

경기북부 갈말-영북일대 백악기 홍색 각섬석흑운모화강암의 암석화학

윤현수^{1,*} · 홍세선¹ · 김정민²

¹한국지질자원연구원 지질환경재해연구부, ²한국기초과학지원연구원 동위소환경연구부

Petrochemistry of the Pink Hornblende Biotite Granite in the Galmal-Yeongbug Area of the North Gyeonggi

Hyun Soo Yun^{1,*}, Sei Sun Hong¹ and Jeongmin Kim²

¹Geological & Environmental Hazards Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 30 Gajeongdong, Yuseonggu, Daejeon 305-350, Korea

²Division of Isotope Geoscience, Korea Basic Science Institute, 52 Eoeundong, Yuseonggu, Daejeon 305-333, Korea

요약: 갈말-영북일대의 화강암류는 암상에 의하여 회색 각섬석흑운모화강암(JHBG), 흑운모화강암(JBG)과 홍색 각섬석흑운모화강암(CHBG)으로 분대될 수 있다. 전자는 북부에 소규모로 분포하는 중립질암으로서 미립질 스펬을 함유하며, JBG는 북부-동부일대에 주로 분포하는 담회색-회색의 중립질암이다. 주연구대상인 후자는 대부분 북부-남동부일대에 넓게 발달하는 중-조립질암으로 뚜렷한 홍색을 띠며, 국부적으로 미세 공동구조와 정동구조의 포켓상 페그마타이트질부가 발달된다. 광물연령(K-Ar 법)으로 미루어 JHBG와 JBG는 시기를 달리하는 주라기 대보조산운동기의, CHBG는 백악기 불국사변동기의 화성활동산물이다. 이는 야외산상 및 지질 선후관계 해석과도 잘 일치한다. CHBG는 석영, 사장석, 알칼리장석, 흑운모, 각섬석, 갈럼석, 인회석, 저어콘, 일부 방해석과 불투명광물 등으로 구성된다. 이 중에서 알칼리장석은 대부분 페다이트질 정장석이며, 드물게 수반되는 방해석은 미세공동의 이차적 충전광물로 보인다. 모우드 분석 및 QAP 삼각도에서 모두 화강암영역에 속하며, 대부분 섬장화강암과 문조화강암의 경계부에 도시된다. 주원소 변화경향, A/CNK 몰비, SiO₂ 대 K₂O 그리고 AMF 관계 등으로 미루어, 이 암은 단일한 화강암질 마그마에서 생성된 산성암, 고-칼륨의 켈크-알카린계열 그리고 과알루미나암질의 분화말기 산물이다. Ba 대 Sr 관계에서도 분화경향을 뚜렷이 이루며, CaO 대 Sr 그리고 K₂O 대 Sr 관계로 미루어 Sr이 알칼리장석보다 사장석의 분별결정작용에 더 관여하였다. 희토류원소 표준화도에서 경희토류원소에서 중희토류원소로 갈수록 점진적으로 뚜렷이 곁결되는 양상을 이룬다. 그리고 Eu의 부 이상과 표준화값 등으로 미루어 사장석의 분별결정작용이 이 화강암 전체에 걸쳐 미약하게 일어난 것으로 보인다.

핵심어: 분대, 홍색 각섬석흑운모화강암(CHBG), 광물연령(K-Ar 법), 분화말기, 희토류원소 표준화도

Abstract: Division of granites in the Galmal-Yeongbug area, northern Gyeonggi, can be grey hornblende biotite granite (JHBG), biotite granite (JBG) and pink hornblende biotite granite (CHBG) by lithofacies. JHBG of small stock occurs as medium-grained with grey color and minute sphene. JBG occurs as medium-grained and light grey to grey in the north-east part of the area. The main study target CHBG covers in the north-southeast part of the area, and occurs medium- to coarse-grained with pink color. CHBG shows partly minute miaroles, and pegmatitic pocket with druse texture. From the mineral age data (K-Ar method), JHBG and JBG, and CHBG are the igneous activity products of Daebo orogeny with different Jurassic and Bulgusa disturbance of Cretaceous, respectively. And the age data also agree with geologic occurrences and interpretations of the granites in the field. CHBG consists of quartz, plagioclase, alkali-feldspar, biotite, hornblende, allanite, apatite, zircon, some calcite and opaques. Among them, alkali-feldspar and calcite occur characteristically in mostly perthitic orthoclase and secondary filling of minutely miarolitic cavity, respectively. In modal analysis and QAP diagram, CHBG plots in granite field, and especially boundary of monzo- and syeno-granite fields. From the major oxide variations, molar A/CNK, SiO₂ vs K₂O, AMF and so on, CHBG belongs to the acidic, peraluminous and high-K calc-alkaline, and

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

was late differentiation product of single granitic magma. Barium and strontium have also dominantly differentiation trend, and in CaO vs Sr and K_2O vs Sr, Sr was more participated in the fractionation of plagioclase than that of alkali-feldspar. Normalized REE concentrations to chondrite value have parallel and gradual LREE enrichment and HREE depletion patterns, and weak Eu negative anomalies and narrow ranges of normalized Eu can suggest that plagioclase fractionations occurred mildly in the whole CHBG.

Key words: Division, pink hornblende biotite granite (CHBG), mineral age (K-Ar method), late differentiation, normalized REE concentrations.

서 언

연구지역과 대상은 철원군 남서부 갈말읍과 포천군 영북면 일대에 넓게 분포하는 화강암류이다. 이 곳은 서울에서 의정부와 포천을 지나 그 북동부로 연장되며 대규모 분포를 이룬 소위 대보 화강암질 저반의 북부에 해당한다. 이 곳 일대는 1:250,000 서울-남천점 도폭(이병주 외, 1999)에서 주라기의 대보관입암류로 보고되고 있으며, 지역에 따라 상이한 암상을 이루어 여러 화강암류 복합체로 구성될 가능성이 제시되고 있다. 즉 이 곳과 남접한 포천-기산리 일대(윤현수 외, 2002), 동부인 화천도폭(박기화 외, 1997)과 북서부인 철원도폭(최위찬, 1996) 등에서 여러 암종이 보고되고 있다. 연구지역 일대에서도 화강암류 복합체가 발달하며 이들 중에 백악기 화강암이 분포함이 밝혀졌다.

연구지역은 1:50,000 도폭을 기준으로 연천 도폭(미발간)의 동부 일대, 그리고 지포리도폭(미발간) 서부 일대에 위치한다(Fig. 1). 행정구역상 강원도의 철원군 갈말읍과 동송읍, 경기도의 포천군 영북면, 관인면, 창수면 그리고 이동면 일부 등이 해당한다. 이들 지역 중에서 갈말읍과 영북면이 가장 넓은 분포를 차지한다.

야외매핑시에 풍치 보호구역, 급경사를 이룬 대규모 암반이나 산사면 그리고 접근제한 구역 등은 이와 근접한 주변노두의 암석학적 및 지형특성 등을 고려하여 분대를 하였다. 또한 이 곳 일대에 분포하는 변성암류, 화강암류와 경상누층군 등의 지질경계는 서울-남천점 도폭(이병주 외, 1999)을 많이 참조하였다.

경기북부 대보관입암류와 관련된 연구로는 포천-기산리 화강암류의 암석화학(윤현수 외, 2002), 포천-의정부 화강암류의 암석화학(윤현수, 1995)과 서울화강암질 저반의 암석과 지구화학(Kwon *et al.*, 1994) 등이 연구 보고된 바 있다. 그리고 Kwon *et al.*(1999)은 서울화강암질 저반의 Rb-Sr과 Sm-Nd 연구에서 각각 ~168 Ma와 170 ± 5.2 Ma 그리고 170 Ma의 참고 동시선을 구한 바 있다. 이들의 연령으로 미루어 의정부-포천일대의 화강암류는 다소의 오차범위를 고려해도 모두 주라기에 해당됨이 밝혀졌다. 그러나 연구지역인 갈

말-영북일대는 전술한 여러 보고지역보다 북부에 위치하며, 이 곳과 관련된 암석학적 분대 및 암석화학적 연구 그리고 광물연령(K-Ar 법) 등은 거의 보고된 바 없는 편이다.

본 연구에서는 갈말-영북 일대에 걸쳐 넓게 분포하는 대보관입암류에 대한 비교적 상세한 야외산상 및 매핑에 의하여 암상경계를 추적하였고 암석광물학적 특성 등에 의하여 화강암류를 분대하였다. 이러한 분대와 더불어 채취된 박편시료의 현미경 감정 및 모우드 분석을 통하여 암석명을 구하였다. 또한 분대암료 선별된 암석시료의 동위원소 연대측정(K-Ar 법)을 통하여 이들 화강암류의 지질시대와 그 선후관계 등을 야외산상과 관련시켜 규명하였다. 그리고 홍색 각섬석 흑운모화강암(CHBG)의 주원소, 미량원소 및 희토류원소 변화 등에 관련된 여러 암석화학적 특성 등을 해석하였다.

지형과 수계 발달

연구지역인 갈말-영북일대는 광주산맥의 지맥에 해당하여 비교적 험준한 산세를 이루는 편이다(Fig. 1). 즉 중남부일대의 변성암류 분포지에서는 고남산(543.2 m), 보장산(555 m), 불무산(662.7 m)과 관음산(732.6 m) 등의 높은 고지를 이룬다. 동부일대의 흑운모화강암과 홍색 각섬석흑운모화강암 분포지에서는 북에서 남으로 향하여 명성산(921.7 m), 안덕재(620.0 m)와 676 m 고지들이 발달한다. 그리고 중서부 동송읍일대인 화산암류 분포지에서는 지장산(877.4 m) 등이 높은 산세를 이룬다.

이와 달리 중북부인 관인면-갈말읍일대와 남서부인 창수면일대의 흑운모화강암과 홍색 각섬석흑운모화강암 분포지에서는 해발 200 m 정도 이하의 비교적 낮은 산세를 이룬다. 수계는 북서부인 관인면-창수면일대를 지나며 남서류하는 한탄강, 남부인 이동면-영중면-창수면일대를 지나며 서류하는 영평천 등이 발달한다. 그리고 중동부인 산정리 북측의 홍색 각섬석흑운모화강암에서는 산정호가 발달하며, 그 지류는 부소천을 거쳐 한탄강에 유입된다.

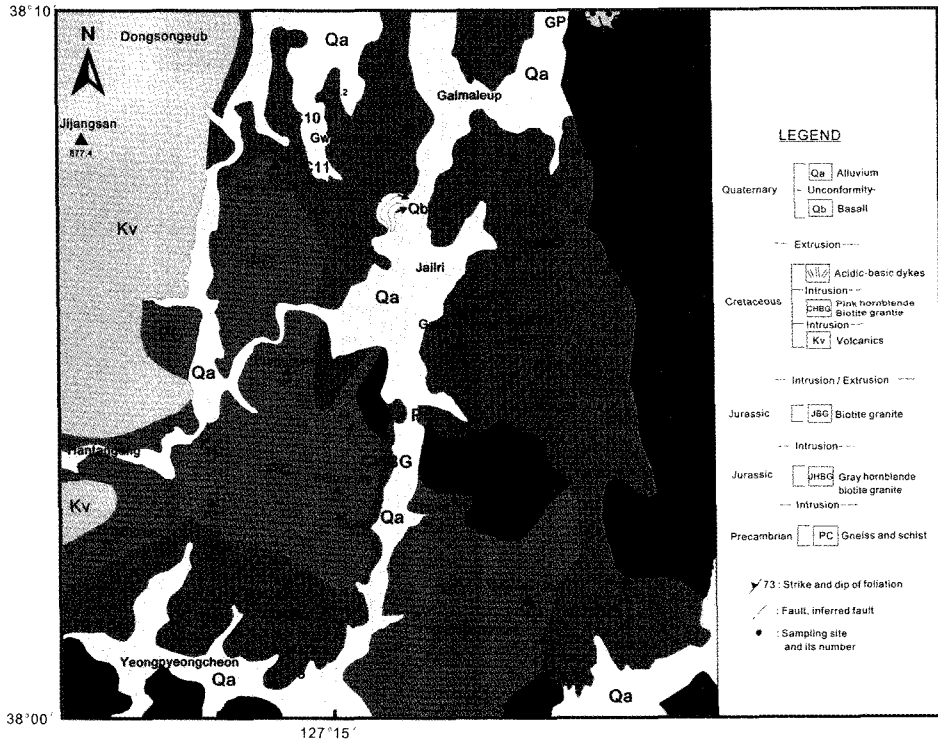


Fig. 1. Geologic map and sampling sites in the Galmal-Yeongbug area.

지질분포

연구지역일대는 선캠브리아기의 변성암류, 쥐라기의 화강암류, 백악기의 경상누층군, 화강암과 산성-염기성 암맥류, 그리고 제 4기의 현무암류와 충적층 등이 분포한다(Fig. 1). 여기에서 기존의 대보화강암은 쥐라기와 백악기의 화강암류로 분대될 수 있다(Fig. 1).

변성암류

변성암류에는 편마암류와 편암류가 포함되며, 이 곳의 남서부인 사정리-대회산리-야미리-양문리 등에 분포한다(Fig. 1). 이들 변성암류는 경기편마암 복합체, 연천층군의 편암류 그리고 편상화강암 등으로 구성된다. 복합체는 대체로 반상변정질 호상편마암, 호상편마암으로 구성된다. 전자는 회색장석 변정을 함유하며, 후자는 대체로 박층의 우흑질부와 우백질부로 구성되나 간혹 그 폭이 수십 cm에 이르기도 한다.

연천층군의 편암류는 대회산리 서측에서는 암회색을 띠는 석영운모편암 등으로 구성된다. 국부적으로 편상화강암이 야미리 서측과 사정리 남측에 분포되기도 한

다. 이들 경기변성암 복합체, 연천층군과 편상화강암은 묶어서 편마암류 및 편암류로 기재한다.

쥐라기 화강암류

회색 각섬석흑운모화강암(JHBG)

JHBG는 조사지역의 북부인 갈말읍 문혜리 서측의 계곡부를 따라 소규모로 분포한다. 이 암은 회색을 띠는 중립질의 각섬석흑운모화강암으로서 미립질 스펀을 종종 함유한다.

이 암에는 염기성광물 포획체(mafic enclave)가 자주 함유된다. 이 포획체는 수 cm - 수십 cm의 크기를 이루며 계곡 입구에서는 대체로 원형상을 이루나, 계곡 중간부 정도에서는 동서향으로 길게 신장되어 서로 나란히 발달되는 형태를 이룬다.

이 암에는 수개조의 담회색의 중립질 흑운모화강암 맥이 발달되므로 그 지질시대가 후술할 흑운모화강암의 이전으로 해석된다. 그리고 JHBG내에는 페그마타이트맥, 에플라이트맥 및 이들의 복합맥이 매우 빈번히 발달하며, 이들 암맥군내에도 흑운모 화강암포획체가 종종 산출된다.

흑운모화강암(JBG)

JBG는 이 곳의 동부, 중부, 남서부일대에서 JHBG와 접하며 분포한다. 동부는 용화동-안덕재 일대에 걸쳐 대체로 북측에서 남측으로 길게 분포한다. 이곳에는 담회색-회색의 중립질암이 주로 분포하며, 곳에 따라 세립질에 가까운 암상을 이루기도 한다. 남측일부에서는 간혹 회색장석이 반정을 이루며, 타원형의 염기성광물 포획체가 수 cm-십여 cm 크기로 발달되기도 한다. 그리고 호상편마암의 포획체가 함유되기도 한다.

중부인 아미리에서는 담회색-회색을 이루며 간혹 조립질을 이루기도 하나 대부분 중립질이 우세하다. 그리고 곳에 따라 염기성광물 포획체가 수 cm-10 여 cm 크기로 간혹 수반되기도 한다. 한편 남서부에서는 담회색의 중립-조립질 화강암으로 소규모로 분포하며 대부분 심화된 풍화양상을 보인다.

백악기 경상누층군

경상누층군의 화산암류는 이 곳의 북서부와 서부에 분포한다. 주 분포를 이룬 북서부는 암녹회색 또는 녹회색의 용회암질 사암류로 구성되며, 이들내에는 엽층이 잘 발달하며 곳에 따라 N62°E/수직의 단층이 수반되기도 한다. 소규모 분포를 이룬 서부에서는 화산암류, 그리고 흑색 셰일과 암녹회색 사암류 등이 발달된다.

백악기 홍색 각섬석흑운모화강암(CHBG)

CHBG는 대체로 이 곳의 북부-남동부 일대에 걸쳐 넓게, 그리고 남서부 일대에 소규모로 분포한다(Fig. 1). 이 암은 뚜렷한 홍색을 띠어 주변의 흑운모화강암과 대조를 이룬다. 이 암은 흑운모화강암과 인접한 산정리 동측과 노곡리 동측에서는 국부적으로 홍색장석이 뚜렷한 반정을 이루며 그 크기가 2 cm 정도에 이르기도 한다.

이 암은 거의가 중-조립질로서, 중부에서는 명성산(921.7 m)을 비롯하여 대체로 남북으로 발달하는 높은 지형을 이루나 북서부와 남서부에서는 다소 저이한 지형을 이룬다. 이 암은 국부적으로 담회색 중립질 JBG를 포획한다. 즉 조사지역의 서부인 초과리에서는 수십 cm의 크기의 흑운모화강암 포획체가 발달되기도 한다. 또한 종종 함유되는 염기성광물 포획체는 그 크기가 수 cm로서 원형이나 타원형으로 산포되거나 다소 길게 발달되기도 한다.

이 암의 동측과 남측 주변부에서 아주 국부적으로 공동구조가 발달된다. 즉 명성산 서측과 남측일부에서

는 간혹 공동구조가 수 mm-3 cm 정도의 크기로 산포되기도 한다. 그리고 내측부에서는 간혹 페그마타이트질부가 포켓상으로 수반되며, 그 중심부에 수 cm 크기의 정동을 이루며 수정과 장석 등이 발달되기도 한다. 이러한 공동구조는 기상성분이 화강암질 마그마 분화작용의 후기단계에 국부적인 농집에 의해 생성된 것으로 보인다(Hyndman, 1985; Carmichael *et al.*, 1974).

전술한 JBG 포획체와 공동구조 등(윤현수와 홍세선, 2004)으로 미루어, 이 CHBG의 지질시대는 JBG보다 후기에 속하며, 백악기에 해당될 가능성(Hong, 1987)을 시사한다고 볼 수 있다.

이 암은 노곡리 동측에서는 약 1 m 폭의 단층비지대가 N20°W/76°SW를 이루며 발달한다. 그리고 남서부인 오가리에서는 심하게 변질 및 변형된 파쇄대를 이루기도 하여, CHBG의 관입정지 이후에도 국부적인 구조운동에 있었던 것으로 보인다.

백악기 암맥류, 제4기 현무암류와 층적층

암맥류에는 세립질 화강암, 반암류, 산성 및 염기성 암맥류 등이 있다. 세립질 화강암은 드물게 산출되는 편이며, 탄동리에서 홍색 각섬석흑운모화강암을 관입한다. 반암류는 장석반암과 석영장석반암이다. 산성 암맥류는 페그마타이트, 애플라이트, 규장암과 석영맥 등이다. 염기성 암맥류는 운전리에서는 암맥군을 이루며 흑운모화강암을 관입한다.

현무암류는 한탄강변을 따라 분포하며, 흑색을 띠고 공동이 빈번하게 수반되고 주상질리를 이루기도 한다. 층적층은 관인면 한탄강변과 갈말읍일대, 그리고 영평천과 그 주변일대 등에서 비교적 넓게 분포하는 편이다.

화강암류의 동위원소 연령

분대된 JHBG, JBG와 CHBG에서 각각 대표적인 시료를 택하였다. 이들 화강암류의 K-Ar 광물연대를 측정하기 위하여 전자에서는 각섬석 그리고 후자 둘에서는 흑운모를 대상광물로 분리하였다(Table 1). 연대측정과 K 정량은 기초과학지원연구원의 질량분석기(VG5400)와 AAS(Unicam 989)로 각각 수행되었다.

이들 분대암의 동위원소 광물연령(K-Ar 법)은 지질시대상 뚜렷한 차이를 보인다. 즉 JHBG의 각섬석연령은 174.67 ± 5.00 Ma로 주라기 초기와 중기 경계부에 해당한다(Faure, 1977). JBG의 흑운모연령은 북서부의 것이 150.96 ± 4.35 그리고 CHBG 인접부의 것이 136.39 ± 3.96 Ma로서 각각 주라기 후기와 백악기 초기에 해

Table 1. Isotopic K-Ar mineral ages of the granites in the Galmal-Yeongbug area.

Sp.no	Min	K (wt%)	Wt (g)	⁴⁰ Ar radiogenic (10 ⁻⁸ ccSTP/g)	Uncertainty	³⁶ Ar (10 ⁻¹⁰ ccSTP/g)	Uncertainty	Age (Ma)	Air (%)	Rock kind
GP135	Hb	0.949	0.01467	675.645	0.622	41.740	0.130	174.67 ± 5.00	15.44	JHBG
GP128	Bt	6.19	0.00942	3783.408	2.373	46.461	0.179	150.96 ± 4.35	4.35	JBG
JP48	Bt	7.038	0.00955	3870.723	11.528	51.940	0.277	136.39 ± 3.96	3.81	JBG
GP74	Bt	6.422	0.00916	2578.181	1.669	72.409	0.188	100.56 ± 2.94	7.66	CHBG
JP29	Bt	7.084	0.01442	2799.476	1.855	42.682	0.128	99.03 ± 2.89	4.31	CHBG

Hb: hornblende, Bt: biotite, JHBG: grey hb bt granite, JBG: bt granite, CHBG: pink hb bt granite.

당한다. 이들과 달리 CHBG의 흑운모연령은 99 ± 3 Ma와 101 ± 3 Ma로서 거의 같은 연령값을 가지며 모두 백악기 초기와 후기의 경계에 해당한다.

이들 화강암류의 지질시대 차이는 야외산상 및 그 선후관계 해석과도 잘 일치한다. 전술된 바와 같이 JHBG는 수계조의 흑운모화강암맥에 의하여 관입된다. K-Ar 흑운모의 폐쇄온도는 315 ± 45°와 280 ± 40° 등 (Harrison *et al.*, 1985; Harrison and McDougal, 1980)으로 보고되고 있으므로, 이들 화강암류의 관입정치는 이들 측정값보다 다소 더 고기에 해당될 수 있다.

한편 이들 중에서 JBG의 136.39 ± 3.96 Ma는 북서부의 150.96 ± 4.35 Ma 뿐만 아니라 주변일대의 보고자료와도 큰 차이를 이룬다. 즉 이 곳의 남부일대 흑운모화강암의 Rb-Sr 전암연령인 ~168 Ma (Kwon *et al.*, 1999), 그리고 포천-의정부일대 흑운모화강암의 K-Ar 흑운모연령인 165 ± 2 Ma (윤현수, 1995) 등으로 연구보고되고 있다. 따라서 JBG의 흑운모 연령 136.39 ± 3.96 Ma는 인접한 백악기 CHBG의 재가열 등에 의한 알콘

손실(Dalrymple and Lanphere, 1969) 등의 영향으로 해석된다.

이들 분대된 화강암류의 상기 광물연령(K-Ar 법)으로 미루어 JHBG와 JBG는 시기를 달리하는 쥬라기 대 보조산운동기의, 그리고 CHBG는 백악기 불국사변동기의 화성활동산물로 해석될 수 있다. 그리고 이 곳의 화강암류는 쥬라기뿐 만이 아니라 백악기 화강암류로 구성된 복합체로 밝혀졌다.

광물조성 및 모우드 분석

이들 분대된 JHBG, JBG 그리고 CHBG의 광물조성과 모우드값은 Table 2와 같다. 전자는 석영, 사장석, 알칼리장석, 흑운모, 각섬석, 스펀, 인회석, 저어콘과 불투명광물로 구성된다. JBG는 석영, 사장석, 알칼리장석, 흑운모, 인회석, 저어콘과 불투명광물로 구성된다.

주 연구대상인 CHBG는 석영, 사장석, 알칼리장석, 흑운모, 녹리석, 각섬석, 갈렙석, 인회석, 저어콘, 견운

Table 2. Modes of the granites in the area.

Sp.no	Qz	Pl	Af	Bt	Ch	Hb	All	Sp	Ap	Zr	Ser	Cc	Op	Rock kind
GP136	23.2	44.4	10.8	17.9	-	3.2	-	0.3	tr	tr	tr	-	tr	JHBG
JP15	46.5	28.8	19.2	5.1	-	-	-	-	0.1	tr	tr	-	0.2	JBG
JP9	45.3	24.4	26.1	2.9	0.3	0.8	0.1	-	tr	tr	-	-	0.1	CHBG
JP27	46.1	20.4	31.1	2.1	tr	-	tr	-	-	tr	-	-	0.2	CHBG
JP29	43.3	18.5	33.2	3.5	1.2	1.4	tr	-	tr	tr	tr	-	0.1	CHBG
JP32	30.1	23.8	43.7	1.3	0.4	0.6	0.1	-	tr	tr	-	-	tr	CHBG
JP33	51.7	15.5	28.9	3.3	tr	0.3	tr	-	tr	tr	tr	-	0.2	CHBG
JP34	36.3	36.1	23.7	2.5	0.6	0.1	0.1	-	tr	tr	tr	-	0.5	CHBG
JP50	20.2	46.3	27.8	4.2	0.7	tr	0.3	-	tr	tr	tr	-	0.4	CHBG
YC10	25.3	30.4	40.9	3.1	tr	-	-	-	tr	tr	tr	-	0.3	CHBG
YC11	21.0	22.8	52.5	1.8	0.3	-	0.5	-	tr	tr	0.1	0.8	0.2	CHBG
YC13	33.0	25.2	39.5	2.2	tr	-	tr	-	tr	tr	tr	-	0.1	CHBG
GM4	35.2	24.9	37.9	1.6	tr	0.3	0.1	-	tr	tr	tr	-	tr	CHBG

Qz: quartz, Pl: plagioclase, Af: alkali feldspar, Bt: biotite, Ch: chlorite, Hb: hornblende, All: allanite, Ap: apatite, Zr: zircon, Ser: sericite, Cal: calcite, Op: opaque, tr: trace. JHBG, JBG and CHBG are the same as in Table 1.

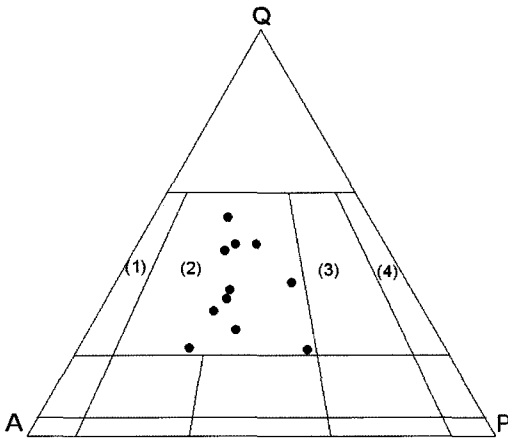


Fig. 2. Modal QAP diagram of CHBG.

모, 방해석과 불투명광물 등으로 구성된다. 이들 조암광물 중에서 석영은 파상소광을 이루며 미

립질의 견운모가 수반되기도 한다. 사장석은 칼스바드-알바이트 쌍정 그리고 일부 페리크린 쌍정을 이루며, 누대구조가 동심원상으로 종종 발달한다. 일부에서 미르메카이틱 구조를 이루기도 한다. 알칼리장석은 칼스바드 쌍정의 퍼다이트질 정상석과 일부 미사장석으로 구성되며, 간혹 그래노피릭 구조를 이루기도 한다. 그리고 종종 반정을 이루어 장경/단경이 12 mm/8 mm 정도에 이르기도 한다. 이들 석영, 사장석과 알칼리장석의 미립은 집괴상을 이루기도 한다.

흑운모는 담갈색내지 암갈색 등을 이루며, 주변부 등이 종종 변질되어 녹리석화되기도 한다. 각섬석은 담갈색 또는 담녹색을 띠며, 곳에 따라 쌍정대가 발달되기도 한다. 갈립석은 타형내지 반자형 그리고 일부 자형을 이루며 드물게 긴 주상형으로 발달되기도 한다. 인회석과 저어콘은 대부분 흑운모내에 미립질로 함유된다.

견운모는 대부분 사장석내에 미립질의 산점상 또는 벽개면을 따라 산점상으로 자주 수반되는 편이다. 국

Table 3. Major (wt %) and trace element (ppm) compositions of CHBG.

Sp.no	JP9	JP 27	JP29	JP32	JP33	JP34	JP50	YC7	YC10
SiO ₂	72.93	75.82	73.63	71.49	72.22	72.13	69.76	74.51	73.35
TiO ₂	0.25	0.09	0.25	0.31	0.26	0.29	0.39	0.21	0.24
Al ₂ O ₃	13.97	13.19	13.67	14.70	14.31	14.63	15.35	13.69	13.81
Fe ₂ O _{3(t)}	2.05	1.15	2.08	1.78	2.04	2.02	2.44	1.40	1.95
Fe ₂ O ₃	1.05	0.80	1.16	1.21	1.02	1.39	1.01	0.82	0.32
FeO	0.90	0.31	0.83	0.51	0.92	0.57	1.28	0.52	1.46
MgO	0.47	0.06	0.47	0.56	0.50	0.51	0.62	0.24	0.45
MnO	0.04	0.02	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03
CaO	1.28	0.54	1.17	1.77	1.23	0.78	1.80	1.11	1.21
Na ₂ O	3.39	3.64	3.33	3.77	3.55	4.80	3.54	3.62	3.39
K ₂ O	4.76	5.00	4.99	4.79	4.96	3.71	4.84	4.57	5.04
P ₂ O ₅	0.05	0.01	0.05	0.06	0.05	0.05	0.11	0.04	0.05
LOI	0.65	0.25	0.27	0.60	0.70	0.76	0.93	0.37	0.29
Sum	99.74	99.73	99.85	99.81	99.76	99.66	99.67	99.74	99.64
Ba	527	114	592	530	396	727	864	708	628
Rb	234	248	201	158	224	123	227	162	237
Sr	157	20	115	147	104	108	264	145	105
Zr	308	57.4	225	162	303	90.5	87.1	66.5	87.6
Nb	15	16	11	11	15	14	17	15	12
Y	8.2	12	4.5	9.6	5.6	10	8.2	13	13
V	41	5.9	18	21	43	19	30	14	20
Zn	56	25	44	45	46	28	39	5.2	4.3
Pb	28	16	22	22	25	14	15	23	25
Be	2.3	1.8	2.4	2.7	2.0	1.9	1.9	1.6	1.7
Co	19	<1	15	13	18	2.3	3.6	<1	1.2
Li	41	13	38	24	39	13	42	16	23
Sc	4.5	14	14	15	4.1	14	15	13	15

Table 3. Continued.

Sp.no	YC 11	YC13	GP42	GP72	GP74	GP75	GP76	GP79	GP85
SiO ₂	73.05	75.35	72.16	72.63	72.77	72.24	71.92	71.91	72.26
TiO ₂	0.25	0.16	0.29	0.25	0.27	0.24	0.24	0.27	0.25
Al ₂ O ₃	13.62	13.49	13.84	13.72	13.61	13.75	14.11	13.83	13.76
Fe ₂ O ₃ *	2.00	1.12	2.47	2.37	2.49	2.56	2.37	2.71	2.61
Fe ₂ O ₃	0.83	0.62	na	na	na	na	na	na	na
FeO	1.05	0.45	na	na	na	na	na	na	na
MgO	0.49	0.20	0.55	0.52	0.55	0.51	0.49	0.57	0.52
MnO	0.03	0.06	0.10	0.07	0.08	0.11	0.10	0.11	0.10
CaO	1.40	0.95	1.17	1.22	1.30	1.28	1.38	1.43	1.24
Na ₂ O	3.46	3.60	4.24	3.53	3.55	3.55	3.66	3.63	3.47
K ₂ O	4.63	4.57	4.34	5.01	4.79	5.01	5.09	4.70	5.04
P ₂ O ₅	0.05	0.02	0.06	0.05	0.06	0.06	0.05	0.06	0.06
LOI	0.79	0.32	0.47	0.36	0.25	0.37	0.26	0.45	0.40
Sum	99.65	99.79	99.69	99.73	99.72	99.68	99.67	99.67	99.71
Ba	557	684	532	510	549	538	580	513	546
Rb	177	193	128	152	151	177	178	178	140
Sr	113	131	126	106	117	110	118	129	119
Zr	127	51.4	na	na	na	na	na	na	na
Nb	13	11	8	9	10	10	10	10	9
Y	11	5.5	10	10	10	11	10	12	12
V	22	11	21	20	22	20	20	22	21
Zn	5.7	5.2	10	16	17	16	16	11	20
Pb	26	24	31	32	32	32	33	33	32
Be	1.5	1.0	na	na	na	na	na	na	na
Co	<1	<1	na	na	na	na	na	na	na
Li	20	18	0.8	1.0	1.6	1.1	1.5	1.6	1.4
Sc	14	13	10	13	12	11	12	10	11

na: not analyzed.

부적으로 산출되는 방해석은 미세공동을 충전 이차광물로 보이며, 두 방향의 벽개가 뚜렷이 발달되는 편이다. 불투명광물은 거의가 타형의 독립상 입자로 발달하며 간혹 흑운모와 집괴상을 이루기도 한다.

한편 사장석과 알칼리장석의 평균 모우드 값은 각각 26.2%와 35.0%를 가져 후자에서 그 함량이 뚜렷이 증가한다(Table 2). 이러한 알칼리장석의 증가로 인하여 이 화강암은 전체적으로 홍색(Klein and Hurburt, 1985)이 우세한 것으로 해석된다. 한편 이 암은 QAP(석영, 알칼리장석, 사장석)의 모우드 삼각도에서 모두 화강암에, 그리고 대부분 심장화강암과 몬조화강암 경계에 도사되는 경향을 보인다(Fig. 2).

암석화학적 특성

CHBG의 암석화학적 변화특성을 알기위하여 야외에

서 가능한 가장 신선한 부위의 암석시료를 선별 및 채취하였다. 이들 시료에서 주 원소는 SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃(t), Fe₂O₃, FeO, MnO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, P₂O₅와 LOI 등이 분석되었다. 이 중에서 FeO는 습식법으로, 나머지 성분은 XRF로 분석되었다.

미량원소는 Ba, Rb, Sr, Zr, Nb, Y, V, Zn, Pb, Be, Co, Li과 Sc 등이며, 이 중에서 Rb과 Zr은 INNA로, 나머지는 ICP-AES로 분석되었다. 그리고 희토류원소는 대표적 시료를 택하여 ICP-AES로 분석되었다. 이들 미량과 희토류원소 성분은 모두 지질자원연구원에서 분석되었다(Tables 3, 4).

주원소 성분

CHBG의 주원소 성분은 다음의 암석화학적 특성을 가진다(Table 3).

Table 4. REE contents (ppm) of CHBG.

Sp.no	JP34	JP50	YC10	GP74	GP85	JP9	JP33
La	68.2	67.2	67.1	50.6	40.1	62.2	55.0
Ce	101	115	111	92.1	73.3	108	92.5
Pr	10.7	11.8	10.9	8.49	6.97	10.0	9.16
Nd	35.9	42.0	37.4	29.9	25.8	33.6	30.9
Sm	5.90	7.47	6.45	4.13	4.00	5.43	5.02
Eu	0.97	1.21	0.89	0.508	0.507	0.83	0.74
Gd	5.07	5.94	5.66	3.25	3.27	5.12	4.69
Tb	0.58	0.63	0.68	0.612	0.692	0.60	0.57
Dy	2.74	2.66	3.57	2.41	3.01	3.07	3.03
Ho	0.55	0.48	0.74	0.472	0.572	0.62	0.62
Er	1.58	1.34	2.06	1.540	1.850	1.69	1.70
Tm	0.20	0.16	0.27	0.194	0.242	1.54	1.52
Yb	1.32	1.01	1.80	1.500	1.710	0.23	0.23
Lu	0.18	0.14	0.26	0.196	0.243	0.22	0.21
Sum	234.89	257.04	248.78	195.90	162.266	233.15	205.68
ΣLREE/ΣHREE	31.85	39.04	25.52	27.29	18.51	28.25	25.13
(La/Yb) _N	34.91	44.96	25.19	22.80	15.85	182.75	161.59
Eu/Eu*	0.53	0.54	0.44	0.41	0.42	0.47	0.46

SiO₂는 69.76-75.82(평균 72.79) wt%의 함량을 가져 다소의 변화폭을 가지며 모두 산성암계열에 속한다. Al₂O₃는 13.19-15.35(평균 13.95) wt%를 가져 좁은 변화폭을 가진다. Fe₂O₃(t)는 1.12-2.71(평균 2.09) wt%를 가져 다소의 변화폭을 가진다. MgO는 0.06-0.62(평균 0.46) wt%의, MnO는 0.02-0.11(평균 0.06) wt%의 함량을 가져 전자에서 더 넓은 변화폭을 가진다. 그리고 SiO₂의 함량증가에 따라 TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃(t), MgO, CaO와 P₂O₅는 대부분 뚜렷한 부의 경향을, 그리고 Na₂O, K₂O와 MnO는 변화경향을 보이지 않는다(Fig. 3). 그리고 대부분 하나의 선상에 놓여 단일 화강암질 마그마의 분화경향을 보인다.

CaO는 0.54-1.80(평균 1.24) wt%의, Na₂O는 3.33-4.80(평균 3.65) wt%의, 그리고 K₂O는 3.71-5.09(평균 4.77) wt %의 함량을 가져 각각 다소의 변화폭을 가진다. 한편 이들 화강암에서 K₂O/CaO(Putman and Burnham, 1963)는 2.69-9.26(평균 4.13)의 값을 가져 중부 및 남동부의 일부지역 외에는 모두 화강암 영역에 속한다. 그 밖에 P₂O₅는 0.01-0.11(평균 0.05) wt%의 함량을 가져 아주 좁은 변화폭을 가진다.

한편 SiO₂ 대 K₂O의 관계도에서 고-칼륨의 켈크-알칼리계열(Le Maitre *et al.*, 1989)에 해당한다(Fig. 4). 그리고 AMF(Na₂O+K₂O, MgO, Fe₂O₃(t))의 삼각도에서 켈크-알칼리계열에 속하며 분화말기 산물의 경향을 뚜렷이 가진다(Fig. 5). SiO₂ 대 Na₂O+K₂O의 관계(Irvine

and Barager, 1971)에서도 모두 서브알칼린에 속한다.

A/CNK 대 A/CN(A/CNK=Al₂O₃/(CaO+Na₂O+K₂O))의 몰비 관계도에서 모두 과알루미나암질 영역에 모두 밀집하여 분포되는 경향을 이룬다(Fig. 6). 그리고 A/CNK과 A/CN의 몰비는 각각 1.00-1.10(평균 1.04)과 1.52-1.89(평균 1.70)의 값을 가져, 전자보다 후자에서 다소의 변화폭을 가진다. 이러한 주원소 변화경향 등으로 미루어 이 화강암은 단일한 화강암질 마그마에서 생성된 산성암, 고-칼륨의 켈크-알칼리계열 그리고 과알루미나암질의 분화말기 산물에 해당한다.

미량원소 성분

SiO₂ 대 미량원소의 관계도에서 Ba과 Rb는 대체로 정의, 그리고 Sr과 V는 대부분 부의 경향을 이룬다(Fig. 7). Nb, Y, Pb과 Sc은 대부분 변화경향을 보이지 않으며, Zn와 Li은 불규칙한 분포경향을 이룬다.

이들 원소 중에서 친석원소인 Ba, Rb과 Sr은 각각 114-864(평균 561) ppm, 123-248(평균 183) ppm과 20-264(평균 124) ppm을 가지며, 후자 둘보다 전자에서 그 함량이 크게 증가한다. 이는 마그마 분화후기에 Ba의 함량이 부화되었기(Nockolds and Allen, 1953; Taylor, 1965) 때문으로 해석된다. 한편 이들 Ba, Rb과 Sr은 화강암에서 각각 600 ppm, 150 ppm과 Sr 285 ppm의 함량(Taylor, 1965)을 가진다고 보고되고 있다.

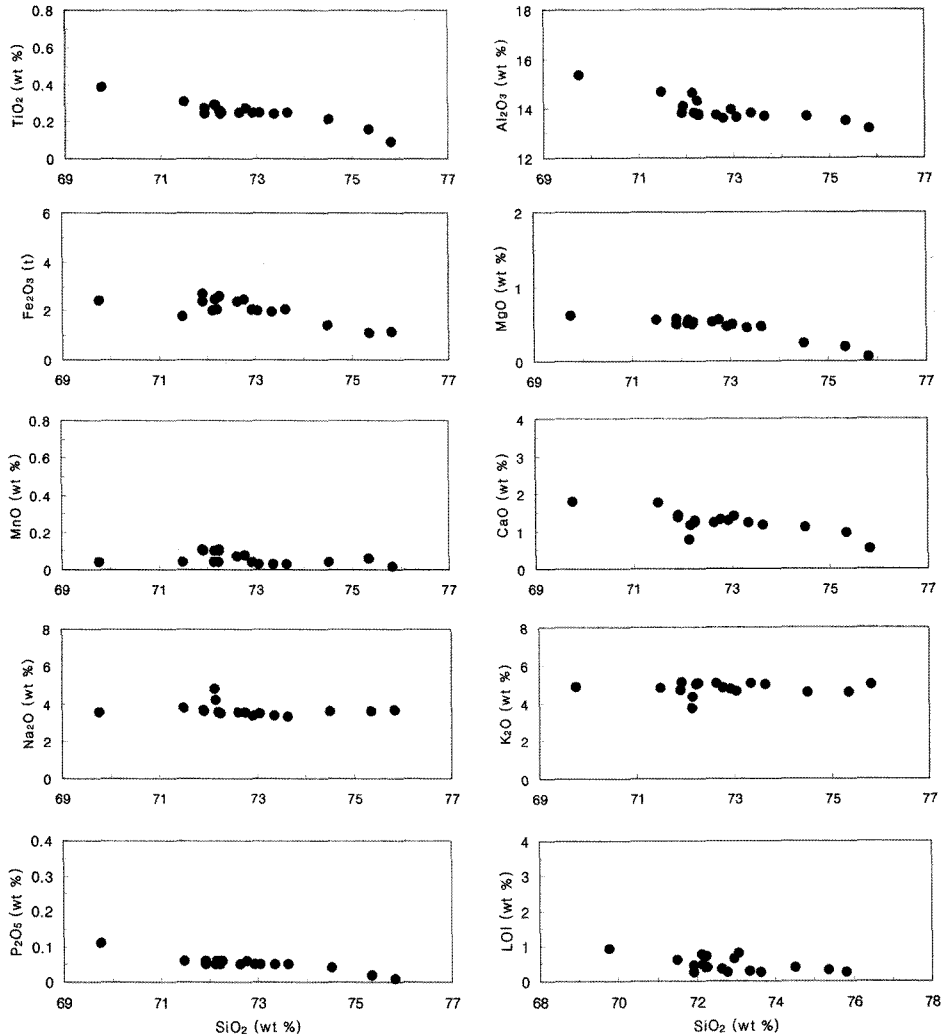


Fig. 3. Variation diagram of major oxide compositions.

한편 이 화강암의 Ba 대 Rb은 별다른 변화경향을 보이지 않는다. 이와 달리 전반적으로 유사한 지화학적 특성을 가지는 Ba과 Sr은 분화작용의 경향을 뚜렷이 이룬다(Fig. 8; Mason and Moore, 1982; Taylor, 1965). 한편 Rb 대 K의 관계에서도 이 화강암은 완만한 정도의 경향을 이룬다(Fig. 9). 그리고 전반적인 $R(10^4 \times \% K/ppm Rb)$ 값은 260 정도를 가져 화성암계열 분화경향의 주요 범위내(Shaw, 1968)에 속한다.

친석원소인 Zr은 51-308(평균 142) ppm을 가져 넓은 변화범위를 이루며, 화강암내 평균값인 180 ppm(Taylor, 1965)보다 다소 낮은 함량을 가진다. Nb, Y과 V은 각각 8-17(평균 12) ppm, 4.5-13(평균 9.8) ppm과 6-56(평균

22) ppm을 가져 후자에서 그 함량이 다소의 변화폭을 가진다. Be, Li과 Sc은 각각 1.0-2.7(1.9) ppm, 0.8-41(평균 16.4) ppm과 4.1-15(11.9) ppm의 함량을 가진다. 한편 친동원소인 Zn와 Pb는 각각 4-56(평균 23) ppm과 14-33(평균 26) ppm을 가지며, 비슷한 평균함량을 이룬다. 친철원소인 Co는 <1-19 ppm의 함량을 가진다.

한편 CaO 대 Sr에서는 뚜렷한 정도의 경향을, 그리고 K₂O 대 Sr에서는 대부분 별다른 변화경향을 보이지 않는다(Fig. 10). 이로 미루어 CHBG에서 Sr은 알칼리장석보다 사장석의 분별결정작용(Mason and Moore, 1982)에 더 관여한 것으로 해석된다.

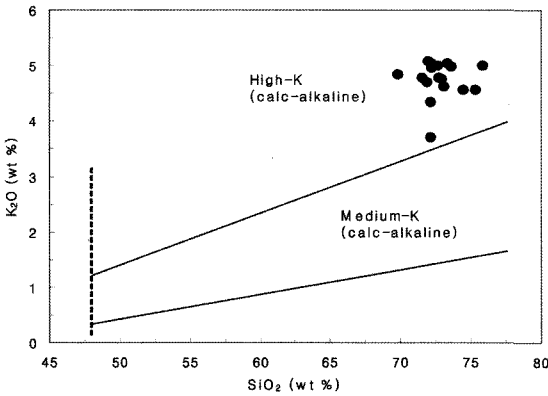


Fig. 4. Subdivision using silica vs K₂O.

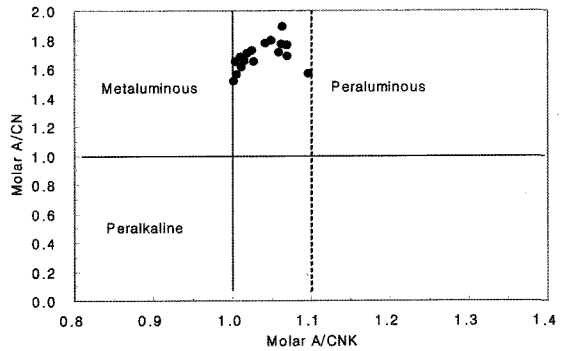


Fig. 6. Molecular A/CNK vs A/CN (A = Al₂O₃, C = CaO, N = Na₂O, K = K₂O).

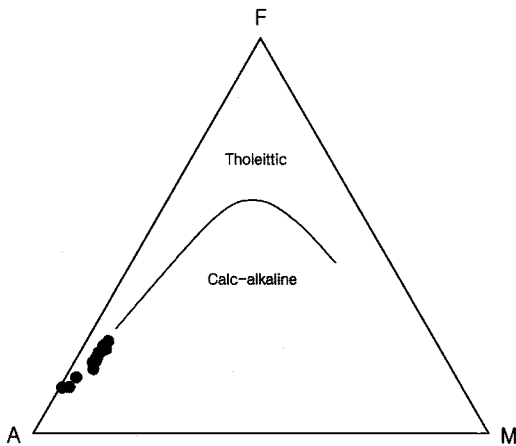


Fig. 5. Triangular AMF (Na₂O + K₂O, MgO, Fe₂O₃(t)) diagram.

희토류원소 성분

희토류원소 표준화도(Taylor and McLennan, 1985)에서, 경희토류원소(LREE)에서 중희토류원소(HREE)로 갈수록 거의 대부분 점진적으로 뚜렷이 결핍되는 양상을 보인다(Table 4; Fig. 11). (La/Yb)_N는 부분적으로 내측부 일부에서 161.6-182.8의 다소 큰 값을 가지나, 그 외는 모두 15.9-45.0의 좁은 변화폭을 이룬다.

ΣLREE/ΣHREE 비는 18.5-39.0로서 거의 균일한 값을 가진다. Eu/Eu*은 0.41-0.54의 좁은 변화폭을 보여 준다. Eu는 다소 미약한 부 이상을 보이고 5.83-13.91의 비교적 좁은 범위의 표준화값을 가진다. 이로 미루어 사장석의 분별결정작용은 화강암체 전체에 걸쳐 비교적 좁은 범위내에서 미약하게 일어난 것으로 해석된다.

이러한 Eu의 부이상은 옥천대내 백악기 화강암류

(Jwa, 2002), 그리고 진안지역 백악기 홍색 화강암 동부암체(윤현수와 홍세선, 2004)와 다소 일치하는 경향을 이룬다. 또한 연구지역 화강암은 옥천대내 화강암류의 경 및 중희토류원소의 넓은 변화폭(Jwa, 2002)내에 속한다. 그리고 진안 동부와 서부암체의 Eu/Eu*은 각각 0.37-0.42와 0.11(윤현수와 홍세선, 2004)을 가지며, 경 및 중희토류원소의 변화폭과 양상은 CHBG와 거의 일치하는 경향을 이룬다. 한편 홍색을 띠는 백악기 속리산화강암의 Eu는 뚜렷한 부 이상, Eu/Eu*은 0.02-0.30 그리고 전체적으로 평탄한 분포양상을 이루어(정창식과 장호완, 1996), 이 곳의 화강암과 다소 다른 변화경향을 보인다. 그리고 경상분지내 백악기 팔공산 화강암은 중심부에서 주변부로 향하여 Eu의 부이상이 점이적으로 증가되어(Hong, 1983) 다른 경향을 가진다.

결론

연구지역인 갈말-영북일대는 암상을 달리하는 세 종류의 화강암류로 분대될 수 있다. 즉 JHBG, JBG와 CHBG이다. 전자는 이 곳의 북부에 소규모로 분포하는 중립질암으로서 미립질 스펀을 함유하며, 흑운모화강암맥이 자주 발달한다. JBG는 주로 이 곳의 북부-동부일대에 걸쳐 길게 분포하는 담회색-회색의 중립질암이다. 후자는 뚜렷한 홍색을 띠는 중-조립질암으로, 주로 이 곳의 북부-남동부일대에 넓게 분포한다. 국부적으로 미세 공동구조가 발달하며, 간혹 수반되는 포켓상의 페그마타이트질부에는 정동구조가 발달되기도 한다.

JHBG, JBG와 CHBG는 동위원소 광물연령(K-Ar 법)에서 뚜렷한 차이를 보인다. 전자의 각섬석연령은 174.67 ± 5.00 Ma이다. JBG의 흑운모연령은 150.96 ±

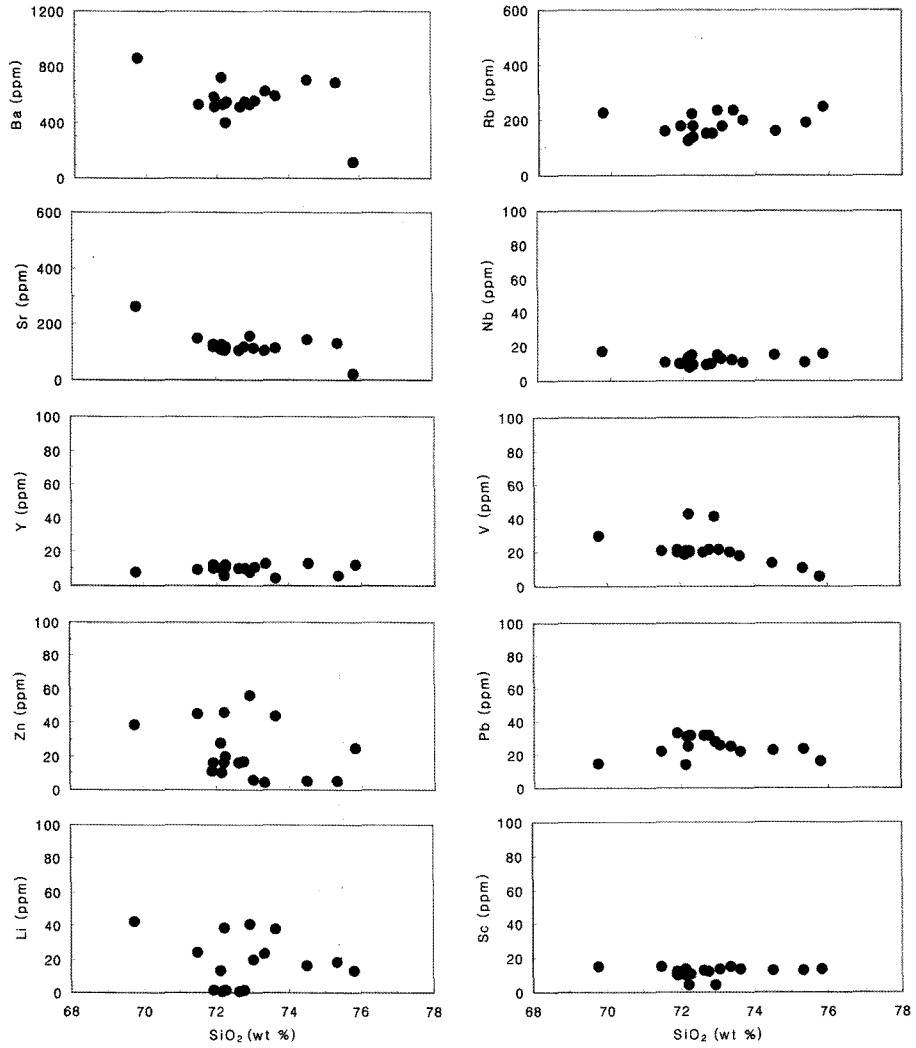


Fig. 7. Variation diagram of trace elements compositions.

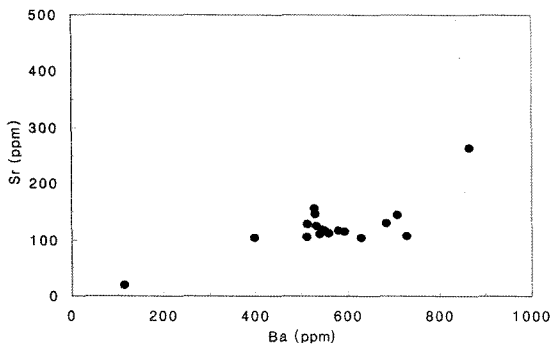


Fig. 8. Relationship of Ba vs Sr.

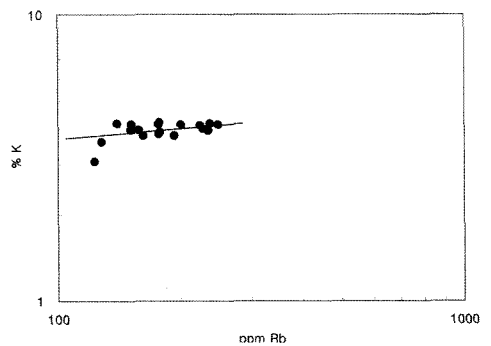


Fig. 9. Relationship of Rb vs K.

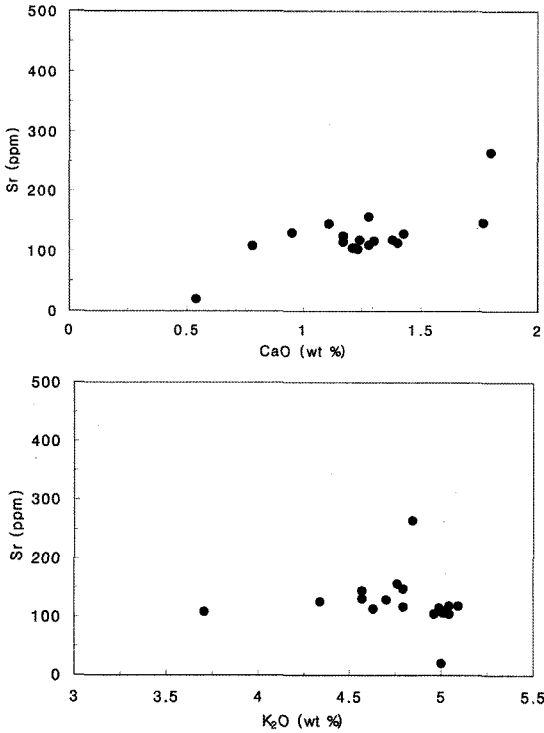


Fig. 10. CaO vs Sr (upper) and K₂O vs Sr (lower).

4.35 Ma와 136.39 ± 3.96 Ma를 가진다. 후자의 흑운모연령은 99 ± 3 Ma와 101 ± 3 Ma를 가진다. 이들 연령에서 흑운모화강암의 136.39 ± 3.96 Ma는 인접한 CHBG에 의한 알콘 손실 등의 영향으로 해석된다. 이들 광물연령으로 미루어 JHBG와 JBG는 시기를 달리하는 쥬라기 대보조산운동기의, 그리고 CHBG는 백악기 불국사변동기의 화성활동산물에 해당한다. 이는 야외산상에 의한 지질순서 해석과도 잘 일치한다.

CHBG의 구성광물은 석영, 사장석, 알칼리장석, 흑운모, 각섬석, 갈럼석, 인회석, 저어콘, 방해석과 불투명광물 등이다. 알칼리장석은 대부분 퍼다이트질 정장석 그리고 일부 미사장석으로 구성되며, 국부적으로 수반되는 방해석은 미세공동을 충전한 이차광물로 보인다. 이 화강암은 QAP 모우드 분석 및 삼각도에서 모두 화강암에 속하며, 특히 섬장화강암과 몬조화강암의 경계부에 밀집된다.

SiO₂의 함량증가에 따라 TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃(t), MgO, CaO, P₂O₅는 뚜렷한 부의 경향을, 그리고 Na₂O, K₂O와 MnO는 변화경향을 보이지 않으며 이들은 대부분 하나의 선상에 놓인다. 주원소 변화경향, A/CNK 몰비, SiO₂ 대 K₂O 그리고 AMF 관계 등으로 미루어, 이 화

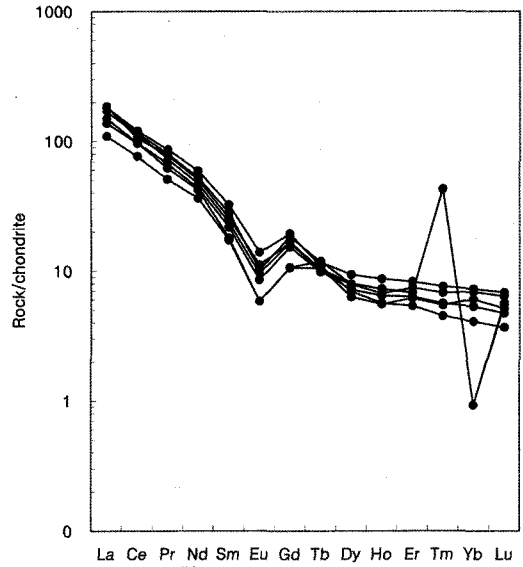


Fig. 11. Chondrite-normalized REE patterns.

강암은 단일한 화강암질 마그마에서 생성된 산성암, 고-칼륨의 켈크-알카린계열 그리고 과알루미나암질의 분화말기 산물에 해당한다.

SiO₂ 대 미량원소에서 Ba과 Rb은 정의, Sr과 V은 부의 경향을 이룬다. Nb, Y, Pb과 Sc은 변화경향을 보이지 않는다. Ba, Rb과 Sr은 각각 561 ppm, 183 ppm과 124 ppm의 평균값을 가져, 마그마 분화후기에 Ba의 함량이 부화된 것으로 해석되며, Ba과 Sr은 분화작용의 경향을 뚜렷이 이룬다. Rb 대 K는 완만한 정의 경향을 이루고 $R(10^4 \times \% K/ppm Rb)$ 값은 260 정도를 가져 화성암계열 변화경향의 주요 범위에 속한다. CaO 대 Sr 그리고 K₂O 대 Sr 관계로 미루어 Sr이 알칼리장석보다 사장석의 분별결정작용에 더 관여한 것으로 해석된다.

희토류원소 표준화도에서, LREE에서 HREE로 갈수록 점진적으로 뚜렷이 결핍되는 양상을 보인다. $(La/Yb)_N$ 는 대부분 15.9-45.0의 좁은 변화폭을 가지며, $\Sigma LREE/\Sigma HREE$ 는 18.5-39.0의 거의 균일한 값을 가진다. 그리고 Eu의 부 이상 및 5.8-13.9의 표준화값 등으로 미루어, 사장석의 분별결정작용이 CHBG 전체에 걸쳐 미약하게 일어난 것으로 해석된다.

감사의 글

이 연구는 산업자원부 자원개발기술사업의 일환인 고품위석재자원 확보 및 정보화 연구과제(06-1127)로 수

행되었으며, 이러한 배려에 크게 감사를 드린다. 암석 시료의 박편제작에 수고해준, 그리고 주, 미량과 희토류원소 성분분석에 애써준 한국지질자원연구원의 여러분에게 깊은 감사를 드린다. 끝으로 이 논문을 자세히 보아주고 미비된 여러 부분을 지적해 준 부경대학교 환경지질학과 송용선 교수님과 한국환경정책평가연구원 사공희 박사님에게 깊은 사의를 드린다.

참고문헌

- 박기화, 이병주, 조동룡, 김정빈, 1997, 한국지질도(1:50,000), 화천도폭 및 설명서. 한국자원연구소, 33p.
- 윤현수, 홍세선, 2004, 진안일대에 분포하는 백악기 홍색 화강암류의 암석화학 및 물성특성. 암석학회지, 13, 161-177.
- 윤현수, 1995, 포천-의정부 일대에 분포하는 화강암류의 산상과 암석화학. 암석학회지, 4, 91-103.
- 윤현수, 홍세선, 이윤수, 2002, 포천-기산리 일대에 분포하는 쥬라기 대보화강암류의 암석 및 암석화학. 암석학회지, 11, 1-16.
- 이병주, 김유봉, 이승렬, 김정찬, 강필중, 최현일, 진명식, 1999, 한국지질도(1:250,000), 서울-남천점도폭 및 설명서. 한국자원연구소, KR-99(5)-1, 64p.
- 조동룡, 권성택, 1994, 남한의 중생대 화강암의 Fe-Ti 산화 광물에 대한 암석기재와 광물화학 계열분류에 대한 재고찰. 암석학회지, 3, 1-19.
- 정창식, 장호완, 1996, 중부 옥천변성대의 화성, 변성 및 광화작용과 구조조직 연관성 연구(1): 보은지역 화강암류의 암석화학과 동위원소 지구화학. 지질학회지, 32, 91-116.
- 최위찬, 최성자, 박기화, 김규봉, 1996, 한국지질도(1:50,000), 철원-마전리도폭 및 설명서. 한국자원연구소, 31p.
- Camichael, I.S.E., Turner, F.J. and Verhoogen, J., 1974, Igneous petrology. McGraw-Hill Book Co., 664p.
- Dalrymple, G.B. and Lanphere, M.A., 1969, Potassium-argon dating. W.H. Freeman and Co., 159-163.
- Faure, G., 1977, Principles of isotope geology. John Wiley & Sons, 437-439.
- Harrison, T.M., Dunkan, I. and McDougal, I., 1985, Diffusion of ^{40}Ar in biotite: Temperature, pressure and compositional effects. Geochim. Cosmochim. Acta, 49, 2461-2468.
- Harrison, T.M. and McDougal, I., 1980, Investigations of an intrusive contact, northwest Nelson, New Zealand-I. Thermal, chronological and isotopic constraints. Geochim. Cosmochim. Acta, 44, 1985-2003.
- Hong, Y.K., 1983, Petrology and geochemistry of the Cretaceous Palgongsan granite, Southern Korea. Jour. Korean Inst. Mining Geol., 16, 83-109.
- Hong, Y.K., 1987, Geochemical characteristics of Precambrian, Jurassic and Cretaceous granites in Korea. Jour. Korean Inst. Mining Geol., 20, 35-60.
- Hyndman, D.W., 1985, Petrology of igneous and metamorphic rocks. McGraw-Hill Book Co., 786p.
- Irvine, T.N. and Barager, W.R.A., 1971, A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. Can. Jour. Earth Sci., 8, 523-542.
- Jin, M.S., Lee, Y.S. and Ishihara, S., 2001, Granitoids and their magnetic susceptibility in South Korea. Resource Geol., 51, 189-203.
- Jwa, Y.J., 2002, Geochemistry of Cretaceous granites in South Korea: The implications for tectonically controlled granitic magmatism. In Mesozoic sedimentation, igneous activity and mineralization in South Korea (ed. Jin *et al.*), KIGAM, 1, 157-166.
- Klein, C. and Hurlburt, C.S., Jr., 1985, Manual of mineralogy. John Wiley & Sons, 596p.
- 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.
- 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.
- Le Maitre, R.W., Bateman, P., Dudek, A., Keller, J., Lameyre Le Bas, M.J., Sabine, P.A., Schmid R., Sorensen, H., Streckeisen, A., Wolley, A.R. and Zanettin, B., 1989, A classification of igneous rocks and glossary of terms. Blackwell, Oxford.
- Mason, B. and Moore, C.B., 1982, Principles of geochemistry. John Wiley & Sons, 392p.
- Nockolds, S.R. and Allen, R., 1953, The geochemistry of some igneous rocks series. Geochim. Cosmochim. Acta, 4, 105-142.
- Putman, G.W. and Burnham, C.W., 1963, Trace elements in igneous rocks, northwestern and central Arizona. Geochim. Cosmochim. Acta., 27, 53-58.
- Shaw, D.M., 1968, A Review of K-Rb fractionation trends by covariance analysis. Geochim. Cosmochim. Acta, 32, 573-601.
- Taylor, S.R., 1965, The application of trace element data to problems in petrology. Physics and chemistry of the earth. 6, 133-213.
- Taylor, S.R. and McLennan, S.M., 1985, The continental crust: its composition and evolution. Blackwell, Oxford, 312p.

(2006년 9월 2일 접수; 2007년 10월 10일 채택)