.

Ba과 Sr은 SiO₂에 대하여 각각 두 개의 부의 경향을, 그리고 Rb은 변화경향을 보이지 않는다(Fig. 7). 그리고 Sr 대 Ba(Taylor, 1965), Rb-Ba-Sr 삼각도(Fig. 9; Bouseily and Sokkary, 1975)에서 뚜렷이 선상으로 배열되며, Ggb가 Gb보다 모두 후기에 해당하는 분화경향을 보인다. 이러한 여러 암석화학적 변화특성으로 미루어, 이들 Gb와 Ggb을 이룬 동원마그마에서는 이미 사장석의 분별결정작용이 일어나기 시작하였으며, 이후에 Gb 그리고 사장석의 분별결정작용이 더 진행된 Ggb의 순으로 주변암을 관입한 것으로 해석된다. 이는

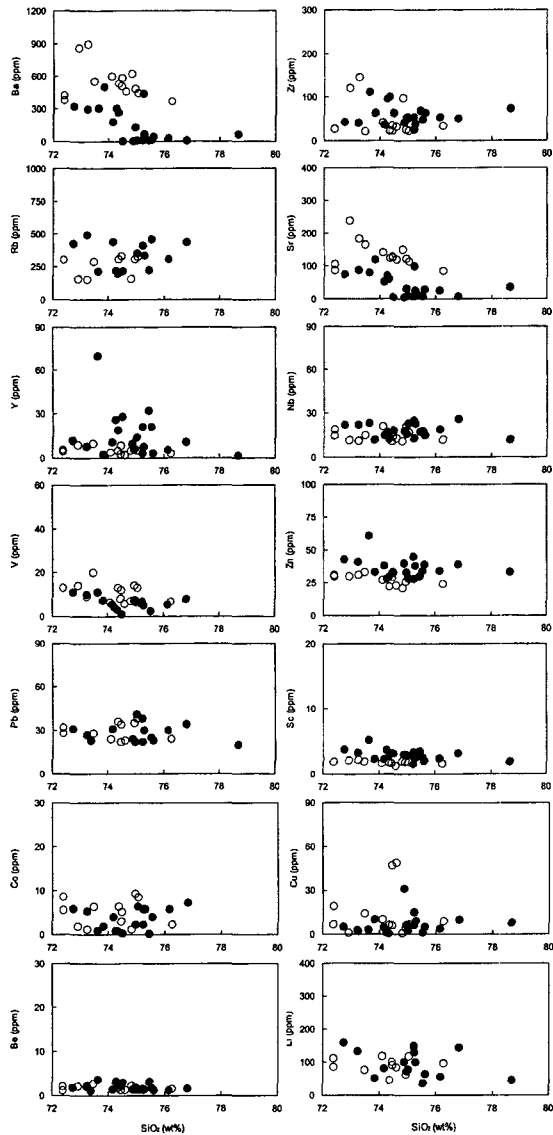


Fig. 7. Harker diagram of trace element compositions. Symbols as in Fig. 2.

전술한 Eu 부이상 값의 차이와도 잘 일치한다.

Be는 Gb와 Ggb가 각각 1.2~2.7(평균 1.7) ppm과 <1~3.6 ppm, Co는 각각 <1~9.3 ppm과 <1~7.2 ppm으로 비슷한 함량을 가진다. 이들은 SiO₂와는 별다른 변화 경향을 갖지 않는다. Pb는 각각 22~38(평균 29) ppm, 20~38(평균 28) ppm으로서 거의 같은 함량을 가진다. 친동원소인 Cu는 각각 0.8~49(평균 13.0) ppm과 1.2~31(평균 6.9) ppm, 그리고 Zn는 각각 21~33(평균 27.6) ppm과 28~61(평균 36.4) ppm의 함량을 가진다.

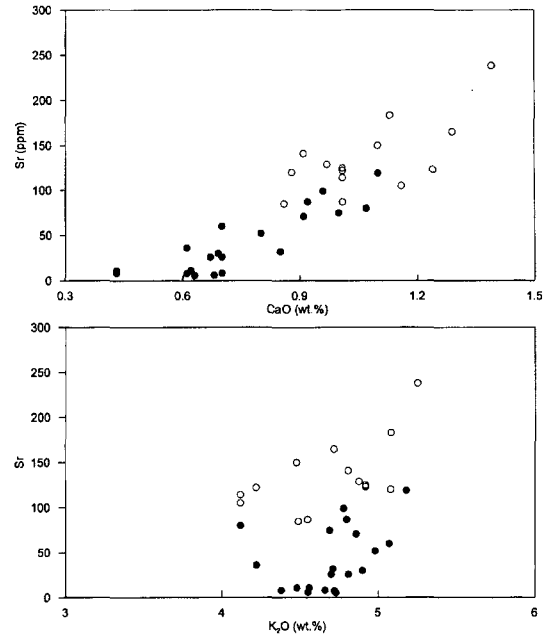


Fig. 8. Relationship of Sr vs. CaO(upper) and Sr vs. K₂O(lower). Symbols as in Fig. 2.

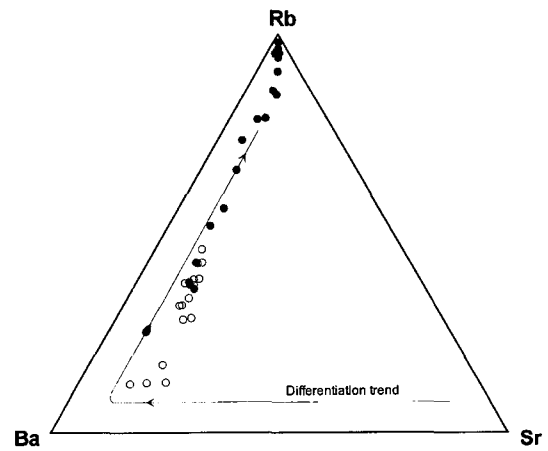


Fig. 9. Triangular diagram of Rb-Ba-Sr. Symbols as in Fig. 2.

그리고 Pb와 Zn는 SiO₂와는 별다른 변화 경향을 보이지 않으며, Cu는 다소 불규칙한 분포를 이룬다.

V은 Gb와 Ggb가 각각 5.8~20(평균 11.1) ppm과 <1~11.0 ppm의 값을 가져 전자에서 그 함량이 증가한다. 이는 Gb에 수반되는 자철석(Mason and Moore, 1982)에 의한 것으로 해석된다. V은 SiO₂와는 대체로 부의 경향을 이룬다. Nb은 각각 11.2~21(평균 14.7) ppm과 12~25(평균 18.4) ppm의 함량을 가지며, SiO₂와

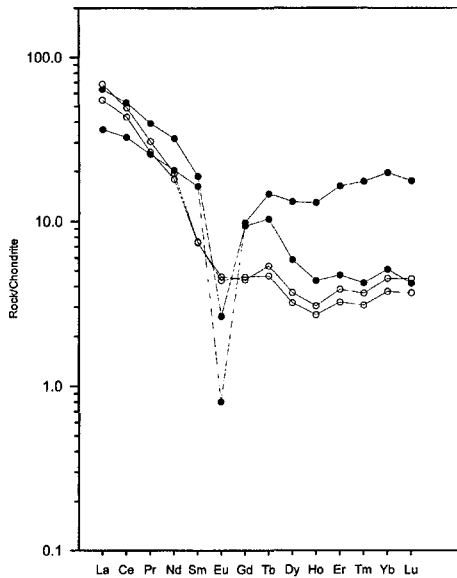


Fig. 10. REE abundances normalized to chondrite value for the representative granites. Symbols as in Fig. 2.

는 변화경향을 보이지 않는다. Zr은 각각 21~145(평균 47.7) ppm과 25~111(평균 58.3) ppm을 가져 후자에서 그 값이 증가한다. 이는 모우드 분석에서와 같이 저어콘(Mason and Moore, 1982)의 증가로 해석된다. Zr은 SiO₂와는 다소 불규칙한 분포경향을 이룬다.

Li는 Gb와 Ggb가 각각 45~118(평균 90) ppm과 37~159(평균 94) ppm을, Sc은 각각 1.3~2.2(평균 1.8) ppm과 1.6~5.2(평균 2.9) ppm의 함량을 가진다. 이들 Li과 Sc은 SiO₂와는 별다른 변화경향을 갖지 않는다. Y은 각각 2.0~10(평균 5.7) ppm과 1.6~70(평균 15.6) ppm을 가져 후자에서 그 함량이 증가하며, SiO₂와는 불규칙한 관계를 이룬다.

콘드라이트값(Taylor and McLennan, 1985)으로 표준화한 희토류원소(REE) 변화도에서 Ggb의 한 개 시료 외에는 경희토류원소(LREE)에서 중희토류원소(HREE)로 갈수록 점진적으로 뚜렷이 결핍되는 양상을 보인다(Table 3; Fig. 10). Gb의 이러한 변화양상은 Eu 이상이 매우 미약한 국내 대보화강암류(윤현수 외, 1999; 김구한, 1992; Hong, 1987)의 것들과 잘 일치한다. 이와 달리 Ggb의 Eu 부이상은 Gb에 비해 크게 증가하여 사장석의 분별결정작용이 매우 강하게 일어났음을 제시한다. 그리고 HREE가 점이적 증가경향을 보이는 Ggb는 다른 조암광물에 비하여 HREE의 분배계수가 크게 증가되는 석류석(Henderson, 1984)의 수반에 의한 것으로 해석된다.

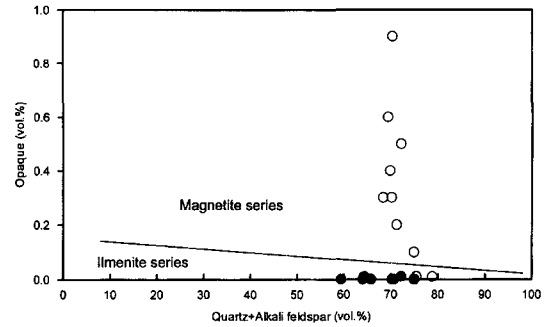


Fig. 11. Relationship of modal quartz+alkali feldspar vs. opaque. Symbols as in Fig. 2.

성인고찰

이들 화강암류 내 Op(불투명광물)의 모우드값은 Gb와 Ggb가 각각 흔적량~0.9%와 0~0.1%로서 큰 차이를 보인다(Table 1). 석영+알칼리장석에 대한 Op의 상관도(Ishihara, 1977)에서 Gb는 거의가 자철석계열에, 그리고 Ggb는 모두 티탄철석계열에 해당한다(Fig. 11). Op의 EPMA 분석결과, Gb에서의 Op는 대부분 자철석과 티탄철석으로 구성되며 Ggb에서는 Op가 거의 관찰되지 않는다(Table 4). Gb에서의 자철석은 독립적인 광물로서 산출되거나 주로 흑운모와 밀접하게 수반되어 나타난다. 또한 부분적으로 티탄철석과 공존하기도 한다. 자철석의 형태는 자형, 반자형, 타형 등을 이루어 다양하게 산출된다. 자철석의 화학성분은 모두 거의 순수한 Fe₃O₄이며 TiO₂ 함량은 모두 0.3 wt.% 미만이며 Al₂O₃, MnO, MgO의 함량도 0.5 wt.% 미만으로 매우 낮다(Table 4). 그러나 티탄철석은 자철석과는 달리 MnO의 함량이 약 20 wt.% 내외로 높은 편이다. 이러한 사실은 Gb 내에서는 자철석과 티탄철석이 공존하며 Ggb 내에서는 티탄철석이거나 존재하지 않는다고 한 조등룡(1992)의 연구결과와도 일치한다.

이러한 결과는 대자율 측정에서도 그 값에 있어 큰 차이를 보인다. 즉 Gb과 Ggb의 평균 대자율값은 각각 332.6(±82.5) μSI와 2.3(±1.5) μSI로 약 100배 이상의 차이를 가지며, 전형적인 복봉분포의 특징을 보인다(Fig. 12, Table 5). 대자율값을 측정한 시료는 모두 모우드분석(Table 1)의 시료들과 동일한 것들로서 이들을 가지고 암석의 대자율을 역산할 수 있다(Table 6). 여기서, 각 조암광물에 대한 유효대자율 값은 기존의 문헌들로부터 참조하여 평균값을 취하였으며(Borradaile and Alford, 1987; Zapletal, 1990; Hrouda and Kahan, 1991), Op은 상기된 연구결과에 의해 자철석과

Table 4. Composition of opaques from the Jurassic granites in the Pocheon-Gisanri area.

magnetite																	
	1-3(Gb)							1-11Gb)							*PC-YJ(Gb)		
	A1	A2	B1	B2	C9	E1	E2	B1	B2	B3	D3	E1	E2	E3	E4	Max	Min
SiO ₂	0.03	0.00	0.05	0.02	0.04	0.04	0.02	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.03	0.17	0.06	0.00
TiO ₂	0.03	0.07	0.02	0.02	0.04	0.02	0.03	0.05	0.03	0.02	0.14	0.00	0.23	0.23	0.10	0.02	0.00
Al ₂ O ₃	0.06	0.08	0.03	0.08	0.04	0.07	0.06	0.09	0.11	0.06	0.01	0.03	0.06	0.02	0.04	0.09	0.02
FeO ^T	92.93	92.81	93.61	93.70	93.06	93.22	92.06	92.12	93.15	90.49	92.00	90.94	91.83	93.03	91.87	92.10	93.85
MnO	0.22	0.13	0.19	0.09	0.18	0.46	0.29	0.06	0.03	0.15	0.12	0.00	0.11	0.11	0.10	0.13	0.00
MgO	0.00	0.00	0.06	0.04	0.02	0.00	0.00	0.01	0.04	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.06	0.01	0.01
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.02	0.00	0.02	0.00	0.08	0.00	0.02
Total	93.27	93.09	93.96	93.95	93.38	93.81	92.46	92.35	93.36	90.77	92.29	90.97	92.26	93.42	92.42	92.41	93.90

ilmenite						
	1-11(Gb)		*PC-IS(Gb)		*PC-10(Ggb)	
	D1	D2	Max	Min	Max	Min
SiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.08	0.07	0.07
TiO ₂	52.01	52.29	50.71	52.95	52.66	52.66
Al ₂ O ₃	0.01	0.00	0.00	0.00	0.15	0.15
FeO ^T	28.49	28.56	29.21	9.88	33.45	33.45
MnO	19.78	20.64	20.98	38.41	14.12	14.12
MgO	0.02	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00
CaO	0.01	0.06	0.00	0.00	0.12	0.12
Total	100.32	101.55	100.90	101.36	100.57	100.57

Sample no. and abbreviations as in Table 1. *: Cho (1992).

티탄철석으로만 구성되어 있다고 보았다.

Table 6에 나타낸 불투명광물을 제외한 계산 대자율 값(k')은 모우드 분석결과(Table 1)에서 나타난 암석시료 내 불투명광물을 제외한 나머지 각 광물들의 함량에 대응하는 유효대자율값을 곱하여 구한 것이다. 이로부터 추정대자율값(k_m)에서 계산대자율값(k_c)을 뺀 값은 불투명광물들이 순수하게 기여하는 대자율값(k)이 된다. 여기서 불투명광물은 자철석과 티탄철석으로 구성되므로, 불투명광물내의 자철석의 평균비율을 x %라 하면, 티탄철석의 평균비율은 $(100-x)$ %로 되어, 다음 식에서 x (%)를 구할 수 있다.

$$x = \frac{k - k_{x=0}}{k_{x=100} - k_{x=0}} \cdot 100$$

여기서, $k_{x=100}$ ($k_{x=0}$)은 불투명광물의 100%(0%)가 자철석일 때 기대되는 대자율 값이다.

Table 1에 나타나 있듯이 Gb에 포함된 상자성광물인 유색광물들(흑운모, 백운모, 녹니석)은 약 1.5%로써, 이

들이 기여할 수 있는 대자율 값은 16.7 μ SI에 불과하며, 이 암석의 평균 추정대자율값이 339.3 μ SI인 것을 고려할 때, 상자성광물들은 Gb의 대자율값에 대한 주요 요인이 아님을 알 수 있다. 비록 Gb에 포함된 불투명광물은 전 암석의 0.307%에 불과하지만, 자철석과 같은 강자성광물이 미량이라도 포함되어 있을 때는 그 암석의 대자율 값은 커지게 된다. 만일 같은 양의 불투명광물이 전부 자철석이라면($k_{x=100}$), 기대되는 대자율 값은 7072.06 μ SI로 매우 큰 값을 보여야 한다. 상기 식으로 계산하였을 때 Gb에 함유된 불투명광물에서 자철석이 차지하는 비는 4.59%이고, 이는 전체 암석에 대해 0.0014%에 불과하다(Table 6). 따라서 불투명광물들 중 95.41%가 티탄철석에 해당하며 이는 전 암석에 대해 0.293%이다. 이러한 고지자기학 측면에서 볼 때, Fig. 12에 도시된 불투명광물의 95%가 티탄철석에 해당된다는 것을 시사하며, 자철석보다 티탄철석이 20배 정도 많다.

한편, Ggb는 모우드 상에서 제시된 것처럼 불투명광물은 0.0~0.1%로 육안이나 현미경관찰로 거의 발견

Table 5. Magnetic susceptibility of the Jurassic granites.

Sp.no	Gb	Sp.no	Ggb
1-1	35.06	2-1	0.26
1-2	46.00	2-3	0.08
1-3	27.91	2-4	0.16
1-5	36.50	2-5	0.41
1-6	18.36	2-6	0.22
1-7	37.77	2-7	0.14
1-8	26.87	2-10	0.18
1-10	27.81	2-11	0.13
1-11	43.04	2-12	0.09
		2-13	0.63
		2-14	0.19
		2-15	0.26
Range	18.36~46.00		0.08~0.63
(Mean)	(32.26)		(0.23)

Unit: 10^{-5} SI. Sample no. and abbreviations as in Table 1.

되지 않으며(Table 1), Table 6에서 볼 수 있듯이 불투명광물을 제외한 계산대자율값이 이미 측정대자율값을 초과한다. 여기서 초과되는 이유는 유색광물들과 장석의 대자율값이 성분이나 모양에 따라 다양하기 때문이며, 모우드 분석시에 화강암 박편 방향이 엮리면과 이루는 각도도 작은 요인의 하나로 작용할 수 있다. 자철석의 대자율은 유색광물의 수천배나 커서 극미량의 자철석라도 포함되는 경우에는 계산대자율값이 측정대자율값을 훨씬 초과하게 되므로, Ggb에는 극미량의 자철석이라도 포함될 여지가 없다. 이는 명백히 Ggb는 자철석을 함유하지 않는다는 것을 지시해 주며, Ggb가 자철석 계열에서 배제되어야함을 의미한다. 이 때 티탄철석은 전혀 포함되어 있지 않거나, 있더라도 미량일 것으로 해석된다.

Gb에 대한 고지자기 연구결과에 있어서, 불투명광물

Table 6. Recalculated magnetic susceptibility of opaque minerals in the Jurassic granites.

Sp. no.	μ SI	Qz+Fd	Op	Bt	Mu	Ch	Others	Op=Mt	Op=Il	Op=0	ExpSuscp	Mt(%)
1-1	350.6	988	1	11	0.3	0	0.3	2,298.74	2.84	-1.26	351.86	
1-2	460	970	6	22	0.3	1	2.2	13,812.50	37.10	12.50	447.50	
1-5	365	978	3	19	0.3	0	0.6	6,908.28	20.58	8.28	356.72	
1-6	183.6	980	3	17	0.3	0	0.3	6,905.90	18.20	5.90	177.70	
1-7	377.7	972	9	18	0.3	0	1.6	20,707.19	44.09	7.19	370.51	
1-8	268.7	988	2	9	0.3	0	0.6	4,596.39	4.59	-3.61	272.31	
1-10	278.1	987	0.3	12	0.3	0	0.6	689.92	1.15	-0.08	278.18	
1-11	430.4	994	0.3	5	0	0	1.3	681.56	-7.21	-8.44	438.84	
Total	2,714.1	7857	24.6	113	2.1	1.0	7.5					
Mean	339.3	982	3.1	14	0.3	0.1	0.9	7,075.06	15.17	2.56	336.70	4.59
2-1	2.6	984	0.001	15	0.3	0	0.3	5.79	3.50	3.49	-0.89	
2-3	0.8	973	0.001	14	3	3	3.3	6.92	4.63	4.62	-3.82	
2-4	1.6	982	0.001	16	2	2	0.3	8.41	6.12	6.11	-4.51	
2-5	4.1	942	0.001	54	2	2	0.6	53.62	51.32	51.32	-47.22	
2-6	2.2	953	0.3	21	12	12	0.3	709.71	20.94	19.71	-17.51	
2-7	1.4	969	1	29	0.3	0.3	1.3	2,320.33	24.43	20.33	-18.93	
2-11	1.3	989	0.001	4	3	3	3.3	-5.05	-7.35	-7.35	8.65	
2-12	0.9	980	0.3	20	0.3	0.3	0.6	699.60	10.83	9.60	-8.70	
2-13	6.3	971	0.001	28	1	1	0.3	21.93	19.64	19.63	-13.33	
2-14	1.9	984	0.3	15	0.3	0.3	0.6	693.67	4.90	3.67	-1.77	
2-15	2.6	956	0.001	40	1	1	0.6	36.24	33.95	33.94	-31.34	
Total	25.7	10683	1.907	256	25.2	24.9	11.5					
Mean	2.3	971	0.173	23	2.3	2.3	1.0					

μ SI: 10^{-6} SI. Sample no. and abbreviations as in Table 1. Fd=Af+Pl, Qz+Fd, Op, Bt, Mu, Ch, Others : volume permil from modal analyses. Op=Mt: calculated magnetic susceptibility assuming whole opaque is magnetite. Op=Il: calculated magnetic susceptibility assuming whole opaque is ilmenite. Op=0: calculated magnetic susceptibility assuming no opaque mineral in the rock. ExpSuscp : measured magnetic susceptibility - (Op=0), expected magnetic susceptibility of opaque mineral in the rock. Mt(%): volume percentage of magnetite assuming opaque=magnetite+ilmenite. Susceptibility of mineral(μ SI): quartz+feldspar; -14.4, magnetite; 2,300,000, ilmenite; 4,100, biotite; 1,174.5, muscovite; 14.4, chlorite; 58.72.

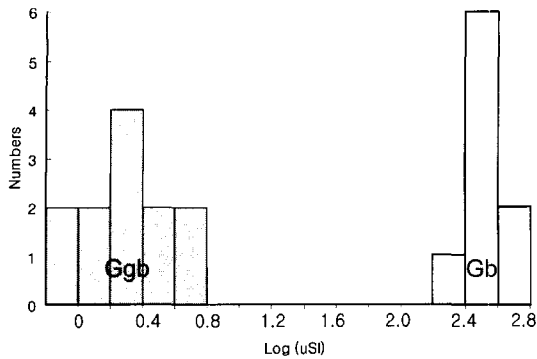


Fig. 12. Frequency diagram of magnetic susceptibility in biotite granite (Gb) and garnet biotite granite (Ggb).

의 불과 4.59% (전 암석의 0.014%)만이 자철석으로, 티탄철석이 압도적으로 우세하다. 이는 Blevin (1994, 1996)이 제안한 대자율값에 의해 Gg와 Ggb 모두 비자성 화강암 (<1000SI)으로 구분된다. Fig. 12는 Gb와 Ggb에서 측정된 대자율 분포로써, 각각의 평균값인 339.3 및 2.3 μ SI를 중심으로 명백히 서로 다른 정규분포를 나타낸다. 100배 정도의 상이한 대자율 분포를 보이는 두 화강암을 같은 형의 화강암으로 분류한다는 것은 화강암의 성인고찰에 오류에서 문제점을 발생시킨다. 이는 기존의 분류 체계가 이 지역의 화강암류에 대해서는 적용시키기에 적절치 못할 가능성이 있다는 것을 의미한다. 국내에 분포하는 대보화강암류는 자철석계열과 티탄철석계열이 공존하는 것으로 보고되어 왔으며 (Jin, 1980; 윤현수, 1995; 조등룡과 권성택, 1994; 조등룡, 1992; Ishihara, 1977), 최근 Jin *et al.* (2001)에 의하면 대보화강암의 대자율 값은 0~64,300 μ SI로 매우 다양하며 경기육괴의 중앙부에는 S형 화강암이, 경계부에는 I형 화강암이 분포하는 것으로 보고한 바 있다.

Gb와 Ggb의 암석화학적 성인특성 (Chappell and White, 1974; White and Chappell, 1983)은 다음과 같다. SiO_2 는 각각 72~77 wt.%와 72~79 wt.%의 큰 함량과 좁은 범위값을 보인다. $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 비는 각각 1.16~1.45 (평균 1.29)와 1.07~1.58 (평균 1.27)의 값을 가지며, K_2O 대 Na_2O 의 관계에서 모두가 S-형에 해당한다. I-형과 S-형 화강암류는 대부분 1 이하와 이상의 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 비를 가진 것으로 각각 보고되고 있다. A/CNK 몰비는 각각 0.93~1.27 (평균 1.09)과 1.03~1.21 (평균 1.07)로서, Gb의 한 개 시료 외에는 모두가 1.05 이상의 값을 가지며, 그 밖에 Hine *et al.* (1978)에 의한 ACF (Al-Na-K, Ca, $\text{Fe}^{+2}+\text{Mg}$) 삼각관계도에서도 모두가 S-형에 속하는 성인적 특성을 보인다 (Fig. 13). 이 같은

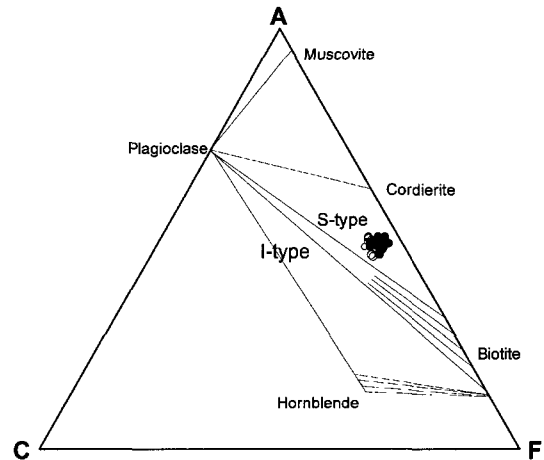


Fig. 13. Triangular diagram of ACF (Al-Na-K, Ca, $\text{Fe}^{+2}+\text{Mg}$). Symbols as in Fig. 2.

특성은 Rb-Sr 동위원소 연구 (Kwon *et al.*, 1999)에서도 잘 드러난다. 즉 Gb와 Ggb의 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 의 비는 모두 0.715와 0.723 이상을 각각 가지며, 이들은 모두 0.708 (White and Chappell, 1983) 보다 높다.

연구지역의 Op는 전술된 바와 같이 \pm 티탄철석과 자철석 + 티탄철석으로 구분될 수 있다. 자철석계열은 자철석, 티탄철석과 황철석 등으로 그리고 티탄철석계열은 티탄철석, 자류철석 등을 포함한다 (Ishihara, 1977). 그리고 I-와 S-형 화강암류의 Op는 각각 자철석 + 티탄철석 + 황화광물과 티탄철석 + 황화광물로 구성된다 (Whalen and Chappell, 1988)는 연구와도 다르다. 따라서 모두 S-형에 속하는 이 곳의 대보화강암류는 자철석 + 티탄철석 그리고 티탄철석의 유형으로 분류될 수 있다. 이러한 차이는 주변 기반암 (Clark, 1999)에 의한 것으로, 서부의 경기편마암복합체가 동부의 것보다 더 심한 지화학적 산화환경을 이룬 것으로 유추된다. 추후 국내 대보화강암류는 상세한 분대와 더불어 지화학, 암석자기학, 광물학 등의 면밀하고 종합적인 연구에 의한 성인분류가 요구된다.

토론 및 결론

1/5만 포천-기산리도폭 일대에 넓게 분포하는 쥘라기의 대보화강암류는 구성광물에 따라 서부-남서부의 흑운모화강암 (Gb), 동부의 흑운모화강암 (Ggb) 그리고 북동부의 복운모화강암 (Gtm)으로 구분될 수 있다.

Gb는 담회색 또는 미약한 담홍색의 중-조립질암으로 미립의 불투명광물을, Ggb는 회색, 담회색, 담홍색

의 중-조립질암으로서 미립의 석류석을, 그리고 Gtm은 회색의 중-조립질암으로 흑운모와 백운모를 함유한다. 모우드 분석결과 Gb는 섬장-몬조화강암에 걸치나 그 대부분이 후자에, 그리고 Ggb와 Gtm은 모두 몬조화강암에 속한다. 불투명광물은 Gb에서는 대체로 단일형의 세립질로 타형-자형으로 항상 관찰되며, Ggb에서는 간혹 흑운모의 조개집면을 따라 미립질로 발달하나 대체로 수반되지 않는다. 이들은 주변지역의 산상과 K-Ar 운모류 연령에 의하여 Ggb가 Gb를 관입하였으며, Gtm은 가장 후기의 관입하여 정치된 것으로 해석된다.

Gb와 Ggb의 SiO₂는 각각 74.35 wt.%와 74.95 wt.%를 가지는 산성암류로서, AFM 삼각도에서 켈크 알칼린 계열의 분화발기 산물이다. Al₂O₃는 각각 14.18 wt.%와 13.50 wt.%, MgO는 각각 0.26 wt.%와 0.10 wt.%, CaO는 각각 1.07 wt.%와 0.75 wt.%, 그리고 F₂O₃(t)는 각각 1.52 wt.%와 1.40 wt.%를 가지며, 이들 값이 모두 Ggb에서 감소한다. 하커 다이어그램에서 TiO₂, MgO, CaO, Al₂O₃, Fe₂O₃(t), K₂O와 P₂O₅는 완만한 부의 경향을 이루며, 전자 셋은 두 개의 선상분포를 이루는 다소 다른 분화과정을 보인다. Sr 대 Ba 그리고 Rb-Ba-Sr의 관계도에서는 뚜렷한 선상 배열을 이룬다. 이러한 여러 암석화학성에 미루어, 이들 Gb와 Ggb를 이룬 동원마그마에서는 이미 사장석의 분별결정작용이 일어나기 시작하였으며, 이후에 Gb 그리고 사장석의 분별결정작용이 더 진행된 Ggb의 순으로 주변암을 관입하였다.

콘트라이트값으로 표준화한 변화도에서 Ggb의 한 개 시료 외에는 LREE에서 HREE로 갈수록 점진적으로 뚜렷이 결핍되는 양상을 보인다. Gb의 희토류원소 변화양상은 Eu 이상이 매우 미약한 국내 대보화강암류의 것들과 잘 일치한다. 이와 달리 Ggb의 Eu 부이상은 Gb에 비해 크게 증가하여 사장석의 분별결정작용이 매우 강하게 일어났음을 제시한다. HREE가 점이적 증가경향을 이룬 것은 Ggb내 수반되는 석류석에 의한 것으로 해석된다.

Qz + Af 대 Op의 모우드 상관도에서 Gb는 거의가 자철석계열에, Ggb는 모두 티탄철석 계열에 해당한다. 불투명광물의 EPMA 분석결과, Gb에서는 자철석과 티탄철석, 그리고 Ggb에서는 티탄철석이거나 또는 관찰되지 않는다. 대자율 측정에서도 Gb와 Ggb의 평균 대자율값은 각각 332.6(±82.5) μSI와 2.3(±1.5) μSI로 약 100배 이상의 차이를 가지며, 전형적인 복봉분포의 특징을 보인다. 모우드 분석과 연계한 고지자기 연구결과, Gb는 주로 불투명광물의 4.59 vol.%(전 암석의 0.014 vol.%)를 이루는 자철석이, 그리고 Ggb는 흑운

모 등의 유색광물이 대자율을 주도하는 것으로 해석된다. 또한 Gb와 Ggb의 SiO₂는 각각 72~77 wt.%와 72~79 wt.%의 큰 함량과 좁은 범위값을, K₂O/Na₂O는 각각 1.29와 1.27로서 모두 1 이상의 값을 가진다. A/CNK 몰비는 각각 1.09와 1.07로서 거의가 1.05 이상을 가지며, ACF 관계도 그리고 대자율 값에서도 모두가 S-형에 속하는 암석성인적 특성을 보인다. 따라서 모두 S-형에 속하는 이 곳의 대보화강암류는 자철석 + 티탄철석 그리고 티탄철석의 두 유형으로 분류될 수 있다.

이 지역 화강암의 암석화학적 자료는 두 화강암류가 동원마그마에서 기원하여, 서로 다른 분화 과정을 거쳤을 가능성을 시사하지만, 고지자기 연구 결과는 오히려 두 화강암류가 서로 다른 마그마에서 왔을 가능성에 더 무게가 두어지고 있다. 최근 Jin *et al.*(2001)이 제시한 경기육괴를 중심으로 하는 한반도의 대보화강암류의 대자율 분포는 경기육괴 내부에서 매우 낮은 반면, 경기육괴의 경계부 주변에서 높은 값들을 보여 주며, 전자에서는 S-형의 화강암류가, 후자에서는 I-형의 화강암류가 분포한다. 이번 연구 지역은 경기육괴의 북부 경계부에 위치하며, Jin *et al.*(2001)의 연구 결과에 의하면 두 화강암류가 공존하고 있다. 그러므로 이 일원에서의 화강암질 마그마의 특성 연구를 위해서는 암석화학과 암석 고지자기를 포함한 종합적인 연구의 연계가 절실히 요구된다.

사 사

이 연구에 이용된 주원소, 미량원소 및 희토류원소 분석에 수고해준 우리 연구원의 환경지질연구부 광물·수질분석팀 여러분에게 감사의 뜻을 드린다. 논문 심사과정에서 여러 문제점을 지적하고 논문전개에 많은 유익한 도움을 준 경상대학교 좌용주 교수 그리고 해양연구소 이종익 박사에게 크게 감사의 뜻을 전한다.

참고문헌

- 김규한, 1992, 남한의 일부 중생대 화강암류의 지구화학적 연구. 광산지질, 23, 435-446.
 박기화, 이병주, 조동룡, 김정민, 1997, 화천 지질조사 보고서(1/5만). 한국자원연구소, 33p.
 윤현수, 1995, 포천-의정부일대에 분포하는 화강암류의 산상과 암석화학. 암석학회지, 4, 91-103.
 윤현수, 김대업, 박석환, 1999, 옥천화강암의 지구화학적 특성. 암석학회지, 8, 81-91.
 조동룡, 1992, 남한에 분포하는 현생 화강암류의 기원에 대

- 한 광물 및 암석화학적 연구. 연세대학교 박사학위논문, 189p.
- 조동룡과 권성택, 1994. 남한의 중생대 화강암의 Fe-Ti 산화광물에 대한 암석기재와 광물화학 계열분류에 대한 재고찰. 암석학회지, 3, 1-19.
- Blevin, P.L., 1994, Magnetic susceptibility of the Lanchlan Fold Belt and New England batholith granites: AMIRA Project P147B final report(ubpub.).
- Blevin, P.L., 1996, Using magnetic susceptibility meters to interpret the oxidation state of granitic rocks: 13th Australian Geological Convention. Geol. Soc. Aust., Absts. 41. 40.
- Borradaile, G.J. and Alford, C., 1987, Relationship between magnetic susceptibility and strain in laboratory experiments, *Tectonophysics*, 133, 121-135.
- Bouseily, A.M.El. and Sokkary, A.A.El., 1975, The relation between Rb, Ba and Sr in granitic rocks. *Chem. Geol.*, 16, 207-219.
- Chappell, B.W. and White, A.J.R., 1974, Two contrasting granite types. *Pacific Geol.*, 8, 173-174.
- Clark, D.A., 1999, Magnetic petrology of igneous intrusions: implications for exploration and magnetic interpretation. *Explor. Geophys.*, 30, 5-26.
- GMIK(Geology and Mineralogy Institute of Korea), 1973, 1/250,000 Seoul geological map of Korea. GMIK, Korea.
- Henderson, P., 1984, General geochemical properties and abundances of the rare earth elements. In *Rare earth element geochemistry* (ed. P. Henderson), Elsevier, 1-29.
- Hine, I.S., Williams, I.S., Chappell, B.W. and White, A.J.R., 1978, Contrasts between I- and S-type granitoids of the Kosciusko batholith. *Jour. Geol. Soc. Aust.* 25, 219-234.
- Hong, Y.K., 1987, Geochemical characteristics of Precambrian, Jurassic and Cretaceous granites in Korea. *Jour. Korean Inst. Min. Geol.*, 20, 77-82.
- Hrouda, F. and Kahan, S. 1991, The magnetic fabric relationship between sedimentary and basement nappes in the High Tatra Mountains, N. Slovakia. *J. Struct. Geol.*, 13, 431-442.
- Irvine, T.N. and Barager, W.R.A., 1971, A guide to the chemical classification of the volcanic rocks. *Can. Jour. Earth Sci.*, 8, 523-542.
- Ishihara, S., 1977, The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks. *Mining Geol.*, 27, 293-305.
- Jäger, E., 1979, Introduction to geochronology; In *Lectures in isotope geology* eds. E. Jäger and J.C. Hunziker, Springer-Verlag, 1-12.
- Jin, M.-S., 1980, Geological and isotopic contrasts of Jurassic and Cretaceous granites in South Korea. *Jour. Geol. Soc. Korea*, 16, 205-215.
- Jin, M.-S., Lee, Y.S., and Ishihara, S., 2001. Granitoids and their magnetic susceptibility in South Korea. *Resource Geol.*, 51, 189-203.
- Kwon, S.T. and Sagong, H., 1998, Uijongbu circular structure of Seoul granitic batholith, Korea: ring dike origin of a Jurassic volcanic cauldron. *Geosci. Jour.*, 2, 161-164.
- Kwon, S.T., Cho, D.L., Lan, C.Y., Shin, K.B., Lee, T. and Merzman, S.A., 1994, Petrology and geochemistry of the Seoul granitic batholith. *Jour. Petrol. Soc. Korea*, 3, 109-127.
- Kwon, S.T., Lan, C.Y. and Lee, T., 1999, Rb-Sr and Sm-Nd isotopic study of the Seoul granitic batholith in middle Korea. *Geosci. Jour.*, 3, 107-114.
- Mason, B. and Moore, C.B., 1982, *Principles of geochemistry*. John Wiley & Sons, 392p.
- Miller, C.F., Stoddard, E.F., Bradfish, L.J. and Dollase, W.A., 1981, Composition of plutonic muscovite : genetic implications. *Can. Mineral.*, 19, 25-34.
- Na, K.C., 1978, Regional metamorphism in the Gyeonggi massif with comparative studies on the Yeoncheon and Ogcheon metamorphic belts(1). *Jour. Geol. Soc. Korea*, 14, 195-211.
- Na, K.C., 1979, Regional metamorphism in the Gyeonggi massif with comparative studies on the Yeoncheon and Ogcheon metamorphic belts(2). *Jour. Geol. Soc. Korea*, 15, 67-88.
- Pearce, J.A., Harris, N.B.W. and Twindle, A.G., 1984, Trace element discrimination diagram for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Jour. Petrol.*, 25, 956-983.
- Taylor, S.R. and McLennan, S.M., 1985, *The Continental crust: its composition and evolution*. Blackwell, Oxford., 312p.
- Taylor, S.R., 1965, The application of trace element data to problems in petrology. *Physics and chemistry of the earth*, 6, 133-213.
- Twindale, C.R., 1982, *Granite landforms*. Elsevier, 372p.
- Whalen, J.B. and Chappell, B.W., 1988, Opaque mineralogy and mafic mineral chemistry of I- and S-type granites of the Lanchlan fold belt, southeast Australia. *Am. Mineral.*, 73, 281-296.
- White, A.J.R. and Chappell, B.W., 1983, Granitoid types and their distribution in the Lanchlan fold belt, southeastern Australia. *Geol. Soc. Am. Memoir* 159, 21-34.
- Zapletal, K., 1990, Low-field susceptibility anisotropy of some biotite crystals. *Phys. Earth Planet. Ints.*, 63, 85-97.

(2001년 11월 5일 접수, 2001년 12월 28일 채택)